

REPUBLIKA SRBIJA
PROJEKAT REHABILITACIJE TRANSPORTA

**PRIRUČNIK ZA PROJEKTOVANJE
PUTEVA U REPUBLICI SRBIJI**

**10. PROJEKTOVANJE INŽENJERSKIH
KONSTRUKCIJA**

10.2 TEMELJENJE NA BUNARIMA

BEOGRAD, 2012.

Izdavač: Javno preduzeće Putevi Srbije, Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd

Izdanja:

Br.	Datum	Opis dopuna i promena
1	30.04.2012.	Početno izdanje

SADRŽAJ

10.2.1	UVODNI DEO	1
10.2.1.1	PREDMET SMERNICE	1
10.2.1.2	REFERENTNI NORMATIVI	1
10.2.1.3	TERMINOLOGIJA	2
10.2.2	10.2.2 PROJEKTOVANJE I KONSTRUISANJE TEMELJA NA BUNARIMA	2
10.2.2.1	10.2.2.1 OPŠTI PRINCIPI KONCEPCIJE	2
10.2.2.2	KONSTRUKCIONI ELEMENTI ZAŠTITE KOD IZVOĐENJA ISKOPA	7
10.2.2.3	TEMELJNA PLOČA I OBLIKOVANJE KONTAKTA PETE BUNARA I TEMELJNOG TLA	9
10.2.2.4	NAČIN POVEZIVANJA STUBA I BUNARA	9
10.2.2.5	ANKERISANJE BUNARA U NESTABILNU PODLOGU	10
10.2.2.6	POSEBNOSTI KONSTRUKCIJE BUNARA KOJI SE IZVODE SA SPUŠTANJEM	13
10.2.3	GEOSTATIČKA ANALIZA BUNARA	15
10.2.3.1	RAČUNSKI MODELI	15
10.2.3.2	ODREĐIVANJE UTICAJA NA BUNAR	16
10.2.3.3	OPTEREĆENJE OD PRITISKA ZEMLJE	16
10.2.3.4	GRANIČNA STANJA NOSIVOSTI I UPOTREBLJIVOSTI	17
10.2.4	IZVOĐENJE TEMELJENJA NA BUNARIMA	18
10.2.4.1	IZRADA BUNARA SA POSTEPENIM ODKOPAVANJEM	18
10.2.4.1.1	Prethodni radovi i prateće mere	18
10.2.4.1.2	Radni plato i zaštita zaseka u padini	18
10.2.4.1.3	Izrada iskopa za bunar	18
10.2.4.1.4	Kontakt između pete bunara i temeljnog tla	19
10.2.4.2	IZRADA BUNARA SA SPUŠTANJEM	20
10.2.4.3	POSEBNOSTI IZRADE BUNARA U NESTABILNOJ PADINI	20
10.2.4.4	NADZOR TOKOM IZGRADNJE, MONITORING I ODRŽAVANJE	21

10.2.1 UVODNI DEO

10.2.1.1 Predmet smernice

U teškim geološko-morfološkim uslovima, u kojima se noseće tlo – stenovita geološka osnova nalazi na većim dubinama od približno 6,0 m, upotrebljava se duboko temeljenje. U savremenoj praksi za temeljenje mostova i inženjerskih konstrukcija najviše se primenjuju bušeni šipovi i bunari kojima se dopire i do dubine od 40 m.

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 noseće konstrukcije mostova utiču na koncepciju objekta, troškove i brzinu izgradnje, stabilnost i trajnost objekta.

U smernici 10.2. dati su osnovni elementi za projektovanje konstruisanje, geostatičku analizu i izvođenje dubokog temeljenja na bunarima kod mostova i inženjerskih konstrukcija.

Kod izrade Smernice korišćena su savremena teoretska znanja i iskustva, projektanata, stručnjaka za geomehaniku, izvođača, važeći propisi i standardi, te evropske norme za geotehničko projektovanje.

10.2.1.2 Referentni normativi

Zakon o planiranju i izgradnji	Sl. glasnik RS 47/03	2003	Law on Planning and Construction
Zakon o javnim putevima	Sl. glasnik RS 105/05	2005	Law on Public Roads
Zakon o zaštiti životne sredine	Sl. list SCG 135/04	2004	Law on Environmental Protection
Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton – BAB 87	Sl. list SFRJ 07-719/1	1987	Rule Book on Technical Normatives for Concrete and Reinforced Concrete – BAB 87
Pravilnik o tehničkim normativima za određivanje veličina opterećenja mostova	Sl. list SFRJ 1/91	1991	Rule Book on Technical Normatives for Bridge Loading
Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata	Sl. list SFRJ 15-295/90	1990	Rule Book on technical Normatives for Foundation of Civil Structures

Evropski standardi (EC) za projektovanje i proračun mostova i inženjerskih konstrukcija

Referentni standard	Naslov standarda u srpskom jeziku	Naslov standarda u engleskom jeziku
EN 1990:2002 + A1 2005	Evrokod – Osnove projektovanja konstrukcija	Eurocode – Basis of structural design
EN 1991-1-1	Evrokod 1: Dejstva na konstrukcije Deo 1-1: Opšta dejstva– Zapreminske mase, sopstvena težina, korisna opterećenja za zgrade – Nacionalni prilog	Eurocode 1: Actions on structures – par 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings
EN 1991-2	Evrokod 1: Dejstva na konstrukcije Deo 2.: Opšta dejstva – Dejstvo na konstrukcije izložene požaru	Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges
EN 1992-1-1	Evrokod 2: Projektovanje betonskih konstrukcija -1- 1. deo: Opšta pravila i pravila za zgrade	Eurocode 2: Design of concrete structures – part 1-1: General rules and rules for buildings

EN 1992-2	Evrokod 2: Projektovanje betonskih konstrukcija - 2. deo: Betonski mostovi – Projektovanje i pravila za konstruisanje	Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 2: Concrete bridges–design and detailing rules
EN 1997-1	Evrokod 7: Geotehničko projektovanje – 1. deo: Opšta pravila	Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules
EN 1997-2: 2007	Evrokod 7: Geotehničko projektovanje – 2. deo: Istraživanje i ispitivanje tla	Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing

SRPS EN 1536:2011	Izvođenje specijalnih geotehničkih radova – Bušeni šipovi
SRPS EN 1537:2002	Izvođenje specijalnih geotehničkih radova – Ankeri
SRPS EN 12715:2002	Izvođenje specijalnih geotehničkih radova – Injektiranje
SRPS EN 12716:2002	Izvođenje specijalnih geotehničkih radova – Mlazno injektiranje
SRPS EN 14490:2007	Izvođenje specijalnih geotehničkih radova – Armiranje tla

10.2.1.3 Terminologija

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 kada se na (dubini do 6 m) nalazi noseći sloj.

Temeljni poluprostor je prostor pod terenom sastavljen od slojeva zemlje različitih osobina koje su odlučujuće za određivanje nosivosti tla.

Radni plato je prostor ili zasecanje kosine terena radi izvođenja bunara.

Bunar je noseći element za prenos oslonačkih sila objekta u noseća temeljna tla.

Puni bunar je bunar kod koga je vertikalni šaht ispunjen betonom ili šljunkovitim materijalom. Mesto ukleštenja stuba je na vrhu bunara.

Šuplji bunar je bunar sa praznim – neispunjenim prostorom između stuba i plašta bunara. Stub je uklešten u petu bunara.

Zaštita iskopa podrazumeva sve zaštitne intervencije, koje se izvode u toku iskopa bunara.

Obruč – prsten je noseći element od armiranog betona u obliku zida na koji se

prenosi pritisak zemlje u fazi izvođenja iskopa bunara.

Prskani beton (torkret) je smesa agregata, cementa, vode i dodataka koja se prskanjem nanosi u ili na konstrukciju. Može da formira konstrukcioni beton, a može da bude samo fasadni sloj.

Plašt bunara je plašt cilindričnog tela bunara preko koga se prenose opterećenja u temeljni poluprostor uz aktiviranje kontaktnih napona na smicanje.

Zid plašta bunara je zid od armiranog betona po obodu šupljeg bunara ili bunara ispunjenog šljunkovitim materijalom.

Peta bunara je donji deo bunara preko koga se opterećenja prenose u tlo uz aktiviranje normalnih kontaktnih napona.

10.2.2 PROJEKTOVANJE I KONSTRUISANJE TEMELJA NA BUNARIMA

10.2.2.1 Opšti principi koncepcije

Prilikom izbora koncepcije i projektovanja temeljenja na bunarima treba ispuniti sledeće osnovne kriterijume za bezbednu upotrebu konstrukcije: otpornost, stabilnost, upotrebljivost i trajnost konstrukcije;

U projektovanju treba primenjivati evropske norme (EC) i nacionalne propise i standarde koji se odnose na materijale, temeljenje

objekata, određivanje uticaja na konstrukcije i za armirani beton.

Kod analize uticaja korisno je upotrebljavati međunarodne računске metode, računске modele i nostrifikovane računске programe.

Kod izbora koncepcije objekta, dubine temeljenja, dimenzija i načina građenja bunara potrebno je uzeti u obzir sledeće činioce:

- vrstu i veličinu konstrukcije objekta,
- uslove lokacije gradilišta koji se odnose na globalnu stabilnost i pomeranja tla,
- uslove okoline (uticaji na susedne objekte, saobraćaj, komunalne objekte i instalacije),
- uslove poluprostora tla,
- dozvoljena sleganja poduprte konstrukcije
- uslove koje nalažu uticaji podzemne vode,
- seizmički uslovi na užem području objekta,
- uticaji okoline (hidrologija, površinske vode, sezonske promene, vlažnost, sleganje),
- ekonomičnost izgradnje.

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

- deformabilnost i čvrstoću stenske mase
- prisutnost slabijih slojeva, pojavu raspadanja, područja prelomnice ispod bunara,
- prisutnost kontaktnih ploha ili drugih diskontinuiteta i njihovih karakteristika (npr. gustina, širina, razmak, povezanost),
- stanje raspadanja, dekompozicije i prelomi stena,
- oštećenja kamenog masiva u blizini bunara.

Bunari koji se temelje u čvrstom tlu obično se projektuju na osnovu pretpostavljenih kontaktnih pritisnih napona. Za tvrde intaktne eruptivne stene, gnajsove, krečnjačke stene i konglomerate, pretpostavljeni pritisni naponi su ograničeni pritisnim otporom betona temelja.

Kod projektovanja bunara obrađuju se sledeće projektne situacije:

- projektna situacija početnog stanja padine, postojećih objekata i infrastrukture u uticajnom području pre izvođenja radova
- tehnološke projektne situacije koje sadrže izgradnju pristupnih puteva, radnih platoa, iskopa za šahtove bunara i druge radne faze izgradnje kao što su: prednaprezanje geotehničkih 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 primenjuje u izradi klasičnih bunara. Radi se o postepenom iskopu po fazama uz istovremenu zaštitu obod iskopanog šahta.

Između dubokog temeljenja na bunarima i šipovima ne postoje suštinske razlike u pogledu nosivosti i deformabilnosti. Kod dubokog temeljenja na bunarima kao i na šipovima u poređenju 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 podrazumeva temeljenje na većim dubinama na 6,0 m od nivoa ravnog terena odnosno kosog terena - padine na nižoj strani.

Postoje dva načina izvođenja radova na iskopu bunara :

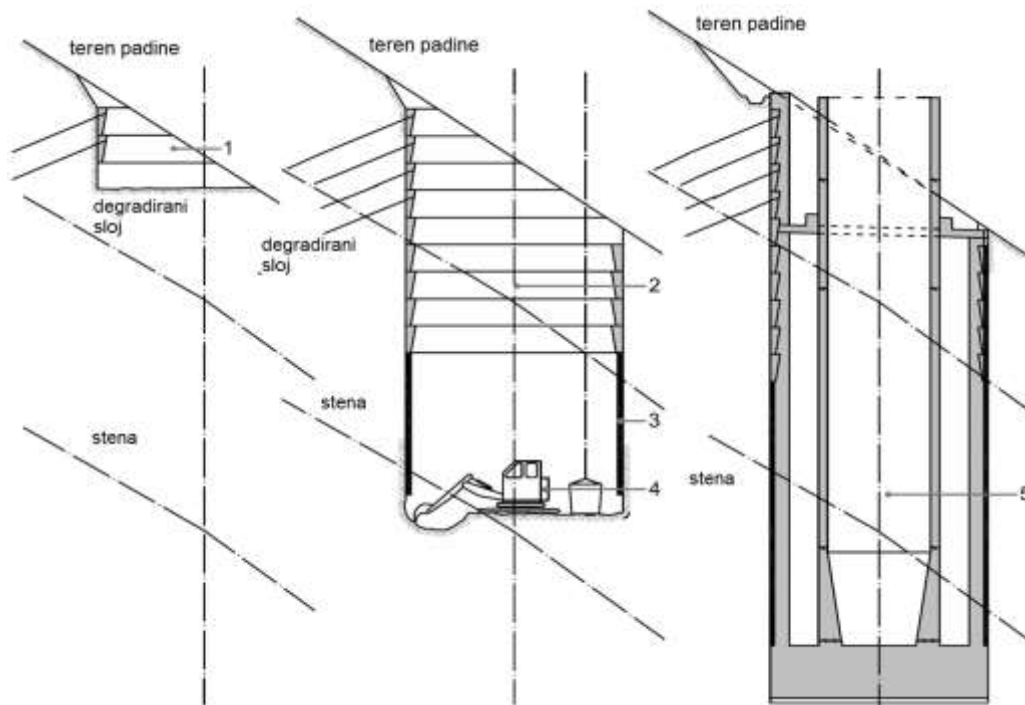
- postepenim iskopom uz istovremenu zaštitu oboda šahta (slika 10.2.1),
- postepenim spuštanjem (potapljanjem) prethodno zabetoniranog bunara iznad terena (slika 10.2.2).

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

Kod drugog načina bunari se izvode na mestu iskopa iznad terena u visini 2,0 do 4,0 m. Izvođenje može da podrazumeva betoniranje na licu mesta ili primenu montažnih prefabrikovanih elemenata. Iskopavanje mehanizacijom u bunaru i spuštanje bunara izvodi se istovremeno.

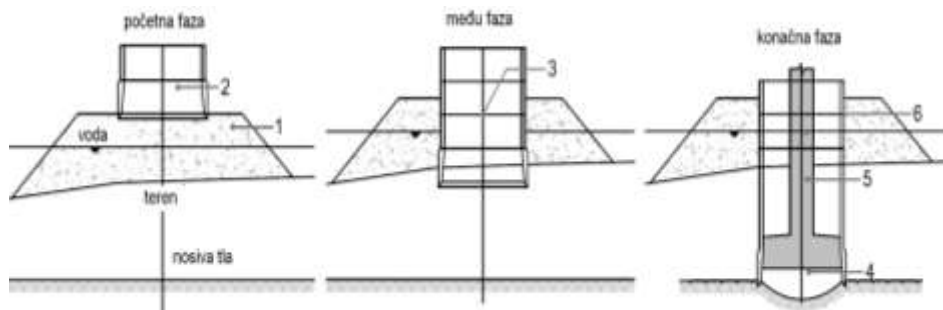
Nakon spuštanja prvog dela bunara betonira se sledeći segment bunara na gornjoj strani i ponavlja se postupak spuštanja sa potkopavanjem.

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



- 1 – početna faza iskopa
- 2 – iskop bunara po etapama uz izvođenje zaštite AB delimičnim ili punim obročima (u lošem tlu)
- 3 – zaštita iskopa oblogom od prskanog – torkret betona (u ispucaljoj steni)
- 4 – iskopavanje bagerom i transport iskopanog materijala kranom ili autodizalicom
- 5 – izveden bunar i stub (primer šupljeg bunara)

Slika 10.2.1: Izrada bunara postepenim iskopom uz istovremenu zaštitu oboda šahta



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

Slika 10.2.2: Izrada bunara postepenim spuštanjem i prethodnim zabetoniranjem bunara

Geotehnička kategorija 2 uključuje sledeće elemente odnosno delove konstrukcije bunara:

- temeljna ploča,
- zidovi i ostale konstrukcije koje podupiru zemlju ili vodu,
- iskopi,
- oporci i stubovi mosta,

- geomehnički ankeri i ostali sistemi ankerisanja.

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

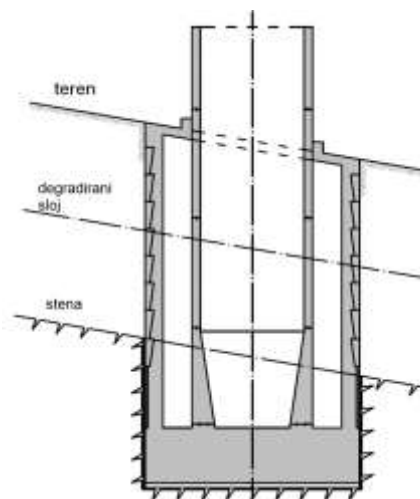
- veoma duboki bunari velikih dimenzija,

- bunari kod kojih postoji veliki rizik ili neuobičajeni i vrlo nepovoljni uslovi u tlu,
- konstrukcije u području velike ugroženosti od zemljotresa,
- bunari u području mogućih nestabilnih lokacija građenja ili stalnih pomeranja, na kojima treba izvesti odvojena ispitivanja ili primeniti posebne mere.

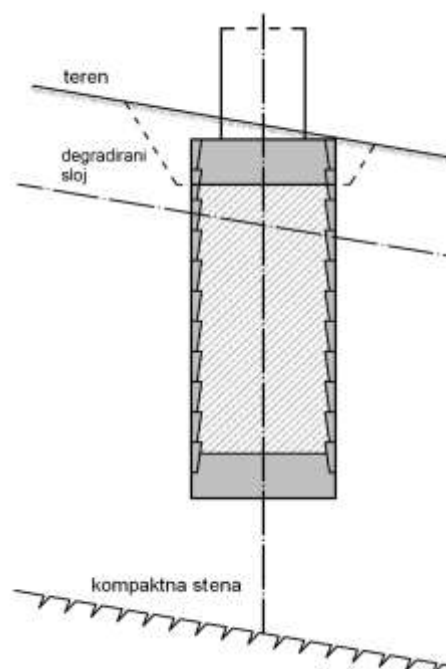
Prema načinu prenosa opterećenja oslonca u temeljno tlo bunari mogu da se podele na stojeće (slika 10.2.3) i plivajuće bunare (slika 10.2.4). Kod prvih se celokupno opterećenje prenosi u tlo preko temeljne ploče odnosno pete bunara. Plašt ima funkciju zaštite iskopa, eventualno štiti stub od proklizavanja padine, oblikuje prostor oko stuba i posredno smanjuje opterećenje. Kod plivajućih bunara deo opterećenja se prenosi u temeljni prostor uz trenje preko oboda plašta. U tom slučaju se izvodi masivna temeljna ploča na gornjoj strani šahta bunara ili se stub po celoj visini šahta čvrsto uveže plaštom.

Temeljenje bunarima može da se izvede pojedinačnim bunarima okruglog ili elipsastog preseka ili grupama bunara, obično od 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 presek. Oblik i dimenzije bunara zavise pre svega od dimenzije i oblika stuba, reda veličine statičkih uticaja, uslova stabilnosti terena i visine odnosno dubine bunara.

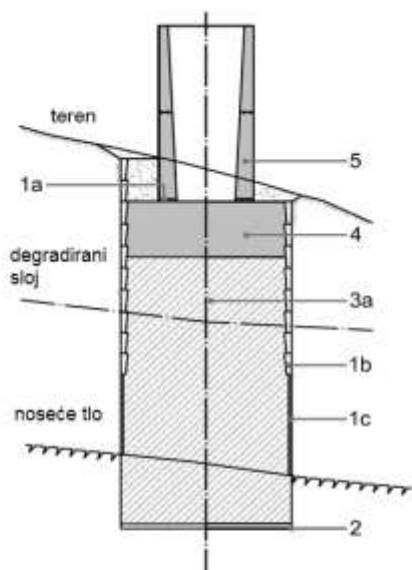


Slika 10.2.3: Stojeći bunar

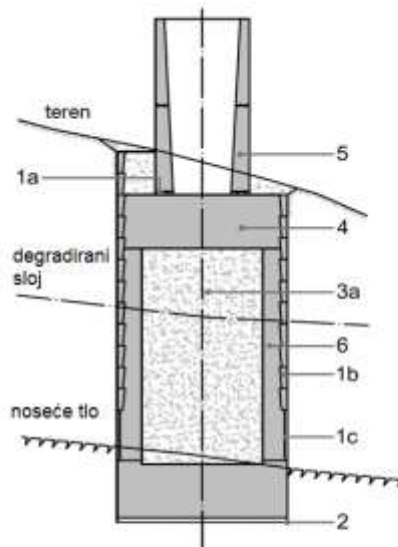


Slika 10.2.4: Plivajući bunar

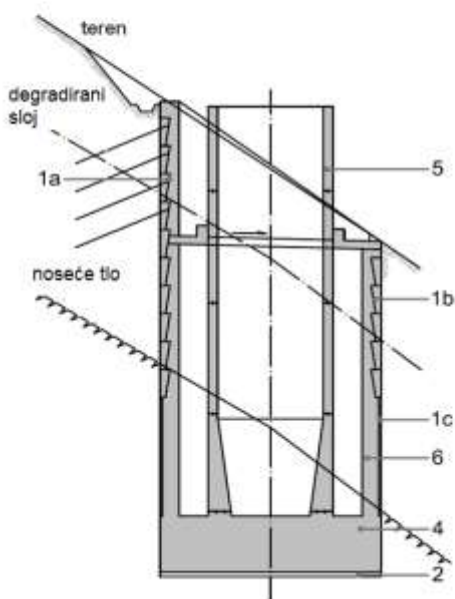
a) pun stojeći bunar ispunjen betonom



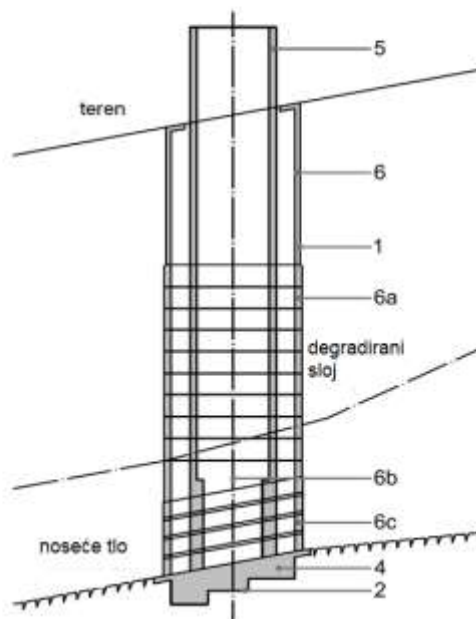
b) pun stojeći bunar ispunjen šljunkom



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 prskanim betonom
- 2 - peta bunara – kontakt između dna bunara nosećeg tla
- 3a - punjenje delimično armiranim betonom
- 3b - punjenje šljunkom

- 4 - temeljna ploča – ukleštenje stuba u bunar
- 5 - stub
- 6 - zid plašta bunara
- 6a - dilatirani elementi plašta
- 6b - trapezoidni elementi plašta
- 6c - nagnuti klizni obruči plašta

Slika 10.2.5: Opšti principi koncipiranja bunara za stubove vijadukta

Kod bunara koji se izvode postepenim spuštanjem mogu da se upotrebe i preseči pravougaonog ili kvadratnog oblika. U pogledu dimenzija bunara ne postoje fiksna

ograničenja. U slučajevima kada se zaštita iskopa izvodi sa prskanim – torkret betonom, prečnik bunara se ograničava na 2,0 do 2,5 m. Prečnik bunara uslovljava radni prostor

potreban za izvođenje iskopa kao i za ugrađivanje prskanog betona. U građevinskoj praksi su poznati primeri izvedenih bunara prečnika $D = 2,0$ m. Ograničenja maksimalnih dimenzija preseka bunara praktično nema. Poznati su primeri bunara u obliku elipse sa dimenzijama 21,0 x 15,0 m.

Kod koncipiranja bunara mogu da se primene principi idealno čvrste ili idealno savitljive (deformabilne) konstrukcije (slika 10.2.5). Čvrstoj konstrukciji odgovara monolitni neprekinuti čvrsti savitljivi cilindar od armiranog betona, dok se elastična – savitljiva konstrukcija bunara postiže elementima plašta (obruča) bunara koji su međusobno klizno dilatirani.

Prednosti čvrste konstrukcije su velika stabilnost i relativno mala osetljivost na lokalne diskontinuitete i nehomogenost u poluprostoru tla, dok je prednost elastične-gipke konstrukcije manje opterećenje pritiskom zemlje koji deluje na bunar, a time i manje debljine zidova plašta.

Kod relativno velikih pomeranja koja nastaju od klizanja tla i povremenih jakih diskontinuiranih klizanja koncipira se ekonomičan čvrsti bunar od 15 do 20 m dubine. Često se primenjuje mešani princip koji uzima u obzir ekonomičnost, te statiku i kinematiku plašta bunara.

Dubina (visina) bunara zavisi naročito od dubine na kojoj se nalazi noseće tlo pri čemu je značajno da se bunar uklješti u relativno zdravu noseću stenu. Takozvani „plivajući“ bunari retko se upotrebljavaju i to samo u slučajevima kada nije moguće dopreti do nosećeg tla – stena. Dubine od 15 do 18 m su obično skuplje zbog otežanog vertikalnog transporta iskopanog materijala. Do ovih dubina i u odgovarajućem preseku bunara, iskopani materijal se vertikalno transportuje pomoću hidrauličnog bagera sa produženom rukom. Kod većih dubina prenos iskopanog materijala se obavlja pomoću mehaničkog bagera. Maksimalne dubine bunara iznose od 30,0 do 40,0 m.

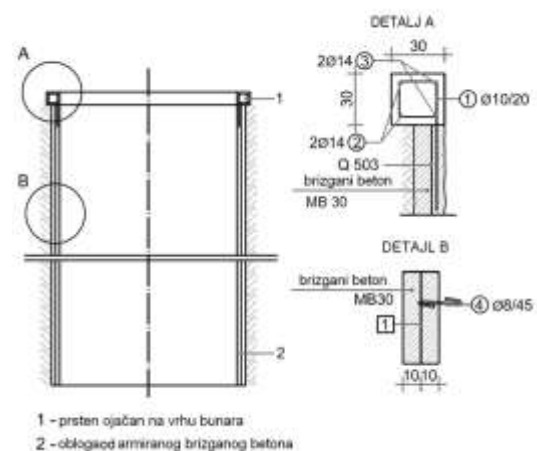
10.2.2.2 Konstrukcioni elementi zaštite kod izvođenja iskopa

Debljina plašta iz prskanog-torkret betona (slika 10.2.6), koji se izvodi za zaštitu pri

postepenom iskopu bunara zavisi od stanja temeljnog tla i izabranog preseka bunara. Kod uobičajenih dimenzija iznosi od 10 do 15 cm. Plašt delimično može da bude bez armature, a obično se armira sa dvostrukom armaturnom mrežom. Kod većih obima primenjuju se čelični razupirači. Na vrhu bunara izvodi se ojačan plašt – obruč od armiranog betona koji povećava stabilnost prilikom delovanja pritiska tla. U najnižim slojevima iskopa u području kompaktne stene, zaštita oboda iskopa prskanim betonom nije neophodna (slika 6.6) ukoliko se nakon ručnog čišćenja temeljne plohe odmah betonira peta bunara.

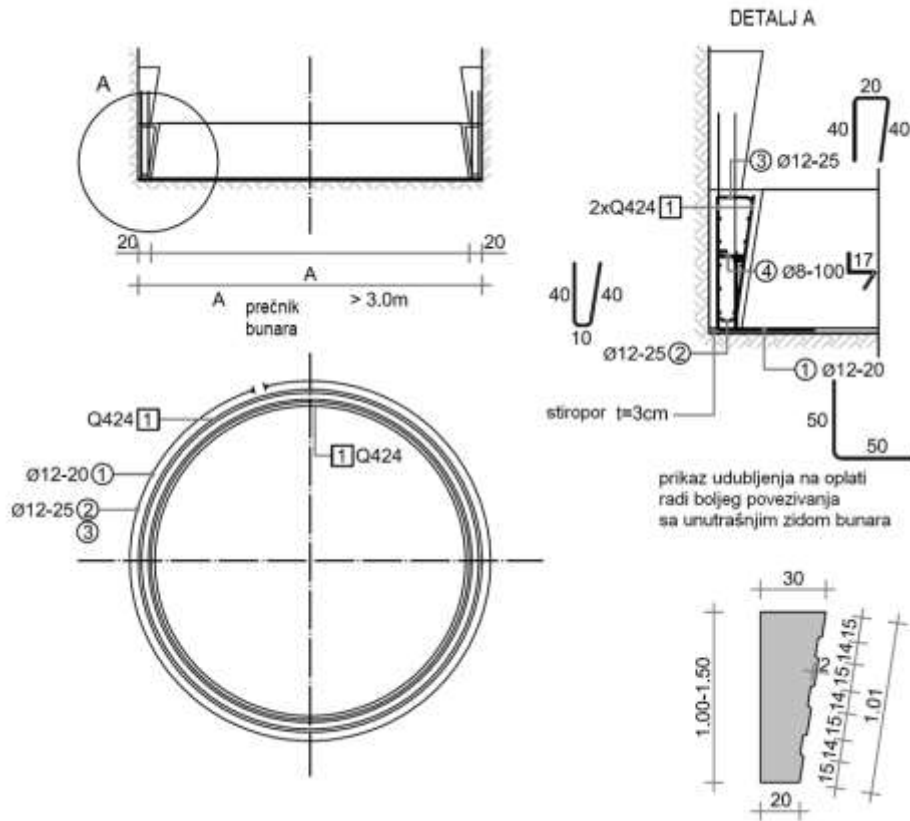
Zaštita iskopa bunara sa obručima od armiranog betona (slika 10.2.7) koji se izvodi na licu mesta, primenjuje se kod bunara većih prečnika u lošem tlu, a pre svega kada se bunar kasnije ne popunjava betonom.

Dubina iskopa pojedinačne kaskade iznosi od 1,0 do 1,5 m, a zavisi od stvarnih karakteristika tla, preseka bunara, tehničkih uslova rada. U tlu koje ima lošu koheziju dubinu iskopa pojedinih kaskada treba često smanjivati 20 do 30 cm kako bi se izbeglo obrušavanje materijala.

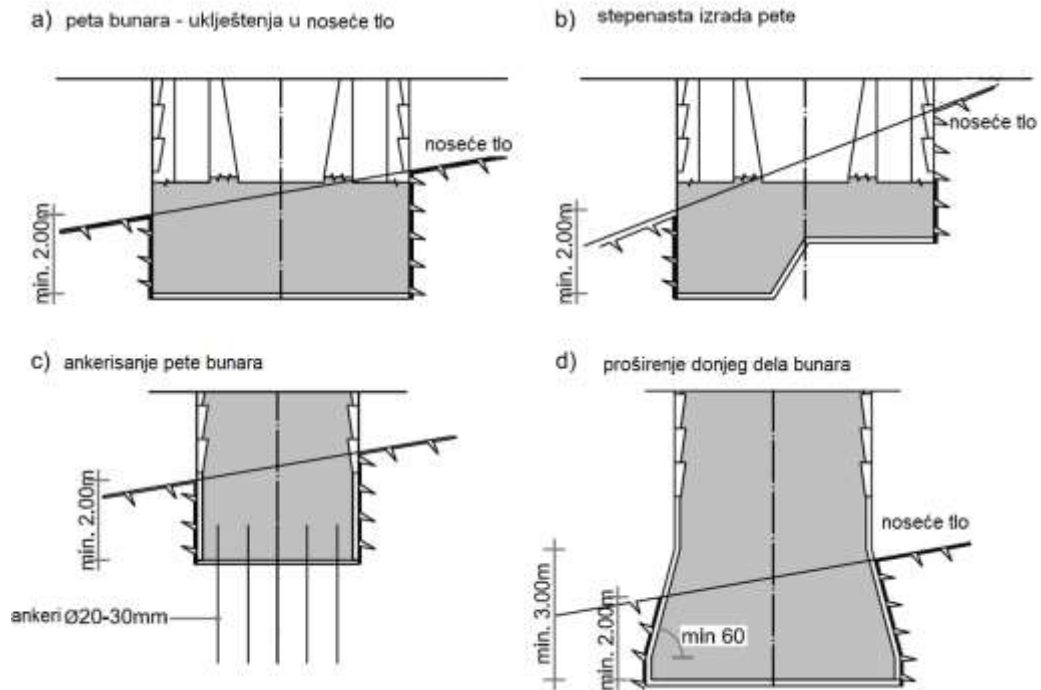


Slika 10.2.6: Zaštita iskopa bunara sa oblogom od armiranog prskanog-torkret betona

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



Slika 10.2.7: Zaštita iskopa sa obručima (prstenovima)



Slika 10.2.8: Primeri oblikovanja pete bunara

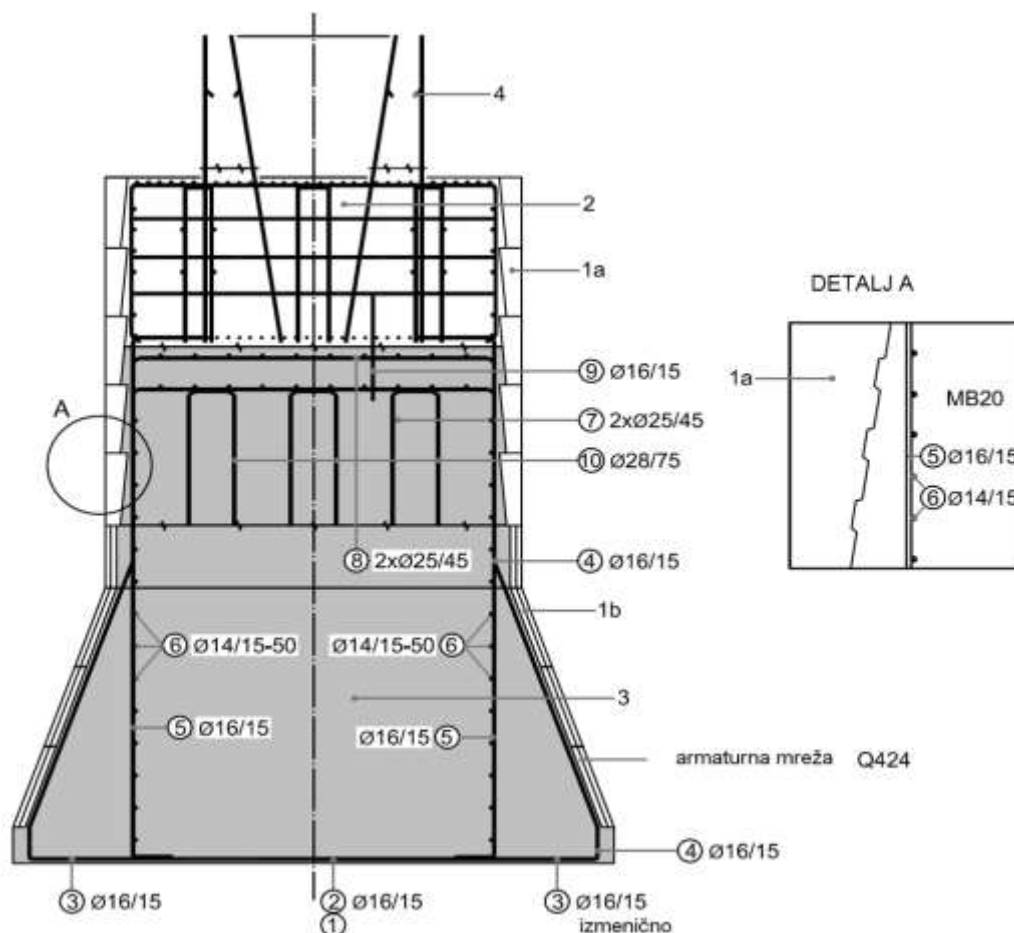
10.2.2.3 Temeljna ploča i oblikovanje kontakta pete bunara i temeljnog tla

Uklještenje bunara u noseće tlo treba izvesti u minimalnoj debljini 1,5 – 2,5 m. Izvođenje proširene pete bunara je opravdano u slučaju kada bunar okružuje nevezani materijal, te loša stena, a manje je opravdano kada je bunar uklješten u kompaktnu stenu. U ovim primerima proširenje preseka treba da počne u predelu nevezanog materijala, s tim da je unapred poznata konačna dubina bunara. Kod većih uklještenja bunara u stenu postiže se proširenje opterećenja u temeljna tla uz trenje između nazubljenog plašta i stenske mase. Kod većih nagiba osnove stenske mase temeljna peta bunara u kontaktu sa stenskom masom može da se izvede stepenasto. Bolje povezivanje između pete bunara i tla može da se postigne i vertikalnim ankerima.

10.2.2.4 Način povezivanja stuba i bunara

U slučaju uklještenja stuba u bunar na vrhu se izvodi tzv. puni bunar (slika 10.2.5a i 10.2.9). Ovakvo rešenje se primenjuje u sledećim slučajevima:

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



1a – obruči za zaštitu prilikom iskopa
1b – obloga iz prskanog betona

2 – uklještenje stuba u bunar temeljne ploče
3 – delimično armiran beton punjenja
4 – stub

Slika 10.2.9: Konstruktivne karakteristike punog bunara

Punjenje bunara izvodi se delimično armiranim betonom za punjenje ili valjkom od armiranog betona sa plaštom koji je ispunjen šljunkom. Punjenje šljunkom se izvodi kod većih dubina i većih preseka bunara, kada punjenje betonom nije ekonomično. Na vrhu bunara u području bunara treba urediti odvodnjavanje.

Kod šupljih bunara (slika 10.2.5 – c, d i 10.2.10) stub je uklešten u temeljnu ploču Pete bunara u sledećim slučajevima:

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

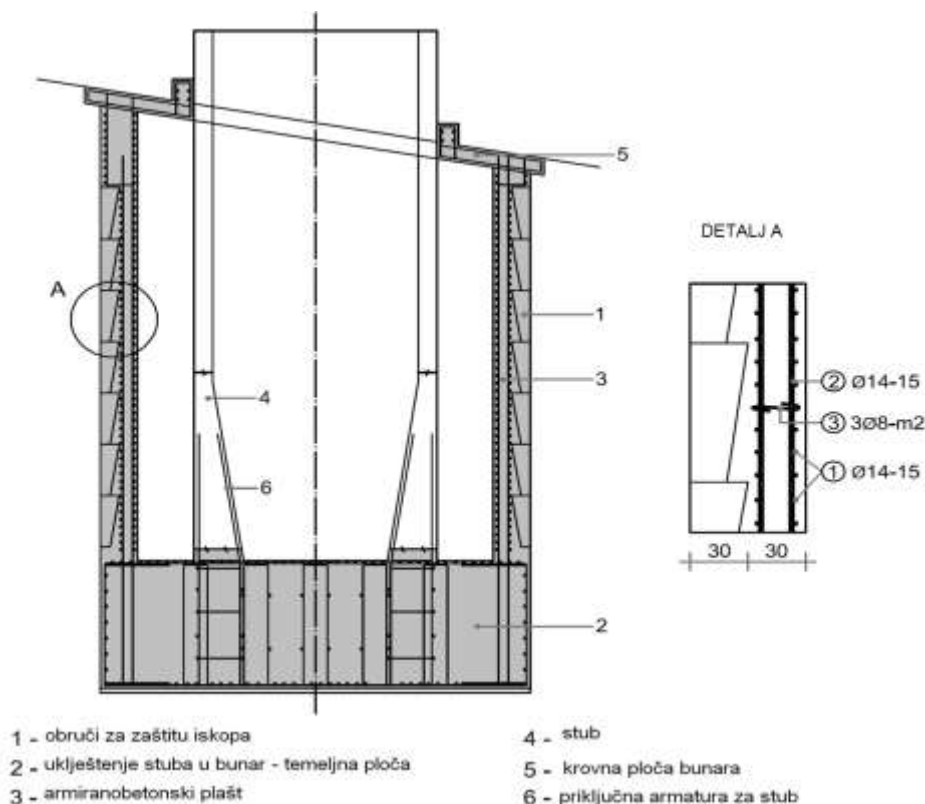
Kod mostova i vijaduktova pojedinačne potpore mogu da se temelje na pojedinačnim bunarima koji su međusobno povezani krutom gredom ili pločom. Prednost temeljenja na više bunara je bolja iskorišćenost učinka okvira. Sledeća prednost se ogleda u većoj stabilnosti tokom iskopavanja u odnosu na pojedinačni bunar većeg prečnika. Sa stanovišta izvođenja radova varijanta sa više manjih bunara je nepovoljnija od varijante sa jednim većim bunarom. Temeljenje potpore na više bunara

manjeg prečnika je ekonomično kod dubina do 10,0 m. U strmim padinama bunari dva susedna oslonca mogu se međusobno povezati krutom poprečnom gredom, tako da se opterećenja pritiskom zemlje prenose kao okvirna konstrukcija (slika 10.2.11).

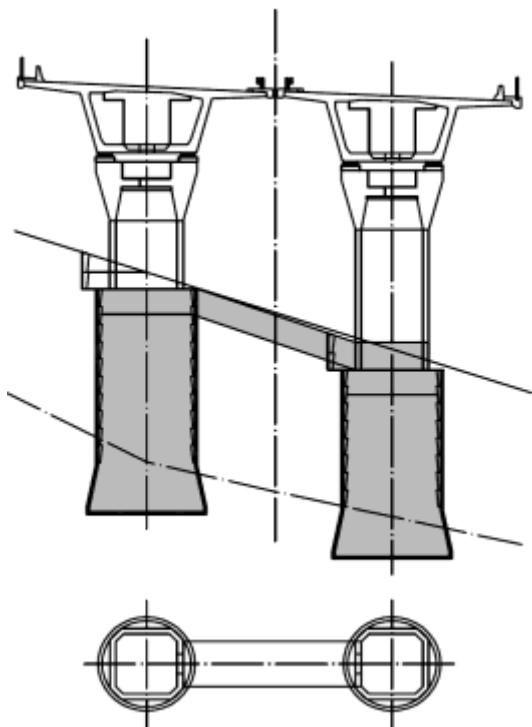
Za temeljenje oslonaca u strmim padinama sa većim debljinama nenosećih slojeva ekonomično je rešenje sa zajedničkim bunarom u obliku elipse većeg prečnika za dva stuba dve paralelne rasponske konstrukcije. Na vrhu bunara se izvodi kruta poprečna greda koja međusobno povezuje stubove (slika 10.2.12).

10.2.2.5 Ankerisanje bunara u nestabilnoj podlozi

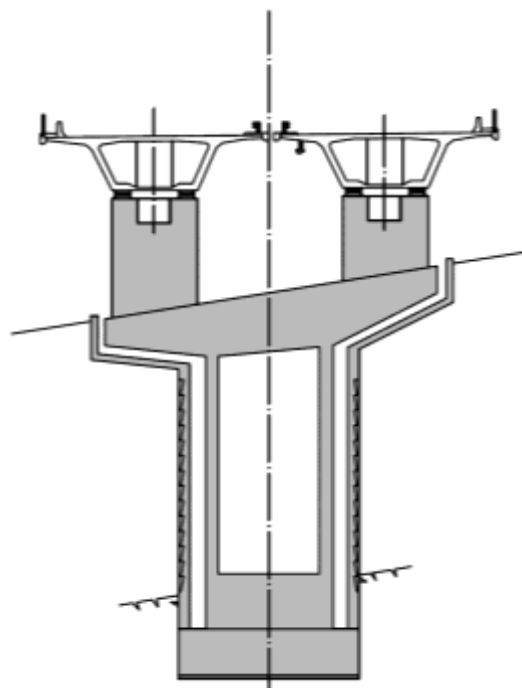
Ankerisanje bunara izvodi se kod temeljenja u strmoj nestabilnoj padini. Kod izvođenja iskopa često treba ankerisati poluobruče u početnoj fazi iskopavanja tokom zasecanja padine, kada nije izvodljiva zaštita punim prstenima. U tom delu se izvode poluobruči u kombinaciji sa pasivnim ankerima ili prenapregnutim ankerima što zavisi od intenziteta pritiska zemlje (slika 10.2.13).



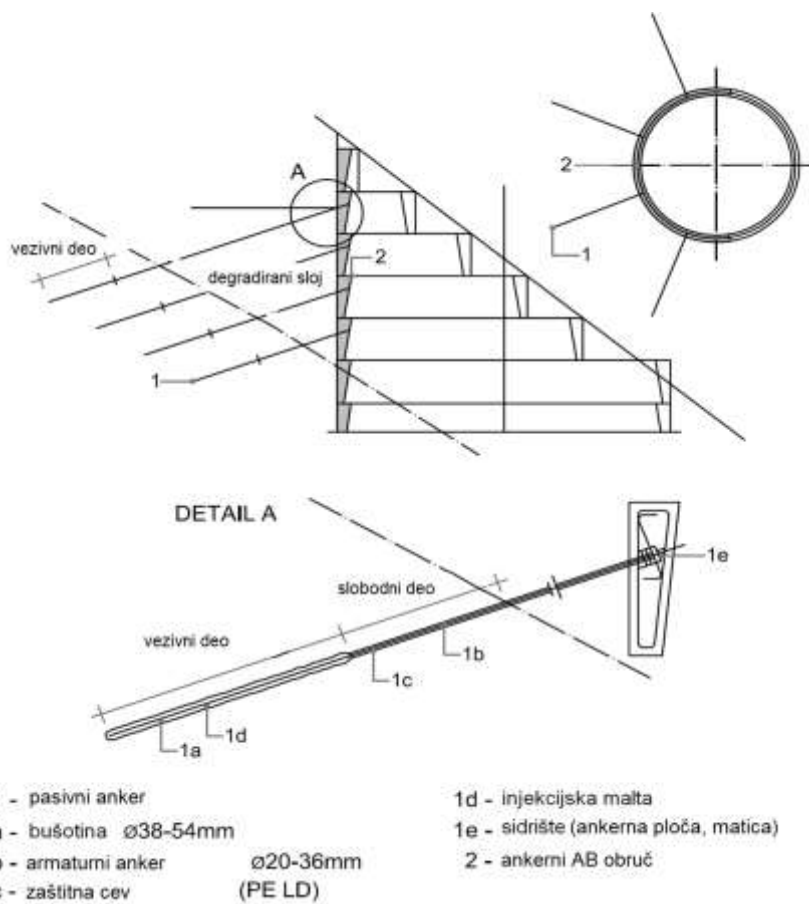
Slika 10.2.10: Konstruktivne karakteristike šupljeg bunara



Slika 10.2.11: Poprečno povezivanje bunara na nestabilnoj padini



Slika 10.2.12: Zajednički bunar za stubove vijadukta na strmoj padini sa čvrstom osnovom na većoj dubini



Slika 10.2.13: Ankerisanje poluobruča u početnoj fazi iskopavanja bunara

U nestabilnim padinama gde su prisutna klizišta u nekim slučajevima, stabilnost bunara može se obezbediti trajnim geomehničkim ankerima. U strmim klizavim padinama u kojima postoji mogućnost pojave iznenadnog klizanja često nije ekonomski opravdano obezbeđivanje stabilnosti čitave padine u cilju potpunog sprečavanja pomeranja.

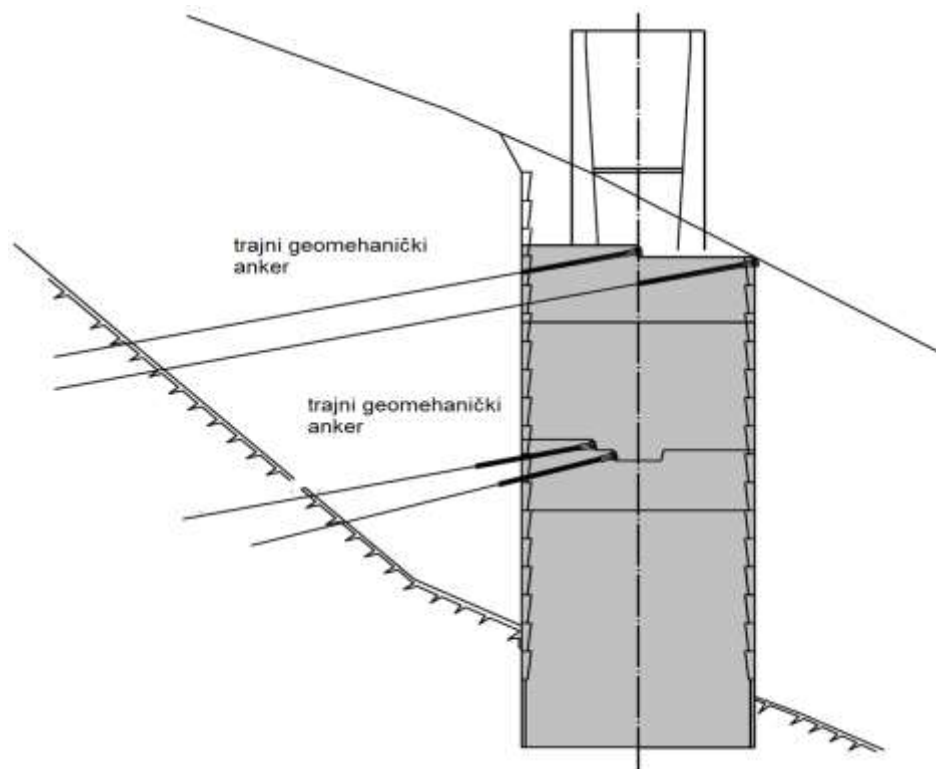
U takvim slučajevima treba izabrati rešenje sa pojedinačnim osloncima i obezbediti lokalnu stabilnost u željenoj meri. Pri tom treba uzeti u obzir da u slučaju pomeranja prema podnožju padine dolazi do koncentracije opterećenja u nepokretnom području potpore.

Uopšte postoje dve mogućnosti za preuzimanje tih koncentričnih opterećenja i to da se u potpunosti prenesu na masivne potporne zidove, ili ankerisanjem bunara. Ankerisanje može da se izvede na prednjoj strani bunara prema padini, ili sa dolinske strane stuba. Moguća je izrada ankerisanja samog bunara. Prednapregnutim ankerima

na vrhu bunara efikasno se preuzima deo horizontalnih sila i smanjuju se momenti savijanja u bunaru.

U veoma ugroženim područjima ankeri se ugrađuju i u donjim nivoima bunara (slika 10.2.14). Ovaj način se primenjuje u izuzetnim slučajevima usled negativnih činilaca kao što su:

- usporavanje toka izgradnje;
- složeni statički sistemi usled faznosti izgradnje i mogućnosti približnog uzimanja u obzir preraspodele pritisaka zemlje (koncentrisani unos opterećenja);
- otežana mogućnost kontrole funkcionalne sposobnosti prednapregnutog ankera npr. pomoću ekstenziometra ili merača sile u ankeru glave bunara;
- nemogućnost zamene prednapregnutog prekinutog ankera ili ankera oštećenog korozijom, a dodatni anker može da se ugradi samo uz bunar ili na glavu bunara;
- smanjenje reakcije tla na dolinskoj strani.



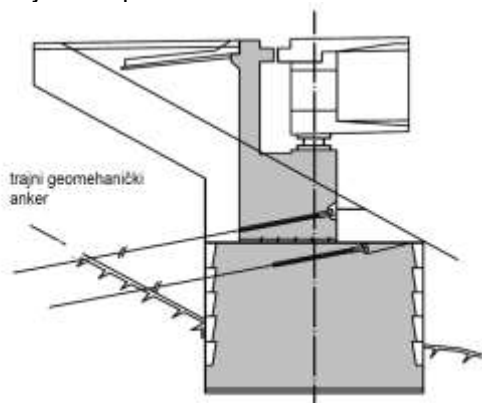
Slika 10.2.14: Primer ankerisanja bunara sa ankerisanjem na više nivoa

Prednost imaju geomehnički ankeri sa ankerisanjem na vrhu bunara odnosno grede za povezivanje bunara kod temeljenja oslonaca na dva ili više bunara koji su ugrađeni na padinskoj ili dolinskoj strani temelja. U ovim slučajevima ankeri mogu da

se kontrolišu i da se zamene u slučaju da otkazu. U ovakvim slučajevima treba predvideti prostor za rezervne ankere.

Osiguranje krajnjeg potpornog stuba može da se izvede ankerisanjem padine

(zemljanog dela temelja) sa dolinske strane (slika 10.2.15). Ankeri se prednaprežu na 2/3 korisnog opterećenja i ubrizgava se cementna emulzija kojom se istovremeno poboljšava ispucala stenska masa.



Slika 10.2.15: Ankerisanje bunara i krajnjeg potpornog stuba u strmoj padini

Bolje rešenje od obezbeđivanja nestabilne padine ankerima je produbljivanje bunara.

U poređenju sa ankerisanjem prema nivoima stuba i bunara, ankeri raspoređeni sa dolinske strane izvan bunara imaju sledeće prednosti:

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

10.2.2.6 Posebnosti konstrukcije bunara koji se izvode spuštanjem

Koncipiranje konstrukcije bunara koji se izvodi postepenim spuštanjem, uslovljena je načinom izrade i osobinama nenosećih slojeva temeljnog tla kroz koje se izvodi spuštanje bunara. Bunar šupljeg preseka kvadratnog, pravougaonog, kružnog ili elipsastog oblika sa ili bez unutrašnjih pregrada (slika 10.2.16) izvodi se na licu

mesta iznad radnog platoa u pojedinačnim segmentima ili u jednom komadu. Segmenti mogu da budu i u montažnoj izradi. Kod pravilno izvedenog veštačkog nasipa u vodi, veliki priliv vode moguć je samo kroz dno bunara. U takvim slučajevima vrši se pumpanje vode pumpama većeg kapaciteta ili se izvodi zatvaranje ubrizgavanjem pod pritiskom.

Bunar se tokom spuštanja izvodi po fazama u sledećim slučajevima:

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

Bunar se izvodi u punoj visini iznad radnog platoa u sedećim slučajevima:

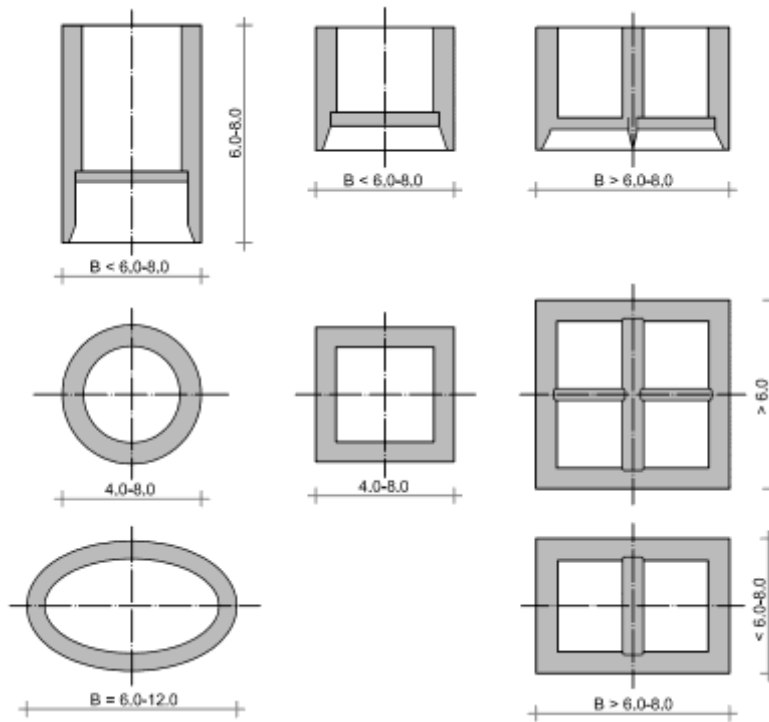
- kod malih dubina i velikih širina (prečnika) bunara kada je $H/B < 1.3$,
- kod ograničene visine ruke bagera ili kрана $h < 2/3 h'$ (h = visina bunara, h' = visina ručice bagera ili kрана),
- kada se ispod radnog platoa nalazi tvrda glina ili pesak,
- kod teških bunara koji ne mogu da se pričvrste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

Konstrukcija bunara koji se izvodi spuštanjem sastoji se od: sekača-noža, vencia i zidova bunara.

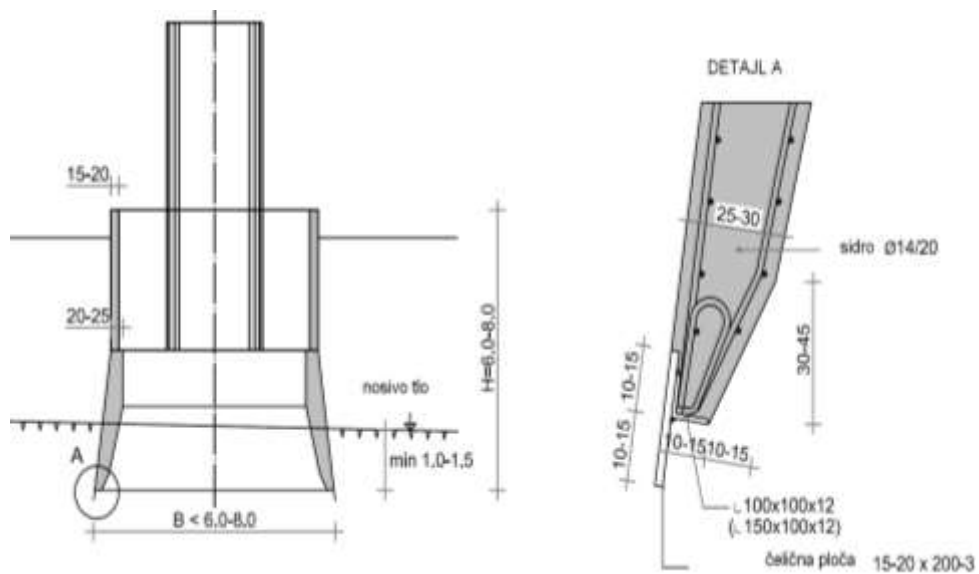
Nož sa vencem (slika 10.2.17) na unutrašnjoj strani bunara omogućuje:

- neposredni prenos pritiska težine bunara na tlo u procesu spuštanja,
- zaštitu bunara kod nesimetričnog opterećenja koje nastaje usled prepreka pri spuštanju,
- lakši iskop tla.

Nož je potreban kod spuštanja bunara kroz čvrsta tla i slojeve sa preprekama. Mora imati dovoljnu tvrdoću, u suprotnom može da predstavlja prepreku kod spuštanja bunara.



Slika 10.2.16: Mogući oblici bunara, koji se izvode spuštanjem



Slika 10.2.17: Oblikovanje donjeg dela bunara sekačem

Venac mora da ima sledeće osobine:

- mora da obezbedi dobar oslonac za nož koji se neposredno oslanja na tlo zbog čega je izložen uticaju lokalnih opterećenja koja nastaju usled prepreka kod spuštanja bunara,
- u poprečnom preseku mora da ima oblik trapeza u kome se nagib unutrašnje stranice prema vertikali smanjuje kod kompaktnijeg tla,
- na vencu je pričvršćen nož u obliku sekača kojim se povećava učinak zasecanja u tlo.

Zidovi bunara imaju sledeće funkcije:

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

U zidove bunara treba ugraditi sve cevi za instalacije koje su potrebne za sprovođenje mera korekcije tokom spuštanja. U području sekača ugrađuju se cevi za ispiranje sekača.

10.2.3 GEOSTATIČKA ANALIZA BUNARA

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

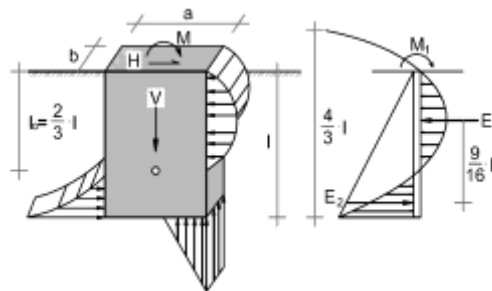
10.2.3.1 Računski modeli

Kod modeliranja konstrukcije i primene pravilnih opterećenja dolazi do nepouzdanosti u modeliranju temelja odnosno delova konstrukcije ispod donje ivice stubova, naročito kod okvirnih konstrukcija. Uzrok tome je nepouzdanost procena ponašanja tla, posebno u planinskim i brdovitim predelima gde se karakteristike tla menjaju na kratkim rastojanjima. Kod statički neodređenih sistema svaka promena ivičnih uslova oslonaca utiče na promenu unutrašnjih statičkih količina, tako da se nepouzdanost procene karakteristika temeljnog tla prenosi na ceo sistem. Savremeni računarski programi omogućuju tačno modeliranje konstrukcije, pri čemu pravilnost interakcije između konstrukcije i tla zavisi od ulaznih podataka koji odražavaju stvarne uslove.

U praksi su u primeni sledeći načini modeliranja:

- odvojeno modeliranje noseće konstrukcije i bunara,
- zajednički modeli noseće konstrukcije i temelja - bunara.

Najjednostavniji model bunara i poluprostora tla predstavlja model od čvrste plastike (slika 10.2.18) sa otporom tla na smicanje koji je određen projektom (parametrom C i φ) i čvrstim modelom bunara.



Slika 10.2.18: Model bunara od čvrste plastike

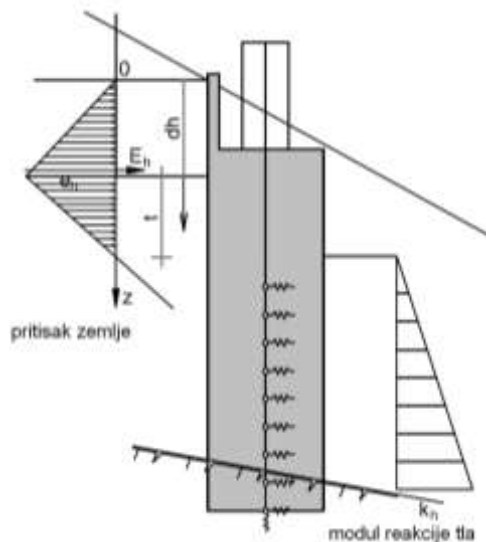
Osnova za ovaj model je unapred propisana kinematika bunara i granično, odnosno naponsko stanje u tlu određeno projektom. Model omogućuje srazmerno tačno određivanje graničnih vrednosti uticaja i otpora (aktivne i pasivne pritiske zemlje i nosivost temeljnog tla). Međutim aktivirane delove tih vrednosti treba proceniti prema očekivanoj odnosno dozvoljenoj deformaciji potporne konstrukcije i tla u području uticaja. Primena ovog modela ne omogućuje proračun stvarnih pomeranja.

U praksi se najviše primenjuje model na osnovu modula reakcije tla. Bunar modeliramo kao noseći element (linijski, ljuskasti ili volumenski) koji je, od tačke u kojoj je predviđena nulta razlika između aktivnog i pasivnog pritiska (slika 10.2.19), poduprt oprugama čije se konstante određuju na osnovu modula reakcije tla. Modul reakcije tla „ k “ (kN/m^3) određuje se na osnovu ispitivanja (horizontalno ispitivanje pločom, ispitivanje vrednosti pritiska i dr.), a često se njegova vrednost samo procenjuje. Definisan je kao srazmerni činilac između normalnih napona i pomeranja te tačke ($\sigma = k * w$). U jednostavnijem obliku uz poštovanje teorije elastičnog izotropnog poluprostora, modul reakcije tla vertikalno u odnosu na bunar (po Terzaghi-ju) iznosi:

$$k_h = \chi \cdot M_s / b$$

gde je:

- χ faktor korekcije (0,6 – 1,4; obično 1,0)
 M_s modul stišljivosti tla
 b širina bunara

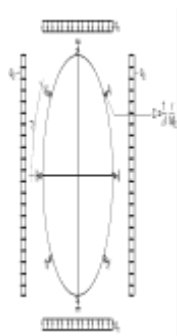


Slika 10.2.19: Model bunara u padini na osnovu modula reakcije tla

U analizi graničnog stanja plašta bunara može da se primeni pojednostavljen linijski model elastično poduprtog obruča (slika 10.2.20) koji se koristi u statički tunela.

Najtačniji su elastični plastični modeli koji omogućuju analizu projektnih situacija pri čemu se uzima u obzir celokupno uticajno područje temeljnog poluprostora.

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



Slika 10.2.20: Linijski model plašta bunara

10.2.3.2 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 noseću konstrukciju objekta koje se preko stubova i krajnjih potpornih stubova prenose na bunare: stalno opterećenje, uticaji prednaprezanja, reologija betona, saobraćajno opterećenje, ravnomerna i neravnomerna promena temperature, opterećenje vetrom, sile kočenja, trenje u pokretnim ležištima, opterećenje od zemljotresa;
- opterećenja bunara: sopstvena težina bunara, pritisak zemlje, pomeranja i ubrzanja usled zemljotresa, pritisci podzemne vode, pritisci filtracije.
- reakcione sile na bunar: trenja između zemlje i plašta bunara, pritisci na temeljnu ploču bunara, trenje između temeljne ploče i tla, reakcione sile na ploču bunara, otpor zemlje, uzgon;
- sile sidara;
- pomeranja usled raspadanja tla prirodnog sleganja i rastresitosti zemlje;
- pomeranje usled klizanja tla;
- pomeranja usled drugih iskopa ili izgradnje susednih bunara.

10.2.3.3 Opterećenje od pritiska zemlje

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

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

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

σ_v vertikalni napon na dubini z

z dubina bunara

γ specifična težina zemlje

K_0 koeficijent mirnog pritiska zemlje

$$K_0 = K_a [1 + \sin(\varphi - \beta)]$$

K_a = koeficijent aktivnog pritiska zemlje

Na dolinskoj strani se usled uspostavljanja ravnoteže aktivira pasivni pritisak zemlje.

Kod određivanja pritiska zemlje na obod bunara u fazi izrade iskopa, može se uzeti u obzir lokalna preraspodela pritiska. Horizontalni pritisak zemlje se, usled formiranja horizontalnog i vertikalnog svoda, u tlu raspoređuje oko šahta. Vertikalni svod u tlu nestaje u narednim fazama iskopa.

Međutim, uticaj horizontalnog svoda ostaje i po završetku šahta bunara:

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

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

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

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

β = nagib padine

φ = ugao unutrašnjeg trenja

r = poluprečnik bunara

Kod plivajućih bunara, vertikalno trenje se računa prema izrazu:

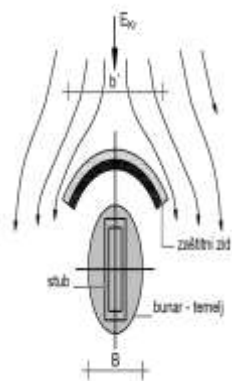
$$\tau^R = \frac{2}{3} \cdot \sigma^R \cdot \tan \varphi$$

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

$$b' = 1,2 B \text{ do } 2,0 B; B = \text{širina bunara}$$

Računska uticajna širina (slika 10.2.21) zavisi od nagiba padine, karakteristika tla i geometrije bunara.

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



Slika 10.2.21: Određivanje uticajne širine

10.2.3.4 Granična stanja nosivosti i upotrebljivosti

Analiza projektnih situacija izvodi se pomoću računarskih modela konstrukcija i temeljnog poluprostora. Analizom pojedinačnih projektnih situacija treba dokazati da se u ukupnom životnom veku konstrukcije objekta (bunara) neće nadmašiti granično stanje nosivosti, upotrebljivosti i trajnosti.

U pogledu geomehničkog projektovanja treba dokazati sledeća granična stanja:

- globalnu stabilnost,
- granična stanja GEO,
- granična stanja STR.

Granično stanje globalne stabilnosti obrađuje geomehničke uslove gubitka globalne stabilnosti ili prekomernih deformacija tla kod kojih je za obezbeđenje otpora, najznačajnija otpornost tla i stenske mase.

Kod projektovanja i građenja bunara potrebno je dokazati globalnu stabilnost uticajnog područja analizirane situacije obuhvaćene projektom. 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 treba uzeti u obzir: slojevitost padine, pojave i smerove diskontinuiteta, proceđivanje podzemne vode i parnih pritisaka, uslova kratkoročnih i dugoročnih stabilnosti, deformacije radi napona smicanja i prikladnost modela analize potencijalnog rušenja.

Graničnim stanjem GEO dokazuje se dovoljna bezbednost (geotehnička bezbednost) za granična stanja nosivosti padine i temeljnog tla u području bunara, a to su: rušenje temeljnog tla usled opterećenja bunara, rušenje usled klizanja, rušenje zbog otkazivanja ankerisanja.

Dokazivanjem graničnog stanja STR za pojedine projektne situacije dokazuje se dovoljna nosivost pojedinih konstruktivnih delova bunara padine iznad bunara, plašt bunara, ploča temelja, ukleštenje stuba u bunar itd.). Opterećenja u zidovima bunara obično se određuju prema teoriji drugog reda uz primenu elastično-plastičnog ponašanja obruča. Kod dimenzionisanja plašta bunara treba uzeti u obzir kriterijum nestabilnosti (izvijanja) zida i ograničenje deformacija.

Za pojedinačne projektne primere treba dokazati da se kod graničnog stanja može uspostaviti granično stanje ravnoteže projektnih uticaja i otpora, te da su deformacije kod graničnog stanja dovoljno male. Kod izbora računskih graničnih vrednosti pomeranja treba uzeti u obzir njihov uticaj na celu konstrukciju objekta. Za zahtevnije betonske elemente konstrukcije treba dokazati granična stanja pukotina obrazloženjem očekivanih događanja na nepristupačnim mestima, te u području predviđenih radnih spojeva.

10.2.4 IZVOĐENJE TEMELJENJA NA BUNARIMA

10.2.4.1 Izrada bunara postepenim otkopavanjem

10.2.4.1.1 Prethodni radovi i prateće mere

Pored tačnog poznavanja terena i prilika u temeljnom tlu, pripremni radovi sadrže i opsežne radove na zaštiti koje treba izvesti pre početka izvođenja glavnih radova u cilju obezbeđenja stabilnosti padine. U takvim slučajevima mogu da budu od koristi intervencije odvodnjavanje sa ciljem odvodnjavanja površinskih i procednih voda sa područja padine i smanjenja nivoa podzemne vode. U intervenciji odvodnjavanja ubraja se skupljanje i kontrolisano odvođenje površinske vode čime se u najvećoj mogućoj meri sprečava erozija i nekontrolisano poniranje vode. Ostale zaštitne mere su izrada ankerisanja, izrada tzv. kontra nasipa u podnožju padine, regulacija potoka radi zaustavljanja erozije i rasipanja podnožja padine.

10.2.4.1.2 Radni plato i zaštita zaseka u padini

Na ravnom delu terena ili na blago nagnutoj padini može se izgraditi radni plato za čitavu površinu bunara i simetrični iskop u bunaru po čitavom preseku. Na strmoj padini (terenu) iskop i zaštita padine se izvodi postepeno do radnog platoa kampadama visine 1,0 do 1,5 m. Kod zahvata u padinu treba nastojati da što manje utiču na prirodnu ravnotežu padine. Za izgradnju bunara potreban je radni plato kao polazište za postepeni iskop šahta. Obod zaseka može da bude izveden u obliku slobodne kosine, a ako je to potrebno može se dodatno zaštititi. Zasecanje treba oblikovati tako da svod bude paralelan sa nagibom padine. Zaštitnim merama zaseka i formiranjem radnog platoa

poboljšavaju se uslovi za održavanje ravnoteže, čime se izbegava pojava štetnog rasipanja tla. Kod nestabilne padine opravdana je primena celokupne koncepcije zaštitnih mera za obezbeđenje radnog platoa, te zaštita bunara i padine. Zaštita se izvodi sa sledećim konstruktorskim intervencijama:

- armiranim ili nearmiranim prskanim (torkret) betonom, pri čemu treba predvideti mogućnost odvodnjavanja, npr. izradom utora (šliceva) ili navijanjem zaštićene površine,
- prskanim betonom, armaturnim mrežama i ugrađivanjem kratkih pasivnih sidara,
- prskanim betonom sa ankerisanim rebrima ili gredama gde se za ankerisanje upotrebljavaju prednapregnuta geomehantički ankeri,
- ankerisanim poluobručima od armiranog betona deb. 20 – 30 cm,
- ankerisanim zidovima od jednofrakcijskog (drenažnog) betona koji omogućuje odvod vode (min. deb. 0,5 m),
- ankerisanim zidom od šipova u slučaju kada je tlo nestabilno i pri manjim zasecima u padinu, posebno u padinama od lošeg materijala, kod zasićenih sedimentnih odronskih naslaga,
- prilaznim putevima za mehanizaciju koji ne smeju da ugroze stabilnost padine.

Zaštita zaseka primenom prednapregnutih sidara je povoljna u slučaju da se ankerima prenosi pritisak zemlje, odnosno pritisak koji nastaje usled pomeranja tla, čime se izbegava neposredan uticaj pritiska na bunar. Na ovaj način se formira zaštitni zid odnosno svod za bunar. Preporučuje se praćenje pomeranja zaštitnog zida ugrađivanjem repera i ekstenziometara. Na ovaj način se omogućuju naknadne intervencije u slučaju da dođe do dodatnih opterećenja zbog pomeranja tla.

10.2.4.1.3 Izrada iskopa za bunar

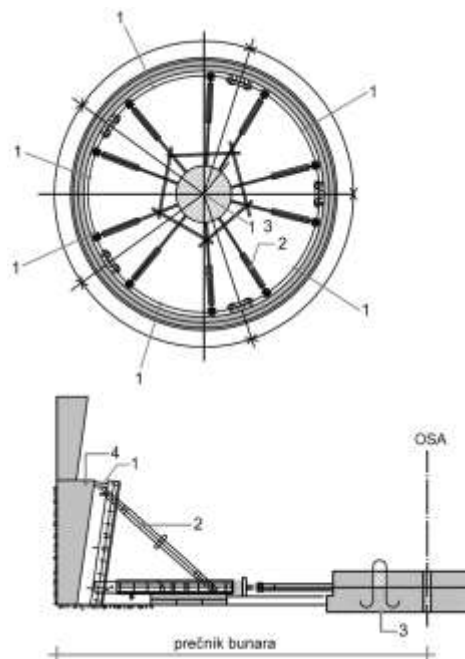
Kod izrade iskopa vertikalnog šahta i zaštitnih zidova bunara treba uzeti u obzir zakonitosti koje važe kod izgradnje tunela. Važno je da se produbljivanje iskopa i izrada plašta šahta izvodi veoma oprezno, naročito ako se temeljenje izvodi na više bunara koji se nalaze na manjem međusobnom rastojanju. Rastresitost zemlje pri iskopu nepovoljno utiče na reaktivne sile u tlu. Prvo se izvode niže ležeći bunari, jer u suprotnom može da dođe do nepovoljnog samostalnog potkopavanja prethodno izvedenog gornjeg bunara.

U gornjem delu bunara u području nenosećih slojeva zaštita pojedinih etapa iskopa obično se izvodi sa prstenovima od armiranog betona koji se izvedu na licu mesta jednostranom oplatom sastavljenom od više remenata (slika 10.1). U nižim slojevima zaštitna obloga se izvodi prskanim betonom ukoliko to dozvoljavaju geomehaničke prilike. Prednost ovog načina je velika fleksibilnost samog radnog postupka i zaštitnog plašta šahta. Torkret betonom površine zidova iskopa se zatvaraju, čime se sprečava pojava rastresitosti i rasipanja zemlje u nepovoljnim vremenskim uslovima. Omotač od prskanog betona dobro prijanja i prilagođava se svim neravninama površine iskopa čime se stvara dobra, gruba podloga za beton bunara.

Iskop u polučvrstoj ili čvrstoj steni može da se izvede miniranjem, s tim da se ne uzrokuju oštećenja plašta bunara, opreme i dodatne nestabilnosti padine.

Za iskop bunara potrebna je sledeća mehanizacija i oprema:

- bager za iskop bunara koji se postavlja u sam bunar ili na vrh bunara ukoliko se iskop izvodi kašikom,
- bager, autodizalica ili kran za transport iskopanog materijala iz šahta bunara, kao i za transport opreme i radnika,
- sistemska oplata za izradu zaštitnih prstenova,
- mašina 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 (rasveta, po potrebi dovod svežeg vazduha itd.).



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

Slika 10.2.22: Izrada zaštitnog prstena sa jednostranom oplatom

10.2.4.1.4 Kontakt između pete bunara i temeljnog tla

Način izgradnje šahta bunara omogućuje dobro oblikovanje temeljnog tla. Pored toga, temeljno dno može da se produbljuje sekačem odnosno udarnim čekićem. U nekim slučajevima, npr. u područjima rastresitog tla može se poboljšati veza između pete bunara i tla ugrađivanjem armaturnih šipki za ankerisanje, ali je u ovakvim slučajevima bolja varijanta produbljivanja bunara.

Kod plivajućih bunara nosivost tla može da se poboljša mlaznim ubrizgavanjem (jet-grouting) koji ide do noseće stenske mase. Ovaj način je ekonomičan kada se na većim dubinama očekuju pukotine i krečnjačke jame. Često je opravdana primena bušotina za ubrizgavanje do dubine koja iznosi polovinu prečnika bunara, posebno ako to zahtevaju opterećenja objekta, dimenzije bunara i uslovi u temeljnom tlu na dnu bunara. Veće dubine bušotina za ubrizgavanje sa vidika geomehanike nisu opravdane pošto suštinski ne utiču na sleganje tla ispod temelja. Na osnovu dosadašnjih iskustava ovakve bušotine se izvedu do 5,0 m dubine.

Nakon čišćenja temeljnog tla (odstranjivanje nevezanog materijala) treba izvesti zaštitu sa

podbetonom koji u konačnoj fazi predstavlja podlogu za beton pete bunara. U većini slučajeva bunar se u potpunosti ispuni betonom (nearmirani ili armirani). Kod ovih betona preporučuje se korišćenje cementa i dodatka betonu koji smanjuju toplotu hidratacije. U nekim slučajevima bunar se ispuni do određene visine, a stub postavi dublje u odnosu na površinu terena. Ovakva rešenja se primenjuju za postizanje manje krutosti stuba koja omogućuje jednostavnije uslove oslanjanja, npr. uklještenje stuba u rasponsku konstrukciju umesto povezivanja sa kliznim ležištima. U ovakvim primerima plašt bunara mora da ostane trajno stabilan i da preuzme pritiske zemlje koji se vremenom povećavaju.

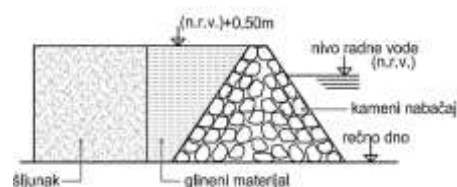
10.2.4.2 Izrada bunara spuštanjem

U slučaju da se temeljenje izvodi u rekama sa veštačkim nasipom – poluostrvom ili ostrvom, nije moguća izrada bunara postepenim iskopom i istovremenom zaštitom. U peskovito-šljunkovitim materijalima sa veličinom frakcija do 200 mm primenjuje se metoda izrade šahta potkopavanjem i spuštanjem (propadanjem) prethodno zabetoniranog šupljeg sanduka. Zidovi bunara od armiranog betona betoniraju se po etapama iznad terena ili nivoa vode i iskopom unutar sanduka spušta se (utapa) nadole. Sve dok dotok vode nije veliki nema bojazni od hidrauličkog loma tla, te se iskop obavlja na suhom. U području ispod nivoa vode iskop se izvodi bagerom - kašikarom. U slučaju veće zbijenosti terena ili prisutnosti samaca izvodi se podvodno miniranje.

Da bi se smanjilo trenje između zidova bunara i zemlje spoljne površine zidova bunara, koriste se suspenzije bentonita.

Ova mera se ne primenjuje u peskovitim materijalima, pošto postoji opasnost od samostalnog propadanja bunara usled malog otpora zemlje ispod sekača koji su ugrađeni sa spoljne strane zidova bunara.

Kod izrade veštačkog nasipa treba pravilno izabrati materijal za nasip. Spoljne delove nasipa prema vodi treba zaštititi sa kamenim nabačajem. Deo nasipa u kome se vrši iskop u bunaru je od šljunkovitog materijala bez većih komada. Između kamenog nabačaja i šljunkovitog nasipa izvodi se barijera od glinovitog materijala koja sprečava odnosno smanjuje dotok vode iz spoljašnjosti (slika 10.2).



Slika 10.2.23: Izrada veštačkog nasipa u vodi

Kada sanduk dopre do predviđene kote, dno se zatvara sa tzv. betonskim čepom. Ugrađivanje podvodnog betona treba izvesti neposredno po završetku iskopa, čime se sprečava taloženje mulja na temeljno dno. U suprotnom, mulj koji se natalažao pre betoniranja čepa treba odstraniti (usisati). Kada podvodni beton (čepa) očvrstne, voda iz bunara se ispumpa uz prethodnu proveru stabilnosti na uticaj pritiska uzgona. Temeljna ploča sa nastavkom za stub oslonca izvodi se u suvom šahtu. Kod rečnih stubova gornji deo šahta iznad kote dna korita treba odstraniti miniranjem.

10.2.4.3 Posebnosti izrade bunara u nestabilnoj padini

Bunar u padini sklonoj odronima koja se nalazi na granici ravnoteže predstavlja prepreku koja menja uslove ravnoteže temeljnog poluprostora.

U padini koja je sklona odronima mogu se preduzeti sledeće mere:

- da se klizanje padine ne sprečava npr. izvođenjem deformabilnog plašta bunara sa dilatacionim obručima (slika 4-d),
- da se uredi odvodnjavanje na području odrona ugrađivanjem drenažnih cevi ispod površine terena i u šahtove bunara,
- da se opterećenje od odrona delimično prenese na bunar koji se primereno dimenzioniše i po potrebi ankeriše, ili da se područje oslonca zaštiti ankerisanim zidom od šipova,
- da se pomeranje odrona u potpunosti spreči opsežnim merama. Ova mera nije ekonomična, a primenjuje se samo u izuzetnim slučajevima.

Kada se stabilna temeljna tla nalaze veoma duboko, stub se poveže bunarom tako da predviđena pomeranja mogu da se kompenzuju sa regulacijom ležišta.

10.2.4.4 Nadzor tokom gradnje, monitoring i održavanje

Kod izrade bunara potrebna je stalna saradnja između izvođača, projektanta, stručnjaka za geomehaniku i nadzornog inženjera.

U okviru nadzora na izgradnji bunara izvode se sledeće aktivnosti:

- uspostavljanje monitoringa kojim se prate i slede pomeranja padine, bunara i oslonca,
- uvidom se odmah određuje stvarna kategorija tla,
- u pogledu stvarnih uslova, odmah se određuju dodatni uslovi zaštite iskopa kao što je dodatno razupiranje, ankerisanje itd,
- na dnu bunara treba izvesti test penetracije odnosno treba odrediti dubinu na kojoj počinje izvođenje eventualne zaštite bunara,
- određivanje usklađenosti sa projektom i evidentiranje odstupanja od izvedbene dokumentacije, te promena i dopuna do kojih dolazi tokom izgradnje.

Na područjima klizišta treba pregledati teren još pre početka građenja sa ciljem da odgovorni projektant konstrukcije, odgovorni stručnjak za geomehaniku i odgovorni nadzor zajedno odrede potrebu i mesta ugrađivanja inklinometara. Odmah posle ugrađivanja izvodi se merenje nultog stanja i određuje učestalost narednih merenja. Učestalost merenja određuje se u zavisnosti od izmerenih rezultata.

Po završetku građevinskih radova treba uspostaviti prvobitno stanje, pri čemu se planiranja i obogaćivanje terena humusom ukoliko nisu izvedene dugotrajne zaštitne mere kod izvođenja početnih zasecanja za radne platoe bunara.

Pažnju treba posvetiti pouzdanom odvođenju atmosferske vode da bi se sprečili uticaji erozije.

Područje bunara treba stalno kontrolisati. Posebno su značajni postupci kontrole nakon topljenja snega i nakon perioda učestalih kiša kako bi se ustanovila mesta na kojima je došlo do eventualne pojave erozije, površinskih pomeranja, kao i da bi se proverila i funkcionalnost i učinkovitost drenaža. Osim toga, potrebno je pratiti merne uređaje : ekstenziometre, merne uređaje na ankerima, inklinometre i geodetske merne tačke. Posebnu pažnju treba posvetiti strmim padinama koje se nalaze na granici

stabilnosti sa rizičnim temeljenjem. Na taj način može pravovremeno da se interveniše u slučaju pogoršanja uslova.

Obim i način održavanja bunara mora da bude određen poslovnikom o održavanju objekta u kome su navedene informacije o kritičnim delovima konstrukcije za koje se zahtevaju pregledi, vrste i učestalost pojedinačnih pregleda u okviru trajnog monitoringa.

Vorspann-Brückentechnologie VBT

Austrijska firma koja proizvodi sisteme kablova za unutrašnje prednaprezanje sa i bez uprezanja, sisteme kablova za spoljno prednaprezanje i poseban sistem kablova – spoljnih ili unutrašnjih, gde je moguće promeniti užu po užu. To je veoma važno kod rekonstrukcija objekata ili kod oštećenih kablova.