

# SMJERNICE ZA PROJEKTOVANJE, GRAĐENJE, ODRŽAVANJE I NADZOR NA PUTEVIMA

## Knjiga I: PROJEKTOVANJE

### Dio 3: PROJEKTOVANJE KONSTRUKCIJA NA PUTEVIMA

#### PROJEKTANTSKA SMJERNICA (PS 1.3.1)

#### Poglavlje 1: TEMELJENJE NA ŠIPOVIMA I BUNARIMA



## U V O D

U teškim geološko morfološkim uslovima, u kojima se nosivo tlo – stjenovita geološka osnova nalazi na većim dubinama od cca 6,0 m, upotrebljava se duboko temeljenje. U savremenoj praksi za temeljenje mostova i inženjerskih konstrukcija najviše se primjenjuju bušeni šipovi i bunari sa kojima se dosežu dubine i do 40 m.

Temeljenje na bušenim šipovima je najrašireniji način dubokog temeljenja. Mogućnost efikasnog uključivanja u nosive sisteme konstrukcija i geomorfološkim osobinama temeljnoga tla su osobine koje se koriste pri izgradnji mostova i inženjerskih konstrukcija.

Brza i pouzdana izvedba, koju omogućava savremena mehanizacija, uključuje temeljenje na bušenim šipovima u tehnologije koje zadovoljavaju zahtjevima ekonomične gradnje. Isto tako ovo temeljenje omogućava visoke standarde u zaštiti radnika na izvođenju ima male uticaje na okolinu radi čega se može uvrstiti u grupu koja zadovoljava ekološke zahtjeve.

Temeljenje na bunarima spada u grupu dubokog temeljenja pošto se iskop vertikalnog šahta izvodi na sličan način kao i kod bunara koji ne služe za temeljenje. Kao značajni elementi nosive konstrukcije mostova utiču na koncept objekta, troškove i brzinu građenja, stabilnost i trajnost objekta kao i sa stanovišta zaštite okoline.

PS 1.3.1 daje osnovne smjernice za projektovanje i izvođenje dubokog temeljenja na šipovima i bunarima kod mostova i inženjerskih konstrukcija. Sadržaj smjernice je pravilno raspoređen u više cjelina.

Kod izrade PS 1.3.1 korištena su savremena teoretska znanja i iskustva, projektanata, geomehaničara, izvođača, važeći propisi i standardi te evropske norme za geotehničko projektovanje.

## SADRŽAJ

1. PREDMET PROJEKTANTSKE SMJERNICE .....	5
2. REFERENTNI NORMATIVI .....	5
3. TUMAČENJE IZRAZA .....	5
4. UVODNI DIO .....	7
4.1 Podloge za projektovanje dubokog temeljenja .....	7
4.2 Uslovi po kojima se objekat temelji na bušenim šipovima .....	7
4.3 Uslovi pod kojima se objekat temelji na bunarima .....	9
5. PROJEKTOVANJE I KONSTRUIRANJE TEMELJENJA NA BUŠENIM ŠIPOVIMA .....	11
5.1 Izbor promjena, dužine, broja i rasporeda bušenih šipova .....	11
5.2 Konstruisanje armature za bušene šipove .....	13
5.3 Bušeni šipovi u vodi i mekom tlu .....	16
5.4 Konstruisanje spoja šipa sa potpornim konstrukcijama mosta .....	18
6. PROJEKTOVANJE I KONSTRUISANJE TEMELJA NA BUNARIMA .....	21
6.1 Opšti principi koncepta .....	21
6.2 Konstrukcijski elementi zaštite kod izvođenja iskopa .....	25
6.3 Temeljna ploča i oblikovanje kontakta pete bunara i temeljnog tla .....	27
6.4 Način povezivanja stuba i bunara .....	27
6.5 Sidrenje bunara u nestabilnu podlogu .....	28
6.6 Posebnosti konstrukcije bunara koji se izvode sa spuštanjem .....	31
7. GEOSTATIČKA ANALIZA BUŠENIH ŠIPOVA .....	33
7.1 Ulazni podaci .....	33
7.2 Nosivost šipova opterećenih sa osnom silom .....	33
7.3 Nosivost šipova opterećenih sa horizontalnom silom .....	35
7.4 Nosivost šipova u grupi .....	36
8. GEOSTATIČKA ANALIZA BUNARA .....	36
8.1 Računski modeli .....	36
8.2 Određivanje uticaja na bunar .....	38
8.3 Opterećenje od pritiska zemlje .....	38
8.4 Granična stanja nosivosti i upotrebljivosti .....	39
9. IZVOĐENJE TEMELJENJA NA BUŠENIM ŠIPOVIMA .....	39
10. IZVOĐENJE TEMELJENJA NA BUNARIMA .....	40
10.1 Izrada bunara sa postepenim odkopavanjem .....	40
10.2 Izrada bunara sa spuštanjem .....	42
10.3 Posebnosti izrade bunara u nestabilnoj - plazovitoj padini .....	42
10.4 Nadzor pri građenju, monitoring i održavanje .....	43

## 1. PREDMET PROJEKTANTSKE SMJERNICE

Smjernica je namijenjena svim učesnicima u procesu planiranja, projektovanja, građenja i održavanja mostova i inženjerskih konstrukcija.

Cilj smjernice je analiza opštih geomehaničkih, konstruktorskih, tehnoloških i organizacionih saznanja koja se duboko temeljenje mostova. Izbor načina temeljenja utiče na koncept konstrukcije, građenje i održavnaje mostova.

Sadržaj projektantske smjernice obezbjeđuje povezivanje teoretskih i stručnih saznanja, podataka iz literature sa praktičnim iskustvima struke, tehničkim propisima i standardima.

Smjernica je uglavnom namijenjena gradnji novih mostova ali je istovremeno koncipirana tako da se može primijeniti i kod rekonstrukcije postojećih mostova kao i kod građenja inženjerskih konstrukcija (podporni zidovi, galerije, pokriveni ukopi, tuneli).

Bušeni šipovi su šipovi sa ugrađenim betonom i armaturom u prethodno izbušene ili iskopane kružne otvore od 80 – 150 cm u prostoru za temeljenje. Minimalna dužina šipova u nosivom sloju tla iznosi 6,0 m.

Smjernica obrađuje bušene šipove koji služe za temeljenje odnosno koji prenose sile iz objekta u temeljno tlo. Djelomično obrađuje i bušene šipove na koje djeluju opterećenja okomito na os šipa, a istovremeno služe i drugim namjenama, prije svega podpiranju zemljanih masa, obezbjeđenju iskopa i dr. (npr. pilotne stijene).

Bunar je nosivi element za prenos potpornih sila objekta u nosiva tla kroz manje nosive i nenosive slojeve temeljnog poluprostora. Izvodi se sa postepenim iskopom vertikalnog šahta uz primjenu svih zaštitnih mjera.

Obrađeni su bunari koji se izvode sa postepenim iskopom po etapama sa istovremenim izvođenjem zaštite te bunari koji se izvode sa postepenim spuštanjem prethodno izrađenog segmenta bunara.

Obično bunari imaju presjek u obliku kruga ili elipse sa minimalnim promjerom do  $D = 2,5$  m. Maksimalni promjer zavisi od osnove stuba, veličine opterećenja i dubine temeljenja. Bunari, koji se izvode sa

postepenim podkopavanjem obično su pravougaonog ili kružnog presjeka.

Kesonski način temeljenja se više ne upotrebljava u savremenom građevinarstvu i nije predmet ove smjernice.

## 2. REFERENTNI NORMATIVI

Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje konstrukcija, Sl. List SFRJ br. 15-295/90.

Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton (Sl. List SFRJ, br. 11/1987, RS, br. 52/2000).

- EN 1990:2002 Eurocode 0 - Basis of design,
- prEN 1991 Eurocode 1 – Actions on structures,
- prEN 1992 Eurocode 2 – Design of concrete structures,
- prEN 1997 Eurocode 7 – Geotechnical design,
- prEN 1998 Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance

EN 1537:1999 Execution of special geotechnical work - Ground anchors

EN 1536: 2002, izvođenje posebnih geotehničkih radova – Bušenji šipovi

DIN 4014, Bušeni šipovi, izvođenje, dimenzioniranje, nosivost

SIA 192, Fundiranje na šipovima

EN 206-1: 2003 Beton – 1. dio – Specifikacija, osobine, proizvodnja i skladnost.

## 3. TUMAČENJE IZRAZA

**Duboko temeljenje** je temeljenje na bušenim šipovima ili bunarima na dubinama većim od 6,0 m.

**Plitko temeljenje** je temeljenje na pojedinačnim ili trakastim temeljima ili pločama koji se upotrebljavaju u slučajevima kod kojih se na (dubini do 6,0 m) nalazi nosivi sloj.

**Šip** je nosivi element za prenos potpornih sila objekta u nosiva tla kroz manje nosive ali nenosive slojeve.

**Bušeni šip** je “ in situ ” izrađeni šip sa ugrađivanjem betona i armature u prethodno izbušeni ili iskopani otvor u temeljnom poluprostoru.

**Glava šipa** je gornji dio šipa koji je povezan sa elementom potprone konstrukcije.

**Noga šipa** je donja osnovna ploha cilindričnog tijela šipa preko koje se prenosi opterećenje u tla sa aktiviranjem normalnih kontaktnih napona.

**Plast šipa** je plast cilindričnog tijela šipa preko koga se prenosi opterećenje u tla sa aktiviranjem kontaktnih napona na smicanje.

**Stojeći šip** je šip koji svu ili veći dio potporne sile prenese u tlo sa aktiviranjem napona na pritisak ispod noge šipa.

**Trenjski šip** je šip koji veći dio potporne sile prenese u tla sa aktiviranjem napona na smicanje po platu šipa.

**Tlačni šip** je šip koji preuzima opterećenja na pritisak – tlačnu osnu silu.

**Zatezni šip** je šip koji preuzima silu zatezanja.

**Nosivost šipa** je fizikalna količina izražena sa simbolom građevinske mehanike za osnu silu (N), momenat savijanja (M) i poprečnu silu (N) i predstavlja graničnu vrijednost kod koje je još uvijek obezbjeđena sigurnost po kriteriju loma i upotrebljivosti.

**Oсна nosivost šipa** je nosivost šipa na osnu silu koju obezbjeđuje unutrašnja nosivost šipa (materijali u šipu) i vanjska nosivost temeljnog tla koja se sastoji iz nosivosti tla pod nogom šipa i tla po platu šipa.

**Nosivost šipa na savijanje** je nosivost šipa na momente savijanja kojeg obezbjeđuje unutrašnja nosivost šipa (materijal u šipu) i vanjska nosivost tla dostignuta sa bočnim otporom zemlje uz plast šipa.

**Zaštitna cijev – kolona** je čelična cijev koja služi kao zaštitna oplata iskopanog otvora šipa radi sprečavanja obrušavanja u iskopani otvor.

**Isplaka** je disperzija u tekućem stanju, obično mješavina koloidnih glinenih zrna i vode (ili samo vode) koja sa svojim hidrostatičkim pritiskom na zidove iskopanog otvora šipa služi kao potporni medij koji sprečava zarušavanje u iskopani otvor.

**Greda šipa** je nosivi gredni element potporne konstrukcije iz armiranog betona koja spaja glave šipova i stubove i za unos potporne sile u više šipova.

**Naglavna ploča** je nosivi element potporne konstrukcije iz armiranog betona koja povezuje glave šipova u prostorske nosive sklopove.

**Bunar** je nosivi element za prenos potpornih sila objekta u nosiva temeljna tla.

**Puni bunar** je bunar kod koga je vertikalni šaht ispunjen betonom ili šljunkovitim materijalom. Mjesto uklještenja stuba je na vrhu bunara.

**Šuplji bunar** je bunar sa praznim – neispunjenim prostorom između stuba i plasta bunara. Uklještenje stuba je u peti bunara.

**Zaštita iskopa** su sve zaštitne intervencije koje se izvode u toku iskopa bunara.

**Obruč – prsten** je nosivi armiranobetonski element u obliku zida koji preuzima pritiske zemlje u fazi izvođenja iskopa bunara.

**Brizgani beton** (torkret) je smjesa agregata, cementa, vode i dodataka koji se sa brizganjem nanosi u/ili na konstrukciju. Može obrazovati konstrukcijski beton, a može biti samo fasadna navlaka.

**Plast bunara** je plast cilindričnog tijela bunara preko koga se prenose opterećenja u temeljni poluprostor sa aktiviranjem kontaktnih napona na smicanje.

**Zid plasta bunara** je armiranobetonski zid po obodu šupljeg bunara ili bunara ispunjenog sa šljunkovitim materijalom.

**Peta bunara** je donji dio bunara preko koga se opterećenja prenose u tla sa aktiviranjem normalnih kontaktnih napona.

**Temeljni poluprostor** je prostor pod terenom sastavljen iz slojeva zemlje različitih osobina koja su odlučujuća za određivanje nosivosti tla.

**Radni plato** je prostor ili zasjecanje kosine terena radi izvođenja bunara.

## 4. UVODNI DIO

### 4.1 Podloge za projektovanje dubokog temeljenja

Bušeni šipovi i bunari su sastavni dijelovi konstrukcije mosta ili inženjerske konstrukcije kod kojih se, kao osnova za projektovanje, koriste geodetski, prometni, prostorsko-urbanistički, hidrološko-hidrotehnički, meteoro-loško-klimatski, seizmološki i geološko-geomehanički podaci za područje na kome se očekuje utjecaj objekta. Ulazni projektni podaci moraju se obezbijediti, dokumentovati i intepretirati uz poštivanje važećih propisa i PS 1.2.1 Opšte smjernice za mostove.

Temeljni dokument iz koga se preuzimaju podaci za projektovanje dubokog temeljenja je geološko-geomehanički izvještaj o sastavu tla i uslovima temeljenja. Obim izvještaja zavisi od faze projektovanja. Obično mora da sadrži sledeće geomehaničke podatke:

- geografsko geomorfološki opis područja trase
- inženjersko-geološke i strukturno geološke prilike područja trase
- podatke o seizmičnosti ispitanoga područja
- opredjeljenje geotehničkih uslova temeljenja i građenja objekta
- preglednu situaciju trase AC u području objekta
- inženjersko geološku kartu područja objekta sa ucrtanim bušotinama
- hidro-geološku kartu područja objekta
- strukturno-geološku kartu područja objekta
- podužni inženjersko-geološki-geotehnički profil
- poprečne geotehničke profile na lokaciji pojedinih stubova sa ucrtanim slojevima i podacima o sastavu tla, lokaciji plitkih i dubokih klizišta i nivoa podzemne vode.

Geološke bušotine se izvode na lokaciji svake podupore do minimalne dubine 7,0 m ispod predviđene kote dna šipa ili bunara; geomehanički uslovi temeljenja moraju prezentirati sledeće podatke:

- podjela kamenog masiva na slojeve po karakteristikama čvrstoće i deformacija. Za svaki pojedinačni sloj treba navesti: zapreminsku težinu  $\gamma$ , ugao smicanja  $\phi$ , koheziju  $c$ , elastični i deformacijski modul, Poissonov koeficijent (za analizu po konačnim elementima), modul stišljivosti  $M_v$  te vertikalni i horizontalni koeficijent reakcije tla  $K_v$  i  $K_n$ ,

- dozvoljeno opterećenje i slijeganje temeljnog tla
- analize stabilnosti sa proračunom pritiska zemlje na obod bunara (aktivni, pasivni, mirni pritisak te pritisak u momentu klizanja)
- opšta stabilnost područja za duboko temeljenje podpore.

Vrsta podataka koji su neophodni projektantu zavise od računskog modela odnosno interakcije temelj -tlo.

### 4.2 Uslovi po kojima se objekat temelji na bušenim šipovima

#### 4.2.1 Uvod

U savremenoj praksi najviše se upotrebljavaju šipovi velikih promjera radi čega i ova smjernica obrađuje projektovanje i izvođenje šipova velikih promjera.

Temeljenje na šipovima spada u najrašireniji tip dubokog temeljenja. Upotrebljava se u slučajevima kod kojih plitko temeljenje nije moguće radi slabo nosivog tla, i prekomjernog slijeganja.

Uzimajući u obzir sve prednosti, ovo temeljenje se primjenjuje prvenstveno tamo gdje je potrebno velike koncentrične sile unijeti u nosiva tla.

Izrada temelja na šipovima može se izvesti i u slabo nosivom tlu, čvrstom tlu, u podzemnim i površinskim vodama. Temeljenje na šipovima je ekonomično, sigurno i sa ekološkog stanovišta opravdano.

Savremena građevinska mehanizacija za izradu šipova omogućava brzu, efikasnu i ekonomičnu gradnju, ali zahtijeva odgovarajuće prilazne puteve i radne platoje.

#### 4.2.2 Geološko-geomehaničke prilike kao uslov za temeljenje na šipovima

Osnovni uslov za temeljenje na šipovima je slabo nosivo tlo u gornjem dijelu temeljnog poluprostora na dubinama većih od 6,0 m.

Sile podupiranja se preko vertikalnih potpornih elemenata – šipova prenose na veću dubinu. Temeljenje na šipovima je opravdano i u slučajevima kod kojih tlo u nivou temeljenja ima dovoljnu nosivost za preuzimanje potpornih sila, ali se ne može obezbijediti sigurno temeljenje zbog nedovoljne stabilnosti. Ovakvi slučajevi se obično pojavljuju na kosim terenima i padinama.

Uslovi koje diktira temeljenje na šipovima često nastupe i u području na kome se plitko temeljenje može upotrijebiti, ali nije sigurno radi drugih uticaja kao što su erozija rijeke i moguće promjene u profilu terena u budućnosti.

Temeljenje na šipovima često diktira i nivo podzemne vode i njen režim pri iskupu građevinske jame (prejak dotok, problem hidrauličkog loma temeljnog tla, uticaji na susjedne objekte i dr.) za slučaj da se objekat plitko temelji.

Temeljenje na šipovima se takođe upotrebljava u slučajevima u kojima bi građevinska jama plitkog temeljenja narušila stabilnost slojeva zemlje uz građevinsku jamu i zahtijevala dodatne intervencije za obezbjeđenje sigurnosti okolnog terena.

#### **4.2.3 Statički koncept kao uslov za temeljenje na šipovima**

Temeljenje na bušenim šipovima je posebno opravdano za objekte kod kojih je usvojeni koncept osjetljiv na veća slijeganja podpora.

U ovu grupu posebno spadaju objekti koji su umetnuti odmah pod kolovozom ceste i kod kojih slijeganja direktno utiču na pojavu opasnih deformacija kolovoza.

Za statički neodređene i okvirne konstrukcije mogu nejednaka slijeganja prouzrokovati dodatna opterećenja. Kod ovakvih konstrukcija je temeljenje na šipovima potpuno opravdano pošto obezbjeđuje neposredan unos potpornih sila u dobro nosive slojeve.

U težnji ka objektima bez dilatacija i ležišta (integralne konstrukcije) odnosno objektima sa minimalnim brojem ovih elemenata, postaju statički koncepti sa temeljenjem na šipovima u pravilu najugodniji pošto su donji dijelovi stubova i upornjaka fleksibilniji i dozvoljavaju veća pomjeranja pri relativno malim unutrašnjim opterećenjima.

#### **4.2.4 Lokacija objekta kao uslov za temeljenje na šipovima**

Po pravilu temeljenje na šipovima manje ovisi od prilika na lokaciji gradnje i terenu pod objektom pošto su uticaji građenja mnogo manji od uticaja koji bi se pojavili kod plitvog temeljenja.

Temeljenje na šipovima može se primijeniti bez većih problema kada objekat treba temeljiti u vodi (rijeka, more) pošto je izvođenje sa radnih platoa na pontonima već provjereno. Tehnologija podvodnog produžetka šipova u stubove ne predstavlja nikakav problem za osposobljene izvođače.

U većim koritima kod kojih je povećana opasnost od erozijskih promjena u koritu, prije svega produbljivanje korita, temeljenje na šipovima predstavlja sigurniji način.

Temeljenje na bušenim šipovima ne odgovara kod temeljenja podupora na strmim terenima, posebno na nestabilnim kosinama u kojima je izvođenje prilaznih puteva i radnih platformi problematično i može izazvati nestabilnost padine.

#### **4.2.5 Uslovi izvodljivosti bušenih šipova**

Kod izbora koncepta konstrukcije treba uzeti u obzir uslove izvodljivosti šipova i upozorenja izvođača ispitivanja temeljnog tla i to:

- kod izrade šipova u koherentnoj zemlji sa malom plastičnošću, vibracije kod izvođenja mogu pretvoriti materijal u žitko konzistentno stanje,
- pri bušenju se može naići na neočekivane prepreke (sakriveni stari objekti, temelji itd.),
- kod iskopa u mekoj koherentnoj zemlji, koja se lijepi na radnu kolonu, kod betoniranja se može pojaviti upadanje betona sa strane radi nedovoljnog podpornog učinka okolne zemlje za svježi beton,
- kod izvođenja u šljunku sa pretežno velikim zrnima, gdje je radi velike propusnosti upitno pridržavanje svježega betona u profilu iskopa, može doći do pretakanja betona među zrna,
- susret sa velikim kamenjem (samci) u koherentnom i nekoherentnom tlu. Ovi samci se pri udaranju sa sjekačem – grajferom ponašaju kao opruge kada sjekač ostaje bez učinka,
- kod iskopa u lisnatim-slojevitim stijenama sjekač nema učinka,
- kod nagnjenih slojeva može doći do iskliznuća – pomjeranja dna radne kolone,
- u kosinama nasipa i kod različitih debljina slojeva može nastupiti tendencija nagnjanja kolone iskopa,



- posebno je opasno izvođenje u slojevima sa podzemnom vodom koja je pod pritiskom (arteška voda), može nastupiti opasnost od loma tla u radnoj koloni i nastanka arteškog bunara u bušotini sa posledicama doticanja vode iz arteških slojeva,
- kod izvođenja u tlu sa agresivnim osobinama ili agresivnom podzemnom vodom, potrebno je uzeti u obzir agresivne uticaje na izveden šip,
- uzeti u obzir sve ostale moguće specifičnosti tla.

Izvodljivost šipova treba provjeriti i sa stanovišta lokacije gradnje. Često se pojavljuju slijedeća ograničenja:

- pristup garniture za bušenje (dimenzije stroja) i potrebna veličina radnog platoa,
- nedovoljan radni prostor (uzak) za izradu šipova,
- nedovoljna slobodna visina za izradu šipova (npr. ispod vodova visokog napona),
- visinski položaj platoa za izradu koji ograničava moguće varijante izrade,
- nosivost planuma radi pristupa strojeva (zelo slaba nosiva tla),
- komunalne instalacije u tlu i zraku, prije svega plinovodi i visokonapetostni vodovi kada je potrebno uzeti u obzir sigurnosne udaljenosti,
- ograničenje buke radi bezbijednosti stanovništva u okolini, sprečavanja emisije buke,
- ograničenje radnog vremena radi zabrane buke u naseljima.

Iz navedenih uslova može se zaključiti da postoji veliki broj ulaznih parametara koji su za svaku lokaciju građenja specifični. Radi toga projektovanju treba pristupiti sa velikom pažnjom uzimajući u obzir navedene specifičnosti.

#### 4.2.6 Tehnologija građenja kao uslov za temeljenje na šipovima

Temeljenje na šipovima ne zahtijeva veliki utrošak vremena niti prouzrokuje nepredviđene situacije koje bi produžile rok izvođenja (osipavanje građevinske jame, nepredviđena pojava podzemne ili površinske vode i dr.).

Temeljenje na šipovima ne zavisi od vremenskih uslova, kao što su niske i visoke temperature, od dugotrajne kiše i raskvašenog terena, od povećanog vodostaja

(ako su blagovremeno izvršene intervencije) i dr.

Objekat temeljen na šipovima obično se ne ukopava duboko pošto se može temeljiti na površini terena sa čime se smanjuje količina iskopa i ugrađenog materijala te smanjiti učešće rada za izgradnju.

Kod dubokog temeljenja mostova i vijadukata velikih raspona, kod kojih treba prenijeti na temelje velike oslonačke sile koje zahtijevaju veliki broj šipova, temeljenje na bušenim šipovima ne daje najbolje rješenje pošto zahtijeva izradu naglavnih ploča velikih dimenzija sa svim pripadajućim problemima.

Povoljna je izgradnja upornjaka na visokim nasipima pošto se bušenje šipova izvodi kroz izvedeni nasip. Slijeganje upornjaka ne zavisi od slijeganja nasipa koji se nalazi između betoniranih šipova.

Kod temeljenja na bušenim šipovima smanjuje se mogućnost zagađenja podzemnih voda u poređenju sa temeljenjem u otvorenoj jami pod uslovom da se pravilno izvodi održavanje mehanizacije.

Specijalizirana preduzeća za izvođenje geomehaničkih radova i druga građevinska preduzeća raspomagaju sa dovoljnim brojem savremenih bušaćih garnitura za izradu bušenih šipova. Ova mehanizacija se ne može upotrebljavati za druge građevinske radove zbog čega je treba smišljeno upotrebljavati.

#### 4.3 Uslovi pod kojima se objekat temelji na bunarima

Temeljenje na bunarima kao način dubokog temeljenja upotrebljava se naročito u slijedećim slučajevima:

- kod temeljenja podupora objekata za premošćavanje na kosinama kod takozvanih padinskih vijadukata, koji se protežu po dužini padine ili kod premošćavanja dolina kada to zahtijevaju geološki sastav tla, nagib padine i gdje je pristup teške mehanizacije (garniture za bušenje šipova) otežan ili nije moguć,
- kod temeljenja objekata za premošćavanje sa velikim rasponima kod kojih bi veliki broj šipova za pojedinačne podupore, zahtijevao neekonomične i velike naglavnice – ploče,
- u slučaju kada je temeljenje na bunarima jeftinije,

- temeljenje na bunarima u poređenju sa temeljenjem na bušenim šipovima omogućava neposredniji prenos sile iz stuba u temeljna tla.

Način dubokog temeljenja sa bunarima usvaja se u slijedećim primjerima:

- kod očuvanja prirodne stabilnosti kosine – padine (rastresita i razmočena tla),
- kod obezbijeđenja stabilnosti temelja i podupora u slučajevima kada dođe do klizanja preperinskog – površinskog dijela terena u području objekta,
- kod prenosa velikih opterećenja sa malim deformacijama u stabilna temeljna tla na većim dubinama gdje gornji slojevi iskazuju malu nosivost odnosno kada nisu ispunjeni uslovi za plitko temeljenje zbog nestabilnog terena,
- kada tla u fazi iskopa u kratkom vremenu izgube otpornost odnosno postanu nestabilna,
- gdje je potrebna veća visina stubova odnosno smanjenje njihove krutosti (upotrebljava se rješenje sa šupljim bunarima),
- kada bi izgradnja pristupnih puteva ili radnih platoa za mehanizaciju prouzrokovala nestabilnost padine.

Prednosti temeljenja na bunarima su sledeće:

- omogućen je direktni prenos opterećenja od stuba do nosivog temeljnog tla,
- temeljna tla su po čitavoj dubini vidna i pod kontrolom,
- stvarna pravilna dubina temeljnog tla može se odrediti u toku izvođenja iskopa u pogledu stvarnih osobina tla,
- bunar je istovremeno i zaštita građevinske jame i ne prouzrokuje pomjeranje tla,
- intervencija u okolinu je minimalna.

Temeljenje na bunarima je opravdano u relativno kohezivnim materijalima i u primjerima kada je nivo podzemne vode niži od kote temeljenja. U nekohezivnim materijalima može se izvesti zaštita po obodu šahta (injekcijske zavjese, torkret). U slučaju da su tla relativno slabo propusna, nivo podzemne vode se može spustiti ispod nivoa temeljenja sa ispunjavanjem vode.

U ručevitim područjima moraju se uzeti u obzir morfološki i geološki uslovi te ispuniti slijedeći zahtjevi:

- plašt bunara mora primarno štiti stub od djelovanja pritiska zemlje,
- pri gradnji oboda (plašta) bunara potrebno je obezbijediti odvodnjavanje površinske

vode sa čime se izbjegava dodatna destabilizacija klizne padine,

- plašt bunara mora obezbijediti zaštitu pri izvođenju iskopa bunara u fazi građenja, a kasnije zaštitu stuba u fazi upotrebe objekta,
- plašt bunara mora opterećenja pritiska zemlje i pomjeranja padine, koji se mogu očekivati, prenijeti bez oštećenja na nosiva tla.

Za bunare važe tehnička i ekonomska ograničenja, koji su međusobno tijesno povezana. S tehničkog aspekta su ta ograničenja data, ako tla u kratkom vremenu postaju nestabilna i kada se radi o malim dubinama. Ovo važi prije svega za fini pijesak i mulj koji su izloženi prodoru vode i za raspadnute stijene ispod nivoa podzemne vode odnosno u prisutnosti porne vode.

Kod temeljenja podupora u vodi (rijekama, jezerima itd.) upotrebljavaju se bunari koji se izvode po segmentima na privremeno nasutim poluotocima ili otocima i postepeno spuštaju sa potkopavanjem. Razumna dubina temeljenja u vodi je 6 – 8 m u poređenju na radni nivo vode.

Na suhom ravnom terenu je upotreba dubokog temeljenja na vodnjacima opravdana pri većim dubinama od 6,0 m, u protivnom se izvede plitko temeljenje sa širokim iskopom.

## 5. PROJEKTOVANJE I KONSTRUIRANJE TEMELJENJA NA BUŠENIM ŠIPOVIMA

### 5.1 Izbor promjena, dužine, broja i rasporeda bušenih šipova

#### 5.1.1 Općenito

Kod izbora šipova potrebno je uzeti u obzir sve parametre koji su navedeni u prethodnoj tački (poglavlje 4.2):

- osnova za određivanje promjera šipa je prije svega zahtijevana nosivost (osna i na savijanje), izvodljivost i raspoloživa tehnologija,
- za manje mostove i sa tim manje uticaje usvajaju se šipovi manjih promjera ( $\varnothing$  80 i  $\varnothing$  100 cm), za veće mostove sa većim uticajima šipovi većih promjera ( $\varnothing$  125 i  $\varnothing$  150 cm),
- dužinu šipa po pravilu diktiraju geomehanički uslovi, prije svega dubinu nosivog tla, dok se vrh šipa određuje na osnovu izabranog koncepta, geometrije objekta, profila terena i drugih specifičnosti koje diktira lokacija građenja,
- raspored šipova prilagođava se konceptu podupora. Treba težiti ka manjem broju šipova većeg promjera jer je neugodni međusobni uticaj manji sa čime je model preuzimanja opterećenja jasniji i lakše praćenje toka sile.
- po mogućnosti treba šipove rasporediti tako, da nije potrebna gradnja velikih naglavnih greda i ploča.

#### 5.1.2 Izbor promjera šipa

Promjer šipa određuje projektant na osnovu proračuna nosivosti po jednoj od metoda a na osnovu:

- rezultata statičkog probnog ispitivanja,
- rezultata empirijskih ili analitičkih metoda proračuna,
- rezultata dinamičkog probnog ispitivanja,
- na osnovu praćenja ponašanja sličnog temeljenja na šipovima.

Pri usvajanju pojedinih parametara mora se voditi računa, da su rezultati u skladu sa mjerodavnim iskustvima stečenim na sličnim temeljenjima.

Kod aproksimativnog određivanja nosivosti šipa na osnovu koga se radi koncept konstrukcije, uključujući i temeljenje, mogu se upotrijebiti informativne vrijednosti koje navode različiti izvori za uobičajene vrste zemljanih i stjenovitih materijala. U poglavlju 7 navedene su informativne karakteristike po DIN V 1054-100 i pojednostavljene jednačine za određivanje nosivosti šipa.

Pored proračunate vanjske nosivosti treba provjeriti i unutrašnju nosivost šipa po metodama dimenzioniranja za kružni presjek sa ili bez armature.

Izvijanje se po pravilu ne uzima u obzir sa izuzetkom dugih šipova u temeljnom poluprostoru sa izrazito mekim ili žitkim slojevima tla po dužini šipa ili kod šipova koji se produžavaju u vodi ili zraku. Sile strujanja vode, opterećenja od udara plovni predmeta i leda te udari vozila u stubove povećavaju početne geometrijske imperfekcije, a sa tim i opasnost izvijanja šipa zajedno sa stubom.

Na izbor promjera šipa utiče i način izrade (sa kolonama ili ispiranjem) i dubina bušenja.

Omjer promjera i dužine bušenog šipa prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1: Dužine šipova u zavisnosti od načina zaštite

Šip u zaštitnoj koloni			
promjer	$\varnothing$ 0,8 m	$\varnothing$ 1,2 m	$\varnothing$ 1,5 m
dužina	max 20 m	do 25 m	35 m

Šip u bušotini sa ispiranjem			
promjer	$\varnothing$ 0,8 m	$\varnothing$ 1,2 m	$\varnothing$ 1,5 m
dužina	max 20 m	do 30 m	40 m

Sa izborom šipova većeg promjera postiže se ekonomičnije građenje pošto nosivost raste približno sa kvadratom promjera, lakše se obezbjeđuje bezprijekornost i bolji uslovi za ugrađivanje betona, bolja zaštita armature, smanjuje se opasnost od nehomogenosti šipa itd.

#### 5.1.3 Izbor dužine šipa

Izbor dužine šipa diktiraju geomehaničke karakteristike u temeljnom poluprostoru, dubina sloja zemlje povoljne za temeljenje, odnosno dubina kompaktne stijene. Po pravilu se usvaja dubina koju predloži stručnjak za geomehaniku, a određena je na osnovu geomehaničkih ispitivanja i navedena u elaboratu.

Kod određivanja konačne dužine (dubine) šipa, često se projektant služi i podacima o sastavu tla koje prikupi u toku izvođenja iskopa za prvi šip tako, da slijedeće šipove može produbiti ili skratiti prema potrebama. U ovakvim slučajevima moraju se uzeti u obzir opasnosti navedene u slijedećem stavku.

Kod određivanja dužine (dubine) treba posebno paziti na kontrolu debljine sloja u koga se ukopava noga šipa, pošto može nastupiti probijanje sloja u koliko je njegova debljina premala.

Kod izbora većih dužina šipova važna je predviđena primjena tehnologije građenja sa ograničenjima koje prouzrokuje trenje pri utiskivanju zaštitne kolone i pri ugrađivanju dugih i teških armaturnih koševa.

Raspoloživa oprema omogućava sigurno izvođenje šipova do 35 m dubine.

#### 5.1.4 Raspored bušenih šipova

Kod rasporeda šipova ispod podupore objekta mogu se primijeniti dvije osnovne raspodjele:

- raspored pojedinačnih šipova ispod podpore konstrukcije pri čemu geotehnički uslovi i razmak šipova obezbijavaju pojedinačno djelovanje šipova,
- raspored šipova ispod podupora konstrukcije u broju i sa razmakom uz poštivanje geotehničkih uslova u kojima se govori o grupi šipova.

U praksi se obično podupore mostova temelje na više šipova. Kod manjih objekata mogu se srednje podupore temeljiti na jednom samom šipu većeg promjera ( $\varnothing 150$  cm), koji se nastavlja u stub. Uticaje susjednih šipova ne treba uzimati u obzir (redukcija nosivosti) u koliko osovinski razmak iznosi najmanje 3 d (tri promjere šipa). Ovo predstavlja grubu procjenu pošto geomehanički uslovi i uslovi prenosa opterećenja iz šipa u temeljna tla (normalna sila ispod noge šipa, sila trenja po obodu šipa) bistveno utiču na nosivost. Na osnovu analize mehanizma unosa sile šipova u tla, uz poštivanje geomehaničkih prilika, mogu se međusobni uticaji detaljnije analizirati.

Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje objekata određuje najmanje dozvoljene razmake između šipova (gledaj tab. 2), apsolutni minimalni razmak određuju izvodljivost i karakteristike temeljnog tla.

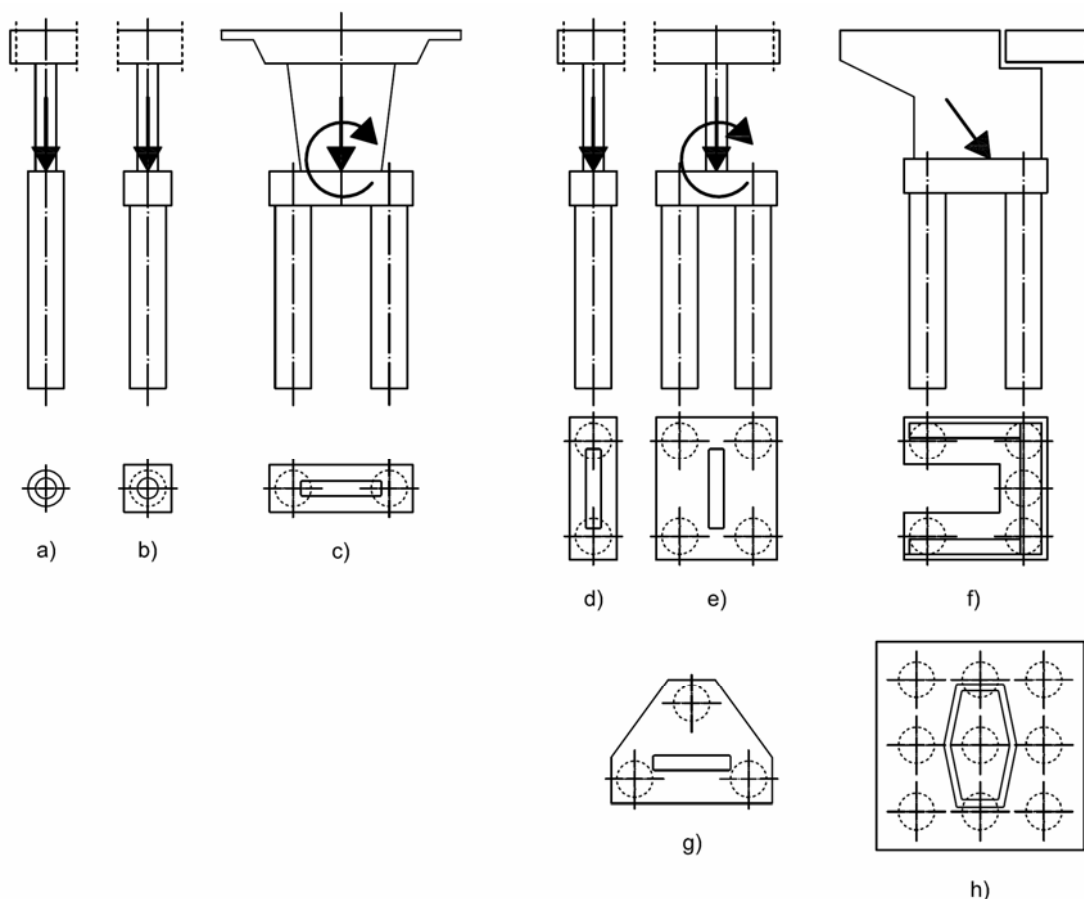
Tabela 2: Minimalni razmak između šipova

Kod šipova koji prenose opterećenja u tla uglavnom samo preko noge šipa.	2,5d
Kod šipova u nekoherentnom tlu veće gustoće, koji prenose opterećenje u tla uglavnom sa trenjem.	3 d
Kod šipova u nekoherentnom tlu male gustoće i u koherentnom tlu, koji prenose opterećenja u tlo uglavnom sa trenjem.	5 d

Posebno je važno da se uzmu u obzir uticaji međusobnog djelovanja kod dugih šipova koji prenose opterećenje sa trenjem, dok su međusobni uticaji kod stojećih šipova na tvrdoj kamenoj podlozi bistveno smanjeni. Tačniji postupak određivanja nosivosti grupe šipova kod preuzimanja vertikalnih i horizontalnih sila je naveden u poglavlju 7. Pored usvajanja uticaja rasporeda šipova na nosivost jako je važan i raspored šipova radi unosa oslonačkih sila iz konstrukcije u šipove. Treba težiti ka rasporedu šipova koji obezbijuje optimalan model unosa sila u temeljna tla i ekonomični koncept elemenata poduporne konstrukcije.

U nastavku je navedeno nekoliko primjera sa konceptom naglavnih greda, koji proizilaze iz rasporeda šipova i usmjerenja oslonačkih sila (slika 5.1).

Kod potpora veći objekata sa velikim oslonačkim silama, potpore se temelje na grupi šipova sa velikim, masivnim naglavnicama – pločama ili se temeljenje izvodi na bunarima.



Slika 5.1: Mogući rasporedi bušenih šipova za potpore mostova

## 5.2 Konstruisanje armature za bušene šipove

### 5.2.1 Opšta uputstva

Količina potrebne armature po dužini šipa određuje se na osnovu dimenzioniranja presjeka šipa za izračunate unutrašnje statičke količine u šipu. Kod oblikovanja armature šipa treba uzeti u obzir:

- računski određenu količinu podužne (glavne) armature i armature uzengija,
- tehničke propise za područje armirano-betonskih konstrukcija,
- principe konstruisanja armature koji važe za okrugle presjeke,
- fizikalno tehnološke karakteristike armature,
- specifične zahtjeve koje diktiraju tehnološki uslovi građenja.

Prve tri odredbe se ispunjavaju kroz uobičajeno poznavanje analize i dimenzioniranja konstrukcija, koji važe za okrugle presjeke opterećene na pritisak i savijanje sa velikim ili malim ekcentricitetom osne sile.

Fizikalno tehnološke osobine armature, koja se ugrađuje u šipove su važne radi određivanja potrebnih dužina za sidrenje i dužina za nastavljanje – preklopi, te radi pravilne obrade (sposobnost krivljenja, zavarivanja).

Osobine mora dostaviti isporučilac u obliku odgovarajućih certifikacijskih dokumenata – atesta.

Brojne specifične zahtjeve za konstruisanje armature šipova diktiraju tehnološki uslovi ugrađivanja armature, koji zavise od tehnologije građenja šipova, od geotehničkih uslova, hidrologije i niza drugih posebnih zahtjeva čije neprihvatanje stvara posledice za slabu izradu, odnosno postaju neizvodljivi. Iz gore navedenog proizilazi potreba za neophodno sudjelovanje projektanta i osposobljenog izvođača izrade šipova, odnosno ovlaštenog tehnologa.

Tehnologija građenja šipova diktira ugrađivanje armature za čitavu dužinu šipa u jednom komadu ili sa produžavanjem koša u toku građenja. Armatura se oblikuje u samonosive armaturne koše, koji moraju biti dovoljno čvrsti i kruti da se ne deformiraju zbog vlastite težine prilikom transporta,

dizanja sa tla i ugrađivanja. Sledeće opterećenje nastaje od kinematičke sile tečnog betona pri betoniranju šipa (obično sa lijakom – kontraforom). Armaturni koševi su istovremeno i potporne konstrukcije za oplatu iz čeličnih cijevi (kolone) za slučaj da se šipovi betoniraju u vodi.

Uz poštovanje svih navedenih uslova za izvođenje, mogu nastupiti dva osnovna načina izrade armaturnih koševa:

- vezani armaturni koševi na zavarenoj nosivoj konstrukciji,
- zavareni nosivi koševi.

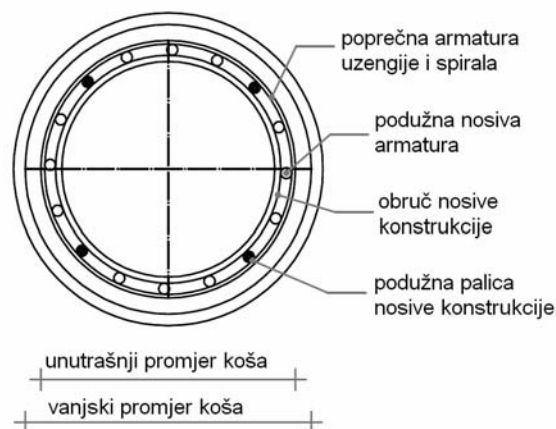
### 5.2.2 Vezani armaturni koševi

**Vezane armaturne koševе** sačinjavaju nosiva konstrukcija koja se priprema iz čelika dovoljne žilavosti i sposobnosti za zavarivanje, i nosiva armatura koja se sa paljenom žicom priveže na nosivu konstrukciju. Nosiva konstrukcija se sastoji iz podužnih nosivih palica i nosivih obručeva i podpornog obruča na dnu konstrukcije i kuka za ugrađivanje na vrhu koša. Podužne nosive palice konstrukcije mogu se zavariti sa nosivim obručima sa unutrašnje ili vanjske strane obruča. Za izradu nosive konstrukcije dozvoljena je upotreba neatestiranog konstrukcijskog čelika i armature te izrada varova bez atestiranja.

**Podužne palice** nosive konstrukcije (slika 5.2) obično se ugrađuju sa istim promjerom kao palice podužne nosive armature – tabela 6. U slučaju da su palice konstrukcije većeg promjera onda se privare sa unutrašnje strane obručeva. Podužne palice moraju biti iz čelika koji se može variti.

**Obruči nosive konstrukcije** obično se izrađuju iz konstrukcijskega čelika okruglog ili pravougaonog presjeka ili armaturnog čelika koji se može variti. Kod izrade treba poštovati tehnološke zahtjeve, prije svega vanjske promjere obruča, pošto oni određuju vanjski promjer ukupnog koša, a sa tim i njegovo odgovarajuće ugrađivanje.

U tabeli 3 navedeni su razmaci između obruča iz pločastog ili okruglog čelika u zavisnosti od promjera podužnih palica. U slučaju da se obruči iz okruglog ili armaturnog čelika udvostruče sa razmakom 10 – 20 cm, onda važe ostojanje za obruče iz pločastog čelika.



Slika 5.2: Sastav armaturnog koša šipa

Tabela 3: Razmak nosivih obruča

Promjer podužnih palica konstrukcije	Obruči iz pločastog čelika	Obruči iz okruglog čelika
$\varnothing \leq 20 \text{ mm}$	2,5 m	1,75 m
$\varnothing > 20 \text{ mm}$	3,0 m	2,00 m

Tabela 4: Presjek pločastog čelika nosivih obruča

Promjer šipa	Presjek pločastog čelika obruča
$\varnothing 80 \text{ cm}$	60 x 8 mm
$\varnothing 120 \text{ cm}$	80 x 8 mm
$\varnothing 150 \text{ cm}$	100 x 10 mm

Kod ugrađivanja koša u iskopanu bušotinu te kod ugrađivanja betona u tijelo šipa, koš preuzima velika opterećenja radi čega otpornost nosivih obruča, kod šipova većeg promjera, često nije dovoljna. Radi toga se ugrađuje armatura koja dodatno obezbjeđuje sigurnost na pojavu deformacija. Obično se ugrađuju križevi iz armaturnog čelika, koji kod šipova većeg promjera ne predstavljaju bistvene smetnje za prolaz cijevi kroz koje se ugrađuje beton (slika 5.3).

Kod teških koševa se preporučuje ugrađivanje kosih palica – dijagonala, koje sprečavaju transversalnu deformaciju koša.



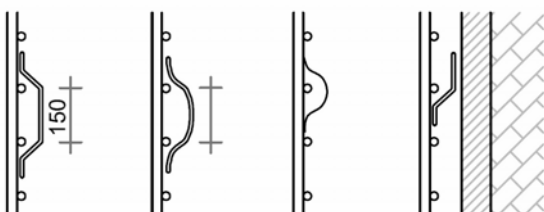
Slika 5.3: Križ za razupiranje

**Distanceri** su vrlo važni elementi armaturnog koša pošto obezbjeđuju potrebna ostojanja koša od kolone i konačnog ostojanja koša od vanjskog plašta šipa odnosno iskopa, te osiguravaju debljinu zaštitnog sloja betona iznad armature. U tabeli 5 su navedene minimalne debljine zaštitnih slojeva betona u zavisnosti od tehnologije izvođenja šipova.

Kod izvođenja šipova u zaštitnim kolonama upotrebljavaju se distanceri napravljeni iz armature i zavare na nosivu konstrukciju koša ili distanceri iz vlaknastog betona. Kod izvođenja šipova bez zaštitne kolone preporučuje se upotreba distancera iz pločastog čelika koji se naslanjaju sa većom površinom na stijene iskopane bušotine. Na slici 5.4 prikazane su provjerene izrade distancera.

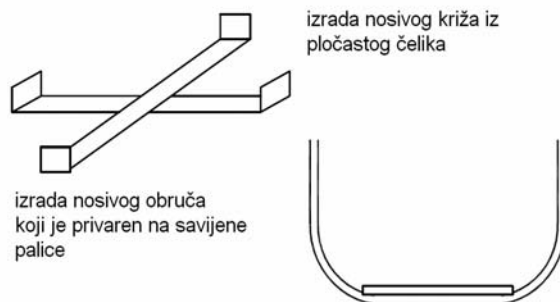
Tabela 5: Najmanja debljina zaštitnog sloja betona iznad armature

Tehnologija izvođenja	Debljina zaštitnog sloja betona
Za šipove $\varnothing \geq 80$ cm koji se izvode u zaštitnoj koloni	$c = 6$ cm
Za šipove koji se izvode bez zaštitne kolone	$c = 7,5$ cm
Za šipove iz podvodnog betona i betona sa najvećim zrnom do 32 mm.	
Za šipove sa većim neravninama po obodu iskopane bušotine.	



Slika 5.4: Ugrađivanje distancera

**Noga koša** mora se izvesti tako, da omogućava pristup cijevi za ugrađivanje betona, posebno na dnu iskopane bušotine, da spriječi dizanje koša kod izvlačenja bušaće kolone ili cijevi za betoniranje te da spriječi prodiranje koša u dno iskopa bušotine. U upotrebi su izrada sa savijenim palicama podužne armature ili sa privarenim distancerima u obliku križa u kombinaciji sa nosivim obručima koji se zavare na dnu podužnih palica. Slika 5.5 prikazuje najčešće upotrebljivane izrade.



Slika 5.5: Izrada noge koša

**Podužna nosiva armatura** ugrađuje se simetrično ili asimetrično u zavisnosti od statičkih opterećenja. Radi moguće pojave grešaka kod ugrađivanja asimetrične armature obično se preporučuje ugrađivanje simetrične armature. Obično se upotrebljava standardna rebrasta armatura.

Podužna armatura koša se određuje sa dimenzioniranjem okruglog presjeka za statička opterećenja koja se odrede sa analizom konstrukcije. Često se događa da je proračunata armatura (ili minimalna armatura) previše elastična i ne obezbjeđuje dovoljnu krutost armaturnog koša. U ovakvim slučajevima treba primijeniti preporuke o minimalnim promjerima i razmacima armaturnih palica podužne armature, koje su navedene u tabeli 6.

Tabela 6: Promjer i razmak nosivih podužnih palica armaturnog koša

Promjer šipa	Promjer podužne armature	Razmak podužne armature
$\varnothing \leq 100$ mm	$\geq 16$ mm	$\leq 20$ cm
$\varnothing \geq 120$ cm	$\geq 18$ mm	$\leq 20$ cm
$\varnothing \geq 150$ cm	$\geq 20$ mm	

U primjeru dugih koševa koji se ugrađuju po dijelovima, podužna se armatura produžava sa preklapom ili na neki drugi način prema uslovima koji su određeni propisima i standardima.

**Poprečnu nosivu armaturu** šipova predstavljaju uzengije izrađene prema pravilima koja važe za uzengije. Promjer armature uzengija ne smije biti manji od jedne četvrtine najmanjeg promjera podužne armature. Radi specifičnosti armiranja šipova u tabeli 7 su navedene preporuke za izbor promjera armature uzengija u zavisnosti od promjera podužne armature.

Tabela 7: Promjer armature uzengija šipova

Promjer podužne armature	Promjer uzengija
16 mm	8 – 10 mm
20 mm	12 – 14 mm
25 mm	12 – 16 mm
28 mm	16 mm

Do promjera  $\varnothing \leq 12$  mm armatura uzengija se oblikuje kao spirala. Za spiralnu armaturu može se upotrebiti obična glatka armatura. Razmak uzengija ili hod spirale ne smije biti veći od 12 najmanjih promjera podužne armature.

Za spiralu se preporučuje da hod spirale ne prelazi  $1/5$  promjera šipa, dok se kao maksimalna vrijednost preporučuje do 25 cm. U području unošenja sila u bušeni šip treba gore preporučene razmake uzengija i hoda spirala smanjiti na polovicu.

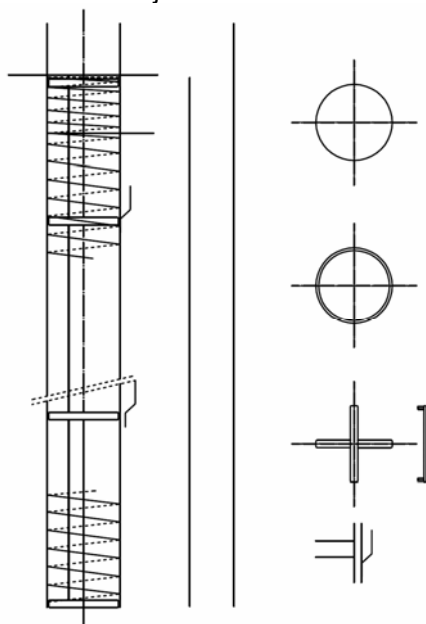
Preklopi spiralne armature koje se izvode sa kukama ili bez njih moraju se izvesti sa dovoljnom preklopnom dužinom.

Ugrađivanje uzengija treba produžiti u elemente poduporne konstrukcije (npr. u naglavnu gredu) ako to uslovi kontinuitete prenosa sila zahtijevaju.

Cjelokupan koš se prikazuje u nacrtu kroz crtež armaturnog koša sa detaljnim prikazom pozicija i detalja. Slika 5.6 prikazuje uzorak armaturnog nacrtu koša bušenog šipa.

### 5.2.3 Zavareni armaturni koši

Zavareni armaturni koši izgrađuju se od podužne armature i uzengija (spirale). Armatura mora posjedovati certifikat o varljivosti pošto se svi međusobni spojevi izvode zavarivanjem.



Slika 5.6: Armaturni nacrt šipa

Podužna i poprečna armatura obrazuju strukturu u obliku mreže koja ima dovoljnu krutost zbog zavarenih čvorova tako da otpada potreba za izradu nosive konstrukcije koša. Spojevi između podužne i poprečne armature mogu se variti ručno ili u stroju za varenje.

Izrada koša sa ručnim varenjem dozvoljena je uz uslov upotrebe prenosnih aparata za varenje koji garantuju standardizovanu izradu uporednog tačkastog varenja sa provjerenim električnim tokom i naponom, tačno određenom silom pritiska i vremenom varenja. Kod poznate strukture čelika podužne armature i uzengija, koja se može variti, mora se postupak varenja programirati na način koji ne mijenja strukturu čelika pošto bi ta promjena prouzrokovala promjene fizikalno-tehnoloških osobina čelika. Geometrijski oblik koša, izvođač mora obezbijediti uz pomoć odgovarajućih šablona.

Izrada zavarenih koševa obično se obavlja uz pomoć strojeva za varenje gdje je postupak varenja u potpunosti automatizovan, proizvodnja pod stalnom kontrolom i atestirana. Sa upotrebom automatizovanog postupka isključuje se ljudski faktor, koševi su kvalitetno izrađeni sa malim odstupanjima od projektovane geometrije i drugih zahtjeva koji su određeni u projektu.

Kod planiranja varenih koševa, projektant mora poštovati tehnološke specifičnosti strojne opreme za izradu koševa, dok je izvođač pri nabavljanju strojne opreme dužan provjeriti da li proizvedeni koševi odgovaraju zahtjevima tehničkih propisa i standarda. Izvođač je takođe dužan obezbijediti materijal koji po tehnološkim osobinama odgovara za proizvodnju koševa te organizovati stalnu kontrolu proizvodnje koševa od strane ovlaštene institucije.

## 5.3 Bušeni šipovi u vodi i mekom tlu

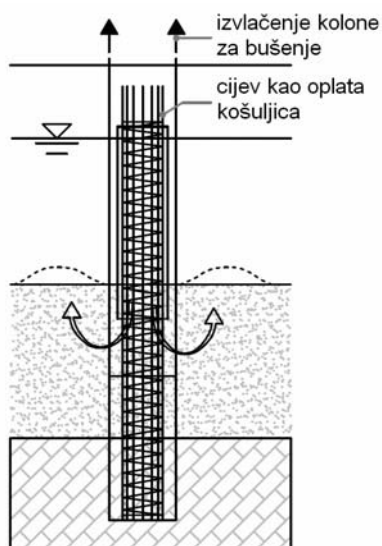
### 5.3.1 Uslovi u kojima se izvode šipovi u zaštitnoj cijevi

Kada se izvode bušeni šipovi sa zaštitnom kolonom za bušenje koja se po završenom iskopu izvlači (uobičajena izrada), onda se u ovakvim primjerima šipovi izrade uz pomoć zaštitne cijevi – košuljice koja u nastavku procesa izvođenja služi kao oplata. Ovakvi slučajevi nastupaju:

- kada se bušeni šipovi produžavaju do spoja sa stubovima ili upornjacima kroz vodu (slika 5.7),



- kada kroz temeljna tla struji voda ili podzemna voda sa brzinom koja može isprati beton po izvlačenju zaštitne kolone za bušenje (slika 5.8),
- kada se šipovi izvedu u jako mekom ili žitkom tlu ( $C_u \leq 0,015 \text{ MN/m}^2$ ) ili u tlu sa malom zapreminskom gustoćom u kojima efekat otpora po zidu iskopane bušotine šipa ne obezbjeđuje ravnotežu između hidrostatičkog pritiska svježeg betona i okolne zemlje uz šip. U ovakvim primjerima može nastupiti bočno izvijanje okolnog materijala u slučaju nastanka većeg nadpritiska betona prema površini (slika 5.9).



Slika 5.7

U ovakvim slučajevima promjer koša treba smanjiti za debljinu zida košuljice i zaštitnog sloja betona. Isto tako treba uzeti u obzir »mostove« korozije odnosno elemente za pričvršćenje košuljica na armaturni koš. U ovim primjerima košuljice nije potrebno trajno štiti na uticaj korozije (samo radionički za vrijeme ugrađivanja), radi čega je potrebno izabrati trajnije materijale za košuljice. U tabeli 8 navedene su debljine zida košuljice koje se preporučuju za upotrebu za različite promjere šipova.

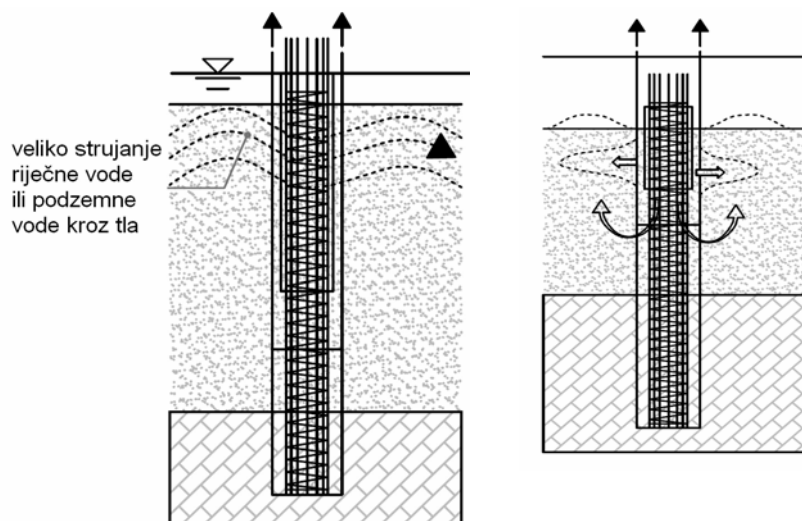
Košuljice se izvedu kao stalni elementi konstrukcije u naprijed navedenim primjerima, naročito kada je šip u cjelosti izrađen u vodi ili je ispod nivoa niske vode neposredno produžen u riječni stub. U ovakvim slučajevima treba u projektu predvidjeti upotrebu jačih košuljica (gledaj

### 5.3.2 Konstrukcija čeličnih cijevi za oplatu (košuljica)

Radi tehnologije izrade šipa treba uvijek košuljicu pričvrstiti na armaturni koš.

Čelične cijevi koje u procesu izrade šipa služe kod oplata, u nastavku teksta »košuljice«, ugrađuju se kao zaštitni (pomoćni) ili trajni elementi konstrukcije.

Kada košuljice služe kao oplata koja štiti beton od ispiranja ili izrivanja (slika 5.8 i 5.9) onda košuljice imaju privremenu ulogu. U ovakvim slučajevima vremenom košuljice »nestanu«, radi čega se mora obezbijediti zaštitni sloj betona nad armaturnim košem. Za vanjski promjer košuljice važe isti zahtjevi kao i za vanjski promjer armaturnog koša.



Slika 5.8

Slika 5.9

tabelu 9) sa kvalitetnom zaštitom na uticaj korozije.

Tabela 8: Minimalna debljina zida privremene košuljice i konstruktivnog čelika

Promjer šipa	Minimalna debljina zida privremene košuljice
Ø 80 cm	4 mm
Ø 100 cm	5 mm
Ø 150 cm	6 mm

Tabela 9: Minimalne debljine zida trajne košuljice iz konstruktivskog čelika

Promjer šipa	Minimalna debljina zida trajne košuljice
Ø 80 cm	6 mm
Ø 100 cm	8 mm
Ø 150 cm	8 mm

Ako se šipovi ili stubovi nalaze u rijeci pod uticajem riječne abrazije, onda protivkorozijska zaštita mora biti otporna na uticaj abrazije. Za izvođenje protivkorozijske zaštite najviše se upotrebljavaju premazi bazirani na epoksidne smole koji se po potrebi premažu još sa ukrasnim završnim premazom. Minimalna ukupna debljina svih premaza zaštitnog sloja na osnovu epoksidne smole mora iznositi 200  $\mu\text{m}$ .

Preporučuje se i protivkorozijska zaštita sa vrućom galvanizacijom sa cinkom za slučajeve kod kojih se ne očekuje intenzivnije djelovanje abrazije.

Kod određivanja dužine i visine ugrađivanja košuljice, projektant mora uzeti u obzir sve tehnološke i eksploatacione vidike, po potrebi sarađivati sa izvođačem, geomehaničarom i hidrometeorološkom službom koja će dostaviti podatke o visini vodostaja rijeke u času izvođenja. Gornja ivica privremene košuljice obično se namjesti na nivo radnog platoa za izradu šipa. Dubinu donjeg ruba uslovljava uslov ravnoteže između hidrostatičkog pritiska svježeg betona u košuljici sa pasivnim otporom zemlje koja obkružuje šip te dinamika betoniranja šipa.

Košuljicu treba dobro pričvrstiti na armaturni koš. Sa odgovarajućim distancerima se zavari na nosivu konstrukciju armaturnog koša. Najveći dozvoljeni vanjski promjer košuljice dostavlja izvođač u zavisnosti od kolone za bušenje. Za potrebe centriranja koša na košuljicu se privare distanceri koji se, u slučajevima trajne izrade, naknadno uklone sa brušenjem. Na ovim mjestima se naknadno mora popraviti protivkorozijska zaštita, radi čega je bolja upotreba patentiranih priljepljenih distancera iz korozijsko otpornog sintetičkog materijala.

## 5.4 Konstruisanje spoja šipa sa potpornim konstrukcijama mosta

### 5.4.1 Spoj šipa sa naglavnom gredom ili pločom

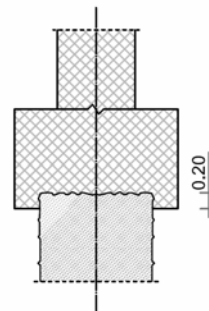
Zbog obezbjeđenja regularnog unosa opterećenja (osne sile, momenti savijanja i prečne sile) iz elemenata potpornih konstrukcija mostova u šipove potrebno je iznad vrha šipova uraditi naglavnu gredu (temeljna greda) kada su šipovi razvrstani u jednoj ravnini, odnosno naglavnice (ploče, blokovi) kada su šipovi razvrstani u dvije ili više ravnina.

Naglavne grede i naglavnice elementi većih dimenzija i nosivosti koje obezbjeđuju kontinuiran unos potpornih sila iz konstrukcije u šipove. Naglavne grede i blokovi moraju se koncipirati tako, da omogućavaju ugrađivanje pravilno oblikovane armature za preuzimanje svih opterećenja koji nastaju u osnovnom modelu podupora i sve lokalne uticaje (npr. rascjepne sile).

Naglavne grede se izvode šire od vanjskog promjera šipa sa prepustima od 15 cm na obe strane, odnosno toliko široke da jezgro armature grede premašuje promjer šipa. U slučaju izvođenja šipova u teškim uslovima koji ne garantuju pravilan položaj šipova (npr. rad sa nestabilnih platoa, sa pontona i dr.) onda treba naglavnu gredu raširiti u srazmjeru sa očekivanim odklonom od projektovanog položaja.

Minimalna visina grede se usvaja na osnovu zahtjeva za obezbjeđenje sidrene ili preklapne dužine armature iz šipova i priključnih elemenata potpornih konstrukcija. U koliko se šipovi priključuju na gredu u tlu koji sadrži agresivne medije, preporučuje se da glava šipa bude iznad dna grede za 20 cm (slika 5.10).

Dužinu armature za sidranje iz šipa u naglavnu gredu određuje se na osnovu propisa i standarda navedenih u poglavlju 2. Slika 5.11 prikazuje osnovne principe pri konceptu naglavne grede.



Slika 5.10: »Potopljena« glava šipa u naglavnu gredu

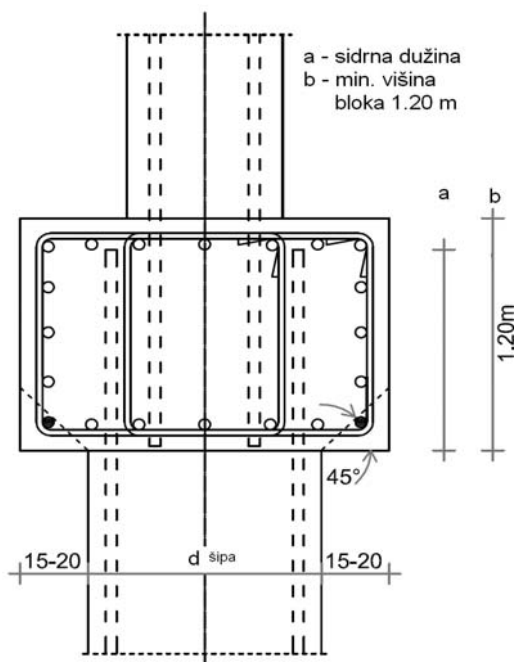
Armaturu naglavne grede treba konstruisati tako, da u cjelosti obuhvati armaturu šipa. Najmanje jedna ugaona palica objekta sa armaturom uzengija mora prolaziti izvan linije unosa sile iz šipa u gredu uz poštovanje ugla unosa 45°. Isto važi i za unošenja sile iz elementa potporne konstrukcije u naglavnu gredu.

U primjeru unosa velikih sila u gredu mogu se u gredi pojaviti sile cijepanja koje treba preuzeti sa dodavanjem rascjepne armature u obliku zatvorenih uzengija, a preporučuje se i produžavanje spiralne armature šipa u gredi. Kod određivanja rascjepnih sila treba uzeti u obzir eventualne ekscentričnosti osne sile u šipu i priključnom elementu potporne konstrukcije.

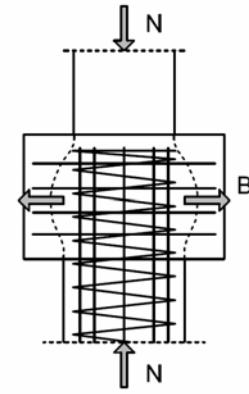
Rascepnja sila zavisi od omjera veličine kontaktnih površina stubova stub/greda i greda/šip. Za račun rascjepne sile postoje empirički obrasci i MKE kompjuterski programi.

Posebnu pažnju treba posvetiti kod određivanja potrebne armature u naglavnim gredama i pločama kada se pojedinačne (stubovi) ili linijske podupore (zidovi) oslanjaju izvan osi šipova. U tom slučaju smisljena je kontrola proračuna armature uz upotrebu jednostavnijih modela u kojima se primjenjuje analogija rešetke (slika 5.13).

Isto tako treba brinuti za pravilno sidranje armature opterećene na zatezanje, pošto se naglavne grede i ploča često ojačavaju sa velikim presjecima armature sa ograničenim mogućnostima za pravilno sidranje. U ovakvim slučajevima armaturu treba oblikovati u obliku omče ili se na krajevima palica namjestite patentirane matice za sidranje odnosno zavare ploče za sidranje (slika 5.13).



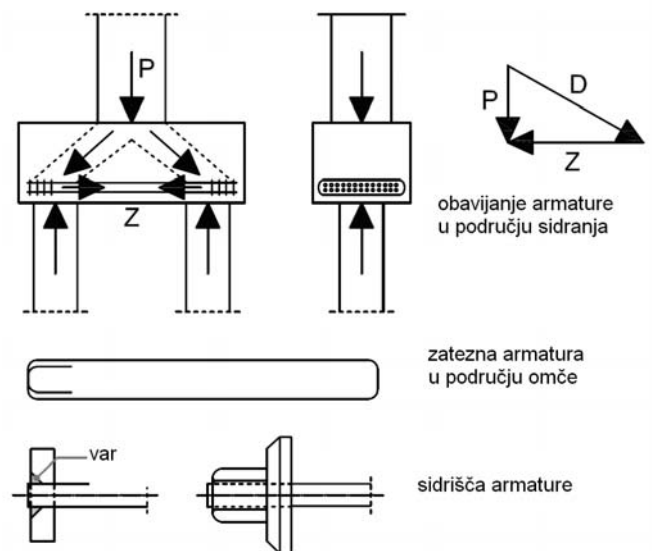
Slika 5.11: Principi armiranja naglavne grede



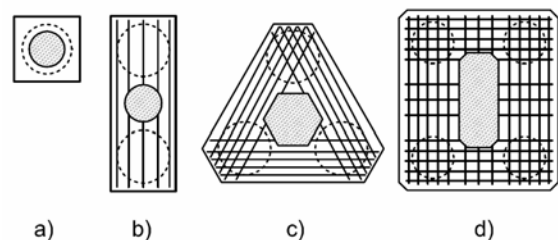
Slika 5.12: Rascepnja sila u gredi

Zbog nesigurnog usidrenja potrebno je u tim područjima predvidjeti dovoljnu količinu poprečne armature (uzengije, omče) (slika 5.13).

Upustva za naglavne grede treba primjenjivati i kod naglavnih ploča, s tim da treba uzeti u obzir prostorsko usmjerenje vektora statičkih količina sa prikazanom glavnom zateznom armaturom iznad šipova (slika 5.14).



Slika 5.13: Tok tlačnih i zatezних »palica« u naglavnoj gredi, sidrišta armature



Slika 5.14: Primarna zatezna armatura u uobičajenim naglavnicama

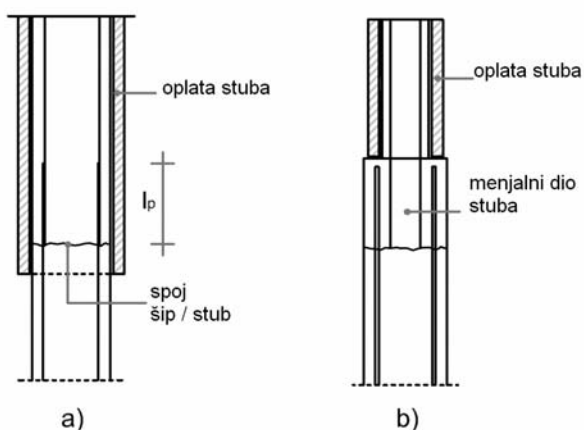
Kod konstruisanja armature treba uzeti u obzir i unos sile iz stuba u naglavnu ploču te na odgovarajući način armirati trake ispod stuba. Slika 5.14a prikazuje produženje šipa samca sa stubom. Ovakva izrada obezbeđuje mogućnost namještanja podupora za montažu skele, podupiranje oplata stuba i podupiranje skele gornje konstrukcije. Kod ugrađivanja armature u velike naglavne grede potrebno je obezbediti pravilan položaj armature.

U tom slučaju se ugrađuju nosači za armaturu koji se, zajedno sa armaturom, ubetoniraju u gredu.

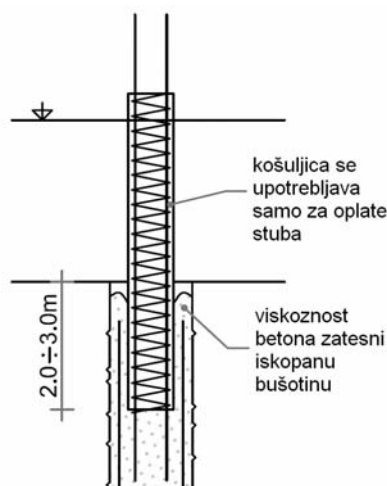
Naglavne grede i ploče mogu se, po potrebi, izvoditi u podzemnoj ili površinskoj vodi uz upotrebu zagatnica.

#### 5.4.2 Neposredno povezivanje šipova sa poduporama

Kada su podupore mosta zasnovane kao samostalni stojeći stubovi, onda se može upotrebiti neposredno povezivanje šipova sa stubovima. Ako se produženje izvodi na suhom, onda se šip nastavlja u stub neposredno. Nakon izvlačenja bušaće kolone i nakon nekoliko sati odstrani se gornji sloj slabog betona, pripremi se površina radnog spoja poslije čega se šip nadobetonira sa stubom istog promjera uz poštivanje odredbi za preklopne dužine armature (slika 5.15a). U koliko se šip produžava u stub različitog presjeka, onda se prethodno izvede produžetak šipa radi ugrađivanja priključne armature stuba ili se priključna armatura prethodno spoji na armaturni koš šipa (slika 5.15b).



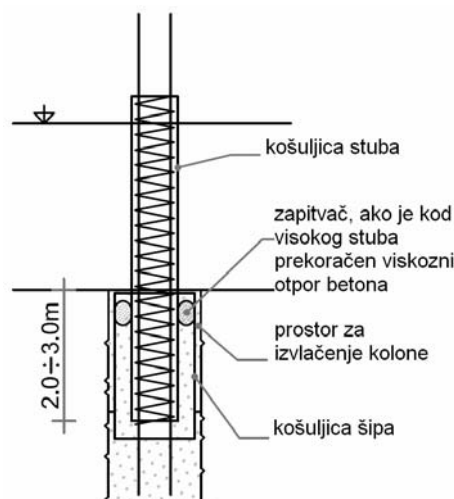
Slika 5.15: Produžavanje šipa na suhom



Slika 5.16: Izrada podvodnog spoja uz pomoć košuljice

Produžavanje šipova u vodi po pravilu se izvodi sa stubovima manjeg promjera. U tom slučaju se podvodni dio stuba zabetonira u čeličnoj košuljici. Gornji kraj košuljice mora biti iznad nivoa vode, donji rub mora ići u šip toliko duboko da nakon izvlačenja radne kolone ne dođe do istiskivanja materijala uz iskop bušotine ili isticanja betona iz bušotine.

U slučaju da viskoznost betona u prostoru između oboda iskopane bušotine i vanjskim obodom košuljice ne obezbeđuje potrebnu ravnotežu između svežeg betona u košuljici stuba i viskoznim odporom isticanja betona, onda se i šip u gornjem dijelu izvede u košuljici koja se privari na košuljicu stuba uz pomoć čeličnog pločastog prstena. Ovaj prsten se može zamijeniti sa različitim elementima za zaptivanje (slika 5.17).



Slika 5.17: Izrada podvodnog spoja pomoću košuljice stuba i šipa

## 6. PROJEKTOVANJE I KONSTRUISANJE TEMELJA NA BUNARIMA

### 6.1 Opšti principi koncepta

Pri izboru koncepta i projektovanju temeljenja na bunarima treba obezbjediti slijedeće osnovne kriterije za sigurnu upotrebu konstrukcije:

- otpornost, stabilnost, upotrebljivost i trajnost konstrukcije;
- kod projektovanja treba upotrebljavati evropske (EUROCODE) i nacionalne propise i standarde koji se odnose na materijale, temeljenje objekata, određivanje uticaja na konstrukcije, za armirani beton i sigurno projektovanje na potres;
- kod analize uticaja potrebno je, u što većoj mjeri, upotrebljavati međunarodne važeće računске metode, računске modele i računске programe.

Kod izbora dubine temeljenja, dimenzija bunara i načina građenja bunara potrebno je, kod izbora koncepta i projektovanja objekata, uzeti u obzir sledeće faktore:

- vrstu i veličinu konstrukcije objekta,
- uslove lokacije gradilišta, koji se odnose na globalnu stabilnost i pomjeranja tla,
- uslove okoline (uticaji na susjedne objekte, na saobraćaj, na komunalne objekte i instalacije),
- uslove poluprostora tla,
- dozvoljenja slijeganja poduprte konstrukcije
- uslove koje nalažu uticaji podzemne vode,
- potresne prilike na užem području objekta,
- uticaji okoline (hidrologija, površinske vode, sezonske promjene, vlažnost, slijeganje),
- ekonomičnost građenja.

Kod temeljenja u kompaktnom tlu (stjenovita tla) potrebno je uzeti u obzir:

- deformabilnost i čvrstoću stijenske mase
- prisutnost slabijih slojeva, pojavu raspadanja, područja prelomnice ispod bunara,
- prisutnost kontaktnih ploha ili drugih diskontinuiteta i njihovih karakteristika (npr. zapunjenje, širina, razmak, povezanost),
- stanje razpadnje, dekom-pozicije i prelomi stijena,
- oštećenja kamenog masiva u blizini bunara.

Bunari koji se temelje u čvrstom tlu obično se projektuju na osnovu pretpostavljenih kontaktnih tlačnih napona. Za tvrde intaktne eruptivne stijene, gnajse, krečnjake i konglomerate, pretpostavljeni tlačni naponi

su ograničeni sa tlačnim odporom betona temelja.

Kod projektovanja bunara obrađuju se slijedeće projektne situacije:

- projektna situacija početnog stanja padine, postojećih objekata i infrastrukture u uticajnom području prije izvođenja radova
- tehnološke projektne situacije koji sadrže izgradnju pristupnih puteva, radnih platoa, iskopa za šahtove bunara i druge radne faze građenja, kao što su: prednaprezanje geotehničnih sidara, održavanje i eventualne popravke, intervencije u padinama radi održavanja drenažnih sistema;
- projektne situacije trajne eksploatacije objekta,
- nezgodne i seizmičke projektne situacije.

Temeljenje na bunarima je način dubokog temeljenja u kome se iskop vertikalnog šahta izvodi na način koji se primjenjuje pri izradi klasičnih bunara. Radi se o postepenom iskopu po fazama uz istovremeno obezbjeđenje oboda iskopanog šahta.

Između dubokog temeljenja na bunarima i šipovima ne postoje bistvene razlike u pogledu nosivosti i deformabilnosti. Kod dubokog temeljenja na bunarima kao i na šipovima u poređenu sa plitkim temeljenjem, postoji mnogo veća interakcija između tla i temelja.

Razlika između ova dva načina dubokog temeljenja je u načinu izvođenja.

Pod dubokim temeljenjem se smatra temeljenje na većim dubinama od 6,0 m od nivoa ravnoga terena odnosno kosog terena - padine na nižoj strani.

Za izvođenje radova na iskopu bunara postoje dva načina:

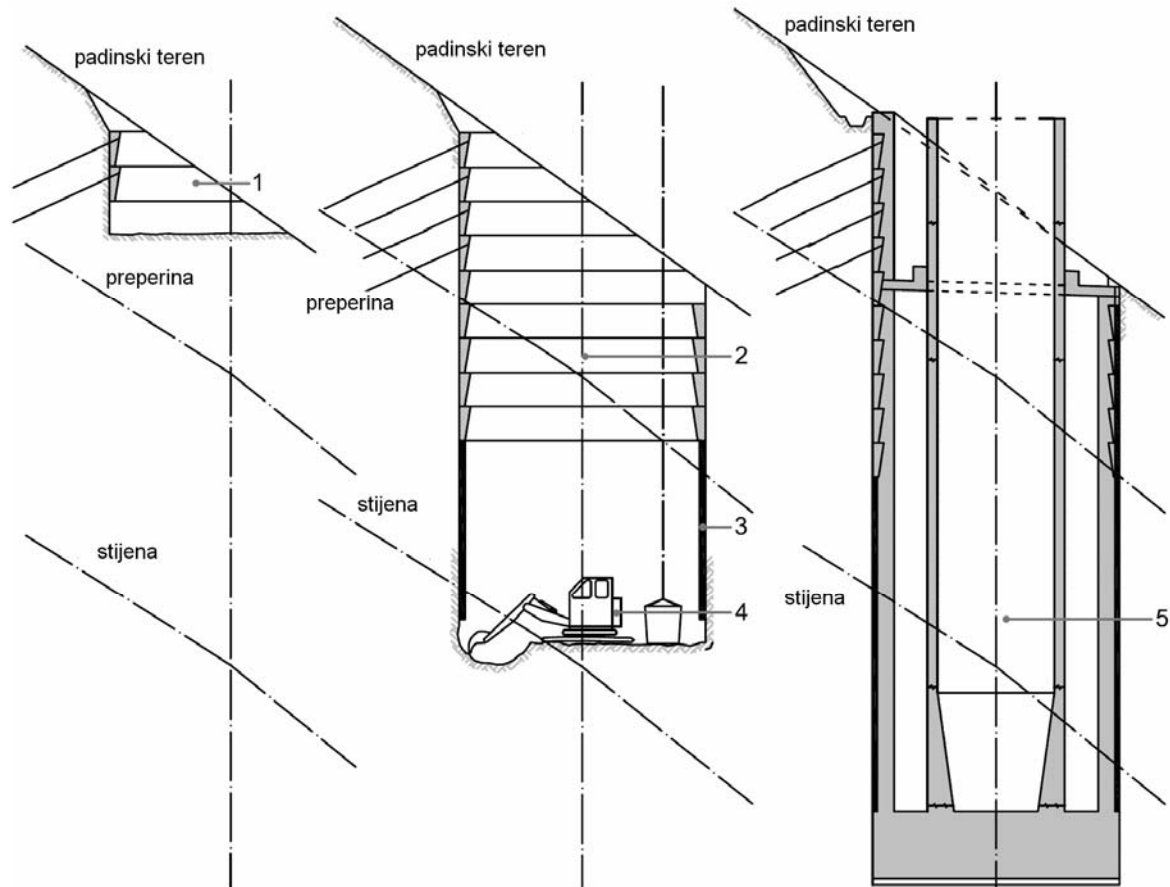
- sa postepenim iskopom uz istovremenu zaštitu oboda šahta (slika 6.1),
- Sa postepenim spuštanjem (potapljanjem) prethodno zabetoniranog bunara iznad terena (slika 6.2).

Kod prvog načina iskop se izvodi postepeno po etapama visine 0,8 do 1,5 m uz zaštitu oboda iskopa armiranobetonskim obručima ili čeličnim obručima u zavisnosti od kvaliteta tla i veličine pritiska zemlje.

Kod drugog načina bunari se izvode na mjestu iskopa iznad terena u visini 2,0 do 4,0 m. Izvođenje može biti sa betoniranjem na licu mjesta ili sa montažnim prefabrikovanim elementima. Mehanizovani iskop u bunaru i spuštanje bunara izvodi se jednovremeno.

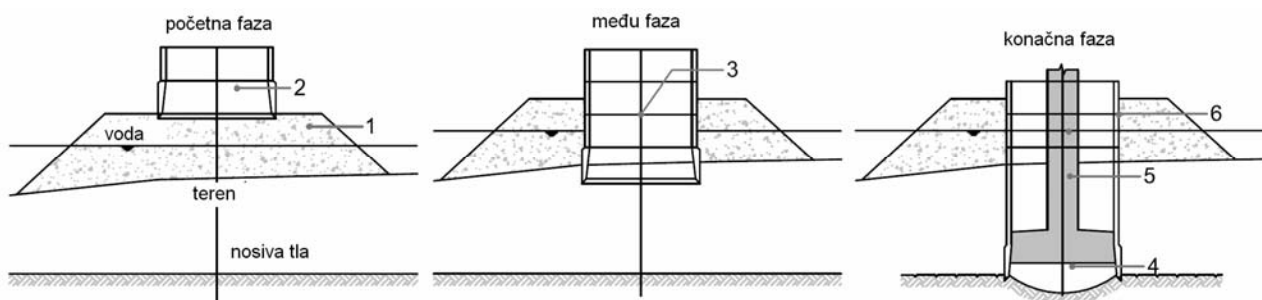
Nakon spuštavanja prvog dijela bunara betonira se slijedeći segment bunara na gornjoj strani i ponovi postupak spuštavanja sa potkopavanjem.

U smislu geotehničkog projektovanja EC 7 bunari su uvršteni u geotehničku kategoriju 2 i 3, a tu nisu eksplicitno navedeni bunari kao primjeri konstrukcija nego samo kao njihovi dijelovi.



- 1 – početna faza iskopa
- 2 – iskop bunara po etapama uz izvođenje zaštite sa AB djelimičnim ili punim obručima (u slabom tlu)
- 3 – zaštita iskopa sa oblogom iz brizganog – tokret betona (u raspucaloj stijeni)
- 4 – izvođenje iskopa sa bagerom i transport iskopanog materijala sa kranom ili autodizalicom
- 5 – izveden bunar i stub (primjer šupljeg bunara)

Slika 6.1: Izrada bunara sa postepenim iskopom uz jednovremenu zaštitu oboda šahta



- 1 – radni plato (privremeni nasip)
- 2 – početni segment bunara sa čeličnim sjekačem
- 3 – spuštanje bunara sa potkopavanjem i izradom novih segmenta bunara
- 4 – podbeton (podvodni beton)
- 5 – izrada temelja i stuba
- 6 – izrada plašta bunara u dijelu iznad terena

Slika 6.2: Izrada bunara sa postepenim spuštanjem i prethodnim zabetoniranjem bunara

Geotehnička kategorija 2 uključuje slijedeće elemente, odnosno dijelove konstrukcije bunara:

- temeljna ploča,
- zidovi i ostale konstrukcije koje podupiru zemlju ili vodu,
- iskopi,
- upornjaci i stubovi mosta,
- geomehnička sidra i ostali sistemi sidranja.

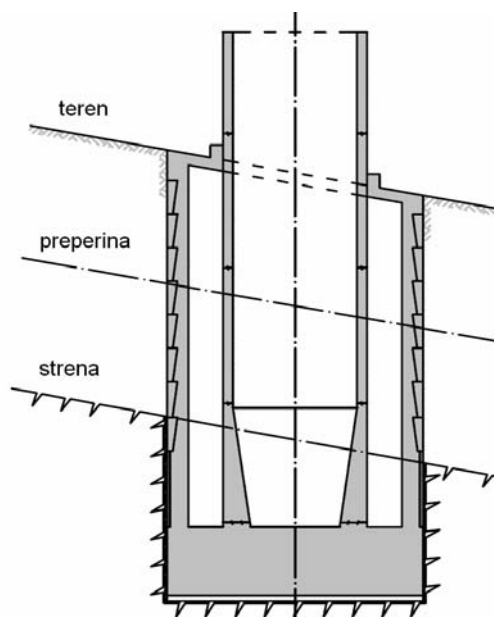
Geotehnička kategorija 3 uključuje konstrukcije ili dijelove konstrukcija koji nisu obuhvaćeni kategorijama 1 i 2. U kontekstu bunara u kategoriju 3 su uvršteni:

- jako duboki bunari velikih dimenzija,
- bunari kod kojih postoji veliki rizik ili neuobičajene i vrlo teške prilike u tlu,
- konstrukcije u području velike potresne ugroženosti,
- bunari u području mogućih nestabilnih lokacija građenja ili stalnih pomjeranja, na kojima treba izvesti odvojena ispitivanja ili primijeniti posebne mjere.

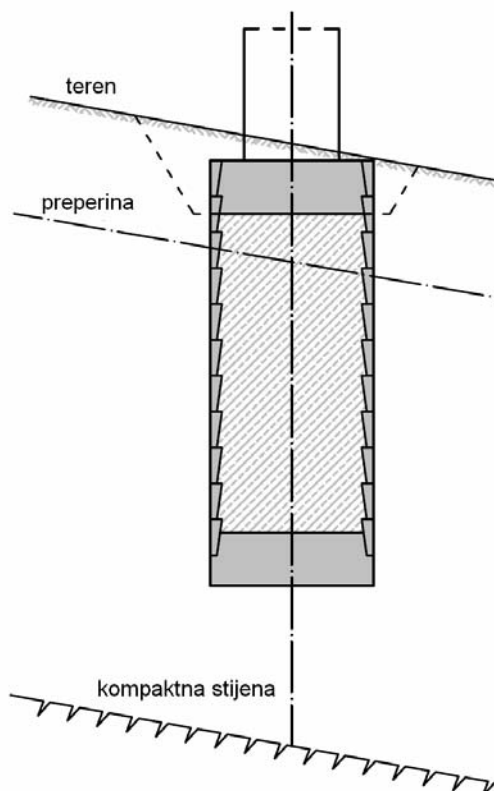
U pogledu načina unosa opterećenja podupore u temeljna tla bunari se mogu podijeliti na stojeće (slika 6.3) i plivajuće bunare (slika 6.4). Kod prvih se cjelokupno opterećenje prenosi u tlo preko temeljne ploče odnosno pete bunara. Plašt ima funkciju zaštite iskopa, eventualno štiti stub na klizanje padine, oblikuje prostor oko stuba i posredno smanjuje opterećenja. Kod plivajućih bunara se dio opterećenja prenese u temeljni prostor sa trenjem preko oboda plašta. U tom slučaju se izvodi masivna temeljna ploča na gornjoj strani šahta bunara ili se stub po cijeloj visini šahta čvrsto poveže sa plaštem.

Temeljenje sa bunarima može se izvesti sa pojedinačnim bunarima okruglog ili elipsastog presjeka ili iz grupe bunara, obično iz dva ili četiri bunara koji se čvrsto povežu sa poprečnim nosačem ili pločom.

Bunari koji se izvode sa postepenim iskopom i odmah zaštite, obično imaju kružni ili elipsasti presjek. Oblik i dimenzije bunara, prije svega, zavise od dimenzije i oblika stuba, reda veličine statičkih uticaja, stabilnosnih prilika terena i visine odnosno dubine bunara.

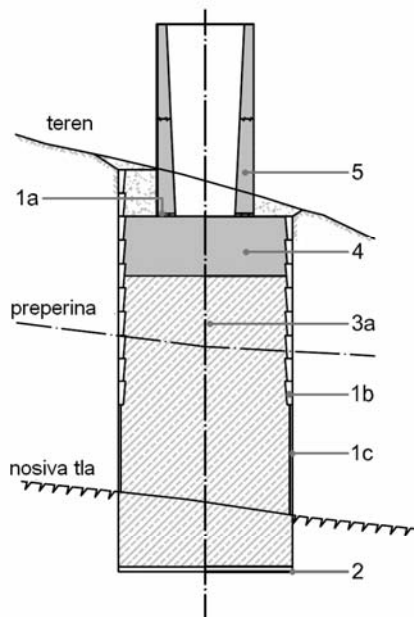


Slika 6.3: Stojeći bunar

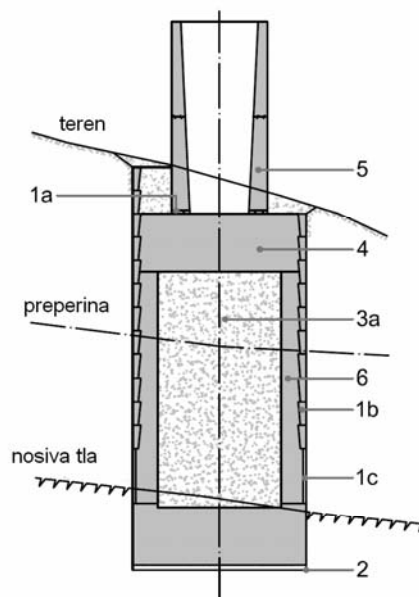


Slika 6.4: Plivajući bunar

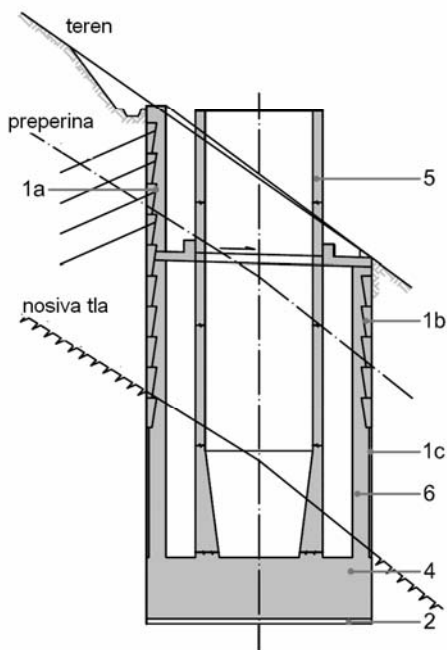
a) stojeći puni bunar, ispunjen betonom



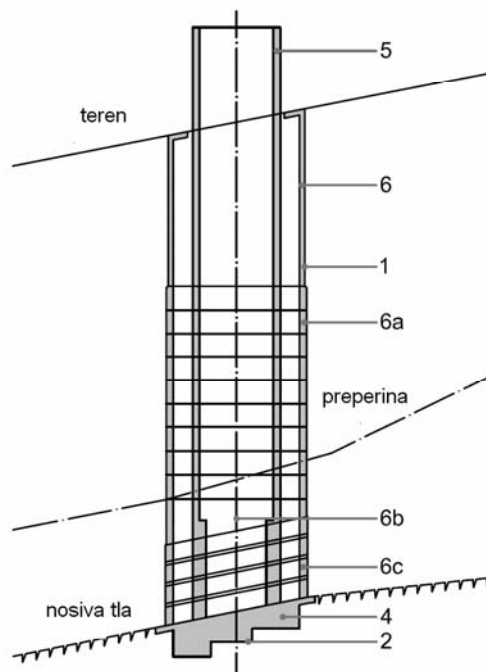
b) stojeći puni bunar, ispunjen sa šljunkom



c) šuplji bunar sa čvrstim plaštom



d) šuplji bunar sa dilatiranim elementima plašta



- 1 - zaštita kod izvođenja iskopa
- 1a - AB poluobruči sa ili bez pasivnih sidara
- 1b - AB obruči (prstenovi) kod etapne izrade iskopa
- 1c - zaštita iskopa sa brizganim betonom
- 2 - peta bunara – kontakt između dna bunara sa nosivim tlom
- 3a - ispunjena sa djelomično armiranim betonom
- 3b - ispunjena sa šljunkom

- 4 - temeljna ploča – uklještenje stuba u bunar
- 5 - stub
- 6 - zid plašta bunara
- 6a - dilatirani elementi plašta
- 6b - trapezni elementi plašta
- 6c - nageti klizni obruči plašta

Slika 6.5: Opšti principi zasnivanja bunara za stubove vijadukta



Kod bunara koji se izvode sa postepenim spuštanjem mogu se upotrebiti i presjeci pravougaonog ili kvadratnog oblika. U pogledu dimenzija bunara ne postoje fiksna ograničenja. U slučajevima kada se zaštita iskopa izvodi sa brizganom – torkret betonom, promjer bunara se ograničava na 2,0 do 2,5 m. Promjer bunara uslovljava radni prostor potreban za izvođenje iskopa kao i za ugrađivanje brizganog betona. U građevinskoj praksi su poznati primjeri izvedenih bunara promjera  $D = 2,0$  m. Ograničenja maksimalnih dimenzija presjeka bunara praktično nema. Poznati su primjeri bunara u obliku elipse sa dimenzijama 21,0 x 15,0 m.

Kod zasnivanja bunara mogu se upotrijebiti principi idealno čvrste ili idealno gipke (deformabilne) konstrukcije (slika 6.5). Čvrstoj konstrukciji odgovara monolitni neprekinuti armiranobetonski na savijanje čvrsti cilindar, dok se elastična – gipka konstrukcija bunara postiže sa elementima plašta (obruča) bunara koji su međusobno klizno dilatirani.

Prednosti čvrste konstrukcije su velika stabilnost i relativno mala osjetljivost na lokalne diskontinuitete i nehomogenost u poluprostoru tla, dok je prednost elastične-gipke konstrukcije manje opterećenje od pritiska zemlje koji djeluje na bunar, a sa tim i manje debljine zidova plašta.

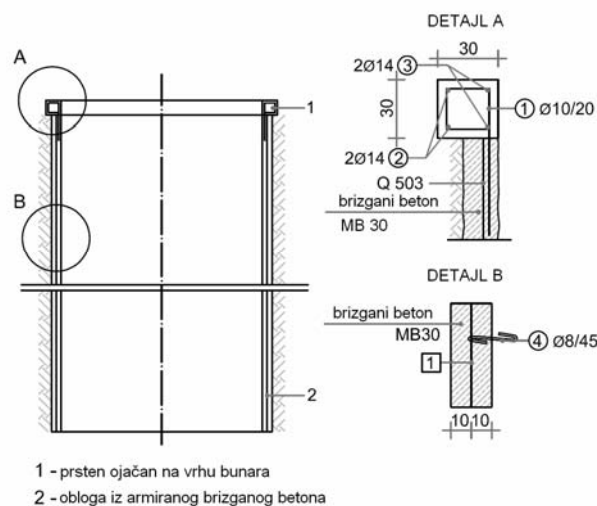
Kod relativno velikih pomjeranja koja nastaju od puzanja tla i povremenih jakih diskontinuiranih klizanja je koncept čvrstog bunara ekonomičan od 15 – 20 m dubine. Često se upotrebljavaju miješani princip, koji uzima u obzir ekonomičnost te statiku i kinematiku plašta bunara.

Dubina (visina) bunara zavisi naročito od dubine na kojoj se nalaze nosiva tla pri čemu je značajno da se bunar uklješti u relativno zdravu nosivu stijenu. Takozvani »plivajući« bunari rijetko se upotrebljavaju i to samo u slučajevima kada se nosiva tla – stijene ne mogu doseći. Obično dubine od 15 – 18 m daju znatno veću cijenu zbog otežanog vertikalnog transporta odkopanog materijala. Do ovih dubina i odgovarajućem presjeku bunara, iskopani materijal se vertikalno transportuje pomoću hidrauličnog bagera sa produženom rukom. Kod većih dubina prenos odkopanog materijala se obavlja uz pomoć mehaničnog bagera. Maksimalne dubine bunara iznose od 30,0 do 35,0 m.

## 6.2 Konstrukcijski elementi zaštite kod izvođenja iskopa

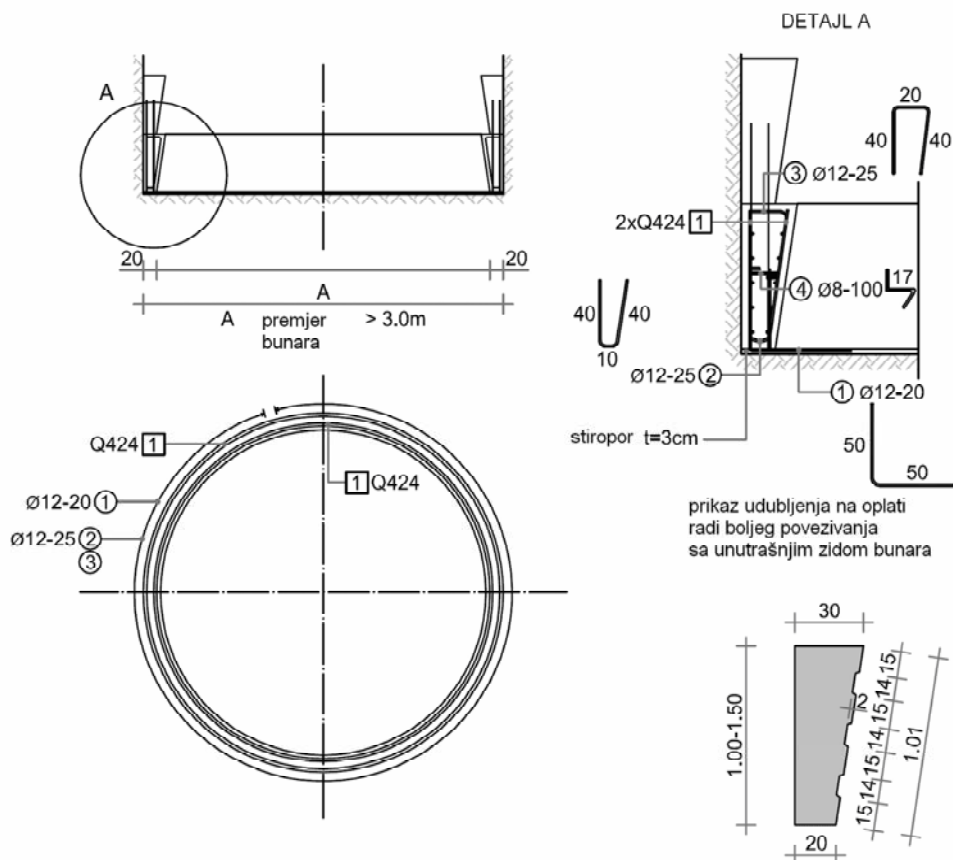
Debljina plašta iz brizganog-torkret betona (slika 6.6) koji se izvodi za zaštitu pri postepenom iskopu bunara, zavisi od stanja temeljnog tla i izabranog presjeka bunara. Kod uobičajenih dimenzija iznosi od 10 do 15 cm. Plašt djelomično može biti bez armature a obično se armira sa dvojnomo armaturnom mrežom. Kod većih obima upotrebljavaju se čelične razupore. Na vrhu bunara izvodi se ojačan plašt – obruč iz armiranog betona, koji povećava stabilnost pri djelovanju pritisaka tla. U najnižim slojevima iskopa u području kompaktne stijene, zaštita oboda iskopa sa brizganim betonom nije neophodna (slika 6.6) u koliko se nakon ručnog čišćenja temeljne plohe odmah betonira peta bunara.

Zaštita iskopa bunara sa armiranobetonskim obručima (slika 6.7) koji se izvede na licu mjesta, upotrebljava se kod bunara većih promjera u slabom tlu, a prije svega kada se bunar kasnije ne popunjava sa betonom. Dubina iskopa pojedinačne kampade iznosi od 1,0 do 1,5 m, a zavisi od stvarnih karakteristika tla, presjeka bunara, radno-tehničkih uslova. U tlu sa slabom kohezijom treba često dubinu iskopa pojedinih kampada smanjivati 20 do 30 cm kako bi se izbjeglo obrušavanje materijala.



Slika 6.6: Zaštita iskopa bunara sa oblogom iz armiranog brizganog-torkret betona

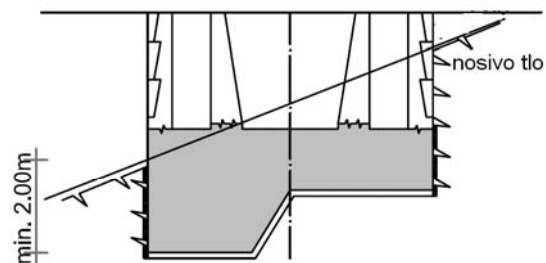
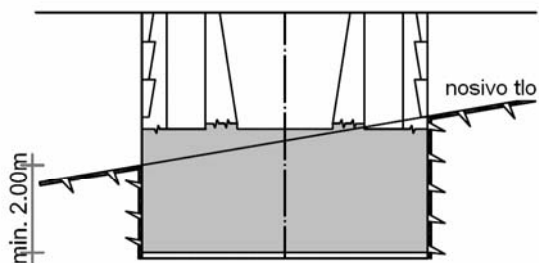
Kod šupljih bunara izvode se zidovi plašta bunara debljine 30 – 60 cm nakon izvedenog betoniranja pete bunara u zavisnosti od veličine pritiska zemlje.



Slika 6.7: Osiguranje iskopa sa obručima (prstenovima)

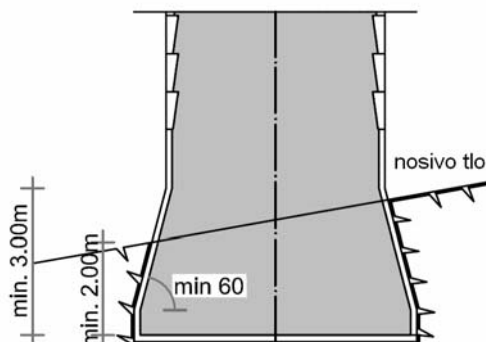
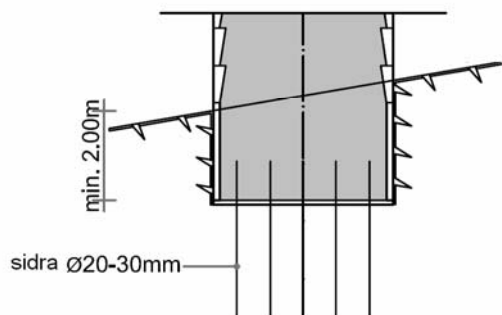
a) peta bunara - uklještenja u nosiva tla

b) stepenasta izrada pete



c) sidranje pete bunara

d) raširenje bonjeg dela bunara



Slika 6.8: Primjeri oblikovanja pete bunara

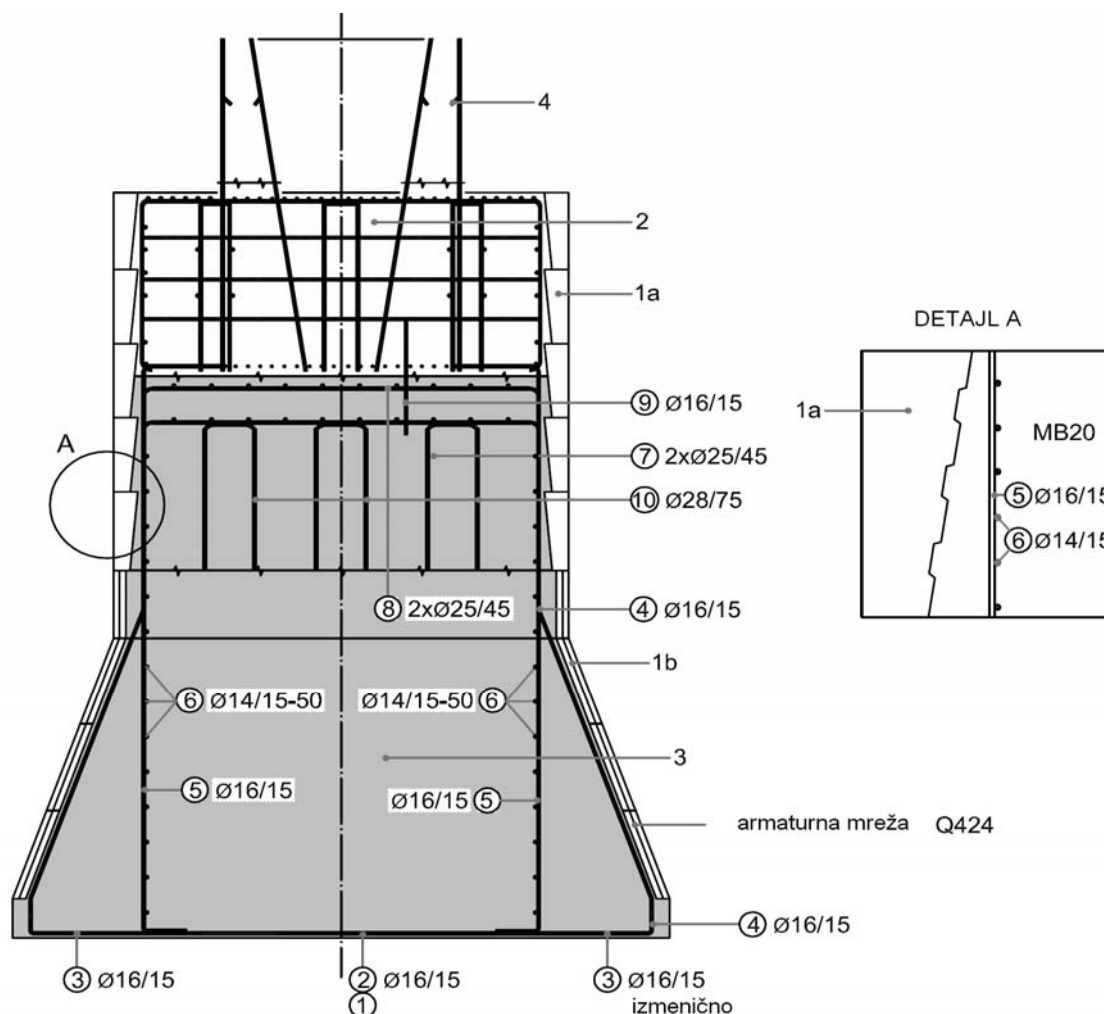
### 6.3 Temeljna ploča i oblikovanje kontakta pete bunara i temeljnog tla

Uklještenje bunara u nosiva tla treba izvesti u minimalnoj debljini 1,5 – 2,5 m. Izvođenje raširene pete bunara je opravdano u slučaju kada bunar okružuje nevezani materijal, te slaba stijena, a manje gdje se bunar uklješćuje u kompaktnu stijenu. U ovim primjerima raširenje presjeka treba početi u području nevezanog materijala s tim da je unaprijed poznata konačna dubina bunara. Kod većih uklješćenja bunara u stijenu postiže se raširenje opterećenja u temeljna tla sa trenjem između nazubljenog plašta i stijenske mase. Pri većim nagibima osnove stijenske mase može se temeljna peta bunara, na kontaktu sa stijenskom masom, izvesti stepenasto. Bolje povezivanje između pete bunara i tla može se postići i sa vertikalnim sidrima.

### 6.4 Način povezivanja stuba i bunara

U primjeru uklješćenja stuba u bunar tada se na vrhu izvede t.k.z. puni bunar (slika 6.5 – a, b i 6.9). Ovakvo rješenje se primjenjuje u slijedećim slučajevima:

- kod bunara manjih promjera ( $\varnothing 4,5 - 5,0$  m),
- kod bunara većeg promjera i visine od 6,0 – 10,0 m,
- kada je mali prostor između stuba i plašta bunara kada bi to povećanje prouzrokovalo povećanje promjera bunara,
- kada to dozvoljava visina stuba u pogledu preuzimanja horizontalnih opterećenja,
- kod većeg prisustva vode.



1a – obruči za zaštitu pri iskopu  
1b – obloga iz brizganog betona

2 – uklještenje stuba u bunar temeljne ploče  
3 – djelomično armiran beton ispune

4 - stub

Slika 6.9: Konstruktivne karakteristike punog bunara

Punjenje bunara izvodi se djelomično armiranim betonom za punjenje ili armiranobetonskim valjkom sa plaštom koji se popuni sa šljunkom. Punjenje sa šljunkom izvodi se kod većih dubina i većih presjeka bunara kada punjenje sa betonom nije ekonomično. Na vrhu bunara u području bunara treba urediti odvodnjavanje.

Kot šupljih bunara (slika 6.5 – c, d i 6.10) stub se uklješćuje u temeljnu ploču pete bunara u slijedećim slučajevima:

- kada treba smanjiti krutost stuba sa povećanjem njegove visine,
- u nestabilnom području kada plašt bunara služi kao zaštitna konstrukcija.

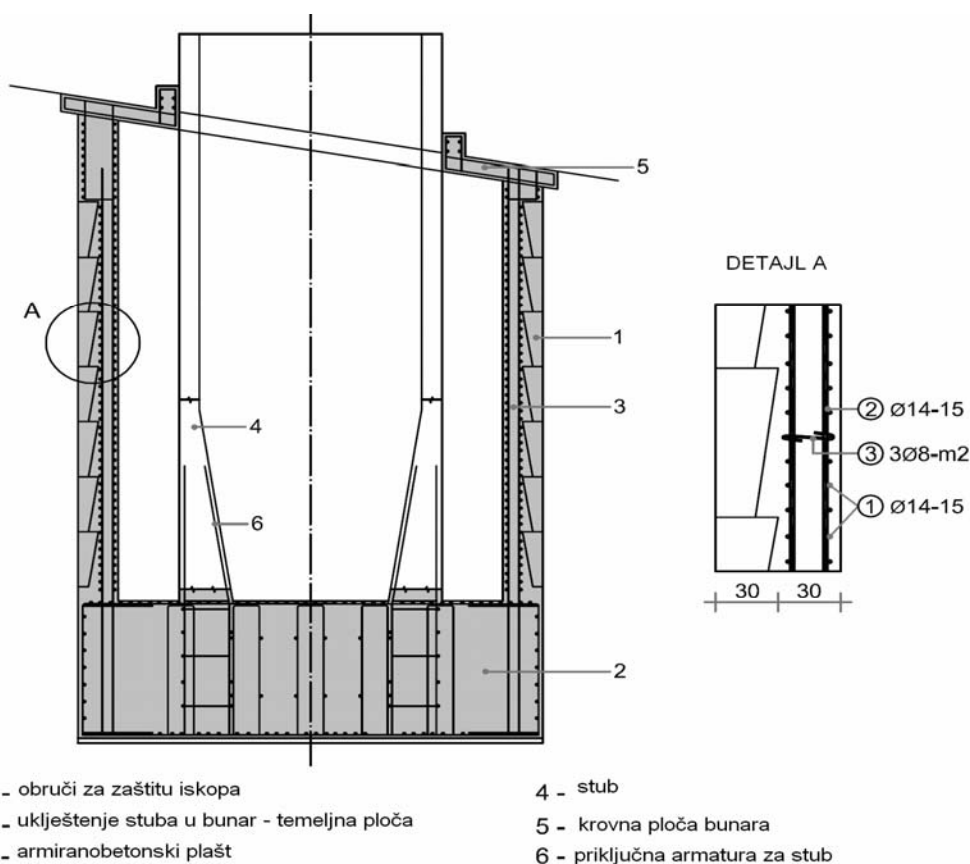
Kod mostova i viadukta mogu se pojedinačne potpore temeljiti na pojedinačnim bunarima koji se među sobom povežu sa krutom gredom ili pločom. Prednost temeljenja na više bunara je bolja iskorištenost učinka okvira. Naredna prednost se ogleda u lakšem obezbjeđenju stabilnosti u toku izvođenja iskopa u odnosu na pojedinačni bunar većeg promjera. Sa stanovišta izvođenja radova varijanta sa više manjih bunara je neugodnija od varijante sa jednim većim bunarom.

Temeljenje potpore na više bunara manjeg promjera je ekonomično za dubine do 10,0 m. U strmim padinama mogu se bunari dvije susjedne podupore međusobno povezati sa krutom poprečnom gredom, tako da opterećenja od pritiska zemlje preuzimaju kao okvirna konstrukcija (slika 6.11).

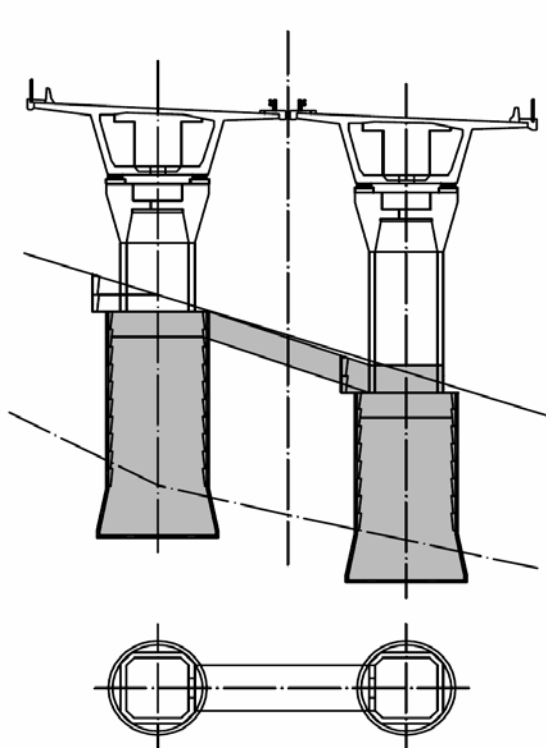
Za temeljenje podupora u strmim padinama sa većim debljinama nenosivih slojeva ekonomično je rješenje sa zajedničkim bunarem u obliku elipse većeg promjera za dva stuba dvije paralelne rasponske konstrukcije. Na vrhu bunara se izvede kruta poprečna greda koja međusobno povezuje stubove (slika 6.12).

### 6.5 Sidrenje bunara u nestabilnu podlogu

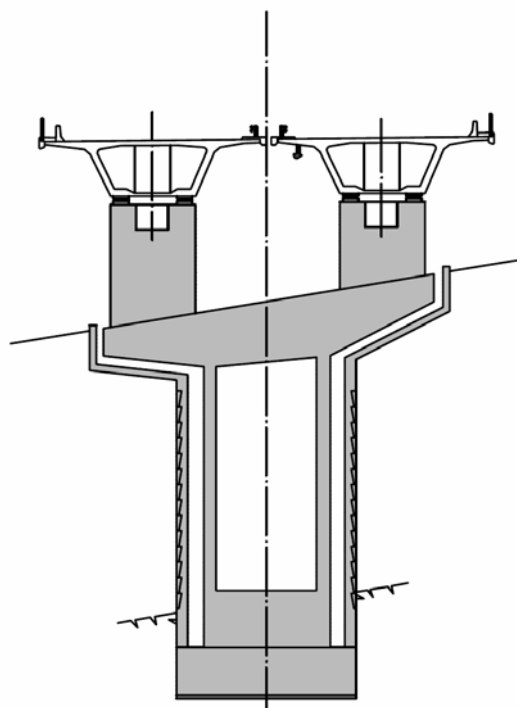
Sidrenje bunara izvodi se kod temeljenja u strmoj nestabilnoj padini. Kod izvođenja iskopa često treba sidrati poluobručeve u početnoj fazi iskopa u toku zasijecanja padine, kada se ne može izvesti osiguranje sa punim prstenima. U tom dijelu se izvode poluobručevi u kombinaciji sa pasivnim sidrima ili prednapetim sidrima što zavisi od veličine pritiska zemlje (slika 6.13).



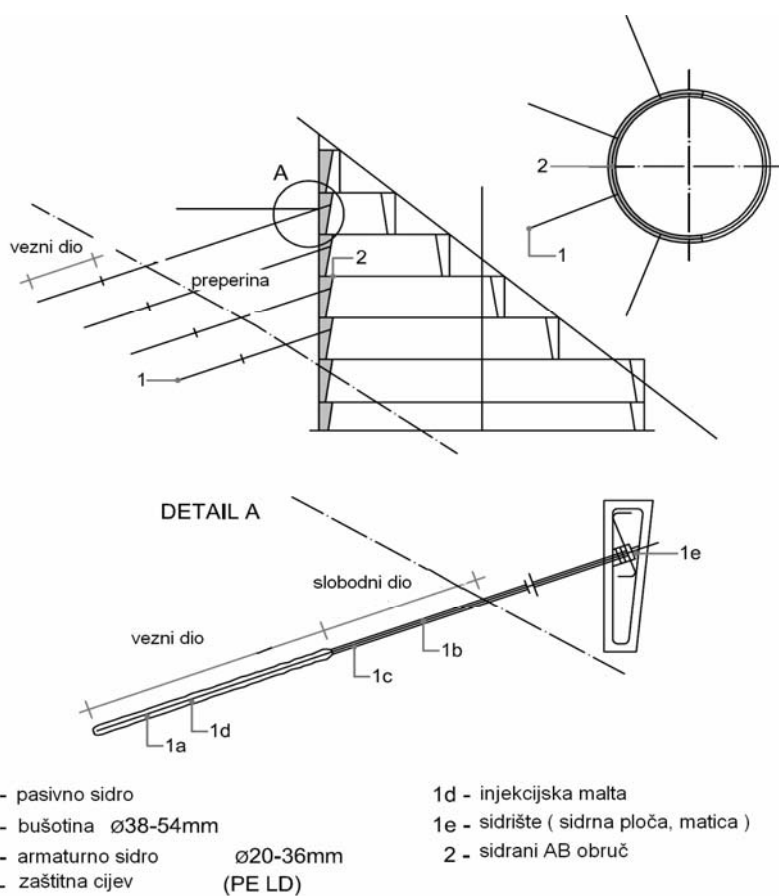
Slika 6.10: Konstruktivne karakteristike šupljeg bunara



Slika 6.11: Poprečno povezivanje bunara na nestabilnoj padini



Slika 6.12: Zajednički bunar za stubove vijadukta na strmoj padini sa čvrstom osnovom na većoj dubini

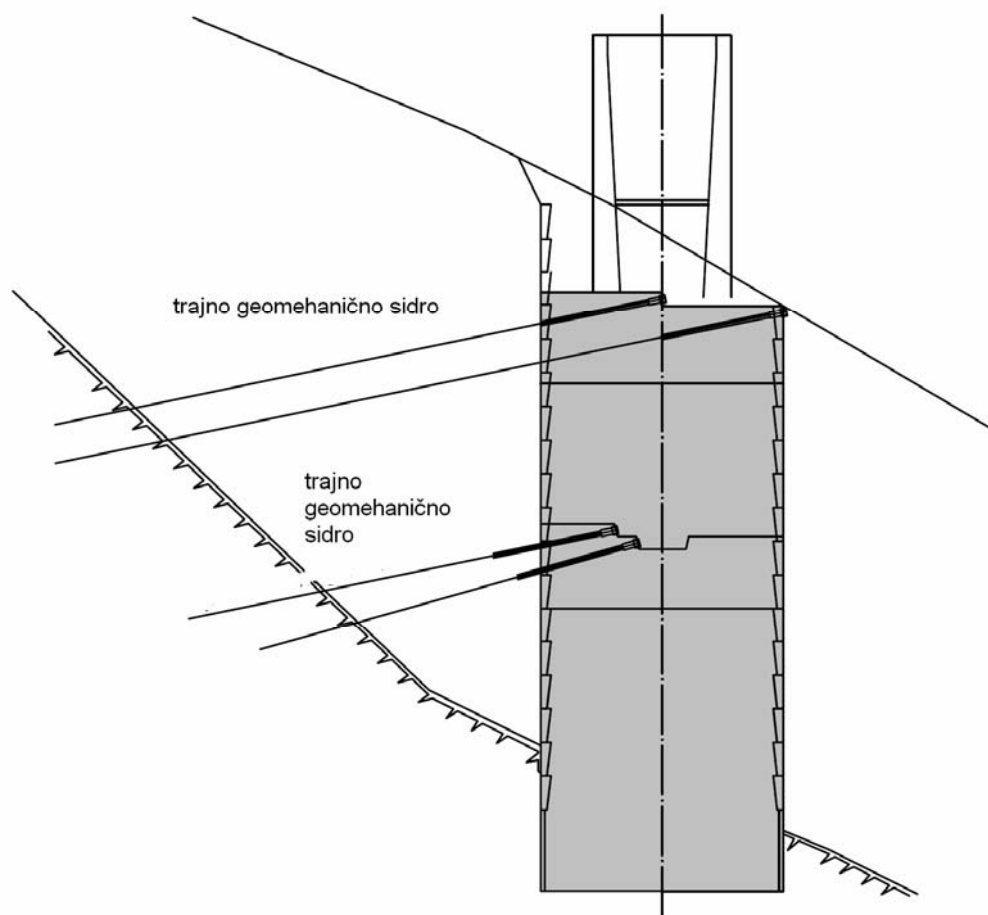


Slika 6.13: Sidranje poluobruča u početnoj fazi iskopa bunara

U nestabilnim padinama gdje su prisutna klizišta, u nekim slučajevima, može se stabilnost bunara obezbijediti sa trajnim geomehaničkim sidrima. U strmim klizovitim padinama u kojima postoji mogućnost pojave iznenadnih klizanja često puta nije ekonomski opravdano obezbjeđivati stabilnost čitave padine u cilju potpunog sprečavanja pomjeranja. U takvim slučajevima treba izabrati rješenje sa pojedinačnim poduporama i obezbijediti lokalnu sigurnost do željene mjere. Pri tome treba uzeti u obzir, da u slučaju pomjeranja prema podnožju padine dolazi do koncentracije opterećenja u nepomično područje potpore. Općenito postoje dvije mogućnosti za preuzimanje tih koncentričnih opterećenja i to da se u cjelosti preuzmu sa masivnim podpornim zidovima ili sa sidranjem bunara. Sidranje se može izvesti na prednjoj strani bunara prema padini, ili se namjeste na dolinsku stranu stuba. Moguća je izrada sidranja samog bunara. Sa prednapregnutim sidrima, na vrhu bunara, efikasno se preuzima dio horizontalnih sila i smanjuju momenti savijanja u bunaru.

U jako ugroženim područjima sidra se ugrađuju još u donjim nivojima bunara (slika 6.14). Ovaj način se upotrebljava u izuzetnim primjerima radi negativnih činilaca kao što su:

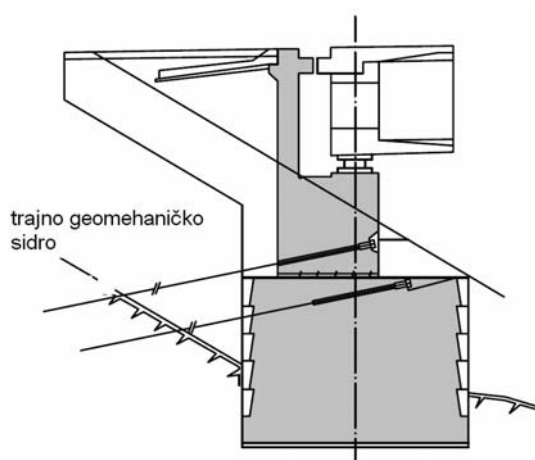
- usporavanje toka izgradnje;
- zapleteni statički sistemi radi faznosti građenja i mogućnosti približnog uzimanja u obzir preraspodjele pritiska zemlje (koncentrisani unos opterećenja);
- otežana mogućnost kontrole funkcionalne sposobnosti prednapregnutog sidra npr. pomoću ekstenziometra ili mjerača sile u sidru u glavi bunara;
- nemogućnost zamjene prednapregnutog sidra oštećenog od korozije ili prekida, dodatno sidro se može ugraditi samo uz bunar ili njegovoj glavi;
- smanjenje reakcije tla na dolinskoj strani.



Slika 6.14: Primjer sidranja bunara sa sidranjem na više nivoa

Prednost imaju geomehnička sidra sa sidranjem na vrhu bunara odnosno grede za povezivanje bunara kod temeljenja podupore na dva ili više bunara koji su ugrađeni na padinskoj ili dolinskoj strani temelja. U ovim primjerima sidra se mogu kontrolisati i u slučaju odkazivanja zamijeniti. U ovakvim slučajevima treba predvidjeti prostor za rezervna sidra.

Osiguranje krajnjeg upornjaka može se izvesti sa sidranjem padine (zemljanog dijela temelja) na dolinskoj strani (slika 6.15). Sidra se prednapnu na 2/3 korisnog opterećenja i zainjektiraju sa cementnom emulzijom sa kojom istovremeno poboljšamo ispucalu stijensku masu.



Slika 6.15: Sidranje bunara i krajnjeg upornjaka u strmoj padini

Bolje rješenje od osiguravanja nestabilne padine sa sidrima je produbljivanje bunara.

U poređenju sa sidranjem po nivojih stuba i bunara, sidra raspoređena na dolinskoj strani izvan bunara imaju slijedeće prednosti:

- smanjenje reaktivnih sila (napona) u tlu i sprečavanje rastresitosti i klizanja zemlje na dolinskoj strani bunara;
- smanjenje opterećenja i bunaru gdje nema koncentrisanog unosa sile po nivou sidranja.

### 6.6 Posebnosti konstrukcije bunara koji se izvode sa spuštanjem

Zasnivanje konstrukcije bunara, koji se izvodi sa postepenim spuštanjem, uslovljena je sa načinom izrade i sa osobinama nenosivih slojeva temeljnog tla, kroz koja se izvodi spuštanje bunara. Bunar šupljeg presjeka kvadratnog, pravougaonog, kružnog ili elipsastog oblika sa ili bez unutrašnjih

pregrada (slika 6.16) izvodi se na licu mjesta iznad radnog platoa u pojedinačnim segmentima ili u jednom komadu. Segmenti mogu biti i u montažnoj izradi. Kod pravilno izvedenog vještačkog nasipa u vodi, veliki priliv vode moguć je samo kroz dno bunara. U takvim slučajevima se obavlja crpljenje vode sa pumpama većih kapaciteta ili se izvede zatvaranje pomoću injektiranja pod pritiskom.

Bunar se, u toku spuštanja, izvodi po fazama u slijedećim primjerima:

- kod velikih dubina i manjih širina (promjera) bunara kada je  $H/B > 1.3$ ,
- kod ograničene visine ruke bagera ili krana:  $\Delta h/h' < 2 / \Delta h$  = visina etape,  $h'$  = visina ručice bagera ili krana),
- kada se ispod radnog platoa nalazi meka glina.

Bunar se izvodi u punoj visini iznad radnog platoa u slijedećim primjerima:

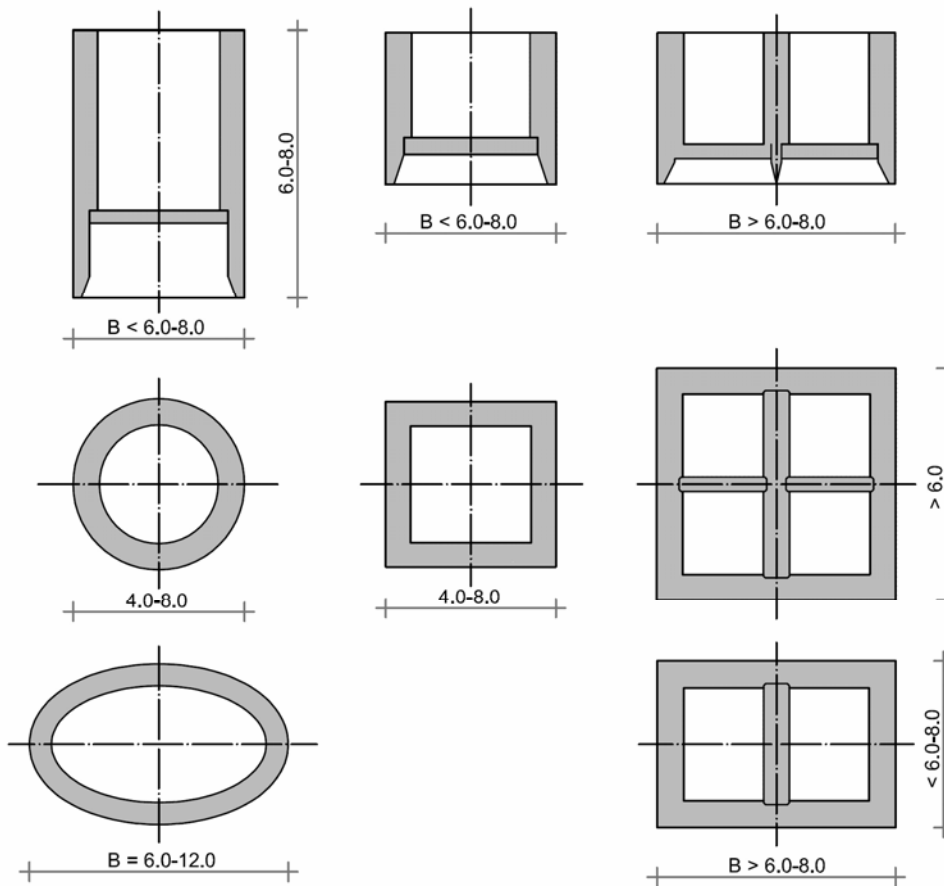
- kod malih dubina i velikih širina (promjera) bunara kada je  $H/B < 1.3$ ,
- kod ograničene visine ruke bagera ili krana  $h < 2/3 h'$  ( $h$  = visina bunara,  $h'$  = visina ručice bagera ili krana),
- kada se ispod radnog platoa nalazi tvrda glina ili pijesak,
- kod teških bunara koji se ne mogu umiriti sa mehanizmima zaustavljanja.

Konstrukcija bunara, koji se izvodi sa spuštanjem, sastoji se iz: sjekač-nož, vijenac i zidovi bunara.

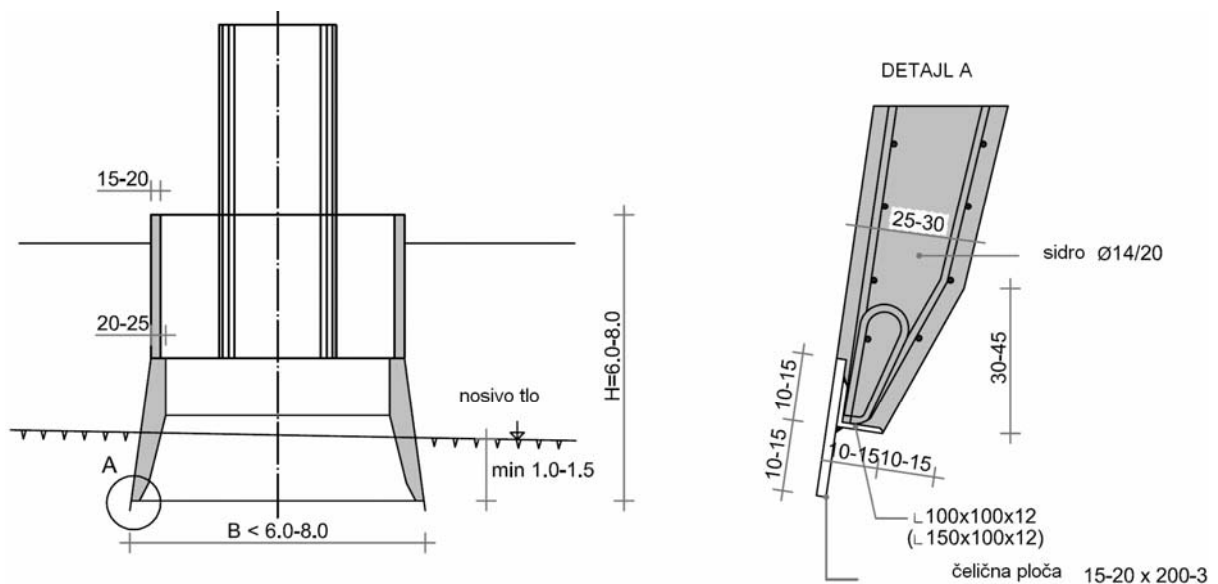
Nož sa vijencem (slika 6.17) na unutrašnjoj strani bunara omogućava:

- neposredni prenos pritiska od težine bunara na tlo u procesu spuštanja,
- zaštitu bunara kod nesimetričnog opterećenja koja nastaju zbog prepreka pri spuštanju,
- lakši iskop tla.

Nož je potreban pri spuštanju bunara kroz čvrsta tla i slojeve sa preprekama. Mora imati dovoljnu krutost, u suprotnom može predstavljati prepreku kod spuštanja bunara.



Slika 6.16: Mogući oblici bunara, koji se izvode sa spuštanjem



Slika 6.17: Oblikovanje donjeg dijela bunara sa sječačem



Vijenac mora imati slijedeće osobine:

- mora obezbjediti dobar oslonac za nož, koji se neposredno oslanja na tla radi čega je ispostavljen uticaju lokalnih opterećenja, koja nastaju radi prepreka kod spuštanja bunara,
- u poprečnom presjeku mora imati oblik trapeza u kome se nagib unutrašnje stranice prema vertikali smanjuje kod kompaktnijeg tla,
- na vijenac se pričvrsti nož u obliku sjekača sa kojim se povećava učinak zasijecanja u tlo.

Zidovi bunara imaju slijedeće funkcije:

- predstavljaju zaštitu u toku spuštanja bunara,
- preuzimaju sva opterećenja, koja se pojavljuju u toku spuštanja ili transporta,
- sa svojom masom omogućavaju da bunar samostalno prodire savlađujući trenje u tlu ispod noža na donjoj strani bunara.

U zidove bunara treba ugraditi sve cijevi za instalacije koje su potrebne za sprovođenje mjera za korekciju u toku spuštanja. U području sjekača ugrađuju se cijevi za ispiranje sjekača.

## 7. GEOSTATIČKA ANALIZA BUŠENIH ŠIPOVA

### 7.1 Ulazni podaci

#### 7.1.1 Općenito

Namjena geostatičke analize, kao sastavnog dijela analize čitave nosive konstrukcije objekta, je dokazivanje pouzdanosti konstrukcije objekta koja uključuje sigurnost, upotrebljivost i trajnost konstrukcije temeljenja na bušenim šipovima.

Ova analiza je obavezni sastavni dio građevinskog projekta za dobivanje građevinske dozvole.

Kod zasnivanja i projektovanja konstrukcija temeljenih na bušenim šipovima upotrebljavaju se oprobane i primjenjivane metode analiza konstrukcija i temeljnog tla sa uzimanjem u obzir interakcije.

Statička analiza uključuje:

- podatke o geometriji konstrukcije i temeljnog tla,
- podatke o materijalima iz kojih su napravljeni elementi temelja i konstrukcija

- podatci o osobinama zemlje i stijene temeljnog poluprostora,
- uticaje od opterećenja, pomjeranja i ubrzanja u različitim pravcima,
- računске modele i (ili) rezultate terenskih ispitivanja za opterećenja,
- granične vrijednosti deformacija, širine pukotina, njihanja (vibracije) i dr.

U analizi treba uzeti u obzir karakteristične i projektovane vrijednosti za uticaje.

#### 7.1.2 Granična stanja

U analizi konstrukcije, uključujući i temelje, projektant ima obavezu, da provjeri slijedeća granična stanja:

Granična stanja nosivosti (upotrebene oznake iz prEN 1990):

- STR: unutrašnje rušenje ili prekomjerne deformacije konstrukcije u cjelosti, konstruktivnog elementa uključujući i elemente temeljenja zbog iskorištene otpornosti materijala konstrukcije.
- GEO: rušenje ili prekomjerne deformacije tla kod kojih je važna čvrstoća zemlje i stijenske mase
- STA: gubitak globalne stabilnosti ili prekomjerna deformacija tla cijeloga sklopa konstrukcije i tla
- UPL: rušenje od podizanja tla zbog djelovanja vertikalnih sila koja se pojavljuju radi vertikalne montaže konstrukcije ili zemljanih masa
- HYD: rušenje u tlu koja nastaje radi hidrostatičkih gradienata.

Granične vrijednosti pomjeranja temelja:

- u analizi se određuju granične vrijednosti pomjeranja temelja na bušenim šipovima, koji predstavljaju one vrijednosti pomjeranja koje još uvijek garantuju potrebnu sigurnost prije aktiviranja graničnih stanja konstrukcije koja se podupire.

### 7.2 Nosivost šipova opterećenih sa osnom silom

#### 7.2.1 Općenito

Geostatička analiza temeljenja na bušenim šipovima ograničava se na određivanje »vanjske« i »unutrašnje« nosivosti šipa. Unutrašnja nosivost šipa može se tačno odrediti sa jednačinama koje važe za određivanje nosivosti kružnih presjeka, dok određivanje »vanjske« nosivosti šipa, t.j. nosivosti koju obezbjeđuje temeljno tlo u kontaktu sa šipom, zahtijeva dobro poznavanje stvarnih karakteristika temeljnog tla i mehanizama unosa opterećenja u

temeljna tla. Nosivost zavisi od tačnosti terenskih i laboratorijskih ispitivanja te od više iskustvenih parametara. Radi svega navedenog može računski određena nosivost bistveno odstupati od stvarne nosivosti. Najsigurnije podatke o nosivosti dobivaju se sa ispitivanjem nosivosti probnog šipa ili iz drugih in-situ ispitivanja čije izvođenje je opravdano zbog velikih troškova, ako se radi o temeljenju na većem broju šipova ili temeljenju zahtjevnih objekata. U ovakvim slučajevima troškovi ispitivanja ostvaruju uštede pri temeljenju zbog primjene manjih faktora sigurnosti.

Kod empirijski određene nosivosti šipova uzima se u obzir manja pouzdanost računskih rezultata kroz određivanje faktora sigurnosti na određeni način.

Vertikalnu nosivost šipa obično određuje geomehaničar koji navodi (ili je provjeri kroz već poznatu reakcijsku silu) u prijedlogu temeljenja u geomehaničkom izvještaju. Zbog moguće nepouzdanosti ulaznih podataka, kod izvođenja radova obavezno je prisustvo geomehaničkog nadzora, gdje geomehaničar za svaki šip određuje skladnost parametara, uzetih u proračunu sa stvarnim stanjem i po potrebi odredi nove mjere u saglasnosti sa projektantom.

### 7.2.2 Granična nosivost određena na osnovu ispitivanja temeljnog tla

Računsku nosivost šipa ( $R_{cd}$ ) sačinjava nosivost osnovne plohe (noge) ( $R_{bd}$ ) i nosivost plašta ( $R_{sd}$ ). Po EC7 određuje se po sledećim izrazima:

$$R_{cd} = R_{bd} + R_{sd}$$

$$R_{bd} = R_{bk} / \gamma_b$$

$$R_{sd} = R_{sk} / \gamma_s$$

Za bušene šipove je  $\gamma_b = \parallel 1.6 \parallel$  i  $\gamma_s = \parallel 1.3 \parallel$ , pri čemu je:

$$R_{bk} = q_{bk} \cdot A_b \quad i$$

$$R_{sk} = \sum_{i=1}^n q_{sik} \cdot A_{si}$$

Gornji simboli znače:

$A_b$  nominalna površina osnovne plohe šipa  
 $A_{si}$  nominalna površina plašta kola u i-tom sloju

$q_{bk}$  karakteristična vrijednost nosivosti na jedinicu površine noge šipa

$q_{sik}$  karakteristična vrijednost nosivosti na jedinicu površine plašta šipa u i-tom sloju

Vrijednost  $q_{bk}$  i  $q_{sik}$  određuju se sa probnim opterećenjem šipa te terenskih i laboratorijskih ispitivanja. U nastavku su navedene informativne vrijednosti, preuzeto po DIN V 1054-100.

Tabela 1: Porušna vrijednost  $q_{sk}$  po plaštu za nekoherentne materijale

Trenja uz plašt $q_{sk}$ za nekoherentne materijale	
Čvrstoća pri srednjoj vrednosti otpora vrha $q_{ck}$ u $MN/m^2$	Porušna vrijednost trenja o plaštu $q_{sk}$ u $MN/m^2$
0	0
5	0,04
10	0,08
$\geq 15$	0,12

Tabela 2: Porušna vrijednost  $q_{sk}$  po plaštu za koherentne materijale

Trenja uz plašt $q_{sk}$ za koherentne materijale	
Čvrstoća pri srednjoj vrednosti otpora vrha $q_{ck}$ u $MN/m^2$	Porušna vrijednost trenja o plaštu $q_{sk}$ u $MN/m^2$
0,025	0,025
0,1	0,04
$\geq 0,2$	0,06

Za aktiviranje trenja po plaštu potrebno je pomjeranje:

$$s_{sg} = 0.5 \cdot R_{sk} (s_{sg}) + 0.5 \leq 3 \text{ cm, sa}$$

$R_{sk} (s_{sg})$  [MN] = sila trenja po plaštu šipa u toku rušenja =  $\sum q_{sik} \cdot A_{si}$

Tabela 3: Naponi na pritisak ispod noge šipa  $q_{bk}$  za nekoherentne materijale

Napon na pritisak ispod noge šipa $q_{bk}$ za nekoherentne materijale				
Preuzeto slijeganje glave šipa $s/D$ od $s/D_f$	Napon na pritisak ispod noge šipa $q_{bk}$ u $MN/m^2$ pri srednjem otporu utiskivanja šilja $q_{ck}$ u $MN/m^2$			
	10	15	20	25
0,02	0,7	1,05	1,4	1,75
0,03	0,9	1,35	1,8	2,25
0,1 (= $S_q$ )	2,0	3,00	3,5	4,0

Tabela 4: Naponi na pritisak ispod noge šipa  $q_{bk}$  za koherentne materijale

Naponi na pritisak ispod noge šipa $q_{bk}$ za koherentne materijale		
Preuzeto slijeganje glave šipa $s/D$ od $s/D_f$	Napon na pritisak ispod noge šipa $q_{bk}$ u $MN/m^2$ pri koheziji u nedreniranom stanju $C_u$ u $MN/m^2$	
	0,1	0,2
0,02	0,35	0,9
0,03	0,45	1,1
$0,10 / (= S_g)$	0,80	1,5

Za otpor šiljka važi približna relacija:

$$q_c [MN/m^2] \approx N_{10},$$

gdje je  $N_{10}$  broj udaraca za utiskivanje teške sonde za 10 cm u temeljna tla.

### 7.3 Nosivost šipova opterećenih sa horizontalnom silom

#### 7.3.1 Općenito

Sa horizontalnom silom odnosno silom koja djeluje okomito na os šipa opterećavaju se, po pravilu, samo šipovi velikih promjera koji su sposobni preuzeti srazmjerno velike momente savijanja. U ovim slučajevima se aktivira bočni elastični otpor zemlje. Tada nastupa model palice koja ima krutost na savijanje pošto je poduprta sa okolnom zemljanom masom.

Za proračun opterećenja na savijanje, koja nastaju u šipovima zbog djelovanja horizontalnih sila, postoje empirijske jednačine različitih autora, izvedene iz diferencijalnog proračuna za elastično tijelo poduprto sa elastičnim poluprostorom. Jednačine služe za grubu kontrolu, prije svega u fazi zasnivanja.

U zadnjih 20. godina upotrebljavaju se prihvaćeni modeli za analizu opterećenja sa upotrebom relativno jednostavne kompjuterske opreme koja se oslanja na uvođenje elastičnih opruga koje simuliraju slojeve temeljnog poluprostora.

Svi savremeni programi za analizu konstrukcija imaju već ugrađene module za analizu elastičnog odazivanja tla za bilo koju smjer u prostoru koji automatski isključuju zatezne reakcijske sile u tlu.

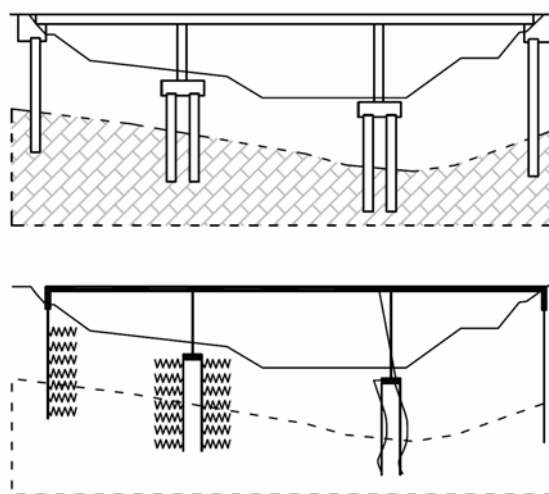
#### 7.3.2 Analiza uticaja horizontalnog opterećenja

Obzirom na činjenicu, da savremeno projektovanje mostova, koji se temelje na šipovima velikog promjera, zahtijeva upotrebu sigurne i certificirane kompjuterske

opreme u nastavku su navedeni podaci i zahtjevi za pripremu računskih modela i kontrolu izračunatih rezultata MKE analize.

U svakom slučaju se preporučuje upotreba računskih modela koji obrađuju cjelokupan nosivi slop konstrukcije kao integralnu cjelinu, sa čime se obezbjeđuje neposredna interakcija između nosive konstrukcije i temeljenjem.

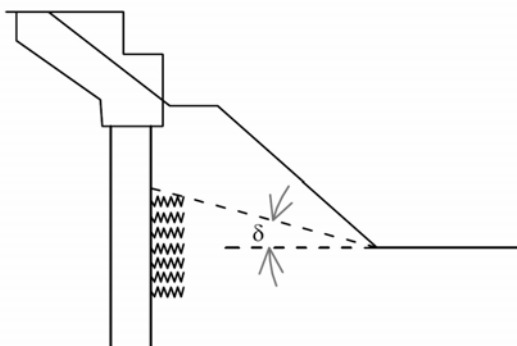
Kod pripremanja modela za analizu uticaja horizontalnih opterećenja, projektant je dužan da sa svom ozbiljnošću ocijeni skladnost modela sa stvarnim stanjem koje nastaje u toku građenja i eksploatacije i da predvidi moguće promjene na lokaciji terena koje mogu uticati na promjenu računskog modela.



Slika 7.1: Shema mosta sa modelom za analizu uticaja u smjeru osi mosta

Tu se, prije svega misli na greške i brze promjene u uslovima elastičnog uklještenja šipova u gornjim slojevima temeljnog poluprostora. Kod pripreme modela moraju se uzeti u obzir uticaji susjednih šipova u grupi (slika 7.1).

Važno je oblikovanje pokosa nasipa uz upornjak gdje se obično ne može mobilizirati elastični otpor u gornjim dijelovima šipova (slika 7.1 i 7.2). Isto važi i za kasnije promjene kosina ili poluprostora uz šipove (riječna erozija, iskopi radi građenja drugih objekata, raskvašenje i osipanje itd.), pošto utiču na uslove uklještenja. Ovi uticaji su posebno kritični kod šipova malih dužina.



Slika 7.2: Iznad crte mobiliziranog otpora ne mogu se očekivati elastična uklještenja šipova.

Navedeni mogući uzroci za promjenu uslova uklještenja šipova upornjaka predstavljaju samo mali fragment kompleksne problematike, koju projektant mora uzeti u obzir.

Kod zasnivanja temeljenja na bušenim šipovima na lokacijama koje su teške za temeljenje moraju se uzeti u obzir, kao ulazni podaci, stvarna stanja na terenu i sve moguće promjene koje mogu nastati u toku građenja i eksploatacije.

### 7.3.3 Analiza rezultata

Kontrola rezultata kompjuterskih proračuna je neophodan element analize konstrukcije. U kontroli se provjeravaju pretpostavke i granični uslovi uvedeni u proračun te da li se konstrukcija ponaša u granicama dozvoljenih parametara.

Najvažniji koraci su:

- kontrola toka momenata savijanja,
- kontrola oblika linija deformacija i absolutnih vrijednosti pomjeranja (velika pomjeranja znače, da je pretpostavka o elastičnom ponašanju modela odkazala),
- kontrola potpornih sila u tlu (ili kontaktnih pritisaka uz plašt šipa) koje su, uslijed porušenog mehanizma smicanja u tlu, ograničene. Isto tako treba posvetiti pažnju i mogućim silama zatezanja u tlu.

Prema potrebi, projektant izvodi analizu u više iteracija, pri čemu se mora naznačiti težnja traženja situacija na »manje sigurnoj strani«. Sa promjenom ulaznih podataka (mijenjanje dubine uklještenja šipa, i elastičnih osobina slojeva tla) provjeravaju se sva granična područja naših pretpostavki, koje imaju u teškim uslovima temeljenja jako velike razlike.

## 7.4 Nosivost šipova u grupi

Za temeljenje na bušenim šipovima je uobičajeno, da se podupore objekata obično temelje na više šipova, postavljenih u grupu i povezanih sa naglavnom gredom ili naglavnicom – pločom.

Konstruktivski razlozi kod zasnivanja elemenata podupora ograničavaju razmake između šipova zbog čega se međusobni uticajine mogu izbjeći.

Kod stojećih šipova, kod kojih je vertikalna nosivost osigurana sa odporom ispod noge šipa, je uticaj grupe relativno mali. Kod šipova kod kojih se nosivost djelomično ili u cjelosti osigurava sa trenjem po plaštu, postaje uticaj grupe znatan. Isto važi i za horizontalnu nosivost šipova.

Kod zasnivanja i analize temeljenja projektant mora uzeti u obzir uticaj grupe i kod jednostavnih uslova temeljenja, te provjeriti red veličina uticaja (uz upotrebu kompjuterske opreme ili sa empirijskim jednačinama), dok u primjerima zahtjevnijih temeljenja treba da se uključi i ekspertiza analize stabilnosti.

## 8. GEOSTATIČKA ANALIZA BUNARA

Dokaz stabilnosti (pouzdanosti) bunara sastavni je dio dokaza stabilnosti konstrukcije objekta, pri čemu treba uzeti u obzir principe geotehničkog projektovanja u skladu sa propisom EC 7. Pojam pouzdanosti uključuje sigurnost, upotrebljivost i trajnost konstrukcije.

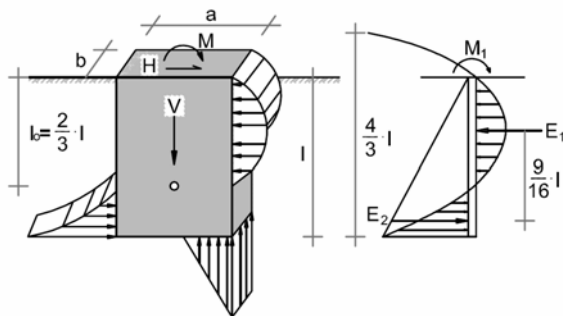
### 8.1 Računski modeli

Kod modeliranja konstrukcije i primjene pravilnih opterećenja dolazi do nepouzdanosti pri modeliranju temelja odnosno dijelova konstrukcije ispod donjeg ruba stubova naročito kod okvirnih konstrukcija. Uzrok tome leži u nepouzdanosti ocjeni ponašanja tla, posebno u alpskim i brdovitim predjelima gdje se karakteristike tla mijenjaju na kratkim razdaljama. Kod statički neodređenih sistema svaka promjena ivičnih uslova podupora utiče na promjenu unutrašnjih statičkih količina, tako da se nepouzdanost ocjene karakteristika temeljnog tla prenosi na cijeli sistem. Savremeni kompjuterski programi omogućavaju tačno modeliranje konstrukcije, pri čemu je pravilnost interakcije između konstrukcije i tla ovisna od ulaznih podataka koji odražavaju stvarne prilike.

U praksi su u upotrebi slijedeći načini modeliranja:

- odvojeno modeliranje nosive konstrukcije i bunara
- zajednički modeli nosive konstrukcije i temelja - bunara

Najjednostavniji model bunara i poluprostora tla prestavlja kruto-plastični model (slika 8.1) sa projektom izabranim otporom tla na smicanje (sa parametrom  $C$  i  $\varphi$ ) i krutim modelom bunara.



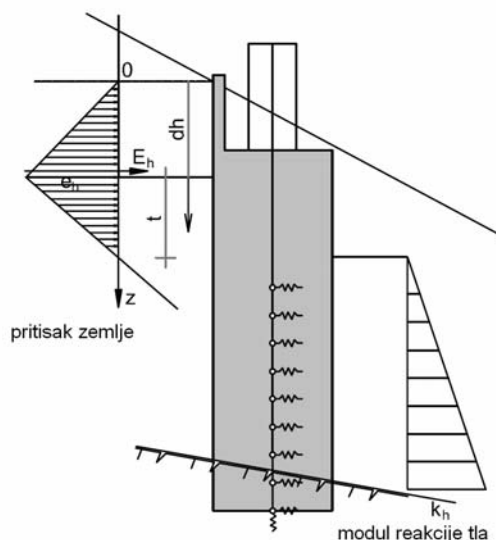
Slika 8.1: Kruti plastični model bunara

Osnova za taj model je unaprijed propisana kinematika bunara i granično, odnosno projektom propisano naponsko stanje u tlu. Model omogućava srazmjerno tačno određivanje graničnih vrijednosti uticaja i otpora (aktivne i pasivne pritiske zemlje i nosivost temeljnog tla), međutim aktivirane dijelove tih vrijednosti potrebno je ocijeniti u pogledu očekivane, odnosno dozvoljene deformacije potporne konstrukcije i tla u uticajnom području. Upotreba ovog modela ne omogućava proračun stvarnih pomjeranja.

U praksi se najviše upotrebljava model na osnovu modula reakcije tla. Bunar modeliramo kao nosivi element (linijski, ljuskasti ili volumenski) koji je, od tačke u kojoj je predviđena nulta razlika između aktivnog i pasivnog pritiska (slika 8.2), poduprt sa oprugama čije se konstante određuju na osnovu modula reakcije tla. Modul reakcije tla »k« ( $\text{kN/m}^3$ ) određuje se na osnovu ispitivanja (horizontalno ispitivanje sa pločom, presiometrijsko ispitivanje i dr.), a često se njegova vrijednost ocijeni. Definiran je kao sorazmjerni faktor između normalnih napona i pomjeranja te tačke ( $\sigma = k * w$ ). U jednostavnijem obliku uz poštovanje teorije elastičnog izotropnog poluprostora, modul reakcije tla okamito na bunar jednak je (po Terzaghi-ju);

$$k_h = \chi \cdot M_s / b, \text{ gdje je}$$

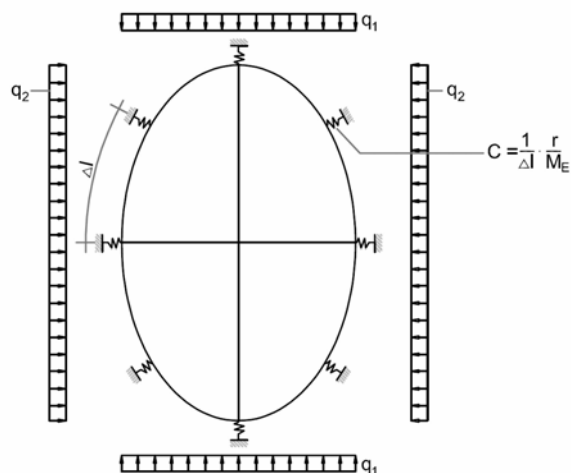
- $\chi$  faktor korekcije (0,6 – 1,4; obično 1,0)
- $M_s$  modul stižljivosti tla
- $b$  širina bunara



Slika 8.2: Model bunara u padini na osnovu modula reakcije tla

Za analizu graničnog stanja plašta bunara može se upotrijebiti pojednostavljen linijski model elastično poduprtog obruča (slika 8.3), koji se koristi u statici tunela. Najtačniji su elasto-plastični modeli koji omogućavaju analizu projektnih situacija u kome se uzima cjelokupno uticajno područje temeljnog poluprostora.

U ovakvom modelu se osobine temeljnog tla uzimaju sa elasto-plastičnim konstruktivnim modelima. Bunar se modelira sa elastičnim, odnosno elastoplastičnim ili volumenskim modelima.



Slika 8.3: Linijski model plašta bunara

## 8.2 Određivanje uticaja na bunar

Za pravilnu analizu graničnih stanja potrebno je odrediti i rasporediti stvarne uticaje, pri čemu treba uzeti u obzir interakcije između konstrukcije bunara i tla. Ti uticaji su sledeći:

- Opterećenja i kombinacije opterećenja na nosivu konstrukciju objekta koje se preko stubova i krajnjih upornjaka prenose na bunare: stalno opterećenje, uticaji prednaprezanja, reologija betona, saobraćajno opterećenje, ravnomjerna i neravnomjerna promjena temperature, opterećenje vjetrom, sile kočenja, trenje u pokretnim ležištima, opterećenje od potresa.
- Opterećenja na bunar: vlastita težina bunara, pritisak zemlje, pomjeranja i ubrzanja radi potresa, pritisci podzemne vode, filtracijski pritisci.
- Reakcijske sile na bunar: trenja između zemlje i plašta bunara, pritisci na temeljnu ploču bunara, trenje između temeljne ploče i tla, reakcijske sile na ploču bunara, otpor zemlje, uzgon.
- Sile od sidara.
- Pomjeranja radi raspadanja tla prirodnog slijeganja i rastresitosti zemlje.
- Pomjeranje radi klizanja tla.
- Pomjeranja radi drugih iskopa ili građenja susjednih bunara.

## 8.3 Opterećenje od pritiska zemlje

U stabilnom tlu u stanju mirovanja, horizontalni pritisak na padinskoj strani jednak je mirnom pritisku zemlje:

$$\sigma_h = K_0 \cdot \sigma_v;$$

$$\sigma_v = \gamma \cdot z$$

$\sigma_v$  vertikalni napon na dubini z  
 z dubina bunara  
 $\gamma$  specifična težina zemlje  
 $K_0$  koeficient mirnog pritiska zemlje  
 $K_0 = K_a [1 + \sin(\varphi - \beta)]$

$K_a$  = koeficient aktivnog pritiska zemlje

Na dolinskoj strani se, radi uspostavljanja ravnoteže, aktivira pasivni pritisak zemlje.

Kod određivanja pritiska zemlje na obod bunara u fazi izrade iskopa može se uzeti u obzir lokalna preraspodjela pritiska. Horizontalni pritisak zemlje se, radi formiranja horizontalnog i vertikalnog svoda, u tlu preraspodjeli oko šahta. Vertikalni svod se u tlu izgubi u narednim fazama iskopa, međutim uticaj horizontalnog svoda ostane i po završetku šahta bunara:

$$\sigma^R = A \cdot \sigma_h$$

A = faktor smanjenja, ako se ne uzme smanjenje kohezije, iznosi:

$$A = \frac{1 - e^{-K_a \frac{z}{r} \tan \varphi}}{\frac{z}{r} \cdot \tan \varphi}$$

$$K_a = \frac{\cos^2 \varphi}{\left(1 + \sqrt{\frac{\sin \varphi \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos \beta}}\right)^2}$$

$\beta$  = nagib padine

$\varphi$  = ugao unutrašnjeg trenja

r = poluprečnik bunara

Kot plivajućih bunara, vertikalno trenje se računa po izrazu:

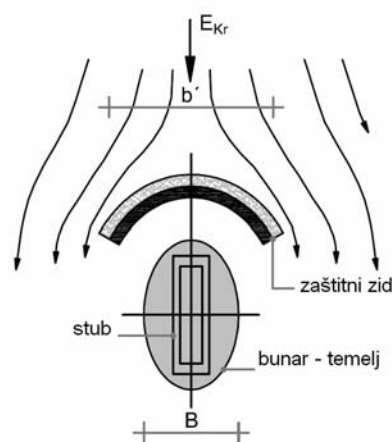
$$\tau^R = \frac{2}{3} \cdot \sigma^R \cdot \tan \varphi$$

Kod bunara većih promjera i zaštitnih ukrivljenih zidova na padinskoj strani bunara uzima se u obzir uticajna širina pritisaka zemlje:

- $b' = 1,2 B$  do  $2,0 B$ ; B = širina bunara

Računska uticajna širina (slika 8.4) zavisi od nagiba padine, karakteristika tla i geometrije bunara.

Kod bunara koji se nalaze u nestabilnoj padini, pritisak zemlje postepeno raste od aktivnog pritiska do punog pritiska klizanja pri formiranju plohe klizanja.



Slika 8.4: Određivanje uticajne širine

#### 8.4 Granična stanja nosivosti i upotrebljivosti

Analiza projektnih situacija izvodi se uz pomoć kompjuterskih modela konstrukcija i temeljnog poluprostora. Sa analizom pojedinačnih projektnih situacija treba dokazati, da u ukupnom životnom vijeku konstrukcije objekta (bunara) neće biti prekoračeno granično stanje nosivosti, upotrebljivosti i trajnosti.

U pogledu geomehantičkog projektovanja potrebno je dokazati slijedeća granična stanja:

- globalna stabilnost
- granična stanja GEO
- granična stanja STR

Granično stanje globalne stabilnosti obrađuje geomehantičke uslove gubitka globalne stabilnosti ili prekomjernih deformacija tla kod kojih je, za obezbjeđenje otpora, najznačajnija otpornost tla i stijenske mase.

Kod projektovanja i građenja bunara mora se dokazati globalna stabilnost uticajnog područja za sve projektom analizirane situacije. Treba dokazati i globalnu stabilnost bunara, padine iznad i ispod bunara, prilaznih puteva, iskopa, radnih platoa koje uslovljava tehnologija građenja.

Kod izbora odgovarajućih metoda za dokazivanje graničnih stanja globalne stabilnosti potrebno je uzeti u obzir: slojevitost padine, pojave i smjerove diskontinuiteta, procjeđivanje podzemne vode i parnih pritisaka, uslova kratkoročnih i dugoročnih stabilnosti, deformacije radi napona smicanja i prikladnost modela analize potencijalnog rušenja.

Sa graničnim stanjem GEO dokazuje se dovoljna sigurnost (geotehnička sigurnost) za granična stanja nosivosti padine i temeljnog tla u području bunara, a to su: rušenje temeljnog tla radi opterećenja na bunar, rušenje radi klizanja, rušenje zbog odzivanja sidranja.

Sa dokazivanjem graničnog stanja STR za pojedine projektne situacije dokazuje se dovoljna nosivost pojedinih konstruktivnih dijelova bunara padine iznad bunara, plašt bunara, ploča temelja, uklještenje stuba u bunar itd.). Opterećenja u zidovima bunara obično se odrede po teoriji 2. reda uz primjenu elasto-plastičnog ponašanja obruča. Kod dimenzioniranja plašta bunara potrebno je uzeti u obzir kriterij nestabilnosti (izvijanja) zida i ograničenje deformacija.

Za pojedinačne projektne primjere treba dokazati da se pri graničnom stanju može uspostaviti grančno stanje ravnoteže projektnih uticaja i otpora te da su deformacije pri grančnom stanju dovoljno male. Kod izbora računskih graničnih vrijednosti pomjeranja treba uzeti u obzir njihov uticaj na cijelu konstrukciju objekta. Za zahtjevnije betonske elemente konstrukcije treba dokazati granična stanja pukotina sa obrazloženjem očekivanih događanja na nepristupačnim mjestima, te u području predviđenih radnih spojeva.

#### 9. IZVOĐENJE TEMELJENJA NA BUŠENIM ŠIPOVIMA

Osnovni koraci izvođenja bušenog šipa velikog promjera su:

- podupiranje zida bušotine (šahta, iskopa) za šip,
- iskop zemlje i kamena,
- deponovanje iskopanog materijala.

Način podupiranja zidova šahta protiv rušenju i osipavanju zavisi od osobina tla i tehnologije koju izvođač radova namjerava primijeniti pri bušenju. Postoje tri glavna načina:

- ugrađivanje zaštitne kolone,
- podupiranje sa tekućinom,
- bez podupiranja.

Iskop u bušotini izvodi se sa rezanjem i kopanjem u mekom tlu, sa kidanjem i štemanjem u polutvrdom tlu i sa udaranjem u polutvrdom i tvrdom tlu.

Na tržištu postoji veliki broj različitih garnitura za bušenje koje omogućavaju primjenu oprobanih tehnologija sa visokim tehničkim pouzdanjem i optimalnim ekonomskim učincima.

Kod dubokog temeljenja na šipovima, koje rijetko prelazi dubinu 30 m, temeljenje se izvodi u različitim slojevima poluprostora sa stopom koja se obično nalazi u stijenskoj osnovi ili u sloju zbijenog pijeska ili šljunka. Za takve prilike, izvođačke organizacije su se opremile, posebno za iskope u zaštitnim kolonama.

Samo izvođenje bušenja spada u domen specijaliziranih izvođača koji raspolažu sa savremenom opremom i iskusnim stručnjacima za izvođenje koji znaju izabrati optimalnu tehnologiju uz poštivanje geoloških uslova na lokaciji izgradnje i specifičnosti projekta.

**Kontrola izvođenja** bušenih šipova je značajan činilac za ispunjavanje svih bistvenih zahtjeva koje mora ispunjavati novoizgrađeni objekat.

Svi tehnološki postupci temeljenja odvijaju se u okolini koja nije dostupna radi čega se mogu primijeniti vizualne kontrole i pomoćna sredstva za koje su potrebni neposredni kontakti sa elementima konstrukcije. Izvođenje je često povezano sa otežanim uslovima podvodnog betoniranja, sa strujanjem vode i teškim uslovima za sigurno postavljanje garnitura za izradu šipova.

Primjena uobičajenih metoda za preuzimanje dna građevinske jame nije moguća, zbog čega se bezprijekornost šipa, uključujući i kontakt sa temeljnim tlom, može provjeriti samo sa specijalnim metodama i posebnom opremom.

Struka je razvila brojne metode ispitivanja pouzdanosti šipova. Najvažniji zahtjevi koje moraju ispunjavati sve metode su sigurno dokazivanje homogenosti šipa, utvrđivanje da li noga šipa stoji na intaktnoj podlogi i da li je u toku betoniranja došlo do diskontinuiteta ugrađenog betona i prodora vode.

Većina metoda se zasniva na principu registrovanja odbijanja talasa koji se šire kroz tijelo šipa uključujući i kontakt sa tlom. Obično se upotrebljavaju ultrazvučne metode.

Za projektanta, nadzor i izvođača je važno da se od kontrolnog organa dobije certifikat koji je pouzdan, te da se na osnovu njegovog nalaza može dobiti zaključak o pouzdanosti temeljenja.

## 10. IZVOĐENJE TEMELJENJA NA BUNARIMA

### 10.1 Izrada bunara sa postepenim odkopavanjem

#### 10.1.1 Prethodni radovi i prateće mjere

Pored tačnog poznavanja terena i prilika u temeljnom tlu, pripremni radovi sadrže i opsežne radove na zaštiti koje treba izvesti prije početka izvođenja glavnih radova u cilju obezbjeđenja stabilnost padine. U takvim slučajevima mogu biti od koristi intervencije vezane za odvodnjavanje sa ciljem odvodnjavanja površinskih i procjednih voda sa područja padine i smanjiti nivo podzemne vode. U intervenciji odvodnjavanja ubroja se skupljanje i kontrolisan odvod površinske

vode sa čime se u što većoj mjeri sprečava erozija i nekontrolisano poniranje vode. Ostale zaštitne mjere su izrada sidranja, izrada t.k.z. kontra nasipa u podnožju padine, regulacija potoka radi zaustavljanja erozije i odnošenja podnožja padine.

#### 10.1.2 Radni plato i zaštita zasjeka u padini

Na ravnom dijelu terena ili na blago nagnutoj padini može se izgraditi radni plato za čitavu površinu bunara i simetrični iskop u bunaru po čitavom presjeku. Na strmoj padini (terenu) se iskop i zaštita padine od radnog platoa izvodi postepeno sa kampađama visine 1,0 do 1,5 m. Kod zahvata u padinu treba nastojati, da ti zahvati predstavljaju što manje intervencije u prirodnu ravnotežu padine. Za izgradnju bunara potreban je radni plato kao ishodište za postepeni iskop šahta. Obod zasjeka može se izvesti u vidu slobodne kosine, a u slučaju potrebe može se dodatno zaštititi. Zasjecanje treba oblikovati tako da se izradi svod paralelno sa nagibom padine. Sa zaštitnim mjerama zasjeka i formiranjem radnog platoa poboljšavaju se uslovi za održavanje ravnoteže sa čime se izbjegava pojava štetnog rastresanja tla. Kod nestabilne padine opravdava se primjena cjelokupnog koncepta zaštitnih mjera za obezbjeđenje radnog platoa te osiguranje bunara i padine. Zaštita se izvodi sa slijedećim konstruktorskim intervencijama:

- sa armiranim ili nearmiranim brizganim (torkret) betonom, u ovom slučaju treba predvidjeti mogućnost odvodnjavanja npr. sa izradom utora (šliceva) ili navrtavanjem zaštićene površine,
- sa brizganim betonom, armaturnim mrežama i ugrađivanjem kratkih pasivnih sidara,
- sa brizganim betonom sa sidranim rebrima ili gredama gdje se za sidra upotrebljavaju prednapregnuta geomehanička sidra,
- sa sidranim armiranobetonskim poluobručima deb. 20 – 30 cm,
- sa sidranim zidovima iz jednofrakcijskog (drenažnog) betona koji omogućava odvod vode (min. deb. 0,5 m),
- sa sidranim pilotnim zidom u slučaju kada je tlo nestabilno i pri manjim zasjecima u padinu, posebno u padinama sa sipkim materijalom, kod zasićenih sedimentnih plazovitih naslaga,
- sa prilaznim putevima za mehanizaciju koji ne smiju ugroziti stabilnost padine.



Zaštita zasjeka sa upotrebom prednapregnutih sidara je povoljna u slučaju da se sa sidrima preuzimaju pritisci zemlje, odnosno pritisci koji nastaju od klizanja tla sa čime se izbjegava direktno djelovanje pritiska na bunar. Na ovaj način se obrazuje zaštitni zid odnosno svod za bunar. Preporučuje se praćenje pomjeranja zatitnog zida sa ugrađivanjem repera i ekstenziometara. Na ovaj način se dozvoljava mogućnost izvođenja naknadnih intervencija u slučaju, da dođe do dodatnih opterećenja zbog puzanja tla.

### 10.1.3 Izrada iskopa za bunar

Kod izrade iskopa vertikalnog šahta i zaštitnih zidova bunara treba uzeti u obzir zakonitosti koje važe kod izgradnje tunela. Važno je, da se produbljivanje iskopa i izrada plašta šahta izvodi sa velikom mjerom opreza posebno, ako se temeljenje izvodi na više bunara na manjim međusobnim razmacima. Rastresitost zemlje pri iskopu neugodno utiče na reaktivne sile u tlu. Prvo se izvode niže ležeći bunari, u suprotnom može doći do neugodnog samostalnog podkopavanja prethodno izvedenog gornjeg bunara.

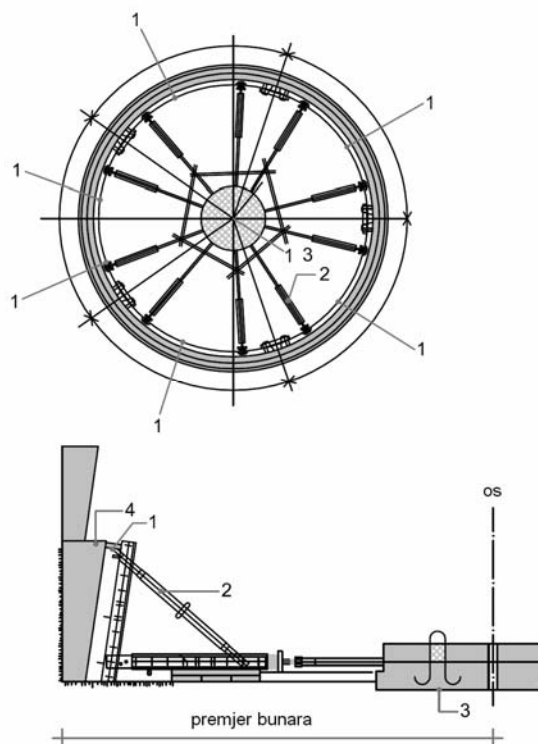
U gornjem dijelu bunara u području nenosivih slojeva, zaštita pojedinih etapa iskopa obično se izvodi sa armiranobetonskim prstenovima koji se izvode na licu mjesta sa jednostranom oplatom sastavljenom iz više remenata (slika 10.1). U nižim slojevima zaštitna obloga se izvodi iz brizganog betona u koliko to dozvoljavaju geomehaničke prilike. Prednost ovog načina je velika fleksibilnost samog radnog postupka i zaštitnog plašta šahta. Sa torkret betonom površine zidova iskopa se zatvaraju sa čime se sprečava pojava rastresitosti i osipanja zemlje u nepovoljnim vremenskim uslovima. Ljuska iz brizganog betona dobro naliježe i prilagođava se svim neravninama površine iskopa sa čime se stvara dobra, gruba podloga za beton bunara.

Iskop u polučvrstoj ili čvrstoj stijeni može se izvoditi sa miniranjem s tim, da se ne prouzrokuju oštećenja plašta bunara, opreme i prouzrokuju dodatne nestabilnosti padine.

Za iskop bunara potrebna je slijedeća mehanizacija i oprema:

- bager za iskop bunara koji se postavi u sami bunar ili na vrh bunara u koliko se iskop izvodi sa kašikom,

- bager, autodizalica ili kran za transport iskopanog materijala iz šahta bunara, za transport opreme i radnika,
- sistemska oplata za izradu zaštitnih prstenova,
- stroj za torkretiranje,
- oprema za miniranje,
- zaštitne i radne skele,
- pumpe za vodu za slučaj prisustva podzemne vode,
- lestve za pristup u bunar,
- sve potrebne instalacije (rasvjeta, po potrebi dovod svježeg zraka itd.).



- 1 – remenata oplata (lim, sekundarni nosači)
- 2 – nastavljiva konstrukcija oplata za opiranje
- 3 – montažni betonski blok za opiranje
- 4 – mjesto za betoniranje

Slika 10.1: Izrada zaštitnog prstena sa jednostranom oplatom

### 10.1.4 Kontakt između pete bunara i temeljnog tla

Način izgradnje šahta bunara omogućava dobro oblikovanje temeljnog tla. Pored toga temeljno dno se može produbljivati sa sjekačem odnosno udarnim kladivom. U nekim slučajevima npr. u područjima rastresitog tla može se poboljšati veza između pete bunara i tla sa ugrađivanjem armaturnih palica za sidranje, ali je u ovakvim slučajevima bolja varijanta produbljivanja bunara.

Kod plivajućih bunara može se nosivost tla poboljšati sa mlaznim injektiranjem (jet-grouting) koji ide do nosive stijenske mase. Ovaj način je ekonomičan u slučajevima kada se na većim dubinama očekuju pukotine i kraške jame. U čestim primjerima opravdano je izvesti injekcijske bušotine do dubine koja iznosi polovinu promjera bunara, posebno ako to zahtijevaju opterećenja od objekta, dimenzije bunara i prilike u temeljnom tlu na dnu bunara. Veće dubine injekcijskih bušotina sa vidika geomehanike nisu opravdane pošto bistveno ne utiču na slijeganje tla ispod temelja. Prema dosadašnjim iskustvima ovakve bušotine izvode se do 5,0 m dubine.

Nakon čišćenja temeljnog tla (odstranjivanje nevezanog materijala) potrebno je izvesti zaštitu sa podbetonom koji, u konačnoj fazi, predstavlja podlogu za beton pete bunara. U većini slučajeva bunar se u cjelosti zapuni betonom (nearmirani ili armirani). Za ove betone preporučuje se upotreba cementa i dodatka betonu koji smanjuju toplotu hidratacije. U nekim slučajevima bunar se zapunjava do određene visine, a stub postavi dublje od površine terena. Ovakva rješenja se upotrebljavaju za postizanje manje krutosti stuba koja omogućava jednostavnije uslove podupiranja npr. uklještenje stuba u rasponsku konstrukciju umjesto povezivanja sa kliznim ležištima. U ovakvim primjerima plašt bunara mora ostati trajno stabilan i preuzeti pritiske zemlje, koji se sa vremenom povećavaju.

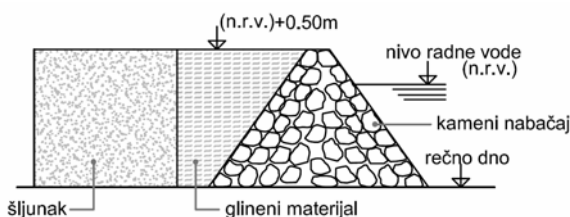
## 10.2 Izrada bunara sa spuštanjem

U slučaju da se temeljenje izvodi u rijekama sa vještačkim nasipom – poluotokom ili otokom izrada bunara, sa postepenim iskopom i istovremenom zaštitom, nije moguća. U pjeskovito-šljunkovitim materijalima sa veličinom frakcija do 200 mm upotrebljava se metoda izrade šahta sa podkopavanjem i spuštanjem (propadanjem) prethodno zabetoniranog šupljeg sanduka. Armira-nobetonski zidovi bunara zabetoniraju se po etapama iznad terena ili nivoa vode i sa iskopom unutar sanduka spušta (utapa) prema dole. Sve dok prtok vode nije veliki nema straha od hidrauličkog loma tla te se iskop obavlja na suhom. U području ispod nivoa vode iskop se izvodi sa bagerom - kašikarom. U slučaju veće zbijenosti terena ili prisutnosti samaca izvodi se podvodno miniranje.

Za smanjenje trenja između zidova bunara i zemlje vanjske površine zidova bunara upotrebljavaju se suspenzije bentonita.

Ova mjera se ne primjenjuje u pjeskovitim materijalima, pošto postoji opasnost od samostalnog propadanja bunara radi malog otpora zemlje ispod sjekača koji su ugrađeni na vanjskoj strani zidova bunara.

Kod izrade vještačkog nasipa treba pravilno izabrati materijal za nasip. Vanjske dijelove nasipa prema vodi treba zaštititi sa kamenim nabačajem. Dio nasipa u kome se vrši iskop u bunaru je iz šljunkovitog materijala bez većih komada. Između kamenog nabačaja i šljunkovitog nasipa izvede se barijera iz glinovitog materijala koja sprečava odnosno smanjuje vanjski dotok vode (slika 10.2).



Slika 10.2: Izrada vještačkog nasipa u vodi

Kada sanduk dosegne predviđenu kotu, dno se zatvori sa t.k.z. betonskim čepom. Ugrađivanje podvodnog betona treba izvesti neposredno po završetku iskopa sa čime se sprečava taloženje mulja na temeljno dno. U suprotnom treba natloženi mulj prije betoniranja čepa odstraniti (usisati). Nakon očvršćenja podvodnog betona (čepa) ispumpa se voda iz bunara uz prethodnu provjeru stabilnosti na uticaj pritiska uzgona. Temeljna ploča sa nastavkom za stub podupore izvodi se u suhom šahtu. Kod riječnih stubova gornji dio šahta, iznad kote dna korita, treba odstraniti sa miniranjem.

## 10.3 Posebnosti izrade bunara u nestabilnoj - plazovitoj padini

Bunar u plazovitoj padini, koja se nalazi na granici ravnoteže, predstavlja prepreku koja mijenja uslove ravnoteže temeljnog poluprostora.

U plazovitoj padini mogu se preduzeti sledeće mjere:

- da se klizanje padine ne sprečava npr. sa izvođenjem deformabilnog plašta bunara sa dilatiranim obručima (slika 4-d),
- da se uredi odvodnjavanje u području plaza sa ugrađivanjem drenažnih cijevi ispod površine terena i u šahtove bunara,

- da se opterećenje od plaza djelomično preuzme sa bunarom koji se primjerno dimenzionira i po potrebi sidra ili da se područje podupore zaštititi sa sidranim pilotnim zidom,
- da se pomjeranje plaza, sa opsežnim mjerama, spriječi u cjelosti. Ova mjera je neekonomična, a primjenjuje se samo u izuzetnim slučajevima

U slučaju da se stabilna temeljna tla nalaze jako duboko, onda se stub poveže sa bunarom tako, da se predviđena pomjeranja mogu kompezirati sa regulacijom ležišta.

#### **10.4 Nadzor pri građenju, monitoring i održavanje**

Kod izrade bunara potrebna je stalna saradnja između izvođača, projektanta, geomehaničara i nadzornog inženjera.

U okviru nadzora na izgradnji bunara izvode se sledeće aktivnosti:

- uspostavljanje monitoringa, sa kojim se prate i slijede pomjeranja padine, bunara i podupora,
- sa pregledima se odmah određuje stvarna kategorija tla,
- u pogledu stvarnih prilika, odmah se određuju dodatni uslovi osiguranja iskopa kao što je dodatno razupiranje, sidranje itd.,
- na dnu bunara treba izvesti test penetracije odnosno treba odrediti dubinu na kojoj se počinje izvođenje eventualne zaštite bunara,
- određivanje skladnosti sa projektom i evidentiranje odstupanja od izvedbene dokumentacije te promjene i dopune koje nastaju u toku izgradnje.

Na ručevitim područjima potrebno je, još prije početka građenja, pregledati teren sa namjenom, da odgovorni projektant konstrukcije, odgovorni geomehaničar i odgovorni nadzor zajedno odrede potrebu i mjesta ugrađivanja inklinometara. Odmah poslije ugrađivanja izvede se mjerenje nultog stanja i odredi gustoća narednih mjerenja. Gustoća mjerenja određuje se u zavisnosti od izmjerenih rezultata.

Sa završetkom građevinskih radova potrebno je uspostaviti prvobitno stanje sa planiranjem i humuziranjem terena u koliko nisu izvedene dugotrajne zaštitne mjere kod izvođenja početnih zasijecanja za radne platoe bunara.

Pažnju treba posvetiti pouzdanom odvodu oborinskih voda u cilju sprečavanja štetne erozije.

Područje bunara treba stalno kontrolisati. Posebno značajni su postupci kontrole nakon topljenja snijega i nakon perioda velikih kiša kako bi se ustanovila mjesta nastanka eventualnih erozija, površinskih pomjeranja i funkcionalnost i učinkovitost drenaža. Osim toga potrebno je pratiti naprave za mjerenje: ekstenziometre, naprave za mjerenje na sidrima, inklinometre i geodetske mjerne tačke. Posebnu pažnju treba posvetiti strmim padinama koje se nalaze na granici stabilnosti sa rizičnim temeljenjem. Na taj način se može pravovremeno intervenisati u slučaju pogoršanja prilika.

Obseg i način održavanja bunara mora se odrediti sa poslovníkom o održavanju objekta u kome su navedene informacije o kritičnim dijelovima konstrukcije za koje se zahtijevaju pregledi, vrste i gustoća pojedinačnih pregleda u okviru trajnog monitoringa.