

SMJERNICE ZA PROJEKTOVANJE, GRAĐENJE, ODRŽAVANJE I NADZOR NA PUTEVIMA

Knjiga I: PROJEKTOVANJE

Dio 3: PROJEKTOVANJE KONSTRUKCIJA NA PUTEVIMA

PROJEKTANTSKA SMJERNICA (PS 1.3.4)

Poglavlje 4: SIDRENI POTPORNI ZIDOVI I KONSTRUKCIJE

U V O D

Sidreni zidovi su savremene geotehničke konstrukcije, koje omogućavaju planiranje i izgradnju puteva u zahtjevnim geomorfološkim uslovima i urbanim naseljima. U pogledu veličine i cijene sidreni zidovi bistveno utiču na vrijeme i troškove građenja, sigurnost i funkcionalnost saobraćaja te prihvatljivost planiranih intervencija u prostor sa vidika ekologije i zaštite okoline.

Upotreba sidrenih zidova za osiguranje ukopa u toku izgradnje puteva je relativno efikasna i česta, posebno radi pouzdanosti i sigurnosti te mogućnosti izbora alternativnih rješenja u zavisnosti od zahtjevanog stepena osiguranja.

Obrađena Smjernica za projektovanje 1.3.4 podijeljena je u devet poglavlja. Osim uvodnog dijela, detaljno su obrađeni izbor i zasnivanje, projektovanje, geotehnička analiza, građenje i nadzor u toku građenja, obezbjeđenje kvaliteta i održavanje sidrenih zidova.

U posebnom poglavlju (9) obrađena su geotehnička sidra. Sidra predstavljaju specijalan i ekstremno delikatan element sa područja geotehničkih konstrukcija. Nalaze se u tlu radi čega se, zbog svoje nedostupnosti, ne mogu direktno kontrolisati. Tla su heterogena, nedovoljno poznata, a po pravilu sadrže i vodu u kojoj se često nalaze agresivne materije.

Ova Smjernica uzima u obzir savremeno stručno i teoretsko znanje, geomehaničara, projekatara i izvođača. Povezana je na važeće propise i standarde sa područja građevinarstva, kao i evropske norme za geotehničko projektovanje.

SADRŽAJ

1. PREDMET PROJEKTANTSKE SMJERNICE	5
2. REFERENTNI NORMATIVI	5
3. TUMAČENJE IZRAZA	6
4. IZBOR I ZASNIVANJE SIDRENIH ZIDOVA	7
4.1 Sidreni blokovi	9
4.2 Sidrene vertikalne grede	9
4.3 Sidrene vertikalne grede sa ispunom	9
4.4 Sidrene horizontalne grede	9
4.5 Sidreni roštilj	9
4.6 Sidreni roštilj sa ispunom	10
4.7 Sidreni zidovi	11
4.8 Posebni sidreni zidovi građeni od gore prema dole	12
4.9 Sidreni zidovi od bušenih šipova	12
5. KONSTRUISANJE SIDRENIH ZIDOVA	14
5.1 Općenito	14
5.2 Konstrukcije sidrenih blokova	16
5.3 Konstrukcije sidrenih vertikalnih greda	16
5.4 Konstrukcije iz vertikalnih sidrenih greda sa ispunom	19
5.5 Konstrukcije sidrenih horizontalnih greda	19
5.6 Konstrukcije sidrenih roštilja	20
5.7 Konstrukcije sidrenih roštilja sa ispunom	20
5.8 Konstrukcije sidrenih zidova	23
5.9 Posebne konstrukcije sidrenih zidova građanih od gore prema dole	23
5.10 Konstrukcije zidova od šipova	27
6. GEOTEHNIČKA ANALIZA SIDRENIH ZIDOVA	33
6.1 Granična stanja nosivosti	34
6.2 Granično stanje upotrebljivosti	35
6.3 Modeliranje tla i sidrenih zidova	35
7. IZRADA SIDRENIH ZIDOVA	38
7.1 Općenito o izradi sidrenih zidova	38
7.2 Posebne specifičnosti pri izradi pojedinih tipova sidrenih zidova	39
7.3 Izgradnja zidova od bušenih šipova	39
8. PRAĆENJE, OBEZBJEĐENJE KVALITETA I ODRŽAVANJE SIDRENIH ZIDOVA	42
8.1 Praćenje i obezbjeđenje kvaliteta u toku građenja	42
8.2 Održavanje sidrenih zidova	43
8.3 Radovi na održavanju	46
9. GEOTEHNIČKA SIDRA	47
9.1 Vrste i sastav geotehničkih sidara	47
9.2 Faktori opterećenja i materijalni parcijalni faktori po Eurocode 7	48
9.3 Testovi za ocjenjivanje nosivosti geotehničkih sidara	49
9.4 Način djelovanja geotehničkih sidara	49
9.5 Prenos sile sidrenja u temeljna tla	51
9.6 Izrada geotehničkih sidara	51
9.7 Upotreba geotehničkih sidara	53
9.8 Zaštita geotehničkih sidara	54

1. PREDMET PROJEKTANTSKE SMJERNICE

Smjernica je namijenjena svim učesnicima u procesu planiranja, projektovanja, građenja i održavanja sidrenih zidova.

Cilj projektantske smjernice je predstavljati i analiza opštih geotehničkih, konstruktorskih, tehnoloških i organizacijskih saznanja, koji mogu bistveno uticati na tok investicijskog procesa, zasnivanje, konstruiranje, građenje i održavanje sidrenih zidova.

Sadržaj projektantske smjernice osigurava povezivanje teoretskih i stručnih znanja i podataka iz literature sa praktičnim stručnim iskustvima, tehničkim propisima i standardima.

Smjernica je uglavnom namijenjena za građenje novih sidrenih zidova, premda je zasnovana tako, da se može upotrijebiti i kod obnavljanja rekonstrukcija i sanacija postojećih zidova.

Sidreni zidovi su sve potporne armiranobetonske konstrukcije kod kojih je osigurana stabilnost i nosivost objekta preko geotehničkog sidra koji je sidren u pasivnu osnovu. Bez ovog elementa nije osigurana stabilnost i sigurnost objekta u fazi građenja kao ni u fazi upotrebe.

Obrađeni su samo oni tipovi zidova, koji su se pokazali kao najugodniji i najviše se upotrebljavaju kod nas i u inostranstvu. Sa ovom konstatacijom se neograničavaju druge vrste sidrenih zidova, koji su uslovljeni sa morfologijom terena i geološkim sastavom tla.

Zid od bušenih šipova kao specifičan sidreni zid predstavlja potpurnu konstrukciju iz armiranobetonskih šipova promjera od $\varnothing$ 80 do $\varnothing$ 150 cm. Povezana je sa gredama sa ili bez geotehničkih sidara. Spadaju u grupu konstrukcija koje sa svojim otporom na savijanje i uklještenjem u tla opravdavaju i ispunjavaju svoju namjenu – osiguranje kosina nasipa, usjeka i građevinskih jama.

2. REFERENTNI NORMATIVI

Projektovanje, građenje i održavanje potpornih konstrukcija zasniva se na odredbama različitih propisa, standarda i smjernica.

Kod izgradnje potpornih konstrukcija na putevima potrebno je uzeti u obzir slijedeće grupe propisa:

- Propisi sa područja građenja i konstrukcije u cjelini,
- Propisi za projektovanje, građenje, eksploataciju i održavanje puteva.

Za sve uticaje saobraćaja treba na odgovarajući način upotrijebiti mjerodavnu regulativu koja obrađuje uticaje na mostove.

Propise za materijale i dokaze za pouzdanost geotehničkih konstrukcija.

Na području materijala, dokazivanja pouzdanosti i projektovanja potpornih konstrukcija moraju se uzeti u obzir slijedeći pravilnici i standardi iz nekadašnje Jugoslavije:

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

Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton, izrađen iz prirodnog i vještačkog lakog agregata kao ispuna, Sl. list SFRJ br. 15-296/90;

Pravilnik o jugoslovenskim standardima za osnove projektovanja konstrukcija, Sl. list SFRJ br. 49-667/88;

Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton za konstrukcije ispostavljene uticaju agresivne okoline, Sl. list SFRJ br. 18/92;

Pravilnik o tehničkim normativima za čelične žice i sajle za prednaprezanje konstrukcije, Sl. list SFRJ br. 41-530/85 i 21-276/88;

Cilj navedenih projektantskih smjernica je, između ostalog, razumjevanje i upotreba evropskih normi, koje se odnose na sidrene zidove i zidove od bušenih šipova.

- EN 1990:2002 Eurocode 0 Osnove projektovanja konstrukcija,
- prEN 1991 Eurocode 1 Uticaji na konstrukcije
- prEN 1992 Eurocode 2 Projektovanje betonskih konstrukcija
- prEN 1997 Eurocode 7 Geotehničko projektovanje
- prEN 1998 Eurocode 8 Projektovanje konstrukcija sigurnih na potres

EN 12063:1990 Izvođenje specijalnih geotehničkih radova – zagatni zidovi

EN 12699:2000 Izvođenje specijalnih Geotehničkih radova – Zabijeni šipovi
EN 1537:2002 Izvođenje posebnih geotehnička sidra.
EN 1537:2002 Izvođenje posebnih geotehničkih radova – Geotehnička sidra
EN 206-1:2003 Beton – 1. dio – Specifikacija, osobine, proizvodnja i skladnost
Evropske norme prEN su još u fazama dopunjavanja, probanja i potvrđivanja

3. TUMAČENJE IZRAZA

Sidreni zid je potporna konstrukcija koju sačinjavaju armiranobetonski elementi i geotehnička sidra sa kojima se obezbjeđuje stabilnost, nosivost i sigurnost objekta.

Zaleđna strana je poluprstor na padinskoj strani potporne konstrukcije.

Zaleđna tla su intaktna ili padinska tla koja se nalaze iza zida i koja treba zaštititi.

Zaleđna (padinska) strana je površina zida na strani tla koju štiti od obrušavanja i klizanja

Čelna (dolinska) strana je vidna zračna strana zida.

Dolinska (čelna) temeljna peta je produženi dio temelja sa čelne strane.

Temeljna tla predstavljaju tla različitog geološkog sastava na koja se prenose opterećenja.

Strana zida je vertikalni nosivi element zida preko koga se zaleđni pritisci zemlje prenose na temeljna tla ili geomehaničko sidro.

Nagib strane je ugao koga čelno ili leđno zatvara sa vertikalom.

Kruna je završni – gornji dio zida.

Blok je armiranobetonski element preko koga se sila iz sidra prenosi u tla.

Greda je vodoravni, vertikalni ili kosi armiranobetonski element položen na teren preko koga se sila iz sidra prenosi u tla.

Roštilj je povezani sistem vertiklanih, vodoravnih ili kosih greda koji su položeni na teren.

Ispuna je material koji ispunjava prostor između grede, odnosno unutar roštilja.

Drenaža je namijenjena efikasnom odvodnjavanju vode iz zaleđa sidrenog zida u cilju sprečavanja pojava hidrostatičkih pritisaka.

Drenažni beton je sastavljen iz jednofrakcijskog agregata veličine zrna f 16 mm koji propušta vodu.

Drenažni geotekstil je pretežno izrađen iz sintetičkih vlakana ili traka koji propušta vodu.

Radni plato je prostor na kome se izvodi sidreni zid ili etapa – kampada sidrenog zida.

Kampada je dužina radnog takta potpornoga zida.

Etapa je visina radnog takta.

Pristupni put je komunikacija za pristup mehanizacije i transportnih srestava do radnog platoa.

Bušeni šip na završetku izgradnje predstavlja izrađeni šip sa ugrađenim betonom i armaturom u prethodno izbušenu ili iskopanu bušotinu u temeljnom poluprstoru.

Zid od bušenih šipova je konstrukcija sastavljena iz bušenih šipova i vezne grede sa ciljem da se osiguraju pokosi nasipa ili usjeka.

Vezna greda je konstruktivni element, koji povezuje vrhove šipova u podužnom smjeru zida od bušenih šipova.

Unutrašnja sidrena greda je konstruktivni element, koji služi za ugrađivanje sidara i povezivanja šipova zida u podužnom smjeru.

Ispuna između šipova je dio konstrukcije zida od bušenih šipova koji osigurava prostor između šipova.

Obloga zida od bušenih šipova je, u posebnim okolnostima, naknadno obrađena vidna površina zida od bušenih šipova.

Geotehničko sidro je nosivi konstrukcijski element preko kojeg se sila zatezanja sa konstrukcije prenosi u sidrena tla.

Probna sidra su sidra na kojima se obavljaju testovi za ocjenjivanje nosivosti sidara.

Test za ocjenjivanje je test za određivanje karakterističnog otpora sidra na lokaciji ugrađivanja.

Kontrolna sidra (sidra za mjerenje) su ugrađena sidra u sidrenom objektu na kojima se obavljaju mjerenja za vrijeme eksploatacije objekta.

Vezna dužina sidra je dužina preko koje se sila prenosi u okolna temeljna tla.

Slobodna dužina sidra je dužina između vezne dužine sidra i kotve – glave sidra.

Kotva – glava sidra je dio geotehničkog sidra koji silu zatezanja iz kabla prenosi u sidrenu konstrukciju.

Monitoring je skup činilaca sa kojima se prati izgled i ponašanje konstrukcije u cilju kontrole sigurnosti i produženja trajanja objekta.

4. IZBOR I ZASNIVANJE SIDRENIH ZIDOVA

Sidreni zidovi su potporne konstrukcije sastavljene iz betonskih elemenata i geotehničkih sidera. Sidra preuzimaju cjelokupnu ili samo dio sile za obezbjeđenje sigurnosti i stabilnosti u svim fazama građenja i u fazi upotrebe. Betonski dio (blokovi, grede, roštilj, zid) služi da se sila iz sidara prenese u tla i lokalno osigurava padinu.

Projektant, na osnovu prethodno prikupljenih geomehaničkih i drugih karakteristika terena, zasniva konstrukciju sidrenog zida. Kod zasnivanja konstrukcije potrebno je uzeti u obzir:

- pouzdanost
- upotrebljivost
- uslove izvođenja
- ekonomičnost
- estetski izgled odnosno prirodne karakteristike okoline

U tehničkom izvještaju, za zasnovani sidreni zid, treba pripremiti obrazloženje za pribavljene podloge, izbor konstrukcije, dokaze stabilnosti i moguće varijante izvođenja.

Izbor, zasnivanje i konstruktorska rješenja sidrenih zidova oslanjaju se na hidrološke karakteristike tla, oblik i veličinu ukopavanja te raspoložljivu mehanizaciju i opremu izvođača.

Izgradnja sidrenih zidova može se izvoditi na dva načina. U slučaju kvalitetnog tla zidovi se izvode direktno na iskopanu padinu. U primjeru slabog tla zidovi se izvode po tehnologiji od gore prema dole. Kod ovakvog

načina visina etape zavisi od karakteristika tla i izbora konstrukcije.

Zasnivanje i izbor konstruktorskog rješenja sidrenih zidova neposredno je povezano sa kvalitetom odnosno karakteristikama tla na lokaciji objekta. Uzimajući u obzir ove činjenice, sidreni zidovi se dijele u slijedeće grupe:

- sidreni blokovi (slika 4.1)
- sidrene vertikalne grede (slika 4.2)
- sidrene vertikalne grede sa ispunom (slika 4.3)
- sidrene horizontalne grede (slika 4.4)
- sidreni roštilj (slika 4.5)
- sidreni roštilj sa ispunom (slika 4.6)
- sidreni zidovi (slika 4.7 i 4.8)
- posebni sidreni zidovi građeni od gore prema dole (slika 4.9)
- sidreni zidovi od bušenih šipova (slika 4.10, 4.11 i 4.12)

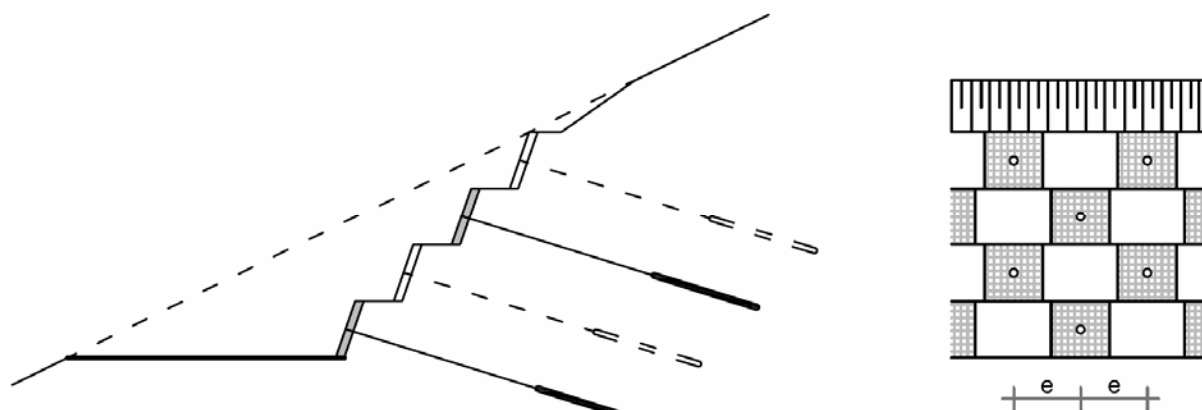
Redoslijed nabrojanih zidova odgovara smanjivanju geomehaničkih karakteristika tla, a sa time i upotreba zahtjevnijih mjera osiguranja ukopa.

Sve nabrojane grupe mogu se graditi u monolitnoj ili montažno-monolitnoj tehnologiji.

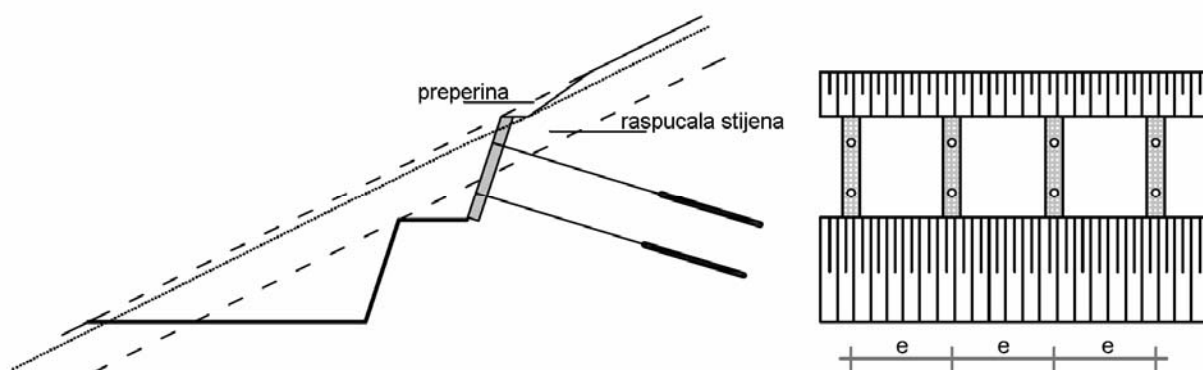
Karakteristike zidova nabrojanih od prve do pete alineje je ta, da nemaju uobičajenih temelja.

Faza koja mora slijediti izboru konstrukcije je provjeravanje, da li se izabrana konstrukcija može izvesti na predviđenoj lokaciji. Projektant mora, pored izrađenih odgovarajućih nacrti i analiza stabilnosti, pripremiti i provjeriti okvirna tehnološka ishodišta za građenje zida. Pri tehnološkim ishodištima treba analizirati sve postupke, koji su potrebni za izgradnju određenog potpornog zida. Treba predvidjeti:

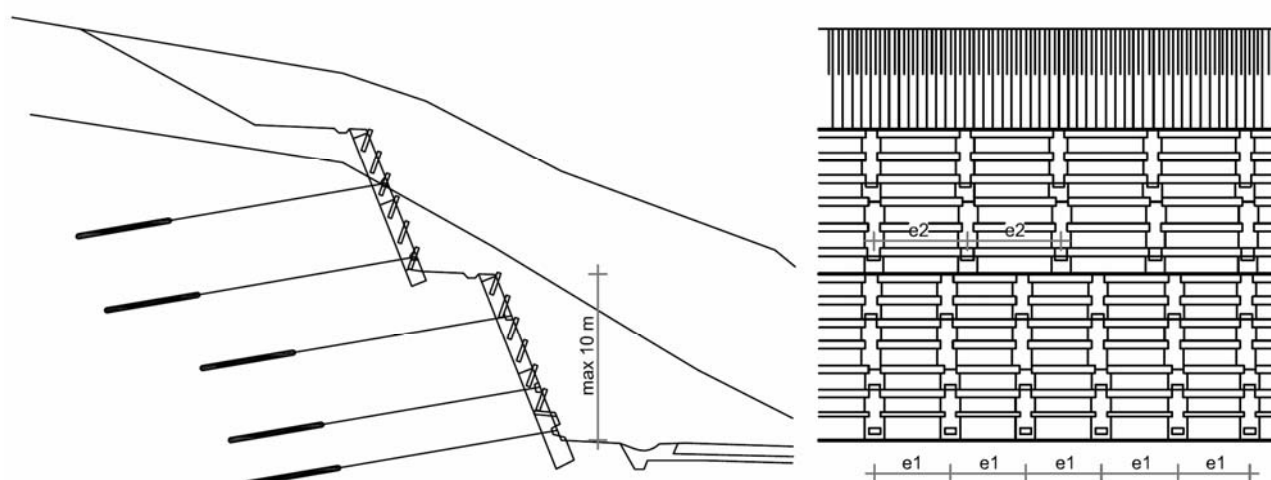
- moguće prilazne puteve,
- radne platoe za izgradnju,
- tehnologiju izvođenja zemljanih radova sa odgovarajućim osiguranjem,
- zaštitu prema uzročnicima koji ometaju i otežavaju izgradnju (dotok vode zaleđa, rastresiti slojevi padine ...),
- osiguranje odvijanja saobraćaja i funkcionisanja ostalih infrastrukturnih sadržaja,
- faznost građenja u smislu definicije početne tačke i smjera napredovanja radova,
- obavezne tehnološke postupke za pojedine faze građenja,
- definisati odgovarajuće detalje i rješenja povezana sa njima,
- zahtjeve povezane sa tekućim praćenjem kvaliteta materijala i njihovog ugrađivanja,
- zahtjeve za praćenje geodetske kontrole.



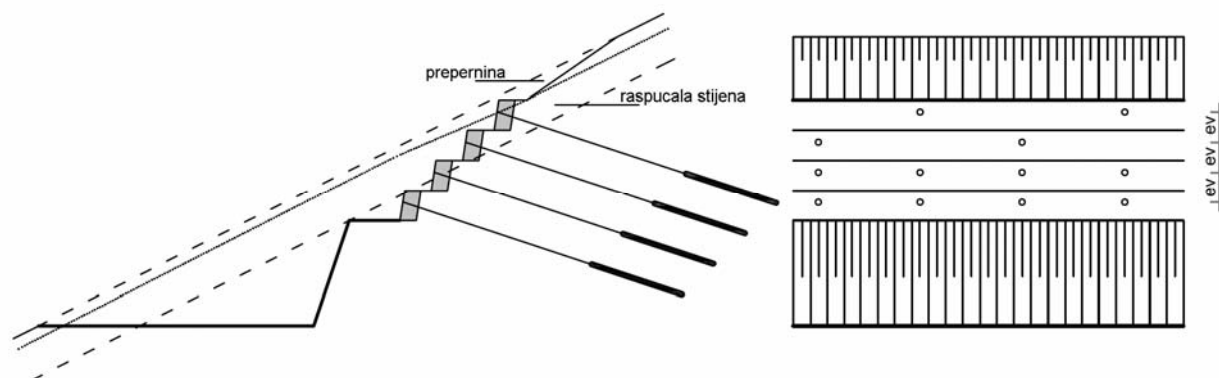
Slika 4.1: Sidreni blokovi



Slika 4.2: Sidrene vertikalne grede



Slika 4.3: Sidrene vertikalne grede sa ispunom



Slika 4.4: Sidrene horizontalne grede

4.1 Sidreni blokovi

Sidreni armiranobetonski blokovi različitog oblika preko kojih se sila sidrenja prenosi u tla, upotrebljavaju se na padinama sa sorazmjerno kvalitetnijom ili ispucalom stijenskom masom. Osnovna namjena njihove upotrebe je smanjenje prirodnog nagiba padine i obezbjeđenje globalne stabilnosti padine.

Prostor između blokova zaštićuje se sa vegetacijom.

4.2 Sidrene vertikalne grede

Sidrene, armiranobetonske, približno u vertikalnoj smjeri na teren položene grede različitih presjeka, preko kojih se sila sidrenja prenosi u tla, upotrebljavaju se u primjerima raspucalih stijenskih padina na kojima se sa zaštitnim mrežama ne može obezbjediti sigurnost.

Sa ovim mjerama obezbjeđuje se globalna stabilnost i sigurnost. Lokalna stabilnost postiže se sa zaštitnim mrežama ili sa brizganim betonom. Koji od načina će se primijeniti zavisi od erozijskih karakteristika padine i lokalne stabilnosti.

4.3 Sidrene vertikalne grede sa ispunom

Sidrene, armiranobetonske, približno u vertikalnoj smjeri na teren položene grede različitih presjeka sa međuprostorom zapunjen ispunom iz armiranobetonskih elemenata, upotrebljavaju se u primjerima raspucalih stijenskih padina gdje se sa zaštitnim mrežama ne može obezbjediti sigurnost, a postoji potreba za povećanjem prirodnog nagiba padine. Sa sidrenim gredama se obezbjeđuje nosivost, globalna stabilnost i sigurnost. Lokalna sigurnost i zaštita protiv erozije padine osigurava se sa montažnim armiranobetonskim horizontalnim

elementima koji se ugrađuju između greda ili sa kamenim blokovima.

Visina sidrenih vertikalnih greda je do 10 m.

4.4 Sidrene horizontalne grede

Sidrene, armiranobetonske, približno u horizontalnoj smjeri, na teren »položene« grede različitih presjeka, preko kojih se sila sidrenja prenosi u tla, upotrebljavaju se u primjeru jače ispucalih stijenskih padina gdje se sa zaštitnim mrežama ne može obezbjediti sigurnost.

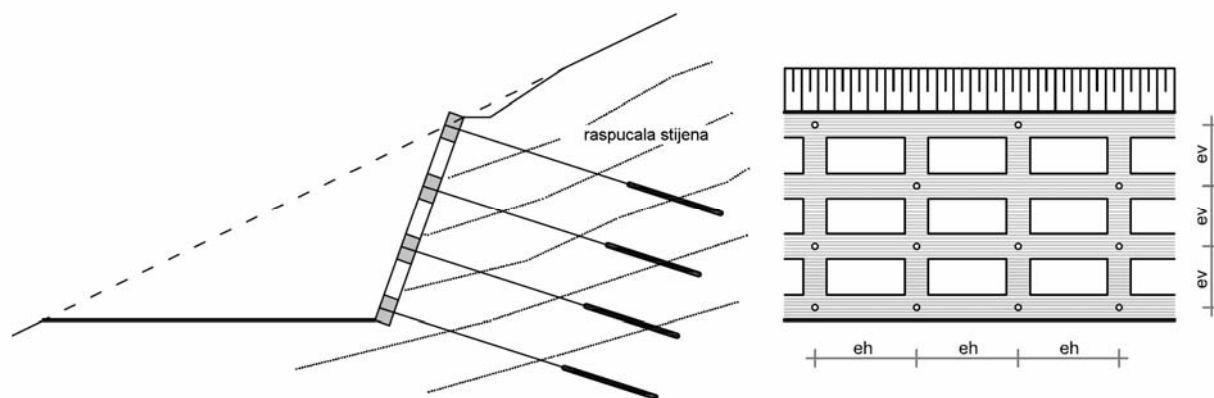
U poređenju sa sidrenim vertikalnim gredama, sidrene horizontalne grede upotrebljavaju se u primjerima u kojima bi se sidrene vertikalne grede ugrađivale na manjim međusobnim razmacima i ne bi imale odgovarajući učinak. Upotrebljavaju se u slabijoj stijenskoj padini gdje se garantuje kontinuirani unos sile sidrenja.

Za razliku od sidrenih zidova ove grede visine 0,80 – 1,50 m nemaju temelja. Služe za osiguranje čitave padine ili samo labilnog dijela zasjeka ili padine (npr. portali tunela).

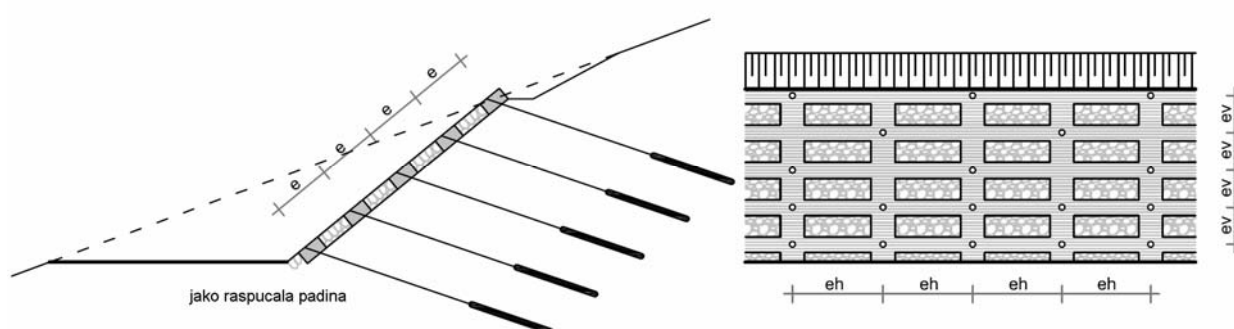
4.5 Sidreni roštilj

Armiranobetonski, približno u vertikalnoj smjeri na teren »položene« grede i armiranobetonske, približno u horizontalnoj smjeri, na teren »položene« grede različitih presjeka, povezane u sidreni roštilj upotrijebljavaju se u primjeru raspucale stijenske padine, gdje se sa zaštitnim mrežama ne može obezbjediti sigurnost, a želimo smanjiti prirodni nagib padine.

Sa sidrenim roštiljem osiguva se globalna stabilnost i sigurnost. Lokalna sigurnost se obezbjeđuje sa zaštitnim režama ili sa brizganim betonom čitave površine u zavisnosti od erozijskih karakteristika padine i lokalne stabilnosti.



Slika 4.5: Sidreni roštilj



Slika 4.6: Sidreni roštilj sa ispunom

4.6 Sidreni roštilj sa ispunom

Armiranobetonske grede u horizontalnom i vertikalnom smjeru međusobno povezane u »roštilj« sa ispunjenim međuprostorima upotrebljavaju se u relativno dobrom geološkom sastavu tla (prepereli kamen), jako ispucalaj stijeni i izmješanoj stijeni (permokarbon, fliš, lapor) gdje treba lokalno osiguravati padinu.

Ova vrsta sidrenih zidova upotrebljava se radi povećanja prirodnog nagiba u ukopu. Sa sidrenom konstrukcijom u obliku roštilja osigurava se globalna stabilnost.

Sa ispunom praznog prostora između greda sprečava se erozija padine, osiguava lokalna stabilnost i odvodnjavanje zaleđa.

Od karakteristika tla odnosno stijenske mase zavisi nagib čitave konstrukcije.

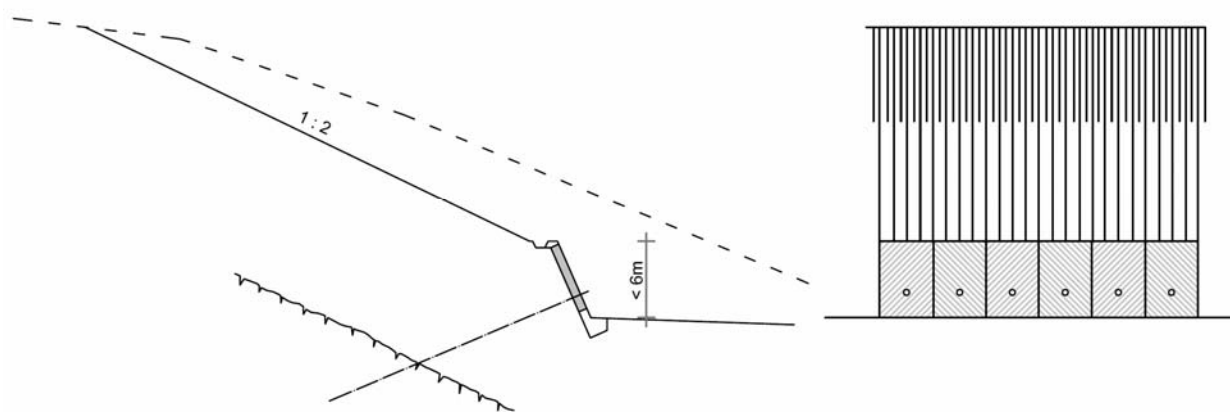
U primjeru preperine nagib ne treba da prelazi 45° , u ispucalim i rastresenim stijenama i polustijenama zavisi od nagiba koji se može izvesti u još sigurnom iskopu. Izbor vrste i načina ugrađivanja ispune zavisi takođe od karakteristika zaleđa i raspoložljivog materijala za ispunu. U jako

ispucalim i rastresenim primjerima, stijensku masu treba osigurati sa kamenim zidom. U ovom slučaju zaleđe je obično vodopropusno pa ga ne treba drenirati.

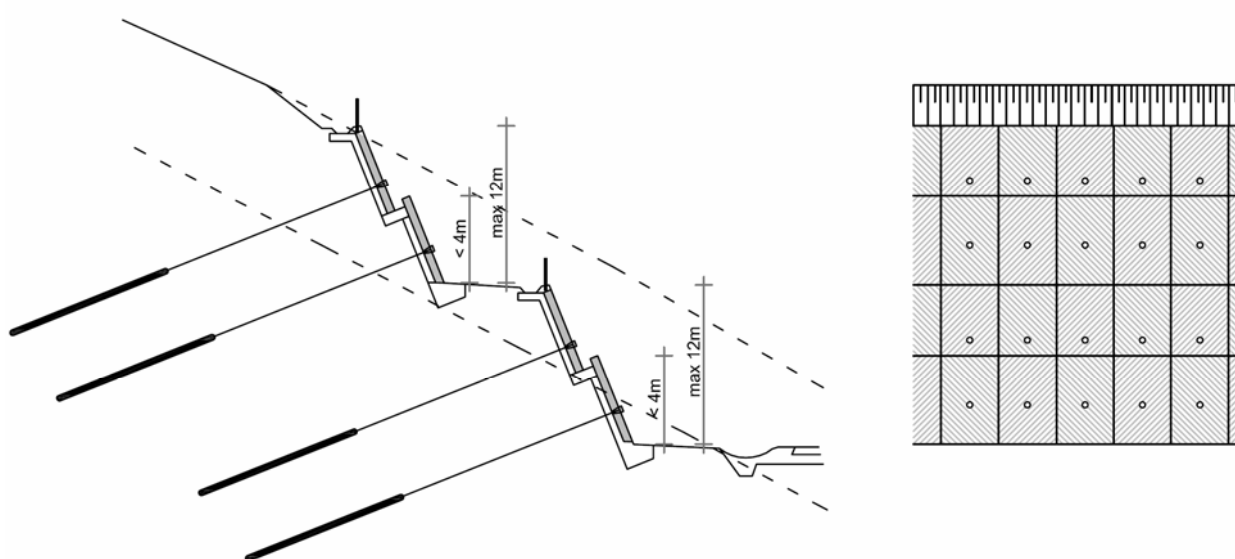
U slučaju preperine, za ispune se upotrebljava kameni nabačaj na drenažnom betonu.

Međusobni razmak između vertikalnih i horizontalnih greda zavisi od karakteristika zaleđa i visine zida. Obično razmak između vertikalnih greda ne treba biti veći od 6,0 m, između horizontalnih greda ne veći od 4,0 m po vertikali.

Maksimalna visina pojedinačnog zida je 10 – 12 m u zavisnosti od nagiba zida. U koliko se osigurava ukop većih visina, zaštitna konstrukcija se izvodi u dva dijela sa bermom između njih koja služi za pravilno odvodnjavanje i održavanje objekta. Minimalna širina berme 3,0 m.



Slika 4.7: Sidreni zid



Slika 4.8 Sidreni zid sastavljen iz više etapa

4.7 Sidreni zidovi

Sidreni monolitni i/ili montažno-monolitni armiranobetonski zidovi upotrebljavaju se za nekoherenta i koherentna tla.

Po visini zid može biti sastavljen iz više etapa. Zidovi visine do 6,0 m izvode se u jednoj etapi.

Zidovi većih visina od 6,0 m izvode se u dvije ili tri etape. Maksimalna visina pojedinačne etape iznosi 4,0 m, dok ukupna maksimalna visina od 10 do 12 m. Ukupna visina zida zavisi od visine potrebnog osiguranja padine.

Između pojedinih etapa treba predvidjeti stepenicu širine do 1,0 m, koja služi za izgradnju, odvodnjavanje i održavanje konstrukcije.

Ako je visina padine veća od 10 do 12 m onda se između posameznih dijelova zida ostavlja berma širine 3 m. Berma služi za izgradnju, odvodnjavanje i održavanje konstrukcije.

Debljina ovih zidova je min. 40 cm zbog unošenja sila sidrenja, dok max. debljina iznosi 60 cm.

U slučaju upotrebe sidrenih montažnih ploča potrebno je uzeti u obzir njihovu težinu, pošto se dovoze na gradilište i ugrađuju na predviđeno mjesto. Dimenzije ploča su ograničene zbog transporta.

Kod ove vrste sidrenih zidova temelj služi za montažu u fazi građenja.

4.8 Posebni sidreni zidovi građeni od gore prema dole

Ova grupa sidrenih zidova upotrebljava se u slučaju osiguranja padina iz nekoherentnog i koherentnog tla srednjeg kvaliteta.

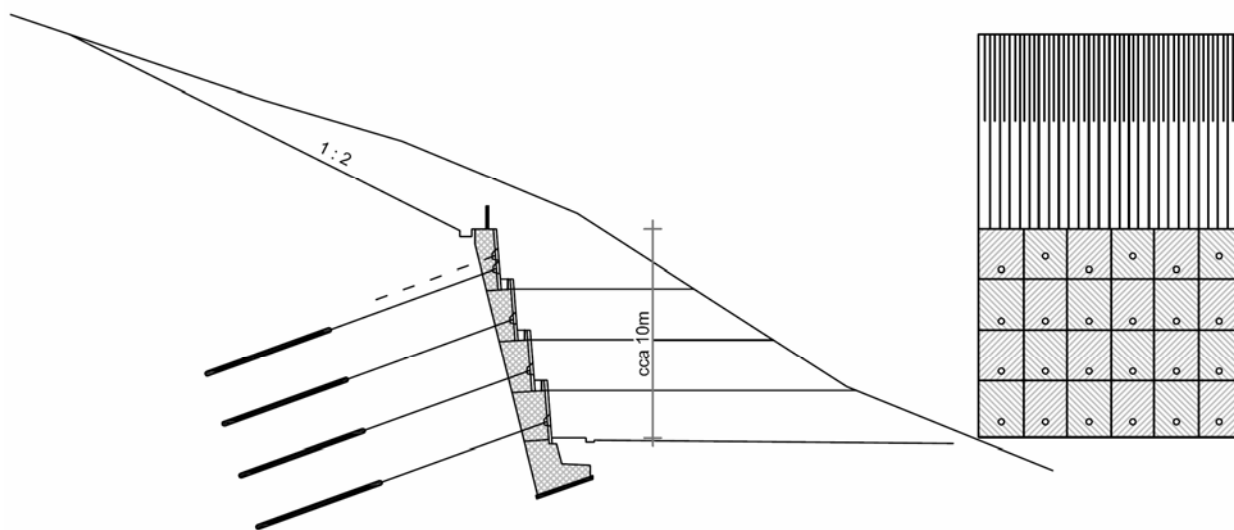
Osnovna karakteristika ove skupine je ograničena visina etape na max. 3 m radi slabijih karakteristika tla od tla u kojima se primjenjuju sidreni zidovi.

Posebna karakteristika ovih zidova je tehnologija izvođenja sa početkom na vrhu zida i završetkom sa temeljom.

Obrnuto primjenjen postupak izvođenja govori da ova tehnologija spada u jako zahtevne načine izvođenja zidova.

Zidovi se izvode po etapama max. visine 3 m i odsjecima max. dužine 6 do 7 m. U jednoj kampadi mogu se izvoditi radovi na više odsjeka po šahovskom sistemu.

Visina ovih zidova, zbog estetskog i funkcionalnog izgleda, je ograničena na cca 10 m. U koliko je potrebna veća visina zida za osiguravanje iskopa, treba predvidjeti bermu i nastaviti zaštitu sa jednim od nabrojanih tipova zidova.



Slika 4.9: Sidreni zid građen od gore prema dole

4.9 Sidreni zidovi od bušenih šipova

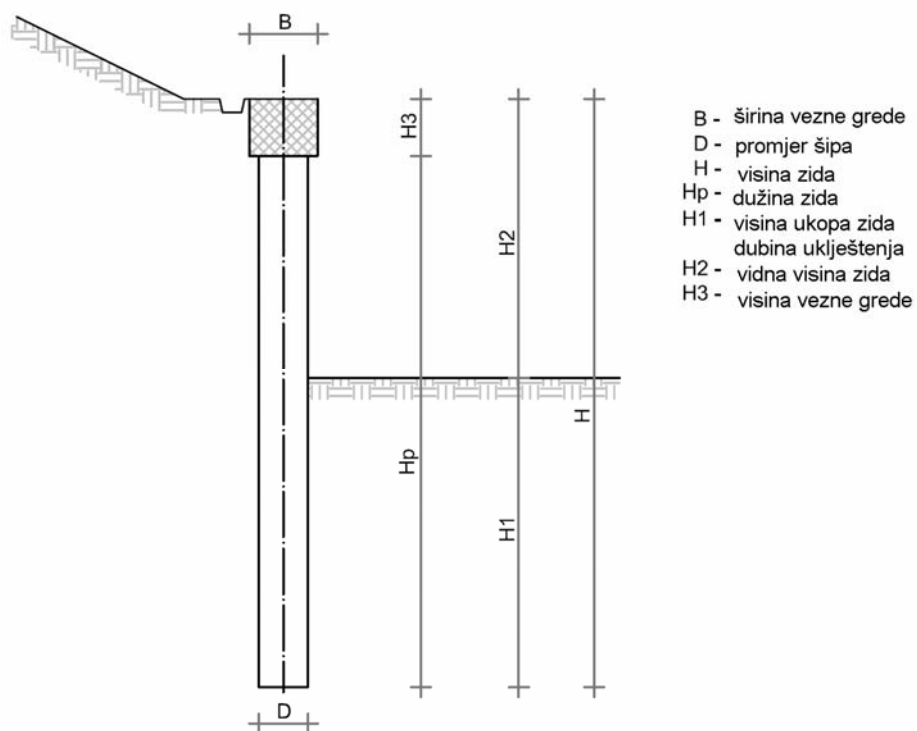
Zidovi od bušenih šipova su konstrukcije opterećene na savijanje, izrađene iz armirano betonskih šipova okruglog presjeka promjera od 80 do 150 cm. Upotrebljavaju se za obezbjeđenje ukopanih pokosa, pokosa nasipa, dubokih građevinskih jama i u slučajevima u kojima radi potencijalne nestabilnosti terena, treba prvo ugraditi potpurnu konstrukciju, a nakon toga izvršiti iskop. Zidovi od bušenih šipova se često sidraju.

Zidovi od bušenih šipova su skupe konstrukcije, zahtjevne kod izvođenja i održavanja zbog ograničene trajnosti geomehaničkih sidara. Radi ove činjenice njihova upotreba za osiguranje pokosa nasipa i ukopa, mora biti dobro utemeljena i opravdana još kod izrade prve faze projekta puta i putnih objekata.

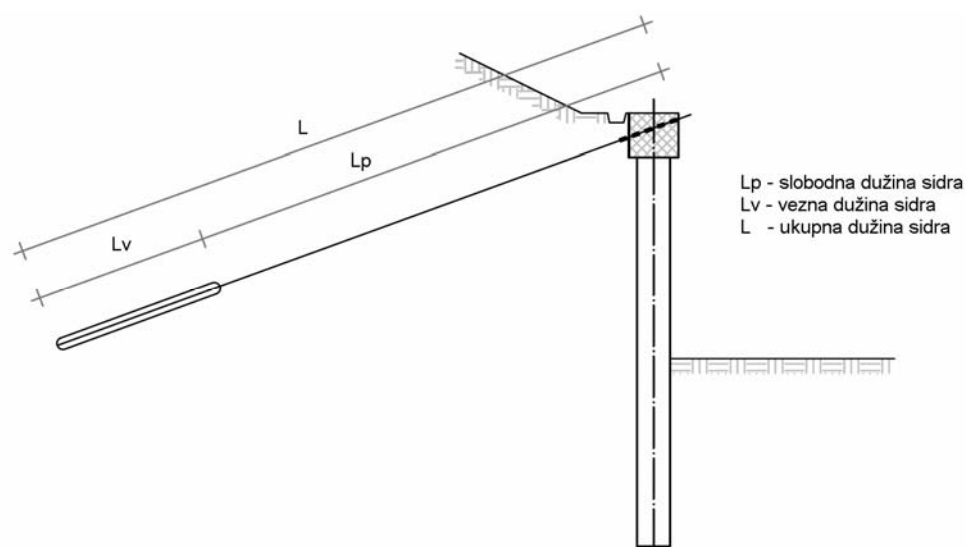
Izbor i opravdanost upotrebe zidova od bušenih šipova treba da bude plod saradnje projektanta puta, geomehaničara i projektanta konstrukcije. Odluka o izboru donosi se na osnovu najmanje dva izrađena varijantna rješenja, koja su pripremljena na dovoljno obrađenim putnim i geomorfološkim podlogama.

U pogledu položaja, odnosno načina na koji preuzimaju opterećenja, zidovi od bušenih šipova dijele se na:

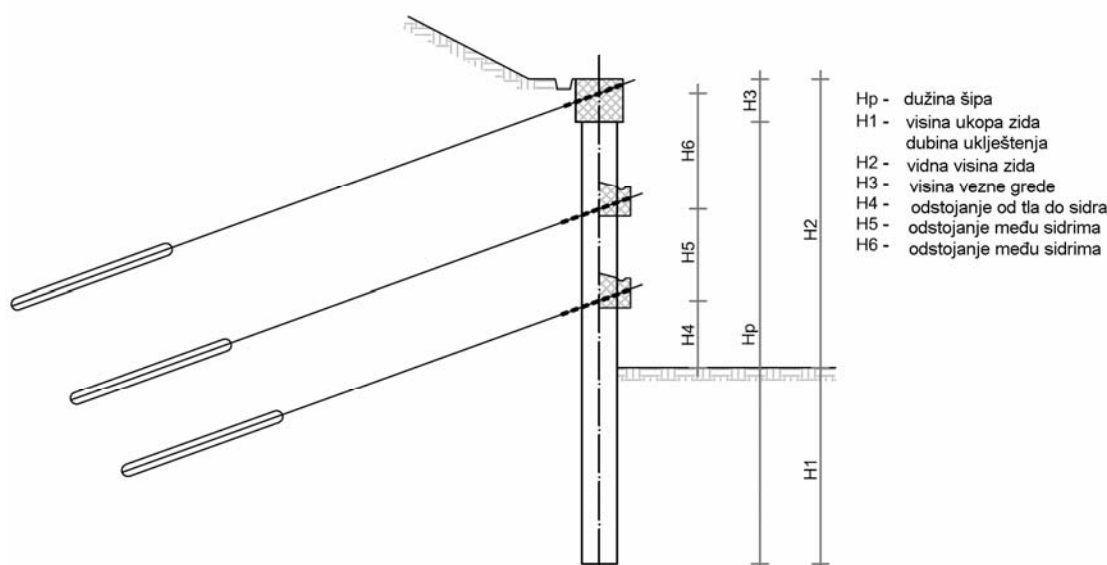
- potporne konstrukcije, koje osiguravaju odnosno podupiru nasip ili pokos ispod puta
- potporne konstrukcije, koje osiguravaju kosine ukopa iznad puta.



Slika 4.10: Zid od bušenih šipova bez sidara



Slika 4.11: Zid od bušenih šipova sa sidrima na vrhu



Slika 4.12: Višestruko sidreni zid od bušenih šipova

U pogledu na način preuzimanja horizontalnih sila, dijele se na:

- **Zidovi od bušenih šipova bez sidrenja** su konstrukcije, koje samo sa svojim uklještenjem u tla i odporom na savijanje osiguravaju kosine ukopa ili nasipa – konzolni zid.
- **Zidovi od bušenih šipova sa sidrima na vrhu** su konstrukcije sa uklještenjem u tla, koja sa odporom na savijanje i geomehničkim sidrima na vrhu zida osiguravaju kosine ukopa ili nasipa.
- **Višestruko sidreni zidovi od bušenih šipova** su konstrukcije koje se uklještenjem u tla, odporom na savijanje i geomehničkim sidrima ugrađenim u više nivoa po visini zida osiguravaju kosine ukopa ili nasipa.

5. KONSTRUISANJE SIDRENIH ZIDOVA

5.1 Općenito

Konstruktorsko zasnivanje sidrenih zidova proizilazi iz činjenice, da geomehnička sidra preuzimaju horizontalnu silu, dok betonska konstrukcija predstavlja osnovu za realizaciju pritiska i sila.

Jedna od karakteristika sidrenih zidova je kontaktno betoniranje. Iz ovog razloga ne mogu se iza zida raditi uobičajene drenaže iz filterskih slojeva, kao u primjerima gravitacionih zidova. Iz ovog razloga se iza

zida ugrađuje jednofrakcijski drenažni beton ili se položi drenažni geotekstil.

Drenažni geotekstil istovremeno sprečava miješanje zemlje i betona kod kontaktnog betoniranja. Ako se u zaleđu zida pojavi veći priliv vode onda se izvode horizontalne drenaže u padini, koje se povežu sa sistemom odvodnjavanja zida.

Kosine osigurane sa sidrenim zidovima treba odvodnjavati na kvalitetan i odgovarajući način. Radi toga se na vrhu zida i na vrhu eventualnih kampada predvide kanalete odnosno odvodni jarci. Kompletно odvodnjavanje treba projektovati u skladu sa hidrološkim i hidrogeološkim podacima. Posebno treba paziti na vođenje koritnica i jaraka po velikim strminama koje se često pojavljuju pri zaključivanju zidova. Korita jaraka treba izraditi u obliku i iz materijala koji umiruju vodotok i razbijaju energiju toka vode.

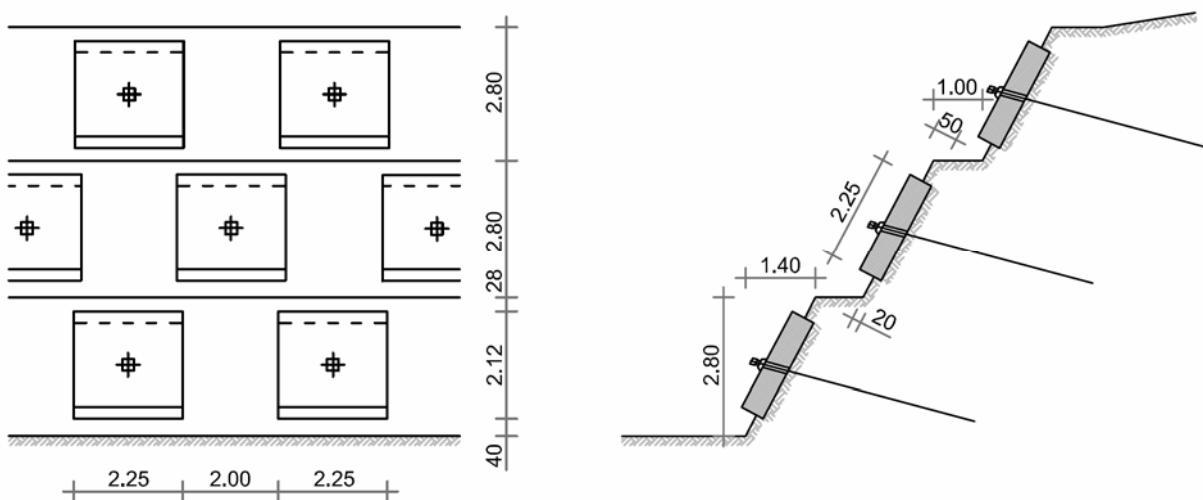
Kod konstruisanja sidrenih zidova treba broj geomehničkih sidara ograničiti na najmanju moguću mjeru. Kod izbora broja sidara treba poštovati osnovno načelo, da izabrano sidro ima nosivost koja u najvećoj mjeri dozvoljava kvalitet sidrenog zaleđa.

Kvalitet betona za sidrene zidove je min. C 25/30 (MB 30) za stepen ispostavljenosti XC2 (OMO). Beton mora biti vodonepropustan. Vrsta i kvalitet armature je min. S400 (RA 400/500).

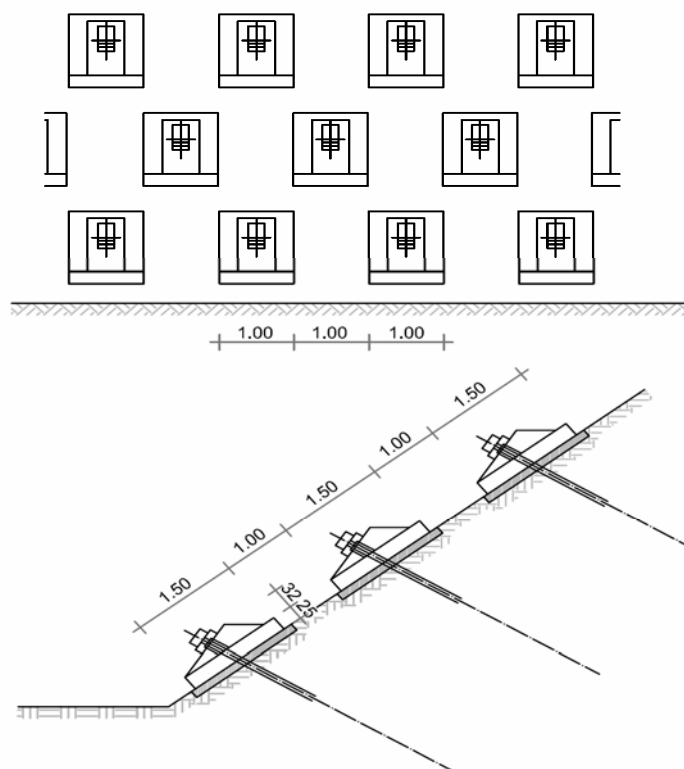
U slučaju da je sidreni zid lociran uz kolovoz, onda beton mora odgovarati klasi za stepen ispostavljenosti XF2 (OSMO). U ovakvim primjerima se donji dio površine sidrenog zida na min. visini 3,0 m od donjeg vidnog ruba zida zaštiti sa epoksi premazom koji povećava otpornost betona na mraz uz prisustvo soli.

Sidreni zidovi nude pri samom zasnivanju dosta varijantnih rješenja u pogledu njihove namjene i izgradnje. Primjeri navedeni u smjernici od sidrenog bloka do sidrenih zidova su samo rješenja koja se najčešće upotrebljavaju u Sloveniji i susjednim državama.

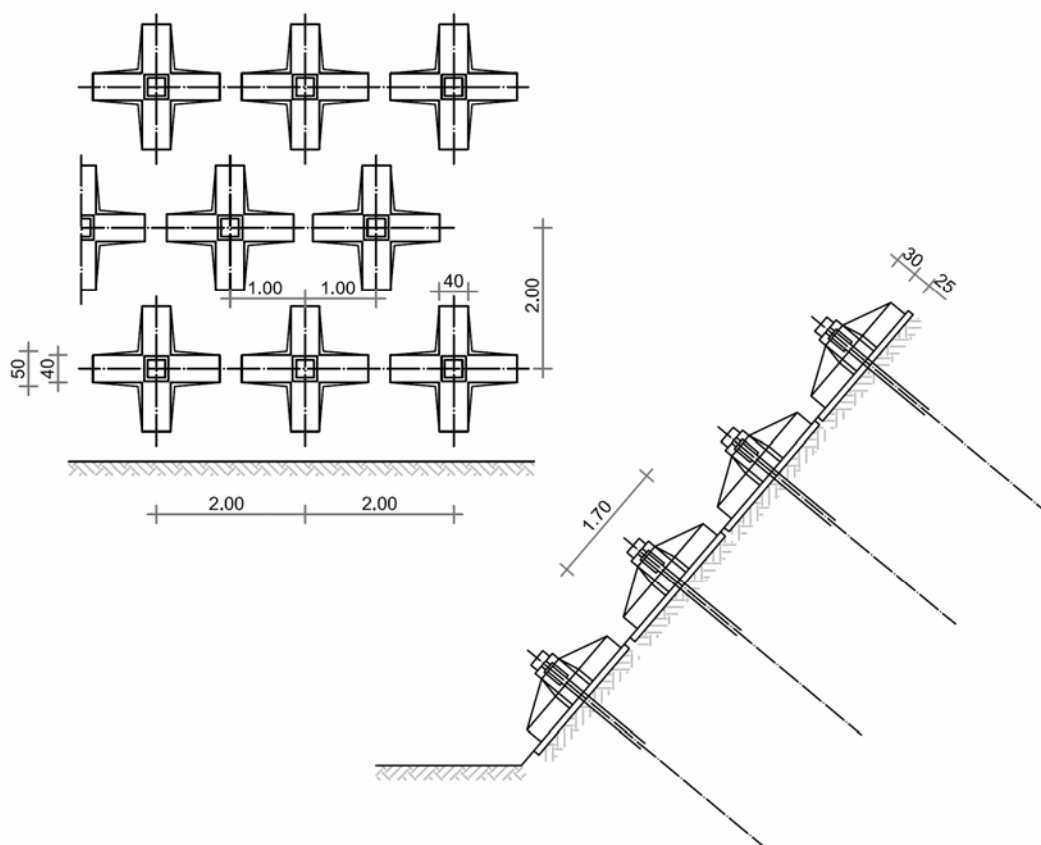
Na osnovu datih principa i koncepata mogu se, u visokim zasjecima i ukopima sa različitim geološko-geomehaničkim profilima i nagibima, projektovati različiti tipovi sidrenih konstrukcija.



Slika 5.1: Sidreni blok pravougaonog oblika



Slika 5.2: Sidreni blok u obliku trostrane prizme



Slika 5.3: Sidreni blok u obliku zvijezde

5.2 Konstrukcije sidrenih blokova

Sidreni blokovi su armiranobetonski elementi sa dimenzijama koje su određene na osnovu dozvoljenih kontaktnih napona u tlu odnosno veličine sile sidrenja i potrebnih mjera za ugrađivanje sidra.

Blokovi su u većini slučajeva montažni ili su betonirani na licu mjesta.

Kod konstruisanja blokova mora se obezbijediti ravnomjerno unošenje sile u temeljna tla. To znači da sila sidrenja mora »pasti« u blizini težišta kontaktne površine.

Kotva – glava sidra može biti potopljena u blok za sidrenje ili izvučena na površinu bloka. Prednost rješenja sa kotvom na površini bloka je jednostavnija izrada oplata, armature bloka, nema oslabljenja betonskog presjeka i unos sile sidrenja u blok je bolji.

Montažni blokovi se ugrađuju na izravnatu površinu iz izravnavajućeg podbetona debljine cca 10 cm.

Oblici sidrenih blokova su različiti: kvadratni, pravougaoni, okrugli, elipsasti ili zvjezdasti (slika 5.1, slika 5.2, slika 5.3).

5.3 Konstrukcije sidrenih vertikalnih greda

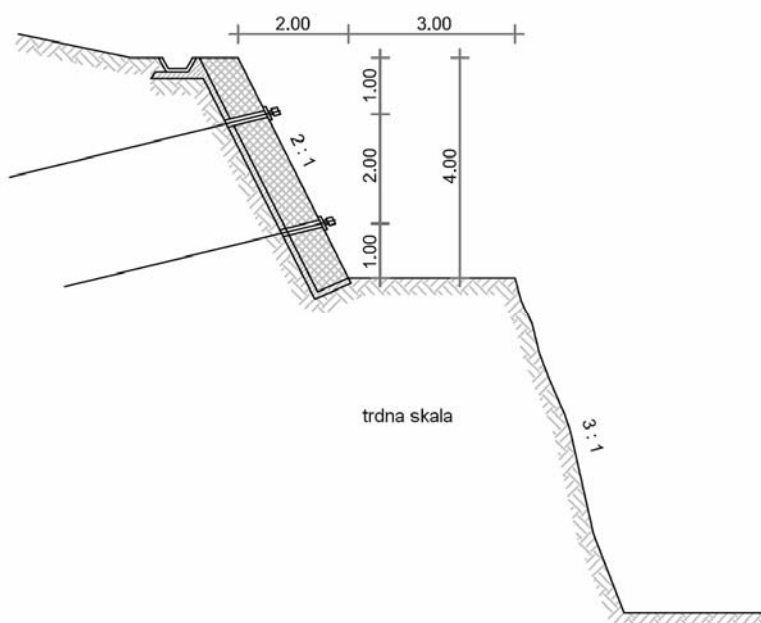
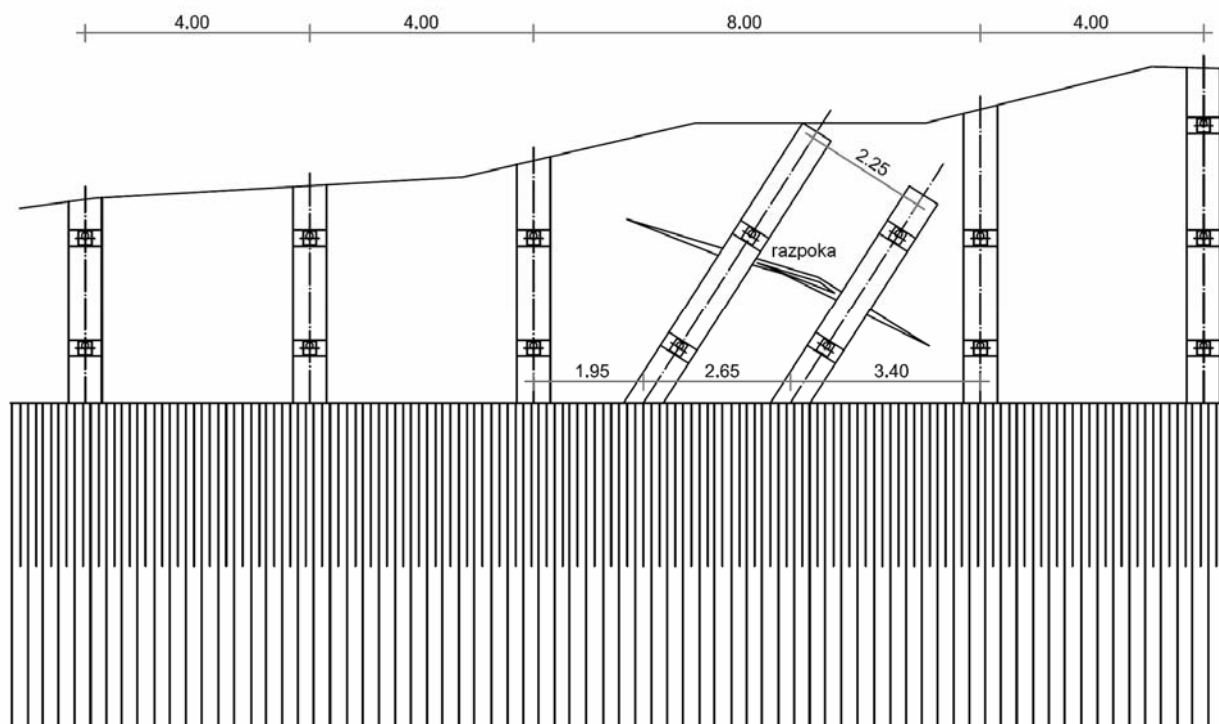
Sidrene vertikalne ili kose grede su armiranobetonski elementi kod kojih se nagib, dimenzije i raspored određuje na osnovu geološko-geomehaničkih karakteristika padine, kontaktnih napona, veličine sile sidrenja i potrebne dimenzije za ugrađivanje kotve te načina građenja.

Sidrene grede se u većini slučajeva izrađuju na licu mjesta, mogu biti i montažne, ako to dozvoljavaju karakteristike padine, prilazni putevi i potrebna mehanizacija.

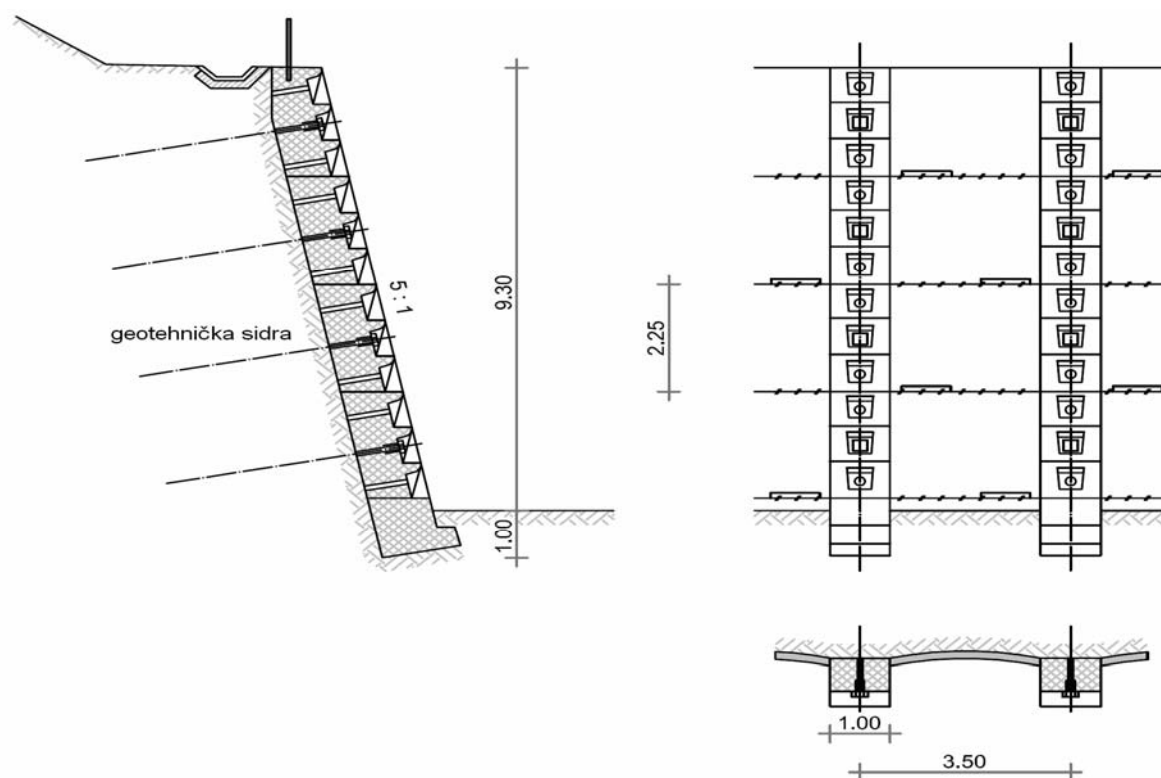
Razmak između greda zavisi od karakteristika padine. Orijentaciono se kreće između 2 do 6 m. Dimenzije presjeka greda zavise od načina ugrađivanja kotve – glave sidra. U slučaju »potopljene« kotve je dim. š/v = 80/80 cm, ako je kotva »izvučena« na površinu, min. dimenzije su š/v = 40/40 cm. Grede koje se izvode na licu mjesta treba ukopati 15 – 20 cm u padinu. Betoniranje se izvodi kontaktno na podlozi iz izravnavajućeg podbetona debljine min. 10 cm (slika 5.4).

Za montažne grede treba kontaktnu površinu pripremiti na način koji garantuje nalijeganje grede po čitavoj kontaktnoj površini. Obično se to postiže tako, da se pri montaži grede ostavi slobodan prostor između grede i terena, koji se naknadno ispuni sa izravnavajućim podbetonom.

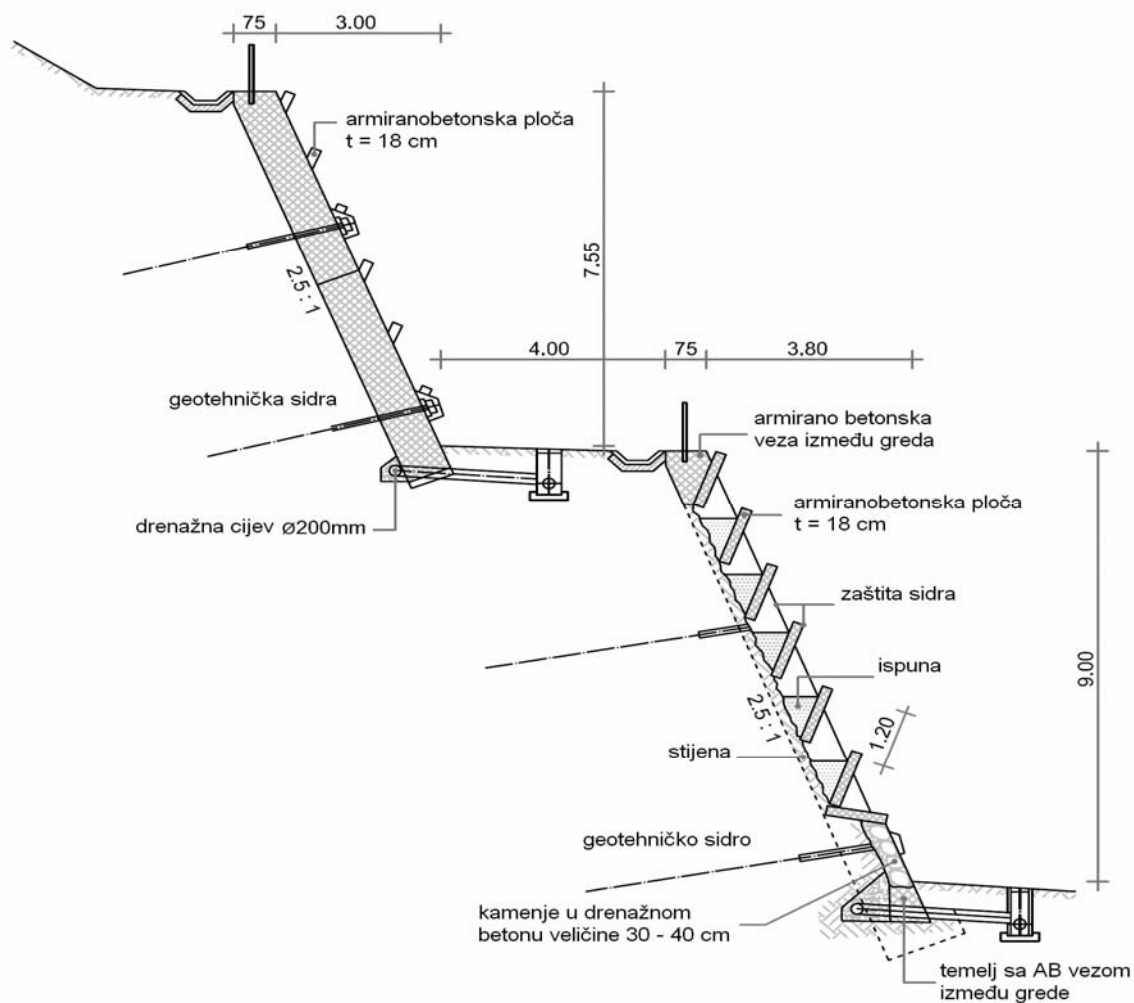
Kot manje kompaktnog tla, gdje se brizgani beton upotrebljava između greda za osiguranje kosine, grede se montiraju ili betoniraju na ugrađeni brizgani beton.



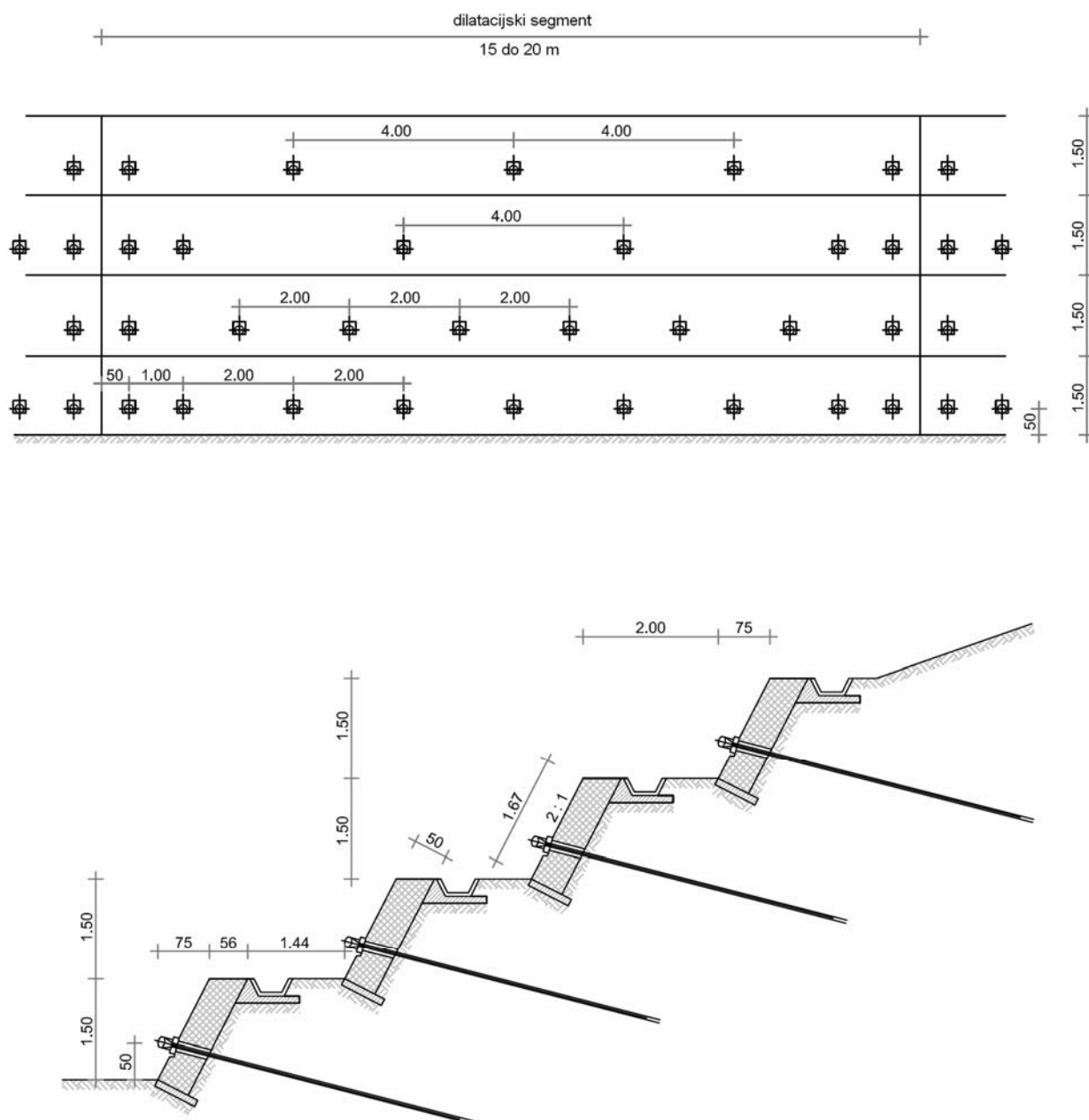
Slika 5.4: Sidrene vertikalne i kose grede



Slika 5.5: Sidrene vertikalne grede sa ispunom – brizgani beton



Slika 5.6: Sidrene vertikalne grede sa ispunom iz armiranobetonskih ploča



Slika 5.7: Sidrene horizontalne grede

5.4 Konstrukcije iz vertikalnih sidrenih greda sa ispunom

Dimenzije, raspored, nagib, veličina sile sidrenja i način izrade i u ovoj grupi sidrenih zidova zavisi od nabrojanih faktora u tački 5.3. Ova grupa se razlikuje od opisane iz tačke 5.3 samo po tome što se upotrebljava u nekoliko slabijim geomehničkim uslovima u kojima je potrebno prostor između greda osigurati. To osiguranje se postiže brizganim betonom sa ili bez armature (slika 5.5).

U slučaju raspadajuće padine ili iz estetskih razloga mogu se za ispunu upotrijebiti armiranobetonski montažni elementi koji omogućavaju humuziranje i zasipavanje

međuprostora. Dimenzije montažnih elemenata zavise od razmaka greda i karakteristika padine (slika 5.6).

5.5 Konstrukcije sidrenih horizontalnih greda

Sidrene grede su armiranobetonski elementi kod kojih dimenzije, nagib i raspored određuju geološko-geomehničke karakteristike padine, kontakti naponi, veličina sile sidrenja i potrebne mjere za ugrađivanje kotvi – glave sidra te način građenja (slika 5.7).

Greda se u većini slučajeva izrađuju na licu mjesta, ali mogu biti i montažne. U slučaju izvođenje na licu mjesta, dužine greda su teoretski neograničene sa čime je i njihov učinak veći. Montažni elementi su ograničeni sa dimenzijama i težinom.

Visina greda je od 0,80 do 1,50 m, debljina od 30 do 60 cm, u zavisnosti od načina ugrađivanja kotve.

Kod sidrenih greda koje se izrađuju na licu mjesta potrebno je grede ukopati 15-20 cm u kosinu padine. Betoniranje se izvodi kontaktno na podlozi koja je pripremljena sa brizganim betonom.

U koliko je padina stabilna u tolikoj mjeri, da ne treba izvoditi osiguranje sa brizganim betonom, onda se na zaleđu greda ugrađuje folija iz geotekstila koja sprečava miješanje zemlje sa betonom.

Radi lakšeg i jednostavnijeg armiranja i kontinuiranog toka opterećenja i napona, bolje rješenje je sa ugrađivanjem kotvi na površinu greda.

Izabrana konstrukcija se obično upotrebljava na lokacijama i uslovima kod kojih se u zaleđu ne očekuje prisustvo podzemne vode. Zbog toga nije potrebna izrada drenaža na zaleđu greda.

Na vrhu svake grede treba predvidjeti kanaletu odgovarajućih dimenzija za odvodnjavanje površinskih voda iznad zida.

5.6 Konstrukcije sidrenih roštilja

Sidreni roštilji su armiranobetonski horizontalni i vertikalni elementi međusobno povezani čije dimenzije, raspored i nagib određuju geološko-geomehaničke karakteristike padine, kontakti naponi, veličine sile sidrenja i potrebne mjere za ugrađivanje kotvi – glave sidra te način građenja (slika 5.8).

Konstrukcije sidrenih roštilja se najlakše i najkvalitetnije izrađuju na licu mjesta. Dimenzije presjeka greda roštilja zavise od načina ugrađivanja kotvi. U primjeru »potopljene« kotve je dimenzija š/v = 80/80 cm, ako je kotva »izvučena« na površinu, onda je min. dimenzija š/v = 40/40 cm.

Razmak vertikalnih greda je 3 do 6 m, horizontalnih 2 do 5 m. Geotehnička sidra treba predvidjeti na ukrštanju greda. Potrebna dodatna sidra i rupe za rezervna sidra ugrađuju se u međuprostoru između križanja vertikalnih i horizontalnih greda.

Vertikalne i horizontalne grede roštilja izrađuju se na pripremljenu podlogu iz izravnavajućeg podbetona.

Izabrana konstrukcija se obično upotrebljava na lokacijama i u uslovima na kojima se u zaleđu ne očekuje podzemna voda. Radi toga se ne izvode drenaže na leđnim stranama greda konstrukcije roštilja.

Na vrhu zida i na vrhu eventualnih bermi treba predvidjeti kanaletu odgovarajućih dimenzija za odvodnjavanje površinskih voda iznad zida.

Radi lakšeg i jednostavnijeg armiranja i kontinuiranog toka opterećenja i napona treba predvidjeti ugrađivanje kotvi na površini greda roštilja.

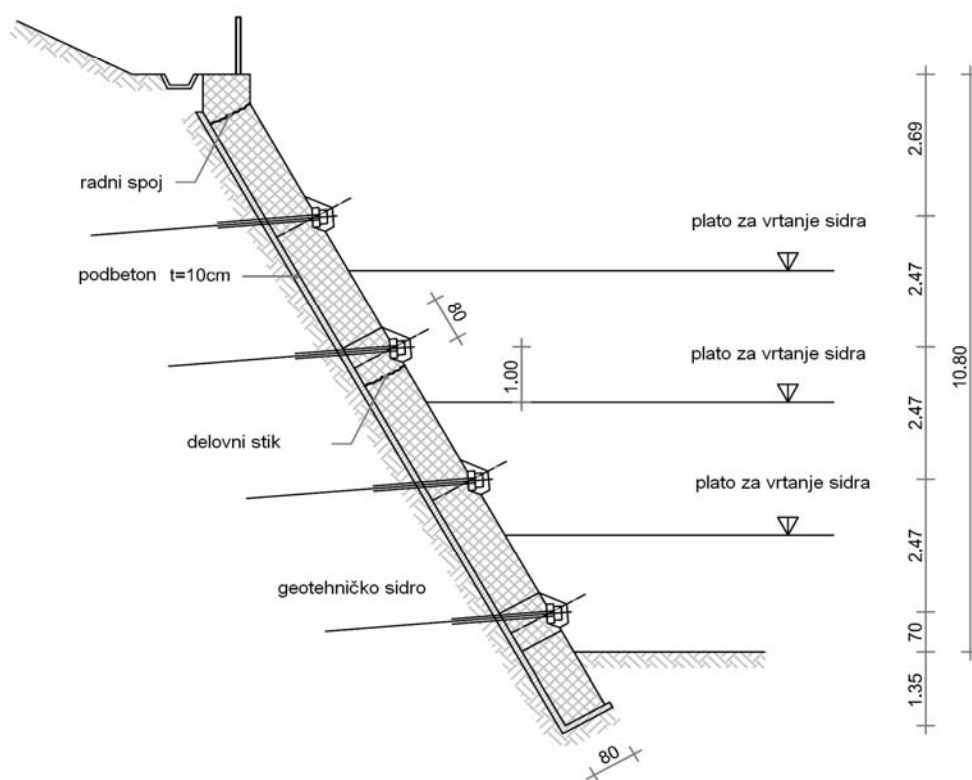
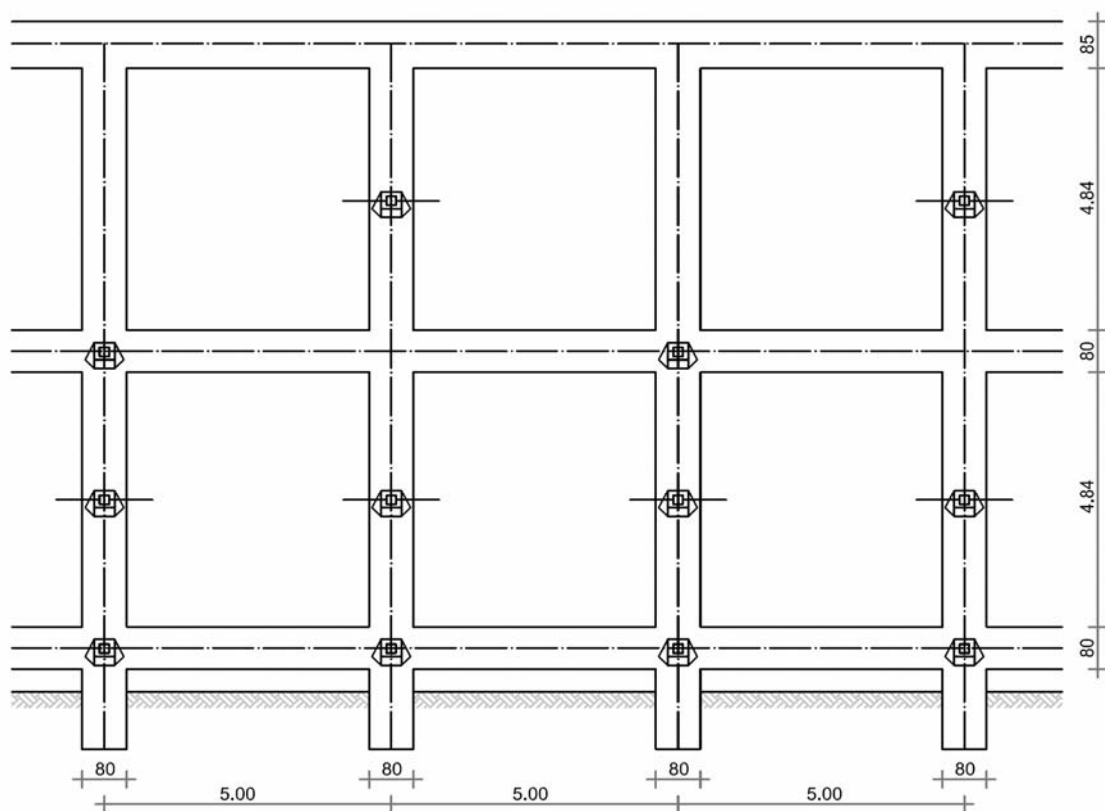
Prostor između vertikalnih i horizontalnih greda roštilja treba zaštititi sa brizganim betonom, ako su u pitanju lokalno nestabilne površine.

5.7 Konstrukcije sidrenih roštilja sa ispunom

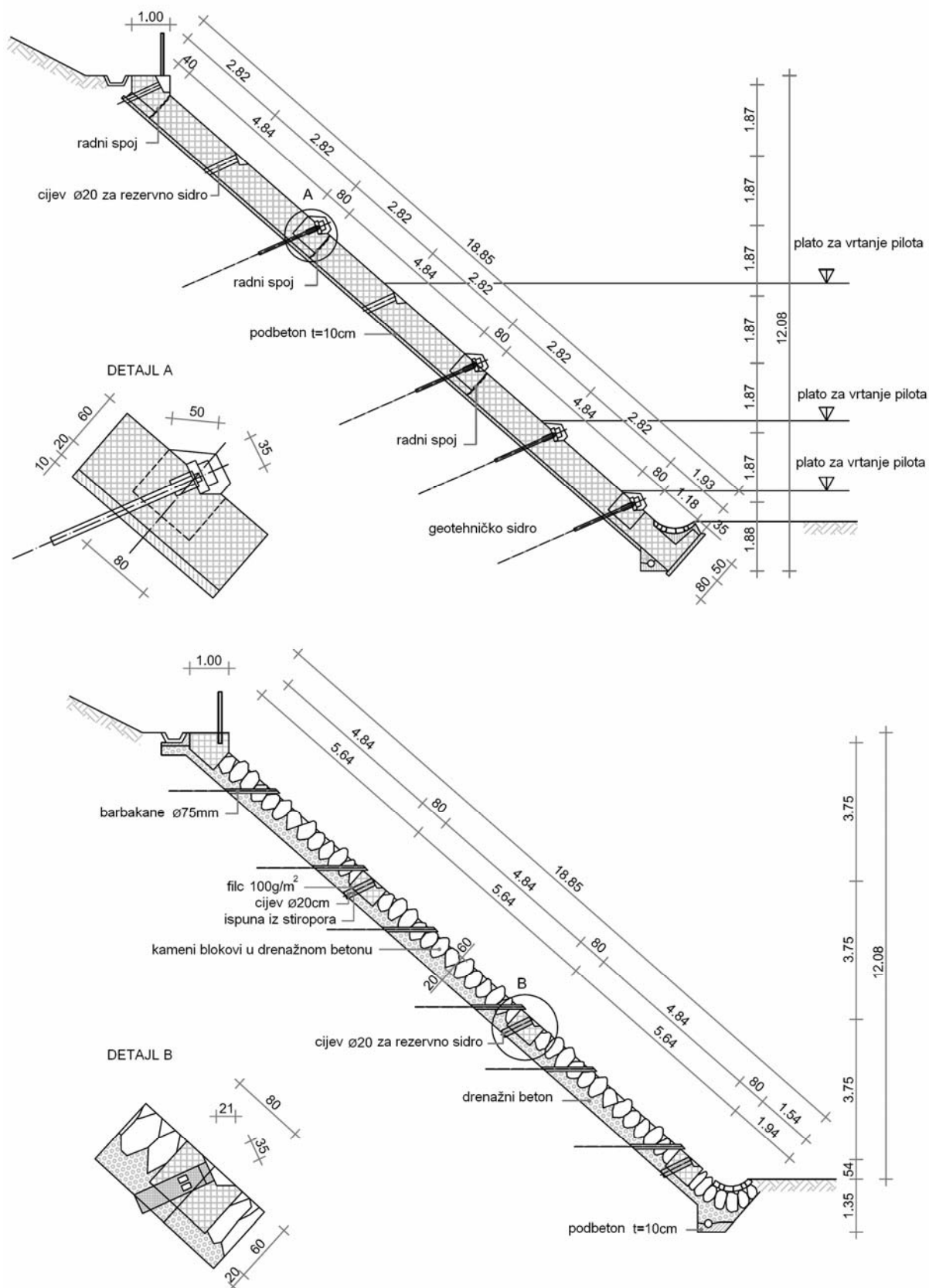
Dimenzije, raspored, razmak horizontalnih i vertikalnih greda, veličina sile sidrenja i način izvođenja u ovoj grupi sidrenih zidova zavisi od faktora nabrojanih u tački 5.6. Ova grupa zidova razlikuje se od opisane u tački 5.6 po tome što se upotrebljava u nešto slabijim geomehaničkim uslovima u kojima prostor između greda treba osigurati protiv klizanja i raspadanja. Nagib konstrukcije je manji od konstrukcija bez ispune (slika 5.9).

Kao ispuna između horizontalnih i vertikalnih greda roštilja upotrebljava se složeni kamen iz odgovarajućeg autohtonog kamenoloma koji se polaže u drenažni beton. Veličina pojedinih komada je od 40 do 70 cm, debljina drenažnog betona pa min. 20 cm. Ukupna debljina ispune treba da je min. 80 cm. Površinske fuge između kamenih blokova u dubini 10 do 15 cm ispune se sa humusom ili cementnim malterom.

Vertikalne grede roštilja betoniraju se na izravnavajući sloj podbetona, dok se horizontalne grede roštilja i ispuna betoniraju na sloju filterskog betona koji omogućava dreniranje vode iza zaleđa. Na najnižoj tački zida – uz petu temelja zida treba, po čitavoj dužini zida, voditi drenažnu cijev. Na svakih 30 m drenaža se mora povezati sa kontrolnim šahtom ispred zida, a šahtovi su povezani sa sistemom za odvodnjavanje cijelog zida.



Slika 5.8: Konstrukcija sidrenog roštilja



Slika 5.9: Sidrena konstrukcija roštilja sa ispunom

5.8 Konstrukcije sidrenih zidova

Sidreni armiranobetonski zidovi mogu se u cjelosti izraditi na licu mjesta, a mogu biti polumontažne izrade. Nagib i dimenzije zavise od geološko-geomehaničkih karakteristika padine, kontaktnih napona, veličine sile sidrenja, potrebnih mjera za ugrađivanje kotve – glave sidra te načina građenja.

U slučaju izgradnje na licu mjesta, prethodno se na zaleđu padine izvede sloj drenažnog betona ili folija drenažnog geotekstila, a tek onda se pristupa izgradnji zida. Minimalna debljina zida je 30 cm, odnosno zavisi od dimenzije tulca sistema za prednapinjanje geotehničkog sidra. Drenažni sloj mora biti debel min. 15 cm. Kotvu – glavu sidra treba izvući iz ravnine zida (slika 5.10).

Kod djelomično montažne izgradnje postoje najmanje dvije varijante:

Kod prve varijante se na iskopanju i pripremljenu padinu razastre drenažni geotekstil, dok se za oplatu zida koristi montažna armiranobetonska ploča na koju je pričvršćena potrebna armatura zida. Prostor između geotekstila i montažne ploče ispuni se sa betonom. Ploča na spoju mora imati sidra odnosno omče sa kojima se montažna ploča i ispunjena sprežu u nosivi sistem zida. Minimalna debljina montažnih ploča je 15 cm, a dodatnog betona min. 30 cm. Ukupna debljina zavisi od dimenzije tulca sistema za prednapinjanje geotehničkog sidra. Veličina ploče zavisi od transportnih srestava, s tim da nisu šire od 220 cm i više od 350 cm (slika 5.11).

Prednost ove varijante su manji troškovi oplata, brže napredovanje radova, kvalitetnija izrada vidne površine zida i ljepši izgled zida.

Kod druge varijante prvo se izvede temelj sa otvorima za ugrađivanje moždanika na koje se nataknu montažne ploče (slika 5.12). Ploče su debele min. 30 cm i dimenzija koje odgovaraju težini i dimenzijama koje omogućavaju utovar, transport i laganu montažu uz korištenje jednostavnije mehanizacije. Prostor između padine i ploče zapuni se sa filterskim drenažnim betonom min. debljine 15 cm. Ako bi, pri ugrađivanju filterskog betona, moglo doći do miješanja sa zemljom, treba prije betoniranja preko padine razastrijeti geotekstil.

Za odvodnjavanje drenažne i površinske vode važe opšta pravila.

5.9 Posebne konstrukcije sidrenih zidova građenih od gore prema dole

Posebni sistemi armiranobetonskih zidova građeni po tehnologiji od gore prema dole mogu se u cjelini graditi na licu mjesta ili u djelimičnoj montažnoj izradi. Dimenzije i nagib zida određuju geološko-geomehaničke karakteristike padine, kontaktni naponi u tlu i veličina raspoloživih sila sidrenja (slika 5.13).

Za razliku od sidrenih zidova iz tč. 5.8, kod ovih tipova zidova može se postići strmiji nagib iskopa pokosa – obično 4 : 1. Sa ovim se smanjuje obim zaleđa na kome može doći do pojave nestabilnosti i rušenja tla pokosa.

Tehnologija izrade ovog zida prouzrokuje djelomičnu nelogičnost u dimenzijama konstrukcije: debljina zida je na području najkvalitetnijeg pokosa najveća.

Karakteristike ovih zidova su: da su, radi tehnologije izgradnje, nekonstantnog presjeka po visini. Na svakoj etapi se zid zamakne za cca 35 cm, kako bi se omogućilo betoniranje zida niže – donje etape.

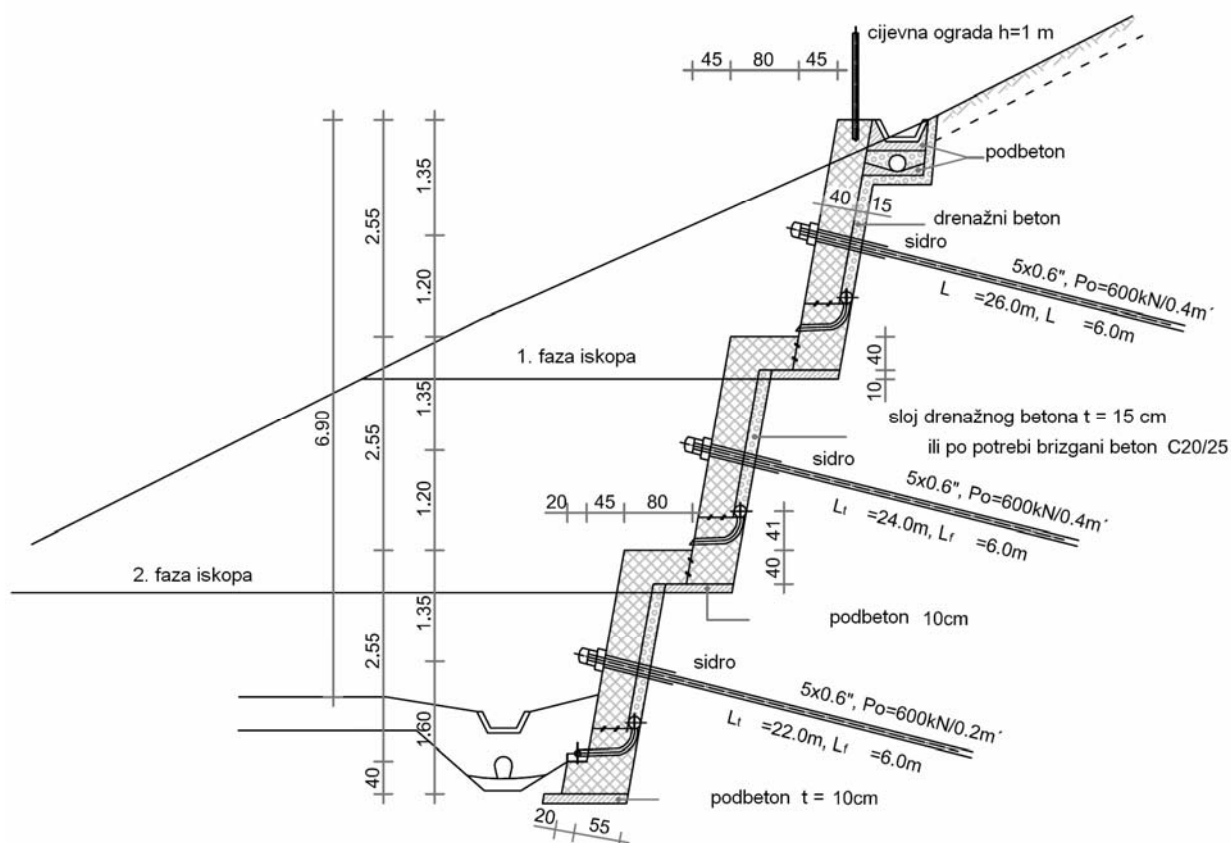
Sledeća karakteristika je, da imaju ovi tipovi zidova temelj i da se betoniraju kontaktno. Zato se na zaleđe, koje je u kontaktu sa betonom, položi drenažni geotekstil.

Minimalna debljina zida prve etape je 40 cm, debljina zida slijedećih etapa je veća radi zamicanja.

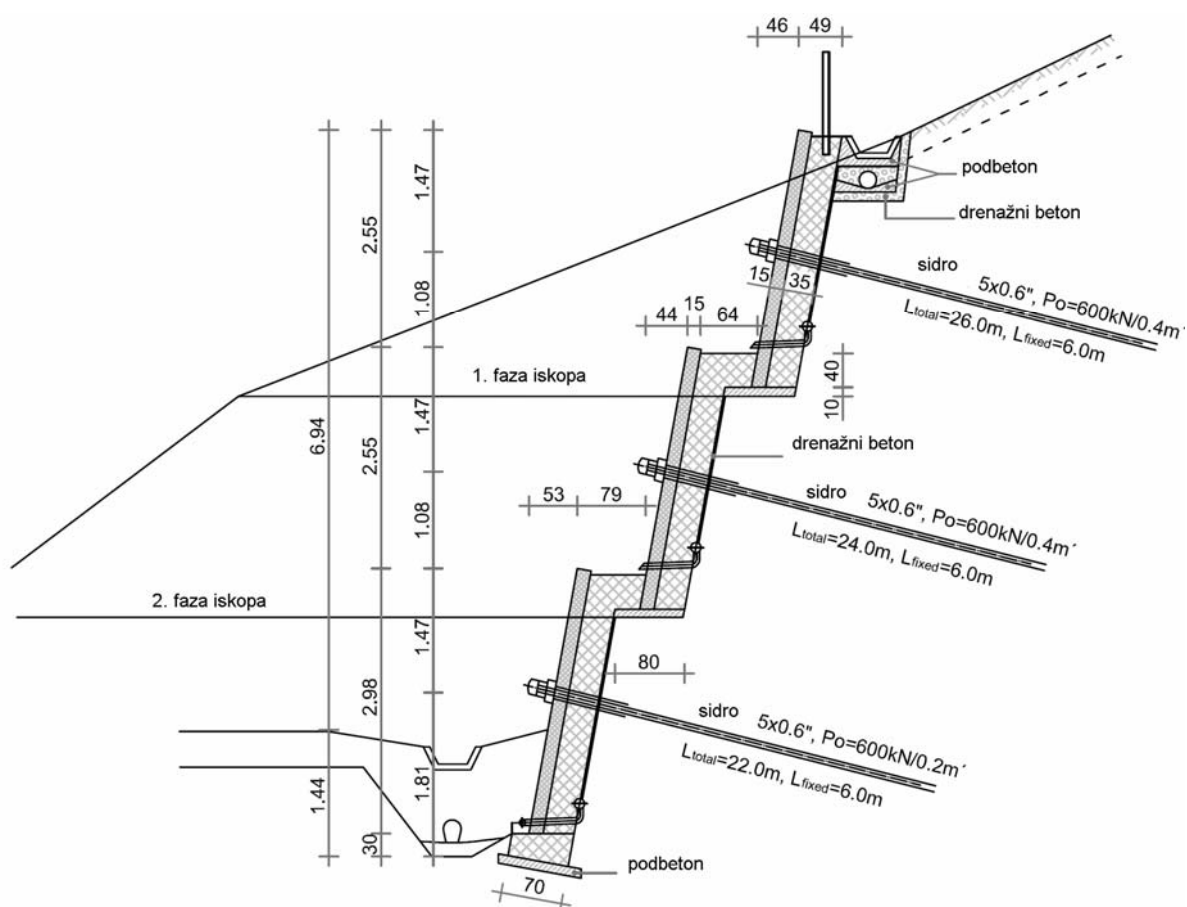
Ovi tipovi se obično izrađuju po montažno-monolitnoj tehnologiji. Pri tome se upotrebljavaju montažne ploče deb. min. 15 cm koje služe kao oplata sa čelne strane zida. Ploče se izrađuju u bazi i dopremaju na gradilište. Širina je ograničena sa transportom na max, 2,2 m. Visina ne treba da prelazi 3,50 m. Ovakve dimenzije ploča dostižu težinu, koja se još uvijek može savladivati na teško dostupnim mjestima uz upotrebu uobičajene mehanizacije.

Prvu etapu treba izgraditi sa najvećom pažnjom pošto se izvodi u najtežim geološko-geomehaničkim uslovima. Jedna od mjera koja se primjenjuje u prvoj etapi jeste ugrađivanje kotvi na dvije različite visine u cilju sprečavanja rotacije zida.

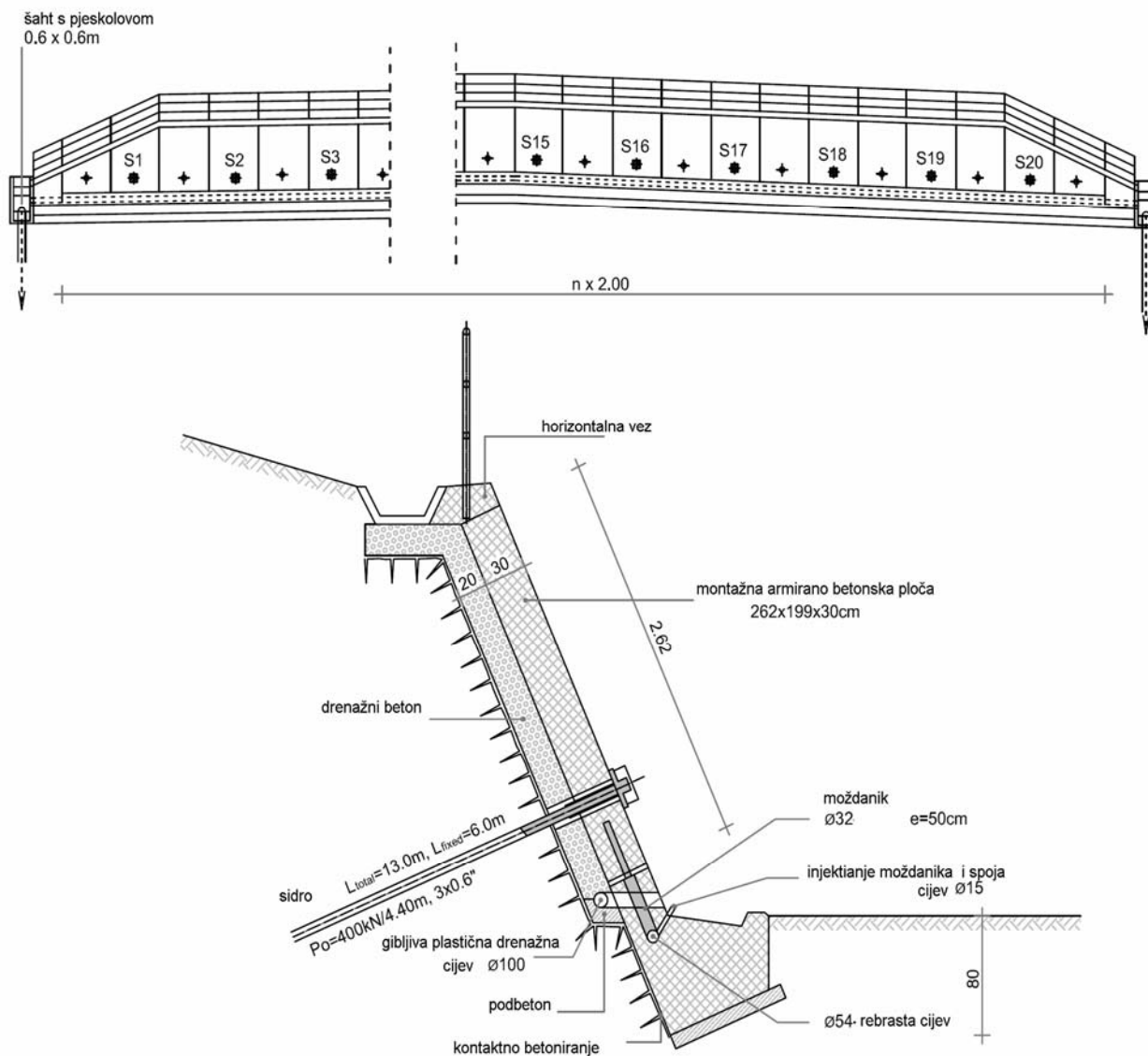
Svaku izvedenu etapu treba, prije bilo kakvog nastavka radova, sidrati. Tek kada su svi dijelovi jedne kampade sidreni mogu se radovi nastaviti sa potkopavanjem već izrađenih etapa. Slijedeće etape se rade po etapama na preskok.



Slika 5.10: Sidreni zid u monolitnoj izradi



Slika 5.11: Sidreni zid u polumontažnoj izradi

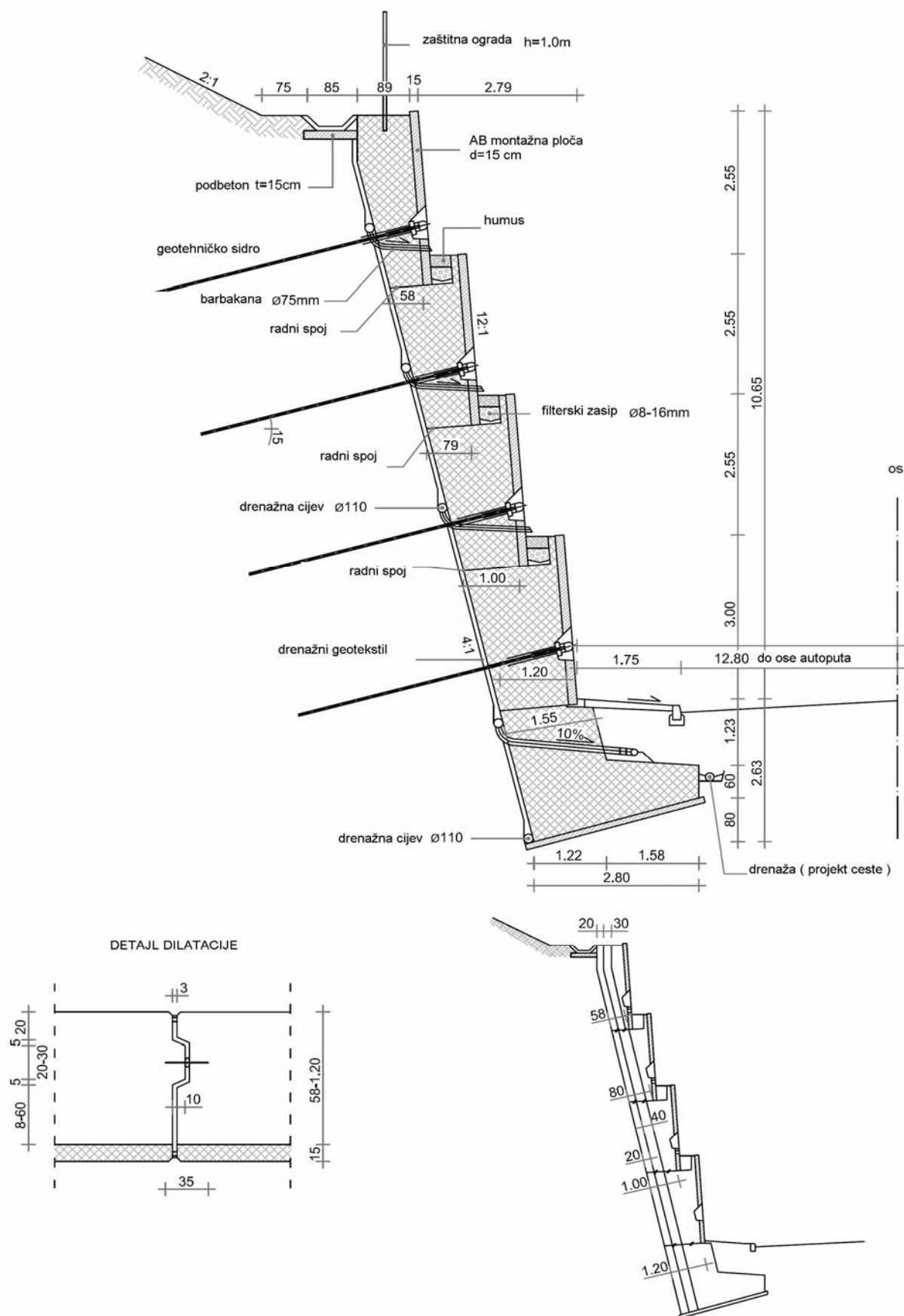


Slika 5.12: Djelomično montažni sidreni zid

U svakoj kampadi zida mora se na dnu ugraditi armatura za sidrenje $\varnothing 32/33$ cm ili $\varnothing 28/25$ cm koja služi za međusobno povezivanje kampada.

Prije betoniranja zida treba preko površine padine, koja dolazi u dodir sa betonom, položiti drenažni geotekstil, koji se poveže na drenažnu cijev koja ide po dužini iza zida na svakoj kampadi. Ove se cijevi na krajevima povežu sa koritnicama koja ide po kosini krajeva zida.

Na najnižoj tački zida – peti temelja treba ugraditi drenažnu cijev koja se na krajevima zida spoji na sistem za odvodnjavanje saobraćajnice ili se izvede na slobodno oticanje.



Slika 5.13: Karakteristični poprečni presjek sidrenog zida građenog od gore prema dole

5.10 Konstrukcije zidova od šipova

Stabilnost i sigurnost zidova od šipova moraju se obezbjediti sa otporom tla i geotehničkim sidrima u slučaju sidrenja te sa krutosti na savijanje koja igra najznačajniju ulogu kod obezbjeđivanja pouzdanosti ovakve konstrukcije.

Da bi se svi elementi zidova od šipova optimalno uključili i iskoristili u konstrukciji, potrebno je da se svim konstruktivnim dijelovima i geološko-geomehaničkim uslovima posveti znanje i stečena iskustva.

Treba imati na umu, da se radi o sastavnim dijelovima konstrukcije koji u cjelosti nisu matematički obrađeni radi čega, kod projektovanja, dolaze iskustva do punog izražaja.

Zidovi od šipova su konstrukcijski objekti koji se sa svojom veličinom i oblikom ne uklapaju najbolje u okolinu. Prestavljaju samostalne potporne konstrukcije zbog čega, pored statičkog značaja, moraju sadržavati i elemente arhitektonskog oblikovanja.

Da li je zid od šipova pravilno uklopljen u okolinu najbolje se uočava na oblikovanju krajeva i vrha zida. Liniju vezne grede treba prilagoditi u najvećoj mjeri morfologiji padine. Veliki lomovi vezne grede nisu poželjni.

Krajevi zidova od šipova – spoj zida i padine treba oblikovati na način koji eliminiše neobične početke konstrukcije. Spoj zida i terena mora se izvesti neusiljeno, odnosno prilagoditi terenu. Sa tim se omogućava kvalitetno i pravilno odvajanje površinskih voda iz kanalete u kontrolni šaht.

Treba razlikovati, u kakvu okolinu se zid ugrađuje. Ako se zid od šipova ugrađuje u osjetljivu okolinu, kulturno i historijsko zaštićenu okolinu, onda ovakvu nezgrapnu konstrukciju treba na odgovarajući način estetski obraditi. Pri tome se prije svega misli na oblaganje zida kako bi dobio oblik fasade.

Podkonstrukciju, na koju se pričvršćuje obloga treba ugraditi na nosivu konstrukciju tako da je omogućeno zračenje obloge i odvodnjavanje vode iz zaleđa. Detalje pritvrđivanja treba takođe obraditi na način koji neće predstavljati slaba mjesta u konstrukciji.

Obloge zidova od šipova, koje se preko podkonstrukcije pričvrste na šipove, odnosno grede, sprečavaju pregled i pristup do nosive

konstrukcije. Ugrađivanje obloga predstavlja poseban problem kod sidrenih zidova od šipova pošto ometaju kontrolu i održavanje kotvi geotehničkih sidara i pristup mjernim i kontrolnim sidrima.

U svakom slučaju treba nastojati da su razgibani oblici polukrugova šipova na različitim međusobnim rastojanjima i da su vidni, pošto takvi estetski izgledi nude istinsku strukturu, koja sa svojim robusnim izgledom izražava svoju pravu namjenu.

Zidove od šipova bez obloga treba oprati s vodom pod pritiskom pri čemu treba paziti da se zbog previsokog pritiska ne ošteti vidna betonska struktura.

Estetsko poboljšanje pogleda na konstrukciju zida od šipova postiže se sa prirodnim ozelenjavanjem. U tu svrhu treba ispred zida predvidjeti prostor širine 60 do 80 cm u koji se naspe plodna zemlja i zasade različiti puzavci koji se preko ugrađene mreže, penju po visini šipova i tako djelomično sakriju pogled na zid. Kod izbora sadnica treba paziti da ne dođe do narušavanja širine slobodnog saobraćajnog profila puta te da su otporni na uticaj soli koja se koristi u zimskom periodu.

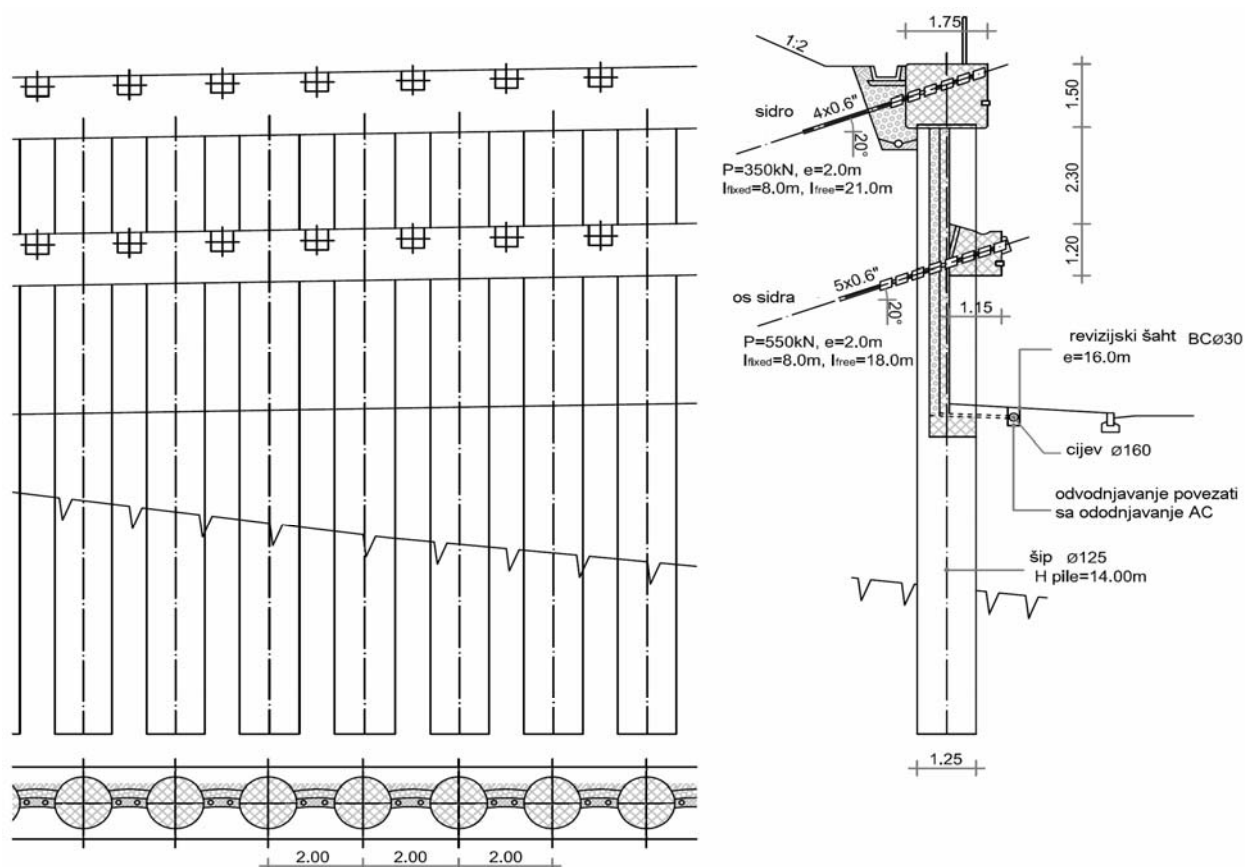
U slučaju prekomjerne izraženosti nejednakog izgleda šipova i ispune među njima, onda treba ukupnu vidnu površinu zida, bez vezne grede i grede za sidrenje, prešpricati betonom sa dodatkom mikrovlakana.

U slučaju da se zid od šipova nalazi neposredno uz kolovoz (potporni zid), tada donji dio zida do min. visine 3,0 m treba zaštititi sa epoksi premazom koji betonu povećava otpornost na mraz uz prisustvo soli. Ovaj premaz mora biti proziran i bezbojan kako bi se očuvala i ostala vidna prirodna struktura betona.

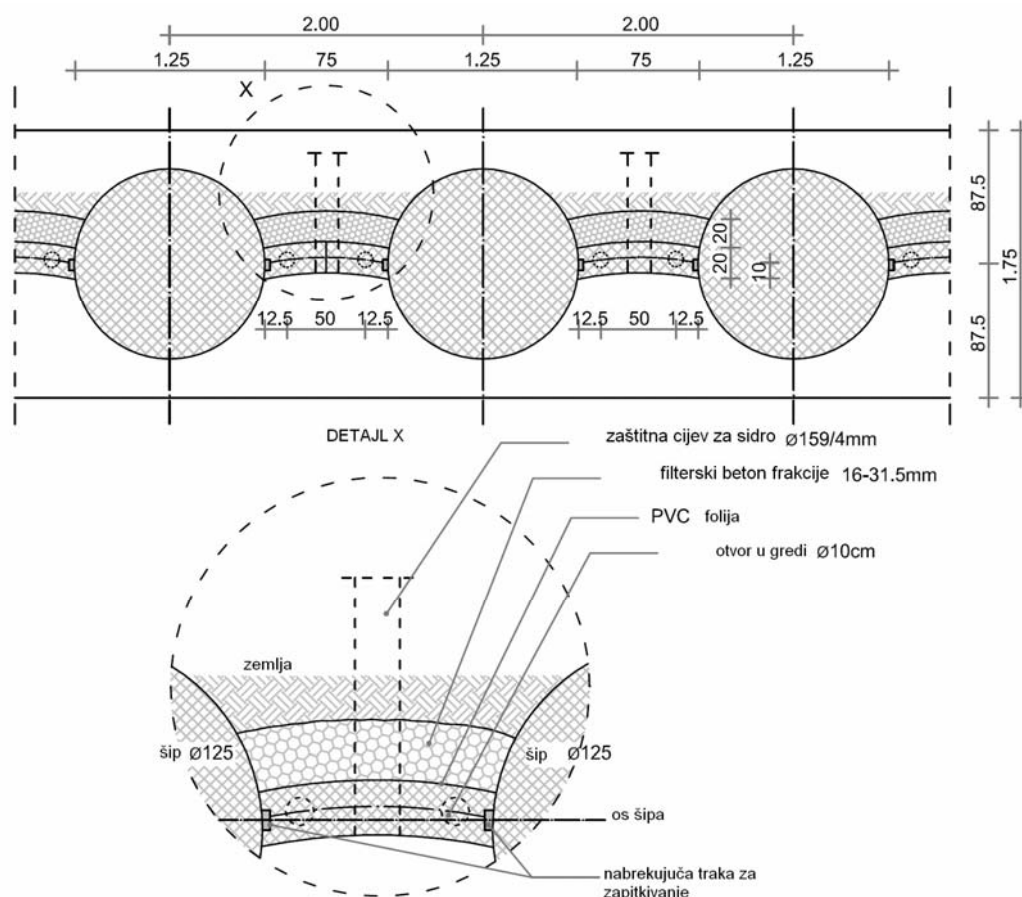
Konstrukcija, armatura šipova i način izvođenja šipova detaljno su obrađeni u smjernici PS 1.3.1 – Temeljenje na šipovima i bunarima.

Za zidove od šipova treba predvidjeti sidrene konzole ili upotrebljavati šipove $\varnothing$ 100 do $\varnothing$ 150 cm.

Okrugli presjek šipova u statičkom pogledu nije najugodniji za opterećenja na savijanje pošto je armatura u presjeku slabo iskorištena. Preporučuje se simetrično armiranje šipova zbog lakše izrade i eventualno naknadno ugrađenih sidara.



Slika 5.14: Dio konstrukcije zida od šipova sa sidrenjem u dva nivoa



Slika 5.15: Ispuna između šipova

Kod izbora promjera šipova, projektant treba donijeti pravu odluku uzimajući u obzir geološko-geomehaničke karakteristike tla, hidrološke prilike i visinu zida. Izbor promjera šipova direktno zavisi od opterećenja i dužine šipova.

Kod zidova od šipova koji su sidreni u jednom ili više nivoa po visini upotrebljavaju se šipovi $\varnothing$ 100 cm, a kod većih opterećenja $\varnothing$ 125 cm. Ovi šipovi sa svojom krutošću bolje sarađuju sa sidrima pri interakciji između konstrukcije i tla, nego šipovi većih promjera.

Izbor promjera šipa može zavisiti i od dužine šipa. U primjerima kada je dužina šipa veća od dužine armaturne palice glavne armature, tada treba armaturne koševe produžavati, pošto mogu nastupiti teškoće vezane za propisane minimalne prostore između palica u području preklopa. Razmak između palica mora biti min. 3 cm kako bi sve palice bile obavijene ugrađenim betonom.

Kod šipova promjera $\varnothing$ 125 cm, veće dubine od 12 mm i većeg procenta armiranja od 2,5 %, neophodno je povećanje promjera šipa pošto se ne može izvesti nastavljanje armature sa preklapom na pravilan način. U slučaju da je šip kraći od 12 m može se primijeniti i veći procenat armiranja.

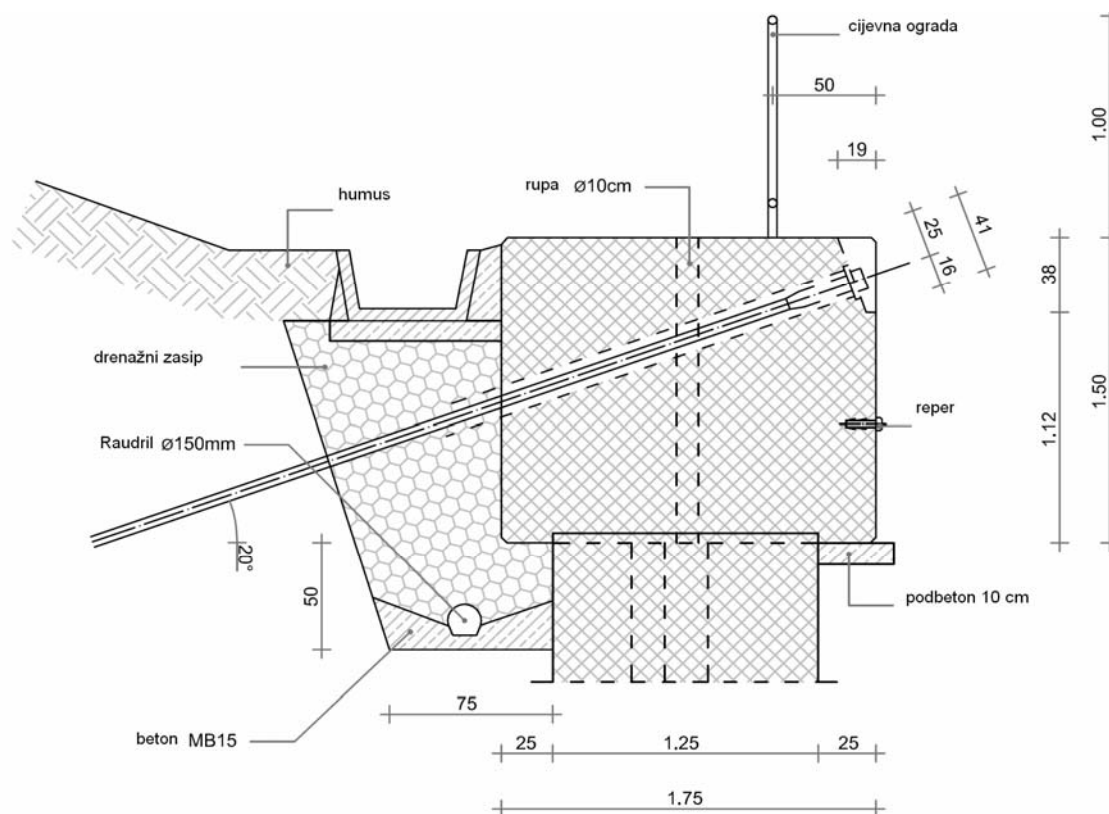
Razmak između šipova zavisi od opterećenja zida i karakteristika tla u njegovom zaleđu pošto prostor između šipova treba privremeno »otvoriti« i očistiti a nakon toga među prostore zapuniti sa oblogom prema projektovanim detaljima.

Usvojenom promjeru treba prilagoditi i razmak između šipova. Najmanji razmak teoretski može biti jednak promjeru šipa, ali se preporučuje min. razmak između šipova 10 cm zbog problema obezbjeđenja tačnosti kod bušenja. Najveći dozvoljeni razmak zavisi od promjera šipa, a iznosi:

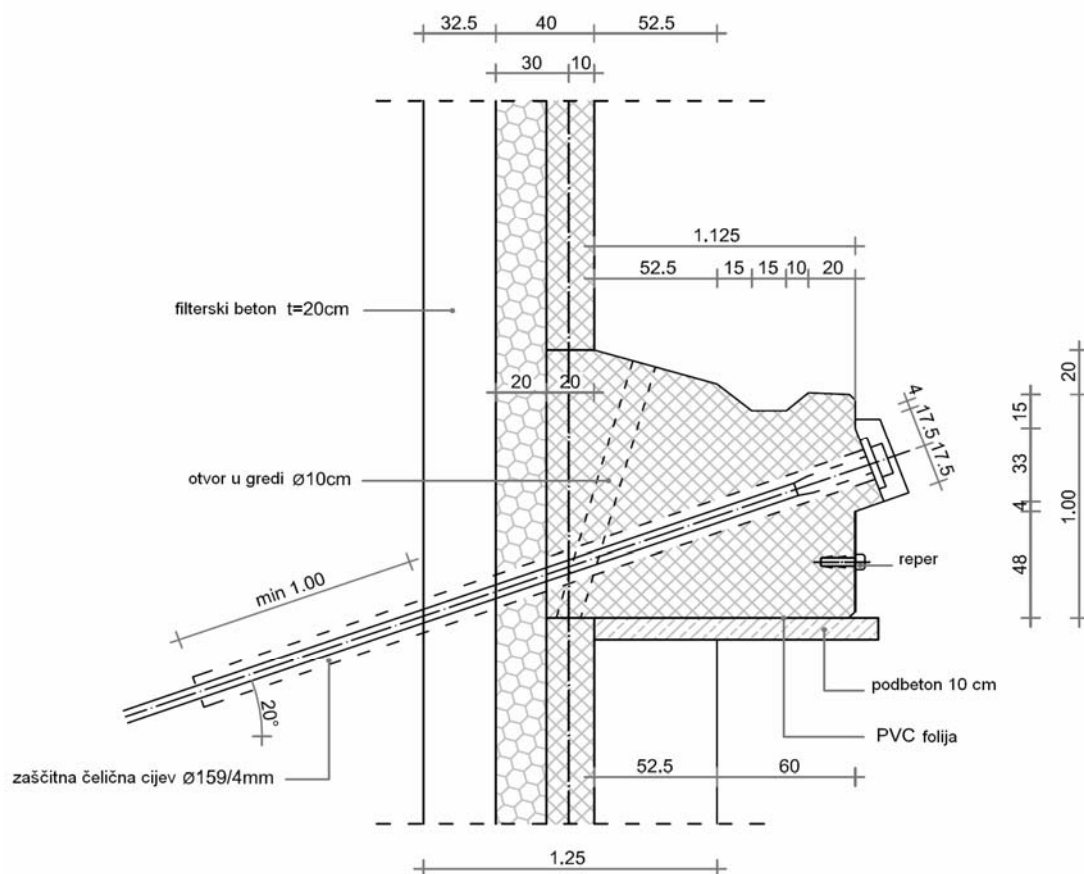
- za šip $\varnothing$ 100 cm: $e = 2,00$ m
- za šip $\varnothing$ 125 cm: $e = 2,50$ m
- za šip $\varnothing$ 150 cm: $e = 3,00$ m

Vezne grede povezuje vrhove šipova i predstavljaju završetak zida koji je najispostavljeniji dio konstrukcije. Pošto se nalazi na udaru pogleda, treba je što kvalitetnije oblikovati (zarubljene ivice, beton odgovarajućeg kvaliteta, kvalitetna oplata). Posebnu pažnju treba posvetiti položaju i namještanju kotvi geotehničkih sidara, ako se radi o sidrenom zidu.

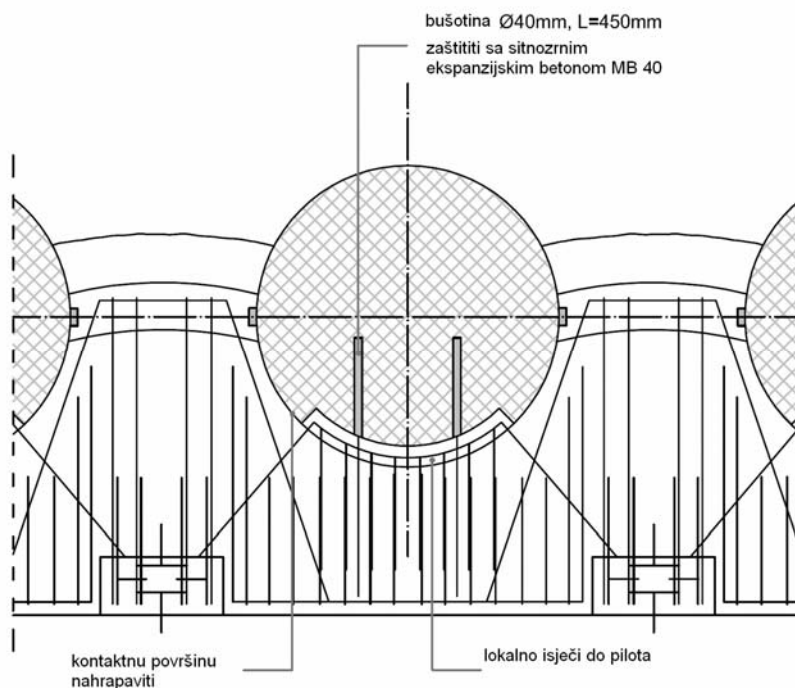
U ovom slučaju se na određenim mjestima ugrađuju kontrolna i / ili sidra za mjerenje koja treba na odgovarajući način održavati.



Slika 5.16: Poprečni presjek vezne grede



Slika 5.17: Poprečni presjek srednje grede za sidrenje



Slika 5.18: Povezivanje srednje grede sa šipovima

U slučaju da neposredno iznad zida od bušenih šipova prolazi saobraćajnica, onda vezna greda postaje dio kolovoza. U ovom slučaju treba veznu gredu oblikovati na odgovarajući način, ugraditi zaštitnu ogradu i hodnik za pješake.

Vezna greda mora imati takve dimenzije i krutost da može preuzeti posljedice eventualnih oštećenja nosivih elemenata zida na bušenim šipovima (lokalno veći pritisci zemlje, popuštanje šipa, popuštnaje sidra, ...) i prenese opterećenje na susjedne šipove odnosno sidra.

Širina vezne grede treba biti veća od promjera šipa za 15 – 25 cm na svakoj strani zbog eliminisanja mogućih grešaka kod izvođenja šipova, te zbog lakšeg i jednostavnijeg ugrađivanja armature u gredi. Vertikalna armatura šipa ne omogućava ravnomjernu raspodjelu armature po donjoj stranici grede.

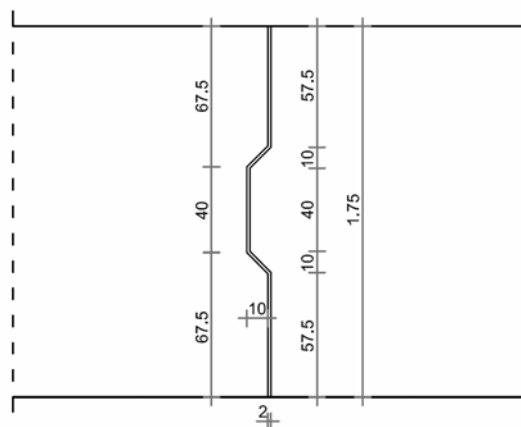
Visina vezne grede ne treba biti veća od dužine sidrenja armature šipa plus 10 cm. Ako se zid od bušenih šipova sidra onda visina grede je min. 120 cm radi pravilnog oblikovanja i obrade kotvi geotehničkih sidara.

U podužnom smjeru veznu gredu treba dilatirati na razmaku 15 do 20 m. U slučaju da se vezna greda na vrhu prilagođava razgibanom terenu radi čega se u više navrata lomi, tada su rastojanja između dilatacije manja i prilagođena mjestima na kojima se lomi.

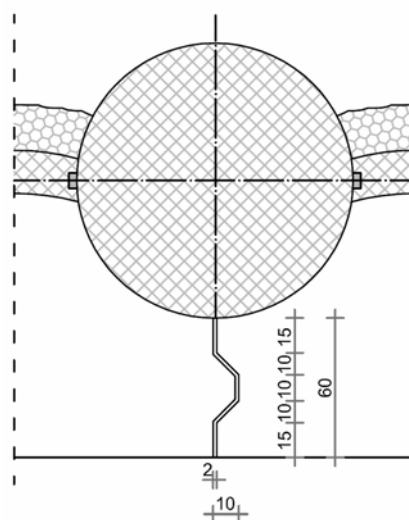
Dilatacije se izvode u obliku »pero i utor«.

Srednje grede za sidrenje pojavljuju se samo u slučajevima kod kojih je neophodno sidrenje na dva ili više nivoa po visini zida od bušenih šipova. Srednje grede povezuju šipove u cjelinu, ali prije svega imaju ulogu elementa konstrukcije u koji se ugrađuju kotve geotehničkih sidara. Raspored ovih sidara je obično takav, da sidra prolaze kroz prostor između šipova.

Na mjestu srednjih veznih greda treba urediti kvalitetan spoj između šipa i vezne grede. Na spoju treba izbušiti u svaki šip po dvije rupe $\varnothing$ mm, dužine 45 cm u koje se ugradi armatura (sidra) u prethodno ispunjene rupe sa ekspanzijskim malterom. Na ovom području (kao što prikazuje slika 5.18) treba odstraniti beton šipova do armature, na ostaloj površini, koja je na spoju za veznom gredom, šip treba oprati i nahrapaviti.



Slika 5.19: Tlocrt dilatacijskog spoja na veznoj gredi



Slika 5.20: Tlocrt dilatacijskog spoja na srednjoj gredi

Razmak između sidara zavisi od nosivosti pojedinačnog sidra i opterećenja zida od bušenih šipova. Treba težiti prema što manjem broju sidara, zato treba upotrebiti sidra maksimalne nosivosti. U većini primjera maksimalnu nosivost predstavlja vanjska nosivost sidra, odnosno nosivost koju može preuzeti tlo odnosno stijenski masiv.

Razmak između sidara na veznoj gredi ne smije biti u istoj ravnini manji od 50 cm. Kod razmaka koja su manja od 1,5 m treba predvidjeti sidro različite dužine, koji se ugrađuju neizmjenično sa različitim i izmjeničnim uglom nagiba sidra. Razlika u dužini mora biti jednaka dužini veznog dijela plus 2 m, dok razlika u uglu nagiba treba iznositi 10°. U slučaju sidrenja u kompaktnu, kvalitetnu stijensku masu, navedeni uslovi se upotrebljavaju kada je razmak između sidara manji od 1 m.

Na veznoj gredi treba sidra, po mogućnosti, rasporediti između šipova. U suprotnom se moraju rezati palice armature šipa (dvije do pet) pošto ometaju prolazak sidra i ugrađivanje kotve.

Na veznoj gredi se obično ugrađuju sidra za testiranje na osnovu kojih se izvodi test za ocjenu i odredi vanjska nosivost sidra.

Na srednjoj gredi za sidrenje obavezno se ugrađuju sidra između šipova. Ako treba sidra se mogu ugraditi u dva reda.

Odvodnjavanje zaleđa zida od bušenih šipova je važno, da ne dođe do hidrostatičkih pritisaka na zid, koji bi u krajnjem slučaju, mogao oštetiti konstrukciju. Odvodnjavanje ovih zidova može se podijeliti na dva dijela i to odvodnjavanje zaleđa i odvodnjavanje površinskih voda.

Za odvodnjavanje voda zaleđa treba izvesti drenažu podužno uz gornju veznu gredu (slika 5.16) i izvesti dreniranje prostora između šipova.

Iza vezne grede treba, cca 50 cm ispod donjeg ruba horizontalne grede, izvesti horizontalnu drenažu. Drenažni zasip prostire se po cijeloj visini grede.

Zasip se izvodi nakon ugrađivanja geotehničkih sidara pri čemu treba posebno paziti da ne dođe do oštećenja sidara.

Dreniranje prostora između šipova može se izvesti na dva načina:

- sa filterskim betonom između šipova i armiranobetonskom oblogom sa vidne strane. Ovaj detalj je kvalitetan i zahtijeva više radnih postupaka;
- sa vertikalnim drenažnim cijevima u prostoru između šipova, što prestavlja jednostavniju ali i manje efikasnu izradu.

Svu sakupljenu dreniranu vodu treba, preko kontrolnih šahtova, nadgledati i sprovesti do sistema odvodnjavanja ili na odgovarajućim mjestima ispustiti u prirodu pošto se ne radi o zagađenoj vodi.

Blagovremeno i efikasno odvodnjavanje površinskih voda spada u važno rješenje koje učestvuje u stabilnosti ovih konstrukcija. Površinsku vodu treba po najkraćem putu kanalizirati izvan područja zida. U tu svrhu treba dimenzionirati presjek kanaletе odnosno jarka kako ne bi došlo do prelijevanja vode preko zida u vrijeme intenzivnijih oborina.

Dno kanala za odvod vode koji se prostiru preko strmih terena zaleđa treba obraditi na način koji će usporiti protok i umanjiti energiju vode prije ulijevanja u kontrolni šaht (oblogu iz lomljenog kamena, pragovi itd.).

Kvalitet betona za šipove mora biti minimum C 25/30 (MB 30) za stepen ispostavljenosti XC2. Vrsta i kvalitet armature je S 400 (RA 400/500).

U slučaju da se zid od bušenih šipova nalazi uz kolovoz, onda beton mora odgovarati za stepen ispostavljenosti XF2. Kod ovakvih primjera, površinu zida u visini 3,0 m od donjeg vidnog ruba zida, treba zaštititi sa epoksi premazom, koji povećava otpornost betona na mraz uz prisustvo soli.

Pri konstruisanju i izgradnji sidrenih zidova i konstrukcija pored uobičajnog betona odgovarajuće marke koriste se drenažni beton i torkret brizgani beton. Radi specifičnosti tih betona ovdje se daju neke njihove karakteristike i načini izgradnje.

Drenažni beton

Tip betona	Posebna osobina po PGD i tehničnim uslovima	Dodatni zahtjevi po tehničnim uslovima	Sadržaj cementa, vode i agregata
Drenažni beton – grubi, "A"	$f_{cc} = 5 \text{ N/mm}^2$ propusnost za vodu kao za šljunak, k po Darcy-ju	granulacija jednofrakcijska, 8-32 mm	170 kg-C, 58 l-V, 8-16 mm... 40 %, 16-32 mm ... 60 %
Drenažni beton – fini, "B"	$f_{cc} = 5 \text{ N/mm}^2$ propusnost za vodu kao za šljunak, k po Darcy-ju	granulacija jednofrakcijska, 8-16 mm	170 kg – C, 56 l-V, 8-16 mm ... 100 %

Ugrađivanje drenažnog grubog betona

Betonirci rasprostiru grubi drenažni beton na temeljna tla direktno iz kamiona – miksera i uz pomoć rovokopača sa utovarnom kašikom. U tlocrtu raspoređuju beton u poprečnim trakama – kontinuirano u podužnom smjeru u jednom ili više taktova, po visini u jednom sloju debljine 35 cm. Kompaktnost trake – sloja izvodi se sa ručnim vibracijskim valjkom (npr. BW 70) sa 2x prelazima s vibracijom i to 1 prelaz poprečno i 1 prelaz podužno.

Za njegovanje betona upotrebljava se pokrivač iz PE folije ili filca koji se ugrađuje na slobodne površine. Njegovanje sa tekućom vodom nije dozvoljeno pošto može doći do zatvaranja drenažnog sistema.

Torkret brizgani beton

Brizgani-torkret cementni beton (s $D_{max}=8$ mm ili $D_{max}=16$ mm) upotrebljava se za sprečavanje osipanja padina ili kao potporni element. Obloga iz brizganog betona zatvara prsline, sprečava ispadanje materijala, a sa tim i obrušavanje. Održavanje početne otpornosti masiva je važno radi uspostavljanja svoda koji se formira u masivu, npr. neposredno oko iskopanog profila.

Torkretirana i sidrena armatura ili mikroarmirana (armaturne mreže, mikrovlakna) obloga ima različite debljine: 5 do 25 cm. Torkretiranje se izvodi po fazama napredovanja, dok se po debljini izvodi u slojevima.

Torkret primarna obloga se sidra sa rudarskim sidrima tipa Swellex, SN i BIO. Gustina ugrađenih sidara zavisi od kategorije masiva (npr. predviđene: A2, B1, B2 i PC na području portala).

Za ugrađivanje suhe mješavine betona u mješalicu i torkretiranje na površinu važe slični zahtjevi kao i za normalni beton koji se ugrađuje u oplatu. Na stijenskom masivu mora se ugraditi odgovarajuća čelična mreža – armatura koja obezbjeđuje preuzimanje sila prijanjanja sa stijenskim masivom. Stijena se mora prethodno očistiti sa komprimiranim zrakom ili vodom pod pritiskom. Stroj za torkretiranje mora imati opremu za doziranje tečnih dodataka betonu.

Ostojanje između mlaznica i površine nanosa je 1,0 do 1,3 m, a ne smije biti veći od 2,0 m. Mlaznica sa tlakom 3 – 6 bara mora se usmjeriti okomito na površinu. Minimalno prekrivanje mreže sa torkret betonom mora

biti 50 mm, sa čime se ispunjava uslov korozije i propusnosti.

6. GEOTEHNIČKA ANALIZA SIDRENIH ZIDOVA

Dokaz pouzdanosti sidrenog zida je samostalni dio sadržaja idejnog projekta i projekta za dobivanje građevinske dozvole.

Dokaz se oslanja na rezultate geološko-geomehanička ispitivanja i procjene geomehaničkih osobina tla, te prostorsko-urbanističke, saobraćajne, geodetske, putne, hidrološko-hidrotehničke, meteorološko-klimatske i seizmološke podatke.

Pojam pouzdanosti uključuje sigurnost, upotrebljivost i trajnost potpornih konstrukcija. Dokaz pouzdanosti je obavezni sastavni dio projekta sidrenog zida koji, u zavisnosti od geotehničkih zahtjeva, sadrži dokaze graničnih stanja nosivosti, upotrebljivosti i trajnosti.

Potrebna pouzdanost sidrenih zidova mora se dokazati za privremene, stalne i izvanredne projektne situacije, koje nastaju u toku izgradnje, upotrebe, održavanja te u izvanrednim situacijama za ukupni vijek trajanja potporne konstrukcije.

Kod geotehničkog projektovanja ne mogu se analizirati svi strani projektni primjeri, koji su često slučajni ali realni da se dogode u životnom dobu sidrenog zida. Radi toga za svaku fazu građenja i eksploatacije, treba odrediti kritične primjere koji obrađuju najkritičnija stanja u toku trajanja sidrenog zida.

Kod svake geostatičke analize sidrenog zida treba obraditi slijedeće projektne situacije:

- projektna situacija početnog stanja padine, postojećih objekata i infrastrukture u uticajnom području prije izvođenja građevinskih radova;
- tehnološke projektne situacije koje mogu sadržavati: izgradnju prilaznih puteva, radnih platoa, iskope građevinskih jama i radne faze izvođenja sidrenog zida;
- projektne situacije trajne eksploatacije objekta u predviđenom životnom trajanju,
- seizmičke i izvanredne projektne situacije.

Sa analizom pojedinačnih projektnih situacija treba dokazati, da u ukupnom životnom trajanju obrađivanog sidrenog zida neće biti prekoračeno ni jedno granično stanje nosivosti, upotrebljivosti i trajnosti.

Kod upotrebe zahtjevnijih mehaničkih modela tla i potpornih konstrukcija može se, sa simuliranjem pojedinih faza građenja, postepeno analizirati više projektnih situacija uz istovremeno dokazivanje svih graničnih stanja nosivosti i upotrebljivosti.

Manje zahtjevni mehanički modeli potpornih konstrukcija i tla omogućavaju analize pojedinih graničnih stanja nosivosti i upotrebljivosti, ali su rezultati manje pouzdani i kod njihove interpretacije su važnija iskustva.

Dozvoljava se upotreba samo onih modela, koji na zadovoljavajući način predočavaju mehaničke osobine tla i pojedinih elemenata potpornih konstrukcija uz granično stanje.

6.1 Granična stanja nosivosti

Po evropskim geotehničkim normama prEN 1997-1:2001 razlikuju se slijedeća granična stanja:

- gubitak globalne stabilnosti mase temeljnog tla zajedno sa potporama konstrukcije, koja prouzrokuje znatna pomjeranja tla radi djelovanja napona na smicanje, slijeganja, vibracije ili podizanja, oštećenja ili smanjenja upotrebljivosti susjednih ili postojećih objekata, saobraćajnica i druge infrastrukture. Za dokazivanje razmatranog primjera najvažniji su parametri za otpornost i krutost tla odnosno nosivost pojedinih konstruktivnih elemenata;
- unutrašnje rušenje ili prekoračene deformacije pojedinih elemenata konstrukcije uključujući i šipove, zidove, sidra itd. kod kojih je otpornost konstrukcijskih materijala jako važna za

uspostavljanje otpora (STR);

- rušenje ili prekoračenje deformacija tla kod primjera kod kojih je otpornost tla odnosno stijenske mase najvažnija kod uspostavljanja potrebnih otpora (GEO);
- gubitak ravnoteže geotehničkih konstrukcija ili tla radi podizanja koga prouzrokuju pritisci vode (UPL);
- hidraulički lom tla, unutrašnja erozija tla i lokalno rušenje u tlu koji nastaju radi opterećenja tla sa hidrauličkim gradientom (HYD);
- gubici ravnoteže konstrukcija ili tla kao krutih tijela kod kojih, pri obezbjeđenju potrebnih otpora materijala konstrukcije i tla, nemaju značajniji uticaj (CAU). Kod potpornih konstrukcija ovo granično stanje nije tako značajno.

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

Kod projektovanja i građenja sidrenih zidova mora se dokazati globalna stabilnost uticajnog područja, uključujući i zid od bušenih šipova i postojeće objekte, za sve analizirane projektne situacije.

Treba dokazati globalnu stabilnost sidrenog zida, područja tla iznad i ispod sidrenog zida, prilaznih puteva, iskopa, radnih platoa čiju izradu uslovljava tehnologija građenja.

Kod izbora odgovarajućih metoda za dokazivanje graničnih stanja globalne stabilnosti potrebno je uzeti u obzir: slojevitost padine, pojavljivanje i smjerove diskontinuiteta, procjeđivanja podzemne vode, porne pritiske, uslove kratkotrajne i dugotrajne stabilnosti, deformacije radi napona na smicanje i prikladnost upotrijebljenih modela za analizu potencijalnog rušenja.

Granično stanje GEO obrađuje opasnost rušenja ili prekomjernih deformacija tla kod kojih je, pri obezbjeđivanju otpora, najvažnija otpornost tla i stijenske mase.

Kod potpornih konstrukcija granično stanje GEO po pravilu obrađuje: nosivost temeljnog tla, određivanje pritiska tla (pritisaka i aktivnih otpora na potporne konstrukcije, vanjsku nosivost geotehničkih sidara idr.

Granično stanje STR obrađuje unutrašnje rušenje ili prekomjerne deformacije elementa konstrukcije zajedno sa temeljima, šipovima, zidovima i sidrima kod kojih za dokazivanje nosivosti preovlađuje otpornost materijala konstrukcija.

Kod potpornih konstrukcija sa graničnim stanjem STR dokazuje se dovoljna nosivost presjeka konstruktivnih elemenata na djelovanje opterećenja zatezanja pritiska, savijanja i torzije te kombinacije navedenih uticaja.

Granično stanje UPL obrađuje rušenje tla i/ili potporne konstrukcije radi narušene ravnoteže vertikalnih sila u slučajevima kod kojih otpornost tla ima mali uticaj.

Granično stanje HYD obrađuje stanje rušenja tla na uticajnom području potporne konstrukcije radi prekoračenih hidrauličkih gradiendov kod kojih, otpornost tla ili stijenske mase ima veliki uticaj. Ova analiza graničnog stanja obavlja se uvijek u slučajevima kod kojih se pojavljuje filtracija podzemne vode u smjeru prema gore ispred potporne konstrukcije i kod svih slučajeva kod kojih su nivoji vode ispred i iza različiti.

Kod sidrenih zidova, odnosno u svim slučajevima gdje stabilnost konstrukcije zavisi od pasivnog otpora ispred nje potrebno je, pri dokazivanju graničnih stanja nosivosti, smanjiti projektovanu kotu tla za vrijednost Δa , koja kod prosječne pouzdanosti kontrole i nadzora na gradilištu za sidrene ili poduprte sidrene zidove iznosi 10 % ostojanja između najniže potpore odnosno sidra, ali najviše 50 cm.

6.2 Granično stanje upotrebljivosti

Kod sidrenih zidova treba obraditi granično stanje upotrebljivosti za privremene i trajne projektne situacije. Granična stanja se, prije svega odnose, na deformacije potporne konstrukcije i tla, te drugih objekata i infrastrukture na uticajnom području potporne konstrukcije.

Kod izbora računskih vrijednosti graničnih pomjeranja treba uzeti u obzir rizike kod određivanja prihvatljivih vrijednosti, pojavu i intenzitet pomjeranja tla, vrstu konstrukcije i konstrukcijskog materijala, načina temeljenja, načina deformacija, dilatacije te povezivanje sa drugim objektima.

Za zahtjevnije elemente betonskih konstrukcija treba dokazati granična stanja pukotina sa posebnim utemeljenjem očekivanih događanja na nedostupnim mjestima te na području predviđenih radnih spojnica.

Za dokazivanje graničnih stanja upotrebljivosti elemenata konstrukcija treba uzeti u obzir odredbe evropskih norma prEN 1992.

6.3 Modeliranje tla i sidrenih zidova

Geomehaničke analize sidrenih zidova treba urediti na mehaničkim modelima tla i potpornih konstrukcija. Obično je dozvoljena upotreba analiza na proizvoljnim modelima koji su naučno utemeljeni i prihvatljivi odnosno potvrđeni u geotehničkoj praksi.

U želji da dobiju sigurniju i ekonomičniju konstrukciju, projektanti upotrebljavaju različite kompjuterske programe. Kada su u pitanju različitosti, onda se misli na različite teoretičke koncepte, a ne porijeklo (autorstvo) programa. Svi programi su pripremljeni na način koji omogućava jednostavnu pripremu ulaznih podataka da rezultati ovih analiza omogućavaju dimenzioniranje potporne konstrukcije.

Za dimenzioniranje sidrenog zida, dovoljno je da konstruktor ima podatke o dubini temeljenja zida, potrebnoj sili sidrenja, tok momenata sanjanja i poprečnih sila po dužini zida. Poželjno je, da ima podatke o pomjeranjima i savijanjima potporne konstrukcije.

Kod analize sidrenog zida u praksi se pretpostavlja površinsko deformacijsko stanje, što znači da se zid ponaša kao ploča. Obično se sidreni zidovi računaju kao linijski elementi širine 1 m.

U statičkom smislu sidreni zidovi predstavljaju jednostavne linijske nosače, koji su elastično poduprti u jednoj ili više točaka (mjesto sidara) i kontinuiranoj elastičnoj potpori u temeljnom tlu.

Opterećenja ovih linijskih nosača su pritisci tla i podzemne vode iza zaleđa potporne konstrukcije, reakcija geotehničkih sidara i otpor temeljnog tla na zračnoj strani potporne konstrukcije. Opšti početni utisak nameće zaključak, da je statička analiza sidrenih zidova jednostavna, međutim u stvarnosti je sasvim drugačije.

Velike teškoće predstavljaju nepoznavanje deformacija potporne konstrukcije odnosno okolnog tla. Uticaj interakcije, između potporne konstrukcije i okolnog tla je veliki, kako na opterećenje tako i na reaktivne količine u potpornoj konstrukciji.

6.3.1 Kruto plastični model tla i sidrenih zidova

Kod ovog najjednostavnijeg modeliranja osobina tla predstavljen je kruto-plastični model sa izabranim parametrima otpora na smicanje (parametri c' i ϕ), dok se za potporne konstrukcije upotrebljava model krutok, a može i elastičnog tijela. Geotehnička sidra se uzimaju u obzir sa projektovanim veličinama sila sidrenja. Podzemne vode, površinska i dodatna seizmička opterećenja u mehaničkom modelu uzimaju se u obzir kao površinske ili

volumenske sile koje se nadomjesto sa modelom opterećenja.

Kao osnova ovom računskom modelu služi unaprijed kvalitetno propisano kinematičko ponašanje potporne konstrukcije i granično odnosno projektno naponsko stanje u tlu ispred i iza potporne konstrukcije.

Upotreba kruto plastičnog modela tla i sidrenog zida ne omogućava proračun stvarnog pomjeranja potporne konstrukcije. Radi toga se obično klizni pritisci tla računaju sa odgovarajućim faktorima sigurnosti, koji su za aktivne pritiske tla manji, a za pasivne pritiske veći.

Kada se zna tok aktivnih i pasivnih pritisaka po dužini sidrenog zida, onda je jednostavno određivanje unutrašnjih statičkih količina, napona u tlu i sila sidrenja.

Kod ovakvog modeliranja važno je trenje između potporne konstrukcije i tla »σ« čiji aktivirani dio treba odrediti u odnosu na uslove aktiviranja relativnih pomjeranja u kontaktnoj površini između potporne konstrukcije i tla.

Ovakav pojednostavljen model tla i potpornih konstrukcija uz upotrebu pojedinačnih jednostavnih modela graničnih stanja, omogućava kontrolisanje i utvrđivanje pouzdanosti planiranih projektnih rješenja.

Ovi modeli potpornih konstrukcija omogućavaju srazmjerno tačno određivanje graničnih vrijednosti uticaja i otpora (aktivni i pasivni pritisci tla te nosivost temeljnog tla) u slučajevima kada treba aktivirati dio tih vrijednosti ocijeniti u pogledu očekivane odnosno dozvoljene deformacije potporne konstrukcije i tla u uticajnom području.

Analize sa promjenom propisanog kinematičkog ponašanja i kliznih aktivnih i pasivnih pritisaka zemlje su jednostavne i često upotrebljavane. Uz pravilnu primjenu mobiliziranih parametara otpornosti okolišnog tla, ove analize daju dosta ekonomične konstrukcije. Metoda ne može uzeti u obzir uticaje deformabilnosti potporne konstrukcije na preraspodjelu pritisaka tla radi čega je njena upotreba ograničena na analizu krutih zidova. Na osnovu dobivenih rezultata mogu se izračunati samo relativna, ali ne mogu i apsolutna pomjeranja sidrenog zida.

Kod proračuna sa kliznim pritiscima zemlje potrebno je uzeti u obzir dva ekstremna primjera:

- granično stanje pasivnog otpora za određivanje unutrašnjih statičkih količina i
- primjena mobiliziranog pasivnog otpora za određivanje dubine temeljenja.

Slaba strana opisanog modela predstavlja nemogućnost proračuna pomjeranja potporne konstrukcije i verifikovanje vrijednosti rezultirajućih aktivnih i pasivnih pritisaka tla, odnosno ne može se računski opravdati koeficijent sigurnosti. Sa primjenom faktora sigurnosti koji se u praksi najviše upotrebljavaju za projektovane pritiske tla (obično se kod aktivnih pritisaka reducira kohezija c i količnik ugla trenja $\tan\varphi$ sa faktorom $F_a = 1,3$ do $1,5$, pasivni otpor sa faktorom $F_v = 1,5$ do $2,0$) je opasnost od rušenja na ovakav način provjerenog zida, vrlo mala.

6.3.2 Elasto-plastični mehanički model

Elasto-plastično modeliranje potpornih konstrukcija i tla omogućava analizu projektnih situacija sa uzimanjem u obzir ukupnog uticajnog područja sa objektima i spravama koji se u uticajnom području nalaze. Osobine temeljnog tla su u ovakvim modelima uzete sa elasto-plastičnim konstruktivnim modelima. Elementi potpornih konstrukcija, razupora i sidara modeliraju se sa elastičnim odnosno elastoplastičnim grednim elementima.

Za analiziranje stvarnog stanja u pojedinim projektnim situacijama najbolje je upotrijebiti metodu konačnih elemenata.

U proračunu se uzimaju dodatna projektna opterećenja, usiljena pomjeranja i uticaji podzemne vode po teoriji efektivnih naponskih stanja.

Prednosti ovakvih analiza odražavaju se prije svega u obezbjeđenju primjenljivosti deformacija tla i pojedinih elemenata potpornih konstrukcija te u činjenici, da su sa analizom određeni stvarni uticaji na elemente potpornih konstrukcija te deformacije na centralnom uticajnom, odnosno analiziranom području.

Numerička analiza sidrenih zidova po metodi konačnih elemenata koja se oslanja na elasto-plastičnim modelima i omogućava modeliranje temeljnog tla, potporne konstrukcije, sidara i prilika na spoju različitih medija sa odgovarajućom zbirkom konačnih elemenata, nudi najbolji uvid u naponsko i deformacijsko stanje u zidu, sidru i okolnom tlu. Primjena iteracije između tla i konstrukcije vodi ka realnoj distribuciji pritisaka tla u pogledu na deformacije zida i tla.

Ovakav pristup zahtjeva prilično tačne podatke o osobinama temeljnog tla (naponi na smicanje, deformabilnost za opterećena i rasterećena stanja, stratigrafiju uticajnog područja, podatke o objektima na uticajnom području itd.). Za dobivanje ovih rezultata potrebni su opsežni radovi na ispitivanju.

6.3.3 Model na osnovu modula reakcije tla

Nepoznavanje stvarnih pomjeranja potporne konstrukcije koja utiču na raspoređivanje i veličinu aktivnih i pasivnih pritisaka tla na zidove od bušenih šipova, predstavlja glavni uzrok zbog koga se upotrebljava modul reakcije tla u analizi ovih zidova.

U praksi se zidovi od bušenih šipova modeliraju kao nosači koji su na zračnoj strani zida pod površinom zemlje (slika 6.1a i 6.1c), ili ispod »nulte« tačke (gdje je predviđena nulta razlika između aktivnim i pasivnim pritisaka tla – slika 6.1b) poduprti sa sistemom elastičnih potpora (opruge). U slučaju kada je zid od bušenih šipova jedanput sidren, onda se obično predviđi elastična potpora i na mjestima pričvršćenja sidra.

Kao opterećenje na konstrukciju šipova uzimaju se klizni pritisci na zaleđnoj strani zida. U odnosu na način podupiranja zida sa sistemom opruga na zračnoj strani potporne konstrukcije (umjesto pasivnog otpora tla)

opterećenje se uzima po čitavoj dužini nosača (slika 6.1a) ili do »nulte« tačke (slika 6.1b) odnosno do dna iskopa na zračnoj strani konstrukcije (slika 6.1c).

Modul reakcije tla »k« (kN/m^3) je obično procijenjena vrijednost. Definisan je kao sorazmjerni faktor između normalnih napona u tački potporne konstrukcije i pomjeranjem te tačke ($\sigma = k \cdot m$). Ovaj izraz napona pokazuje, da konačni rezultat (prije svega pasivni otpor zemlje) analize zida od bušenih šipova sa upotrebom modula reakcije tla u

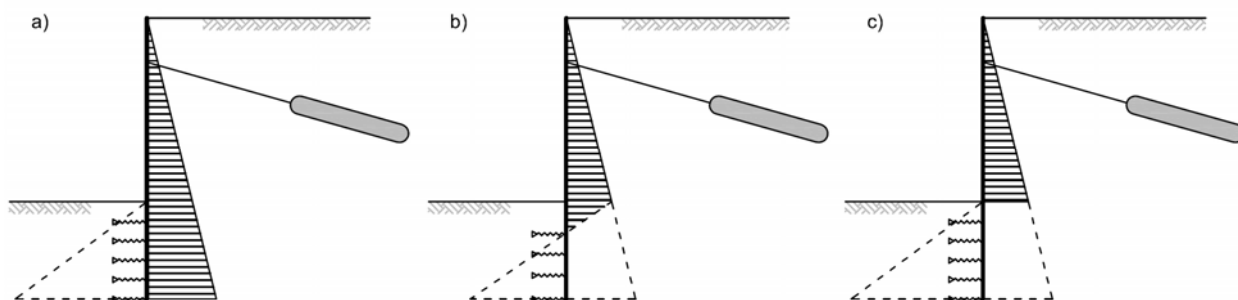
veliko zavisi od ocjenjene vrijednosti modula reakcije tla, naročito od toga da li je ovaj modul uzet kao konstantna vrijednost po čitavoj dubini ili je usvojena pretpostavka, da modul sa dubinom raste u zavisnosti od geološke građe tla.

Na dobivene rezultate u velikoj mjeri utiče i pretpostavljeni sistem elastičnih potpora u podnožju potporne konstrukcije i omjera između krutosti pojedinih računskih elemenata (zid, sidro, elastične potpore).

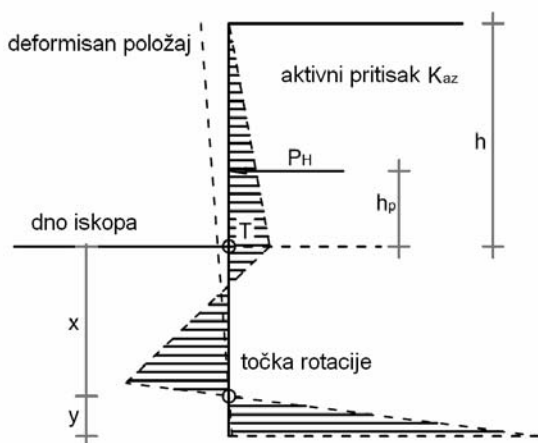
Na osnovu navedenog može se zaključiti da su rezultati statičke procjene potpornih konstrukcija sa upotrebom modula reakcije tla jako upitni. Naročito opasna je upotreba različitih kompjuterskih programa koji omogućavaju primjenu elastičnih potpora kod kojih je definisana njihova deformacija, ali nije nosivost. Kod upotrebe ovakvih programa mogu biti podcijenjene dubine uklještenja zidova od bušenih šipova (uslovi ravnoteže su ispunjeni dok dobiveni reaktivni pritisci u elastičnim potporama prelaze granična stanja).

Ovi modeli su neupotrebljivi, ako se osim popuštanja elastičnih potpora ne uzmu u obzir i njihove nosivosti za određene dubine uklještenja zida od bušenih šipova. Nosivost se mora odrediti sa analizom stabilnosti ili iz ravnoteže kliznih pritisaka tla.

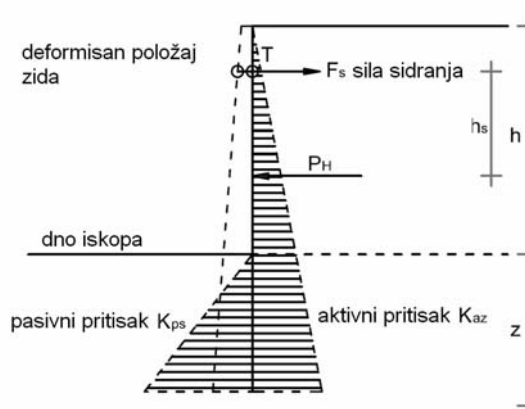
Prednost postupka sa upotrebom modula reakcije tla je u tome da se mogu odrediti i pomjeranja potporne konstrukcije, ako se za elastične veze uzmu u obzir deformacije i nosivost. Bez obzira na tu činjenicu još uvijek je prisutan uticaj preuzete vrijednosti za modul reakcije tla.



Slika 6.1: Mogući načini proračuna kod statičke analize sidrenog zida od bušenih šipova sa upotrebom modula reakcije tla



Slika 6.2: Raspored pritisa i pomjeranja kod konzolnog zida od bušenih šipova



Slika 6.3: Raspored pritisa i pomjeranja kod jednostruko sidrenog zida od bušenih šipova

7. IZRADA SIDRENIH ZIDOVA

7.1 Općenito o izradi sidrenih zidova

U ovom poglavlju dati su postupci koje treba uzeti u obzir u toku izgradnje sidrenih zidova u cilju obezbjeđenja sigurnosti, odgovarajući kvalitet, izgled i upotrebljivost izgrađene konstrukcije.

Projektant konstrukcije u tehničkom izvještaju, a geolog u geološko-geomehaničkom izvještaju moraju upoznati izvođača radova na posebne karakteristike na koje mogu naletjeti u toku izvođenja radova (lokacije klizišta, dotoci podzemne vode, maksimalne lokalne nagibe privremenih ukopa).

Izrada sidrenih zidova sastoji se iz više faza koje su međusobno povezane i izvode se po pravilnom redoslijedu. Izradu faza treba uskladiti i sa eventualnom izgradnjom drugih objekata koji su u neposrednoj vezi sa izvođenjem sidrenog zida. Kod planiranja treba posebno uzeti u obzir pojedinačne sigurnosti izgradnje predmetnog objekta i susjednih objekata, te sigurnost i stabilnost cijelog područja, koje može biti u vezi sa izgradnjom svake pojedinačne faze.

Izvedbeni tehnološki elaborat izrađuje izvođač radova. Tehnološki elaborat mora obezbijediti oblik predviđen po projektu, kvalitet i trajnost konstrukcije uz primjenu svih zahtjeva koji su vezani za obezbjeđenje sigurnosti i zdravlja ljudi. Posebnu važnost treba posvetiti opštoj organizaciji i redoslijedu izvođenja radova na izgradnji koji treba biti usklađen sa statičkom analizom projektnih situacija.

Za svaki zid se mora izraditi tehnološki elaborat koji sadrži definisane prilazne puteve, radne plate, način i tok odvodnjavanja površinskih i zaleđnih voda, faze i etape izgradnje zidova sa privremenim osiguranjem i terminskim planom napredovanja radova.

Izgradnju zida treba uskladiti sa kompletnim redoslijedom izvođenja radova na čitavoj dionici puta. Postupak građenja pojedinačnog zida je relativno jednostavan, dok je građenje više različitih sistema zidova dosta komplikovan rad i zahtjeva varijantne obrade. Organizacija i faznost izgradnje moraju biti takvi da izgradnja jednog zida ne ugrožava sigurnost već izgrađenog dijela ili zida u cjelini (slika 7.1).

Svaka eventualna ostupanja od projektovanih rješenja dozvoljena su samo uz pismenu saglasnost naručioca i odgovornog projektanta.

Prilazni put do radnih platoa mora omogućavati pouzdan i siguran transport radnika i materijala. Trasu prilaznog puta treba provući i utvrditi tako, da njegova upotreba ne prouzrokuje negativne uticaje na stabilnost kosina ukopa i nasipa puta. Širinu puta treba prilagoditi terenskim prilikama i vrsti transportnih srestava i mehanizacije. Kod izvođenja zidova od bušenih šipova, minimalna širina prilaznih puteva je 5,0 m, kod ostalih zidova min. 3,0 m.

Radni plato treba da ima dovoljnu širinu za sigurno i kvalitetno izvođenje radova. Kod određivanja širine treba uzeti u obzir i potrebnu širinu za postavljanje elemenata oplata, njihovo podupiranje i osiguranje, postavljanje radnih skela te širinu potrebnu za upotrebu mehanizacije.

Odvodnjavanje prilaznih puteva i radnih platoa treba urediti tako, da ne preozrokuje nestabilnost na području gradilišta i oštećenja navedenih površina.

Kod iskopa za sidrene zidove ili pojedine dijelove zidova (kampade, etape) treba poštovati projektovana rješenja. Otvaranje građevinske jame može se izvesti najviše na dužini jedne radne kampade, odnosno maksimalno do obima koji je predviđen projektom. Iskop iza zaleđa treba izvoditi u takvom obimu koji obezbjeđuje privremenu stabilnost kosine iskopa. U koliko, radi objektivnih razloga, izvođač mora izvesti iskop sa većim nagibom kosine od projektom propisanog, onda se mora pobrinuti za odgovarajuću zaštitu iskopa, koja obezbjeđuje približno istu stabilnost. Ove promjere mora ovjeriti odgovorni projektant.

Kod postavljanja oplata sidrenih zidova potrebno je uzeti u obzir sva uputstva iz projekta u pogledu kvaliteta upotrebljenih elemenata za oplatu. Ona zavisi samo od strane zida ili eventualno dodatne obrade vidnih površina.

Armatura armiranobetonskih sidrenih zidova ugrađuje se u skladu sa armaturnim nacrtima. Kod ugrađivanja treba paziti na zaštitni sloj armature koji mora iznositi 5 cm za površine koje dolaze u dodir sa zemljom, na ostalim mjestima 4,5 cm. Za osiguranje zaštitnih slojeva obavezna je upotreba distancera iz materijala koji ima iste karakteristike kao beton (betonski ili beton sa vlaknima).

Betoniranje sidrenih zidova može početi tek poslije preuzimanja armature koju obavlja nadzorni organ. Preporučuje se betoniranje sa što manjim brojem radnih spojeva.

Ako su spojevi neophodni iz tehnoloških razloga i visine zida, onda ove spojeve treba izvesti kao vodonepropusne u skladu sa zahtjevima u pogledu vodonepropusnosti cijele konstrukcije.

Dodirne spojnice između pojedinih kampada treba izvesti u skladu sa PS 1.2.9. Posebnu pažnju treba posvetiti slučajevima kod kojih su nosiva tla promjenljivo nosiva. U takvim primjerima obavezno se zid izvodi sa zubom zbog sprečavanja pomjeranja između pojedinih kampada. Kod takvih spojeva treba izbjeći geotehnička sidra.

Osnovni elementi koji sastavljaju konstrukciju ovih zidova su armirani beton i geomehnička sidra. U pogledu izvođenja samih armiranobetonskih elemenata nema posebnih zahtjeva koji izlaze iz okvira opšte poznate tehnologije, dok se izvođenje geotehničkih sidara treba obavljati prema odredbama datih u poglavlju 9.

7.2 Posebne specifičnosti pri izradi pojedinih tipova sidrenih zidova

Na slici 7.1 detaljno su prikazane sve faze izgradnje zida.

Posebnu pažnju treba posvetiti građenju zidova koji se izgrađuju od gore prema dole. Ovaj tip zida upotrebljava u zahtjevnim geološko-geomehničkim uslovima, a gradi se po kampadama na preskok minimalne dužine 5,0 m. Kampade obično imaju dužinu 7,0 m, visinu do 3,5 m, a zavise od geološko-geomehničkih karakteristika i hidroloških uslova.

Zidovi koji su duži od 30 m moraju se dilatirati. Dilataciju treba izvesti sa smičućim zubom kroz koji prolazi traka za dilatiranje. Dužine pojedinih dilatacijskih jedinica treba da su cca 20 m.

Na zidovima po dužini dilatacija, sa obe strane, treba predvidjeti sidra u svakoj etapi bez obzira na potrebu sa geostatičkog vidika. Sa smičućim zubom i sidrima uz dilataciju sprečava se eventualna pojava nejednakih deformacija na zidu.

7.3 Izgradnja zidova od bušenih šipova

Izrada zidova od bušenih šipova sastoji se iz više radnih faza koje su međusobno povezane i slijede jedna drugoj. Pošto su zidovi od bušenih šipova obično vezani sa drugim objekima, onda izvođenje pojedinih faza treba usaglasiti sa predviđenim planom.

Svi postupci za izvođenje te za siguran i kvalitetan rad trebaju biti opisani u tehnološkom projektu izvođenja zidova od bušenih šipova i projektu organizacije gradilišta. Ove projekte moraju pripremiti projektant i izvođač radova.

Projektant konstrukcije u tehničkom izvještaju i geolog u geološkom izvještaju moraju upozoriti izvođača radova na sve posebne specifičnosti na koje mogu naići u toku izvođenja radova (lokacije klizišta, lokacije dotoka vode, maksimalni lokalni nagibi privremenih ukopavanja...).

Radni plato mora biti toliko širok, da omogućava kvalitetno i sigurno izvođenje radova kod upotrebe stroja za »bušenje« šipova i da je sa njega omogućeno ugrađivanje armaturnih koševa i betona. Širina platoa mora iznositi najmanje 5 m. Mora se na odgovarajući način utvrditi i odvodnjavati.

Odvodnjavanje platoa mora biti izvedeno tako, da ne preuzrokuje nestabilnost tla na široj lokaciji građenja. Pri izvođenju šipova važna je kota platoa. Ona treba da iznosi najmanje 10 cm više od buduće gornje kote vezne grede šipova. Sa ovim se sprečava krivljenje armature, koja viri iz već izgrađenih šipova, sa gusjenicama mašine za izradu šipova.

Na platou se izvodi i iskolčavanje šipova. U PGD mora biti obrađeno i dato iskolčavanje zida od bušenih šipova u karakterističnim profilima (obično na 20 m), dok u projektu za izvođenje (PZI) mora biti dato iskolčavanje za svaki tip posebno. Iskolčavanje je obrađeno u Goussovim koordinatama.

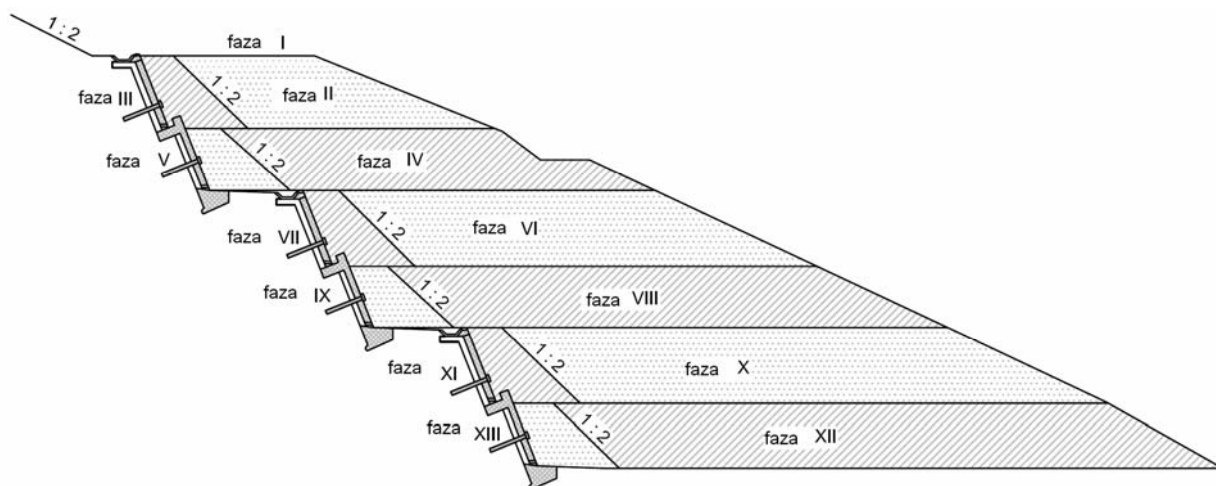
Kod bušenja šipova treba prije svega paziti na tačnost izvođenja u pogledu vertikalnosti i lokacije šipa. Eventualne greške nakon iskopa ometaju tok građenja, dok pri samoj gradnji nekonstantne mjere prouzrokuju dodatne teškoće.

Bušenje mora pratiti odgovorni geolog koji vodi dnevnik bušenja šipa sa stalnim upisima sastava tla. Sa odgovornim izvođačem radova brine o tačnosti izvedenih šipova u pogledu kota i da li su dovoljno uklješteni u nosiva tla. U slučaju odstupanja u nosivom tlu od predviđanja iz projekta, moraju odmah obavijestiti odgovornog projektanta te zajedno donijeti daljna uputstva.

Kada se postigne zahtjevana dubina bušenja, u bušotinu treba što prije ugraditi armaturu šipa. U slučaju da je dužina šipa veća od dužine armaturnih palica, onda treba dva koša spojiti na licu mjesta. Pri tome treba paziti da hod spiralne armature bude gušći na području postavljanja koša.

Nakon završetka postavljanja armature može se odpočeti betoniranje. Betoniranje se izvodi sa kontraktorskom cijevi koja u svakom trenutku mora biti potopljena u betonsku mješavinu min. 1 m. To zahtjeva betoniranje od početka do kraja bez prekida i zastoja.

U skladu sa napredovanjem betoniranja iz bušotine se izvlači zaštitna kolona šipa. To se mora raditi pažljivo, kako se pri tome nebi izvukla armatura.



- I. faza: široki iskop izvođača trase do vezne grede
- II. faza: široki iskop izvođača trase do donjeg ruba prve etape u nagibu 1:2
- III. faza:
1. Iskop izvođača zida u nagibu zida za prvu etapu u pojedinoj kampadi
 2. Izrada privremenog podbetona debljine 15 cm
 3. Polaganje podužne drenažne cijevi
 4. Izrada betona uz otvore za odvodnjavanje
 5. Postavljanje ploča
 6. Betoniranje filterskog betona
 7. Prednaprezanje geotehničkog sidra
 8. Izgradnja kanalete
 9. Betoniranje vezne grede ploča
- IV. faza: široki iskop izvođača trase do donjeg ruba druge etape u nogi br. 1:2
- V. faza:
1. Iskop izvođača zida u nagibu zida za drugu etapu u pojedinoj kampadi
 2. Uklanjanje podbetona
 3. Ugrađivanje drenažnog geotekstila i podužne drenažne cijevi iza temelja
 4. Izrada temelja
 5. Postavljanje ploče
 6. Betoniranje filterskog betona
 7. Betoniranje spojeva između ploča
 8. Prednaprezanje geotehničkog sidra
 9. Uređenje berme
- VI. faza: kao II. faza
- VII. faza: kao III. faza
- VIII. faza: kao IV. faza
- IX. faza: kao V. faza
- X. faza: kao II. faza
- XI. faza: kao III. faza
- XII. faza: kao II. faza
- XIII. faza: kao III. faza

Slika 7.1: Šematski prikaz faza građenja sidrenog zida

Betoniranje se izvodi cca 30 do 50 cm iznad predviđene kote gornjeg ruba šipa. Pri tome se izgura betonska mješavina sa primjesom zemlje na vrh šipa. Zato se taj višak betona slijedeći dan, kada beton još nije stvrdnuo, odstrani.

Vezna greda se izvodi na podbetonu. Obzirom da je greda vidna, potrebno je upotrijebiti oplatu za vidni beton, a rubove skinuti.

U slučaju da se u veznoj gredi nalaze kotve za sidrenje, iste treba ugraditi okomito na sidro i za taj položaj prilagoditi oplatu grede.

Odmah nakon izrade, na vezne grede treba ugraditi repere za mjerenje deformacija sa nultim – početnim visinskim kotama i označiti njihovu tačnu poziciju.

Ako su predviđena sidra onda se nakon izrade vezne grede pristupa ugrađivanju i prednaprezanju sidara.

Nakon prednaprezanja slijedi odkopavanje tla na zračnoj strani do nivoa slijedeće grede za sidrenje odnosno do dna izvođenog zida iz prethodne faze. Postupak izgradnje srednje grede za sidrenje, ugrađivanje i prednaprezanje sidara identičan je prethodno opisanom.

Kada su primarni dijelovi zida od bušenih šipova izgrađeni, počinje izgradnja drenaža: horizontalnih ispod vezne grede i vertikalnih između šipova. Ujedno se obrađuju vidne površine šipova, koje mogu biti u nekoherentnom tlu »obložene« sa dobetoniranim dijelom tla ili se peru sa vodom pod pritiskom.

Na kraju postupka slijedi još i izrada završnog sloja između šipova: preko betonskog drenažnog sloja napne se PVC folija, na bočnom dijelu šipa nalijepi se nabrekajuća traka i zabetonira razmaknuti prostor između šipova.

Na dnu vidnog dijela zida od šipova skuplja se drenirana voda iz prostora između šipova, a od tu sa podužnom drenažnom cijevi izvodi van zida u okolinu ili se spajaju na odvodnjavanje ukupne okoline.

8. PRAĆENJE, OBEZBJEĐENJE KVALITETA I ODRŽAVANJE SIDRENIH ZIDOVA

8.1 Praćenje i obezbjeđenje kvaliteta u toku građenja

Za kvalitetan i sigurno izgrađen objekat mora investitor, pored kvalitetnog i osposobljenog izvođača, uključiti u proces građenja i stručno osposobljeni nadzor.

Odgovorna nadzorna služba kontroliše:

- da li se u projekat za izvođenje blagovremeno unose sve promjene i dopune koje nastaju u toku građenja i da li se sa takvim promjerama slažu investitor i projektant;
- usklađenost projekta za izvođenje (PZI) konstrukcije sa građevinskim propisima;
- kvalitet i kakvoća ugrađenih građevinskih i drugih proizvoda, instalacija, tehnoloških naprava i opreme;
- dogovorene rokove izvođenja radova.

Odgovorni nadzorni organ mora sve nalaze iz gore navedenih kontrola svakodnevno upisivati u građevinski dnevnik.

Na kliznim i nestabilnim područjima potrebno je prije početka građenja pregledati teren sa namjenom, da odgovorni projektant konstrukcije, odgovorni geolog i odgovorni nadzorni organ zajedno odrede da li je potrebno ugrađivanje inklinometara na predviđenom području građenja i da tačno odrede mjesta njihovog ugrađivanja. Odmah nakon ugrađivanja izvede se nulto snimanje i odredi gustina uvodnih mjerenja. Gustina mjerenja se određuje na bazi izmjerenih rezultata.

U toku građenja treba posvetiti posebnu pažnju mjerenju repera koji su ugrađeni na objekat. Reperi se ugrađuju u toku izvođenja konstrukcije na vezne grede i grede za sidrenje na međusobnim razmacima cca 20,0 m. Ako se konstrukcija nalazi i nestabilnom ili plazovitom području, onda se reperi ugrađuju na međusobnom razmaku od 10,0 m.

Za repere treba napraviti nulto snimanje, a nakon toga se izvode mjerenja u određenim vremenskim razmacima. Mjerenje se obavezno izvodi i nakon izvedenih većih zemljanih radova (odkop zemlje na zračnoj strani zida) koji mogu prouzrokovati dodatne pritiske na zid od bušenih šipova, te nakon svakog napenjanja geomehaničkih sidara.

Ako se uoče pomjeranja u inklinometrima koji su ugrađeni na području zida i na samom početku osmatranja konstrukcije, onda se mjerenja repera izvode u vremenskim razmacima od 7 dana.

Ako su izmjerena pomjeranja u intervalu 7 dana veća od 5 mm, tada se interval smanjuje na 3 dana. Ako se pomjeranja nastavljaju, mjerenje repera se obavlja svaki dan.

Ako su pomjeranja repera manja od 5 mm, onda se slijedeće mjerenje obavlja kroz 7 dana pa onda poslije 14 dana. Ako nakon 14 dana nisu zabilježena ukupna pomjeranja veća od 10 mm može se interval mjerenja produžiti na 30 dana, a nakon toga 90 dana. U toku građenja interval praćenja ne može biti veći od 90 dana.

Ako se u toku mjerenja pojave iznenadna pomjeranja, onda se gustina mjerenja prilagodi gore navedenim vremenskim intervalima.

Pomjeranja reperskih tačaka treba mjeriti sa geodetskim instrumentima koji obezbjeđuju tačnost ± 1 mm.

U skladu sa mjerenjem repera treba izvoditi i mjerenja na mjernim mjestima i kontrolnim sidrima, ako su ista predviđena u konstrukciji. Dodatna mjerenja na sidrima, a u vezi sa tim i na reperima, treba izvoditi u slučajevima pada ili prirasta sile sidrenja za 10 kN.

Mjerenje sile u sidrima treba izvoditi sa instrumentima, koji imaju atest i koja su kalibrirana u duhu zahtjeva proizvođača za njihovu upotrebu.

Sva mjerenja repera, mjernih i kontrolnih sidara u času građenja treba posredovati odgovornom projektantu i odgovornom nadzornom organu.

8.2 Održavanje sidrenih zidova

Nakon završene izgradnje dolazi na red druga vrsta nadzora. Namjena ovog nadzora je obezbjeđenje sigurnosti, upotrebljivosti i trajnosti potporne konstrukcije.

U cilju organizacije ovakvog nadzora, zakon je propisao izradu projekta za održavanje objekta, koji je sastavni dio tehničke dokumentacije.

Projekat za održavanje i upotrebu objekta je sistematično uređen zbir slikovnog gradiva, crteža i teksta u obliku jamstva, potvrde,

sadržaja, shema, upustava i sličnih sadržaja, koji određuju pravila za upotrebu i održavanje izgrađenog odnosno rekonstruisanog objekta i ugrađenih instalacija na osnovu kojih se vlasniku omogućava održavanje na odgovarajući način.

Glavne karakteristike i posebnosti koje su kod održavanja najuznačajnije i koje treba poznavati sa ciljem lakšeg razumjevanja, boljeg održavanja i pregleda objekta su:

- Trajna geotehnička sidra – redovno treba očitovati sile u mjernim sidrima i upisivati u tabele koje su u prilogu poslovnika za održavanje. U koliko dođe do pada ili prirasta sile u sidrima za veću vrijednost od 10 kN, onda mjerenja treba izvoditi u kraćim vremenskim razmacima.
- Obavezno i redovno očitavanje i upisivanje koordinata ugrađenih repera – načelni snimak i tabela moraju se priložiti uz poslovnik za održavanje. Kod svakog izmjerenog pomjeranja repera, koja su veća od 5 mm, treba mjerenja ponavljati u kraćim vremenskim intervalima.
- Drenaže za odvodnjavanje voda iz zaleđa moraju biti čiste sa čime se omogućava normalno oticanje vode u odvodni sistem.
- Treba redovno pregledavati i po potrebi čistiti drenažnu ispred zida.
- Treba redovno pregledavati i po potrebi čistiti ispušt drenaže i šahta za reviziju koji se nalaze iza zida.
- Redovno treba pregledavati i po potrebi čistiti koritnicu iza opornog zida. Eventualna oštećenja treba odmah sanirati da ne bi došlo do nepotrebnog pronicanja vode iza potporne konstrukcije.
- Redovno i vizualno treba pregledavati vanjske površine zida zbog eventualnog pojavljivanja pukotina.

Obilasci i nadziranje omogućavaju određivanje nivoa redovnog održavanja te konstatovanja i odklanjanje nedostataka koji mogu prouzrokovati veća oštećenja i štete.

Nadziranje objekta sastoji se iz slijedećih aktivnosti:

- obavljanje pregleda
- izrada izvještaja
- programiranje održavanja i mjera za sanaciju
- kontrola kvaliteta održavanja mjera za sanaciju

Pregledi se mogu podijeliti po vremenu i funkciji na:

- tehnički pregled (uz predaju objekta)
- tekući pregledi (uz obhodnju ceste)
- redovni pregled (1. godine nakon tehničkog pregleda)
- redovni pregledi na 2.godine
- glavni pregledi na 6. godina po isteku garancije
- izvanredni pregledi (po izvanrednim događanjima)
- detaljni pregledi (sa posebnom namjenom).

8.2.1 Tehnički pregled (nulti pregled)

Tehnički pregled prilikom predaje objekta naziva se i nulti pregled, obavlja se u skladu sa važećim Zakonom o izgradnji objekata. Obavlja ga upravni organ koji je izdao građevinsku dozvolu. Ovim pregledom utvrđuje se:

- da li je objekat izveden u skladu sa tehničkom dokumentacijom, propisima i standardima za izgradnju takvih objekata;
- kontrola dokaza o kvalitetu svih ugrađenih materijala (atesti, kontrolna mjerenja, superkontrola ...),
- kontrola dokaza opšte sigurnosti objekta i saobraćaja (upotreba objekta).

Potrebno je izvesti i nulti nivelmanski pregled repera - zapisnik o očitavanju repera, koji se mora priložiti uz poslovnik o održavanju.

8.2.2 Tekući pregledi

Tekuće preglede obavljaju putni ophodari uz redovni obilazak trase najmanje jedanput mjesečno.

Termin:

Najmanje jednom mjesečno u okviru obilaska trase.

Namjena:

Utvrđiti i odstraniti greške koje ugrožavaju sigurnost saobraćaja.

Obim i način:

Vizualno utvrđivanje grešaka na opremi objekta (ograda, odvodnjavanje, eventualne korozija), odklanjanje manjih grešaka (prije svega u smislu čišćenja).

Dokumentacija:

Vodi se evidencija izvedenih pregleda u knjigi održavanja objekta. U slučaju konstatacije veće greške, ophodar mora pismeno obavijestiti upravljača objekta.

Izvođač pregleda:

Putarski ophodar – srednja stručna sprema i završen kurs za ophodara.

8.2.3 Redovni pregledi

Termin:

Prvi redovni pregled obavlja se u prvoj godini nakon tehničkog pregleda odnosno svake 2. godine, osim ako se u istoj godini obavlja glavni pregled.

Namjena:

Pregledavaju se svi dijelovi opreme i nosivog sistema koji su dostupni bez posebne opreme za pristup. Namjena pregleda je otkrivanje svih pojava koji ugrožavaju sigurnost saobraćaja i oštećenja odnosno štetnih pojava na konstrukciji koji mogu ugroziti sigurnost, upotrebljivost i trajnost objekta.

Obim:

- utvrditi sve promjene na čitavom objektu od zadnjeg pregleda,
- utvrditi stanje objekta i pojedinih sklopova i odstupanja od kvaliteta početnog stanja,
- izvršiti mjerenja eventualnih većih pomjeranja na potporni konstrukciji,
- u slučaju da su pomjeranja repera manja od 5 mm, naredna mjerenja obavljaju se uz sledeći redovni pregled (pregled na 2. godine),
- kod uočenih većih pomjeranja od navedenih, mjerenja treba ponoviti nakon 6 mjeseci,
- uz redovni pregled (obavlja se svake 2. godin, treba napraviti nivelmanski snimak repera, a rezultate unijeti u pripremljeni reperski obrazac,
- obavezno se obavlja pregled geotehničkih sidara i to vizualni pregled i očitavanje sila u mjernim sidrima. Pregled i zapisnik o stanju sidara mora napraviti osposobljeno stručno lice za pregledanje i ocjenjivanje stanja geotehničkih sidara.
- U slučaju prirasta sila u sidrima uz manju vrijednost od 10 kN, slijedeća mjerenja se obavljaju uz redovni pregled (pregled na 2. godine),
- Ako je prirast sile veći od navedenih vrijednosti, mjerenje se ponavlja nakon 6 mjeseci,
- predlagati mjere za dodatna ispitivanja,
- predlagati mjere za održavanje.

Način:

Stanje se utvrđuje u navedenom obimu, prije svega vizualno i na osnovu jednostavnijih ispitivanja (kucanjem, sklerometriranjem, niveliranjem, očitavanjem sila u sidrima sa posebnim instrumentima...).

Instrumenti za mjerenje:

Mjerenje sila u sidrima izvodi se sa instrumentima koji su atestirani i kalibrirani za upotrebu prema zahtjevu proizvođača. Pomjerenje reperskih tačaka treba mjeriti sa geodetskim instrumentima tačnosti ± 1 mm.

Dokumentacija:

Obavezno se vodi zapisnik o pregledu. Uvode se opšti podaci, stanje objekta i njihovih sklopova (opreme i nosive konstrukcije), a po potrebi treba predvidjeti odgovarajuće mjere. Upotrebljava se tipski zapisnik ili noveliran obrazac za održavanje.

Izvođač pregleda:

Ekipa pod vodstvom stručnog lica sa visokom školskom spremom građevinskog smjera sa položenim stručnim ispitom i odgovarajućom praksom. U toku trajanja garancije, pregledu mora prisustvovati i davalac garancije.

8.2.4 Glavni pregled**Termin:**

Svakih 6 godina po isteku garancije.

Namjena:

Cilj i sadržaj glavnog pregleda isti je kao pri redovnom pregledu, stim da kod glavnog pregleda treba obuhvatiti i pregled teže dostupnih mjesta i prekrivena mjesta konstrukcije. U tu svrhu treba upotrebiti odgovarajuća srestva koja omogućavaju pristup do takvih mjesta (stojeću ili viseću skelu, posebno vozilo, hidrauličku korpu). Odkopavanje zasutih površina izvodi se samo u slučaju da postoje sumnje za pojavu oštećenja, a iste su posljedica pojave procjeđivanja, deformacija, pukotina i sl.

Kod svakog glavnog pregleda treba napraviti nivelmanski snimak reperskih tačaka i podatke unijeti u reperski obrazac.

Izvođač pregleda:

Ekipa pod vodstvom stručnog lica sa visokom stručnom spremom građevinskog smjera i položenim stručnim ispitom koji je posebno osposobljen za preglede i ocjenjivanje stanja potpornih zidova. Prema potrebi u ekipi sarađuje i stručna institucija koja obavlja posebna mjerenja i ispitivanja.

8.2.5 Izvanredni pregledi

Izvanredne preglede treba obavljati poslije izvanrednih događanja, kao što su:

- elementarne nepogode (potres, neočekivane poplave, klizišta, izvanredne temperature, požar u neposrednoj blizini);
- teške saobraćajne nesreće i udari vozila u objekat,
- prekoračenja opterećenja ili pojava iznenadnih oštećenja,
- ako se uz redovni ili glavni pregled ustanovi prirast sile u mjernom sidru više od 10 kN ili su pomjerenja reperskih tačaka veća od 5 mm. U ovom slučaju se intenzitet mjerenja smanjuje na period 6 mjeseci, odnosno 3 mjeseca ili 1 mjesec što zavisi od veličine prirasta sile ili veličine pomjerenja.

Obseg i cilj pomjerenja zavisi od vrste i obima oštećenja odnosno razloga za izvođenje pregleda.

8.2.6 Detaljni pregled

Detaljni pregled služi kao osnova za ocjenu stvarnog kvaliteta i sigurnosti cjelokupne konstrukcije ili kao osnova za dijagnostiku i određivanje principa sanacije. Izvodi se u slijedećim slučajevima:

- ako postoji sumnja u odgovarajući kvalitet, nosivost ili sigurnost,
- ako zaključak redovnih i glavnih pregleda nalaže potrebu sanacije
- ako postoje sudski sporovi ili drugi slični primjeri

Od uzroka za obavljanje detaljnog pregleda zavisi i njegov sadržaj i obim. Pored vizualnog pregleda, detaljni pregled se oslanja na konkretnom ispitivanju konstrukcije (statički ili dinamičko testiranje) te ispitivanju karakterističnih dijelova konstrukcije i njihovih materijala.

Pregled obavlja institucija koja posjeduje opremu i stručnjake za obavljanje potrebnih ispitivanja te znanje i iskustvo za pravilno tumačenje rezultata. U izvještaju treba navesti rezultate svih izvedenih mjerenja sa odgovarajućim zaključcima.

8.3 Radovi na održavanju

Sidreni zidovi spadaju u kategoriju maksimalno opterećenih konstrukcija zbog velikih opterećenja sa pritiscima zemlje te redovnog soljenja u zimskom periodu (na geografsko ispostavljenim područjima). Iz ovih razloga treba dati veliku važnost radovima na održavanju u koliko se želi osigurati dugi vijek trajanja konstrukcije.

U radove za održavanje ubrajaju se radovi na redovnom čišćenju objekta i opreme, zamjena potrošenih dijelova opreme i svi radovi koji ne zalaze u konstrukcijskom konceptu objekta ili njegovih pojedinih dijelova.

Doziranje potrebnih radova na održavanju (osim redovnog čišćenja) određuju se prema zaključcima nabrojanih pregleda.

Izvođač radova na održavanju objekta mora voditi knjigu održavanja u koju se evidentiraju sva događanja na objektu (obavljeni radovi, pregledi, posebni prevozi i druga značajnija događanja). Knjiga održavanja u vrijeme trajanja garancije mora biti dostupna u svakom momentu davaocu garancije.

Svaki objekat mora imati karton evidencije, koji sadrži slijedeće osnovne podatke:

- naziv objekta,
- ime i prezime projektanta,
- broj projekta,
- naziv izvođača objekta,
- godina izgradnje objekta,
- naziv upravljača objekta
- godišnji plan tekućih pregleda sa rublikom iz koje se vidi kada su se obavljali pregledi
- naziv odgovorne osobe za tekuće preglede i tekuće radove na održavanju.

Karton evidencije mora biti kod neposrednog subjekta koji je zadužen za održavanje objekta.

Nakon utvrđivanja oštećenja na objektu, služba za održavanje mora odmah obavjestiti upravljača objekta, a u garantnom roku i izvođača objekta.

8.3.1 Redovno čišćenje objekta

Redovno čišćenje objekta dva puta godišnja generalno (proljetno i jesensko) čišćenje, te dodatno čišćenje na poziv ophodara ceste, ako obim čišćenja prevazilazi njegove mogućnosti. Datum i obim redovnog čišćenja unosi se u kartoteku objekta.

8.3.2 Proljetno čišćenje

Obavlja se po završenoj zimskoj sezoni čišćenja snijega i posipavanja odnosno soljenja protiv zamrzavanja. Prije svega sadrži slijedeće:

- nakon topljenja snijega treba ukupnu površinu zida od bušenih šipova temeljito oprati, ako se isti nalazi uz saobraćajnicu,
- čišćenje drenaža,
- čišćenje kanalizacije ispred i iza zida,
- čišćenje ispusta drenaža iza zida
- čišćenje kanaleta iza zida

8.3.3 Jesensko čišćenje

Obavlja se pred početak zimske sezone u cilju uklanjanja posljedica izazvanih saobraćajem i vegetacijom. Sadrži slijedeće:

- čišćenje drenaža,
- čišćenje kanalizacije ispred i iza zida,
- čišćenje ispusta iza zida,
- čišćenje kanaleta iza zida.

8.3.4 Zimsko čišćenje

U koliko se sidreni zid nalazi uz saobraćajnicu, onda se snijeg od pluženja mora odstraniti iz donjeg dijela objekta. Ako se snijeg zadržava uz objekat pri svakom pluženju, povećava se opasnost koncentracije slane vode sa čime se ubrzava pojava oštećenja od mraza i soli i povećava koncentracija štetnih klorida.

8.3.5 Dodatno čišćenje

Izvodi se na poziv cestnog ophodara i uklanjanju uzročnici pojave ometanja saobraćaja (saobraćaj, prirodno nevrijeme, nesreće i sl.).

8.3.6 Održavanje sprava za mjerenje

U vrijeme održavanja objekta potrebna je sprava za mjerenje na objektu uredno održavati. Uz održavanje sidra za mjerenje dodaju se slijedeće aktivnosti:

- naprave za mjerenje treba održavati po upustvima proizvođača,
- treba obnavljati zaštitu kotvi i sidara na uticaj korozije uključujući i ploče za sidrenje,
- na kapama za zaštitu sidra treba obnavljati zaptivače i zaštitne premaze.

9. GEOTEHNIČKA SIDRA

9.1 Vrste i sastav geotehničkih sidara

Geotehničko sidro, u sastavu geotehničkih konstrukcija, predstavlja nosivi element preko kojeg se sila zatezanja sa konstrukcije prenosi u sidrena tla. Na taj način se bistveno povećava stabilnost objekta što je i osnovni zadatak sidara.

Danas se smatra da su najznačajnija geotehnička sidra ona prednapregnuta sidra koja linijski prenose silu u sidrenu masu sa jasno izraženom slobodnom dužinom sidra. Ovako geotehničko sidro predstavlja geostatički element koji je sastavni dio sklopa – cjeline objekat-sidro-tlo u kome su skoro uvijek zapletena stanja napona i deformacije. Ovo se uglavnom odnosi na napon i deformacije u kontaktu sidrenog cilindra i sidrene okoline u neposrednoj blizini.

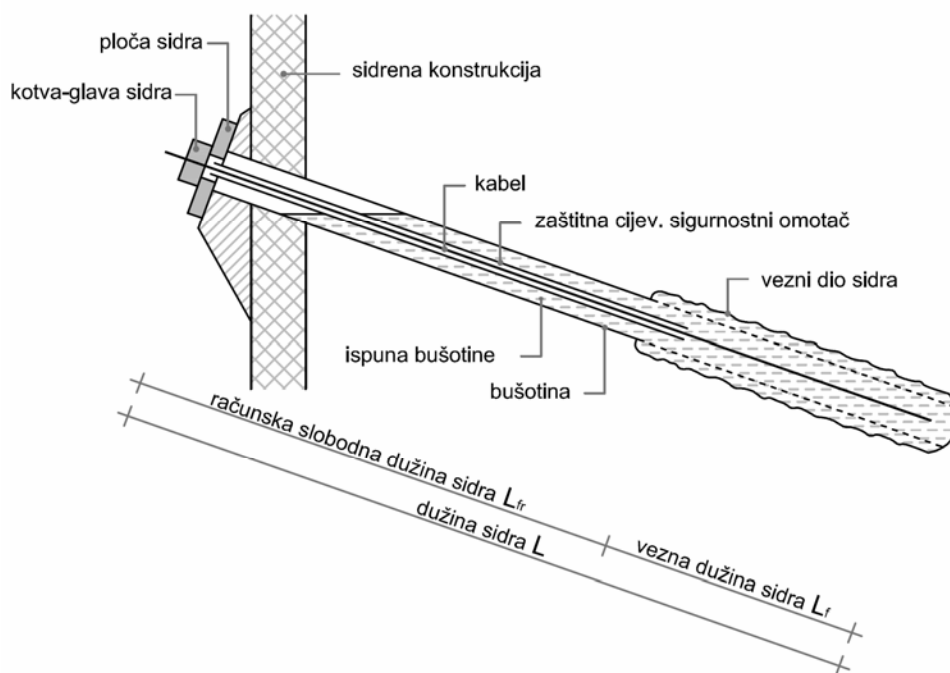
Geotehnička sidra se obično sastoje iz prednapregnutih kablova. U građevinarstvu su prednapregnuti elementi ušli u primjenu tek u novije vrijeme odnosno tek prije 65 godina. Upotreba prednapregnutih geotehničkih sidara je još kraća i iznosi cca od 25 do 30 godina.

Geotehnička sidra se mogu podijeliti na više načina. Najznačajnije podjele su:

- u pogledu sastavnih dijelova, sidra mogu biti u obliku samo jedne palice – palična sidra ili u obliku više žica, kao snop, odnosno geotehnička kablenska sidra;
- u pogledu materijala u kome se sidraju, dijele se na geotehnička sidra koja se sidraju u stijenu i geotehnička sidra koja se sidraju u zemlju;
- u pogledu načina i karaktera sidrenja dijele se na linijska, površinska i volumenska;
- u pogledu načina djelovanja dijele se na pasivna i aktivna geotehnička (prednapregnuta) sidra.
- u pogledu načina upotrebe dijele se na trajna, privremena i probna geotehnička sidra.

Trajna sidra su ona kod kojih vijek trajanja mora biti jednak vijeku trajanja konstrukcije koja se sidra. Kao privremena se smatraju ona sidra kod kojih vijek trajanja iznosi do 2 godine. Probna sidra su ona koja su na poseban način oblikovana i ugrađena. Na ovim sidrima se vrše ispitivanja na osnovu kojih dobivamo podatke vezane za izbor vrste sidra i dužine veznog dijela sidra.

EUROCODE 7 razlikuje trajna i privremena geotehnička sidra još kod proračuna - projektovane (dopuštene) nosivosti sidara. Ova razlika se manifestuje kroz propisane različite faktore γ_m koji je 1,25 za privremena i 1,5 za trajna sidra. Preporučuje se da se faktor za privremena sidra (1,25) upotrebljava i u Bosni i Hercegovini.



Slika 9.1: Prednapregnuto geotehničko sidro sa tipičnim elementima i oznakama

Sidro je sastavljeno iz sljedeća tri glavna elementa (slika 9.1):

- vezne, sidrene dužine,
- slobodne dužine, i
- kotve (glava sidra)

Uloga dužine veznog (sidrenog) dijela sidra L_v sastoji se u prenosu sile iz sidra u tla.

Uloga slobodne dužine sidra L_s je višestruka. Bistvo prednapregnutog geomehaničkog sidra zasniva se na pravilno analiziranoj i izabranoj slobodnoj dužini sidra.

Slobodna dužina sidra zavisi :

- od osobine poluprostora
- od položaja linije loma koja je određena putem analiza stabilnosti
- od težine mase tla koja se aktivira oko sidra za slučaj sigurnog prenošenja sile
- od čvrstoće padinskog masiva
- od dimenzije bloka na spoju koji mora biti stabilizovan na svojoj poziciji.

9.2 Faktori opterećenja i materijalni parcijalni faktori po Eurocode 7

Eurocode 7 poznaje dvije vrste faktora sigurnosti:

- **za opterećenje** (projektovane vrijednosti opterećenja i moguća očekivana opterećenja uvećavaju se – množe se sa faktorom sigurnosti)
- **za materijal** (osobine materijala se redukuju sa materijalnim faktorima).

Za područje geotehnike Eurocode 7 tačno određuje projektne situacije koje treba provjeriti u fazi projektovanja i određuje zahtjeve u pogledu trajnosti konstrukcije i materijala koje upotrebljavamo u izgradnji. Bistvenu novost donosi poglavlje koje opredjeljuje računske metode geotehničkog projektovanja.

U geotehničku praksu uvodi upotrebu djelomičnih količnika sigurnosti. To se odražava na računskom modelu opterećenja (sile ili usiljeni pomaci), karakteristikama materijala, geometrijskim podacima kao i na limitne vrijednosti deformacija, pukotine ili vibracije. EUROCODE 7 uvodi u projektovanje, odnosno u provjeravanju konstrukcija potpuno nov pristup jer zahtijeva računsku provjeru za tri različita primjera:

- **Primjer A:** Gubitak stabilnosti konstrukcije u slučaju kada otpornost temeljnog tla ili konstrukcije nije značajna (npr. gubitak stabilnosti radi pojave uzgona).
- **Primjer B:** Rušenje konstrukcije ili njenih elemenata (šipova, zagatnica, sidara, itd.), a ista je uslovljena sa otpornošću materijala konstrukcije.
- **Primjer C:** Rušenje temeljnog tla kada otpornost konstrukcije nije značajna i u proračunu ne nastupa. Proračun za primjer C je relevantan kod analiza stabilnosti, određivanju dimenzija, potpornog zida ili kod određivanja potrebne dubine ukleštenja zida od bušenih šipova u temeljna tla.

Za svaku situaciju određeni su sigurnosni količnici γ_m pomoću kojih se određuje projektovana vrijednost opterećenja i stepen mobilizacije otpora tla na smicanje (tabela 1).

Vrijednost projektovanih opterećenja određuje se sa množenjem karakterističnih opterećenja, a projektovana vrijednost parametara temeljnog tla na smicanje sa redukcijom karakterističnog otpora na smicanje. Za provjeru graničnog stanja upotrebe (pomaci, deformacije) sve su vrijednosti količnika sigurnosti jednake 1,0, a granične vrijednosti rotacije i diferencijalnih pomaka su propisane.

Tabela 1: *Parcijalni količnici sigurnosti*

Primjer	Opterećenje			Temeljna tla			
	Stalno opterećenje		Privremeno	$\tan \phi$	c'	c_u	q_u
	ugodan uticaj	neugodan uticaj	ugodan uticaj				
A	0.95	1.0	1.5	1.1	1.3	1.2	1.2
B	1.0	1.35	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.3	1.25	1.6	1.4	1.4

Kod projektovanja sidrenih potpornih konstrukcija sa primjenom evropskog standarda Eurocode 7 treba sprovesti dvojni račun:

- a) za dimenzioniranje konstruktivnih elemenata sidrene potpore konstrukcije (kao i sidara) prema primjeru B (primjena količnika opterećenja uz primjenu količnika materijala sa vrijednošću 1,0) i
- b) provjera globalne stabilnosti sidrene konstrukcije (temelnog tla) po primjeru C (količnik sigurnosti opterećenja je 1,0, izuzetno kod privremenog opterećenja sa neugodnim uticajem je 1,3) te propisani količnici materijala za ugao smicanja, koheziju odnosno nedreniranu koheziju.

9.3 Testovi za ocjenjivanje nosivosti geotehničkih sidara

Kod projektovanje sidrenih konstrukcija zahtijeva se ispitivanje nosivosti sidara na mjestu ugrađivanja.

Potrebna su najmanje tri sidra za ispitivanje (testovi za ocjenjivanje), koji se moraju izraditi prije početka radova ili na samom početku radova na sidrenju. Zahtjevi za izvođenje ocjenivačkih testova nosivosti sidara vodi prema sigurnoj i ekonomičnoj sidrenoj konstrukciji.

Broj kontrolnih i/ili mjernih sidara je minimum 5% ukupnog broja sidara, odnosno najmanje 3 sidra na rađevinski element.

Testiranja, koja se obavljaju na sidrima, služe za određivanje karakterističnog otpora sidra na mjestu ugrađivanja. Broj testiranih sidara mora biti 1% od broja predviđenih privremenih sidara odnosno 2 % od broja predviđenih trajnih sidara. Najmanji broj ispitivanja su 2 kom za privremena i 3 kom za trajna sidra. Ispitivanja moraju trajati toliko vremena dok se ne umire deformacije koje su nastale uslijed prednapenjanja i puzanja.

Karakteristični otpor sidra R_{ak} određuje se na osnovu broja izvedenih testiranja za prosječnu i minimalnu vrijednost otpora kod testa R_{am} te u odnosu na vrijednosti ξ koje su navedene u tabeli 2.

$$R_{ak} = R_{am} / \xi$$

Projektovanu odnosno dopuštenu vrijednost otpora R_a dobivamo na taj način da karakterističnu vrijednost (mjerodavna je manja vrijednost R_{ak}) dijelimo sa faktorom γ_m koji iznosi 1,25 za privremena i 1,5 za trajna sidra.

$$R_a = R_{ak} / \gamma_m$$

Tabela 2:

Broj testova za ocjenu	1	2	>2
(a) ξ na prosječni R_{am}	1.5	1.35	1.3
(b) ξ na minimalni R_{am}	1.5	1.25	1.1

Broj ispitivanih sidara (testova za ocjenu) utiče na visinu dopuštene sile, a posredno i na troškove sidrenja.

9.4 Način djelovanja geotehničkih sidara

Razlozi prednapenjanja geotehničkih sidara razlikuju se u osnovi od razloga koji su prisutni kod prednapenjanja betona.

Kod betona sa visokim stepenom prednapenjanja čeličnog kabla, u betonski element unose se odgovarajući naponi na pritisak koji će biti iskorišteni u toku eksploatacije konstrukcije za preuzimanje sila zatezanja bez opasnosti za pojavu pukotina. Kod geotehničkih sidara prednapenjanje se prvenstveno izvodi sa namjerom da se:

- sidro po potrebi trenutno aktivira po postupku samostalnog napenjanja (koje nastaje radi promjene stanja deformacija u sistemu objekat-sidro-tla, a te promjene mogu nastati iz bilo kog razloga).
- spriječe eventualna štetna i nepoželjna pomjeranja sidrenog objekta;
- izvrši kontrola uspješnosti izrade sidra (podpuni i jednostavni pokus napenjanja geotehničkog sidra);
- izazovu povoljni uticaji uklještenja nastala između bloka stijene i fragmenta odnosno da se poveća integritet ispucale stijenske mase.

Način djelovanja prednapetih geotehničkih sidara može se na jednostavan način obrazložiti na primjeru sidrenog betonskog bloka na koga djeluje sila dizanja P sa promjenljivim intenzitetom (slika 2).

Sa prednapenjanjem se postiže elastično produženje sidra s_e , koje je gotovo uvijek veće od slijeganja tla ispod betonskog bloka s_b . Ako bi se tla ispod bloka slegla uslijed reologije za vrijednost s_e onda bi nastupio slučaj da se u potpunosti eliminiše sila prednapenjanja u sidru. (Vrijednost sile se smanji na nulu). Iz toga se može zaključiti da treba težiti čim većem omjeru s_e/s_b . Pošto je pri vrijednosti sile N_p , slijeganje tla ispod kontrolisanog bloka funkcija vrste tla, onda se na veličinu s_b teško može uticati. Radi toga koristimo veću mogućnost na uticaj promjene vrijednosti s_e .

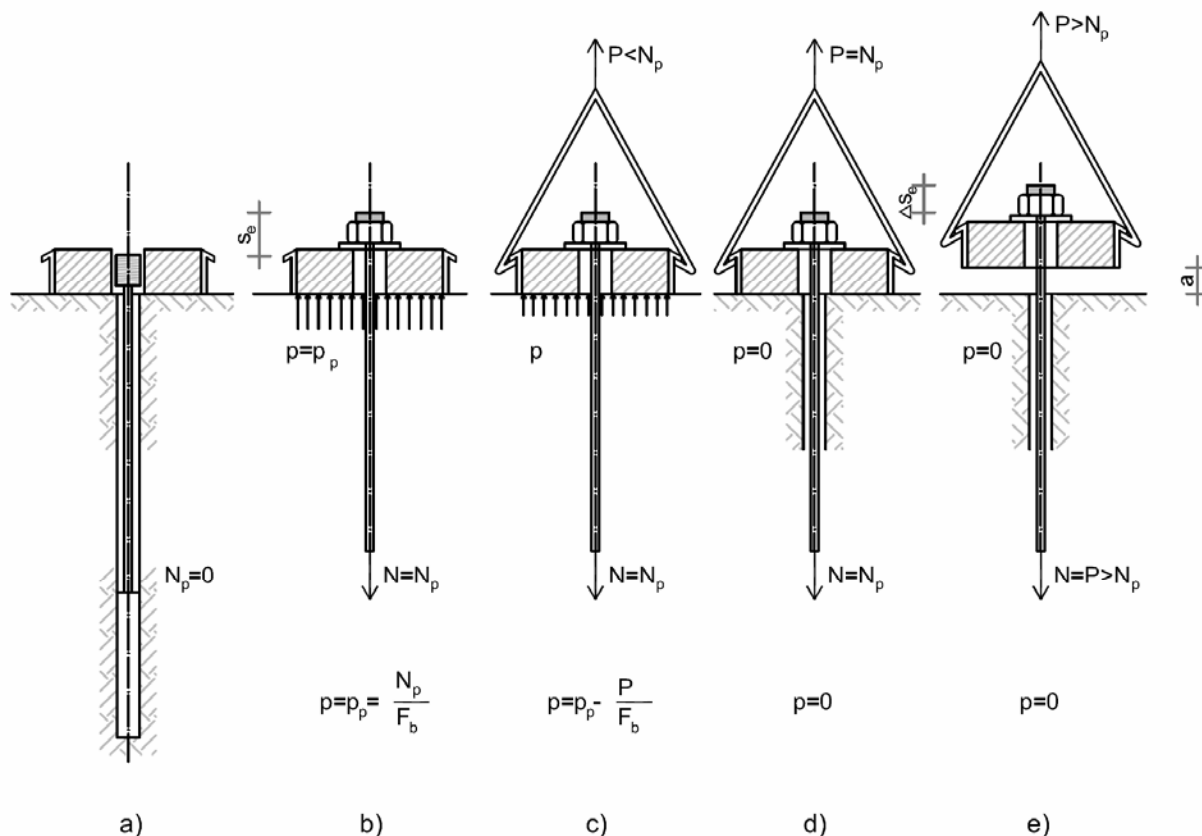
Na osnovu Hookovog zakona imamo:

$$s_e = N_p \cdot \frac{L_f}{E \cdot F}$$

Iz gornje jednačine se vidi da je vrijednost se pri određenoj sili N_p povećava čim je veća slobodna dužina sidra, a vrijednost modula elastičnosti i presjek čelika manji. Pošto je modul elastičnosti za sve vrste čelika približno isti, onda nam za povećanje vrijednosti s_e ostaje na raspolaganju povećanje slobodne dužine l_f i smanjenje površine čelika. Površina čelika se može smanjiti i sa upotrebom čelika boljeg kvaliteta. Iz svega ovoga se može zaključiti da je uloga slobodne dužine l_f jako velika na utjecaj promjene veličine s_e .

Iz svega ovoga proizlazi da treba birati što veću slobodnu dužinu sidra. Praktično slobodna dužina treba da bude veća od veznog dijela sidra, posebno u slučajevima kada se sidra upotrebljavaju u stijenskim masama.

Na slici 9.2.b prikazano je aktiviranje normalnih kontaktnih napona ispod betonskog bloka koje nastaju radi djelovanja sile N_p koja je sa prednapenjanjem unešena u sidro. Ako na blok djeluje vanjska sila P sa vrijednosti $P < N_p$ (slika 9.2.c), onda će pomjeranja sistema blok-temeljna tla biti mali, ali dovoljno veliki da se uspostavi nova ravnoteža sa padom kontaktnih napona.



Slika 9.2: Prikaz djelovanja prednapetog geomehaničkog sidra

- a) sidro prije prednapenjanja
- b) prednapenjanje sidra aktivira kontaktne napone ispod betonskog bloka
- c) na blok djeluje vanjska sila $P < N_p$
- d) veličina sile jednaka je sili prednapenjanja sidra N_p
- e) sila P veća je od sile N_p – u sidru se pojavljuje sila $N = P > N_p$

Međutim sila u sidru praktično ostaje nepromijenjena. Ako se sila i dalje povećava i dostigne vrijednost $P = N_p$ (slika 9.2.d) onda se sa minimalnim pomjeranjima sistema ponovo uspostavi ravnoteža pri kojoj su kontaktni naponi jednaki nuli. Sila u sidru je još uvijek nepromijenjena. Ako se sila povećava na vrijednost $P > N_p$ (slika 9.2.e) onda se ravnoteža uspostavlja jedino sa povećanjem sile u sidru. Ovo povećanje ima za posljedicu pojavu većih pomjeranja. U tom slučaju se između bloka i tla pojavi pomjeranje "a".

9.5 Prenos sile sidrenja u temeljna tla

Nosivost sidra u velikoj mjeri zavisi od kvaliteta unošenja sile prednapenjanja u tla. Ovo je jedan od najvećih problema (osim zaštite kvaliteta sidra) koji se pojavljuju u ovoj vrsti konstruktivnih elemenata.

Nosiva temeljna tla u koja sidramo geomehničko sidro mogu biti zemljani ili stijenski masiv.

Velike sile koje se pojavljuju u sidrenom dijelu sidra prenose se na stijenski masiv uz pomoć injektiranja sidra sa cementom.

Ispitivanja, koja su obavljena na ovakvim sidrima, pokazala su da se u veznom dijelu sidra pojavljuje athezija veličine 5000 kN/m^2 . Uslov da spoj sa stijenskom masom mora biti nepomičan omogućava prenos velikih sila sidrenja u stijensku masu. Prethodno se mora bušotina ispitati na vodonepropusnost. Ako bušotina nije vodonepropusna onda se izvrši konsolidacija bušotine sa injektiranjem. Poslije toga se izvrši novo bušenje i ugrađivanje sidra sa čime se postiže dovoljna sigurnost u prenošenju sila. U zavisnosti od različitih pokazatelja zavise i različite mogućnosti prenosa sile u osnovnu na stijensku masu. Ako postoje razlike u osobinama i hrapavosti stijenske mase onda se prenos sile može odrediti samo sa probnim sidrima pomoću kojih se određuju stvarna moguća opterećenja koje stijenska masa može preuzeti. Kod probnih sidara se obično skрати vezna dužina za trećinu sa omjerom faktora sigurnosti. Sidro se opterećuje do rušenja. Obično rušenje nastupa na površini između čelika i cementa po obodu ili na površini između cementa po obodu i stijenskog masiva.

Nosivost sidara u zemljanim masivima zavisi od osobina masiva i tehnologije ugrađivanja veznog dijela sidra. Najznačajniji faktor koji utiče na nosivost sidra je vezni dio čiji je učinak povezan sa određenim ograničenjima.

Sa povećanjem pomaka veznog dijela smanjuje se trenje po plaštu. Slijedeći faktor, koji utiče na nosivost sidra u zemljanim masivima, je promjer bušotine. Sa povećanjem promjera bušotine povećava se sila trenja. Međutim, ovo povećanje ima svoje granice, pošto se mora izvesti po čitavoj dužini bušotine što ima za posljedicu povećane troškove bušenja.

Na nosivost sidra u zemljanom masivu utiče i pravilno izvedena bušotina po čitavoj veznoj dužini sidra. Jedan od najboljih pokazatelja nosivosti ovih sidara je mjerenje povećanja pritiska pri injektiranju. U čestim slučajevima pa i u koherentnim materijalima zadovoljava i samo jednostavno injektiranje. Kod materijalima sa slabim osobinama to nije dovoljno. U takvim slučajevima se upotrebljava t.z. poinjektiranje, odnosno ponovno injektiranje veznog dijela sidra nakon određenog vremena. U koherentnim materijalima se obično, kot prvog injektiranja, ispune samo pukotine u bušotini ili manje kaverne.

Takvo injektiranje prenosi sorazmjerno male sile. Sa poinjektiranjem veznog dijela sidra pod visokim pritiskom povećavaju se radijalni naponi na spoju mase za injektiranje sa zemljanom masom. Sa time se povećava sila trenja po plaštu i oblikuje neregularni oblik i površina sidra sa čime se obezbjeđuje bolji spoj sidra sa okolinom. Sa više puta ponovljenim injektiranjem opisani efekat se još više poboljša.

9.6 Izrada geotehničkih sidara

Izrada kompletnog geomehničkog sidra sastoji se iz četiri glavne operacije:

- izrada bušotine
- sastavljanje i ugrađivanje sidra
- injektiranje
- napenjanje

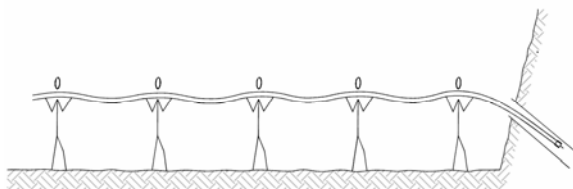
Metoda bušenja bušotine mora odgovarati materijalu u kome se vrši bušenje uz primjenu odgovarajućeg promjera bušotine. Kod bušenja se mora obavezno voditi dnevnik bušenja. Nakon završenog bušenja, bušotine se moraju zaštititi radi sprečavanja upadanja neželjenog materijala. Kod zemljanih materijala sa primjesom gline i kod materijala koji su podložni brzom raspadanju treba što prije ugraditi i injektirati sidro. Bušotine u kamenim masivima treba ispitati na vodonepropusnost. Ako kvalitet bušotine nije zadovoljavajući onda je potrebno izvršiti njenu konsolidaciju sa injektiranjem ili primijeniti neki drugi odgovarajući postupak.

Kod šljunkovito-pjeskovitih materijala kod kojih može doći do zasipanja, bušenje se obavlja sa zaštitnom kolonom koja omogućava ugrađivanje sidra. Ove kolone se izvlače iz bušotine istovremeno sa injektiranjem.

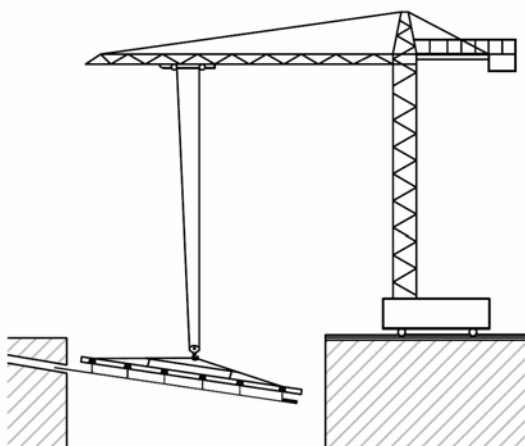
Pri izvođenju bušenja treba kontrolisati poziciju, nagib i dužinu bušotine.

Sastavljanje sidra mora se izvesti u tvorničkim uslovima. Transport, uskladištenje, doprema do mjesta ugrađivanja i samo ugrađivanje se mora organizovati na način koji garantuje da neće doći do štetnih uticaja na funkcionalnost i efikasnost zaštite na uticaj korozije.

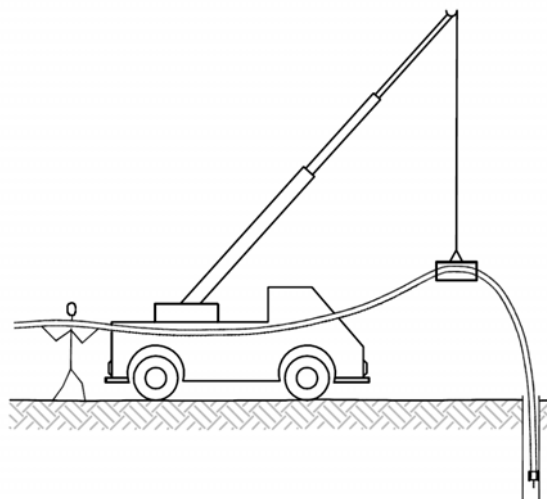
Ugrađivanje sidra se može izvesti ručno, pomoću različitih dizalica ili pomoću posebnih naprava koje se upotrebljavaju za ugrađivanje sidara.



Slika 9.3: Ručno sastavljanje sidra



Slika 9.4: Ugrađivanje sidra sa kranom



Slika 9.5: Ugrađivanje sidra sa autodizalicom

Injektiranje je postupak sa kojim se mora obezbijediti unos sile sidrenja u veznom dijelu sidra na sidrenu osnovu i zaštita sidra na uticaj korozije.

Pritisak injektiranja i količinu mase za injektiranje treba prilagoditi odnosno uskladiti sa geometrijskim, geološkim i hidrogeološkim prilikama, tipu i sastavu sidra. Injektiranje počinje od najudaljenijeg mjesta, dok se na drugom kraju mora obezbijediti nesmetani izlazak zraka ili vode iz bušotine.

Masa za injektiranje je u većini slučajeva iz čistoga portland cementa, vode i dodataka koje reduciraju sadržaj vode. Vodocementni faktor je u intervalu od 0,36 do 0,44. Za ponovljeno injektiranje, vodocementni faktor je 0,5.

Za postizanje pravilne viskoznosti, smjesa se priprema u visoko turbulentnim mješalicama. Masa za injektiranje se čuva u posebnim rezervoarima koji su opremljeni sa stalnim mješalicama i pumpama. Kod ponovnog injektiranja – poinjektiranje upotrebljavaju se udarne klipne pumpe.

Kakvoća injekcijske mase, koja se upotrebljava za stvaranje vezne dužine sidra, mora se prilagoditi osobinama temeljnog tla u kome se vrši injektiranje.

Ako za injektiranje ne upotrebljavamo cementne suspenzije, nego neku drugu mješavinu, onda moramo dokazati da ona odgovara u pogledu pitanja zaštite na uticaj korozije, trajnosti i na druge mehaničke osobine.

Injektiranje se obično izvodi u dva dijela. Prvo se injektira vezni dio sidra, a nakon završenog prednapenjanja obavi se injektiranje slobodnog dijela sidra.

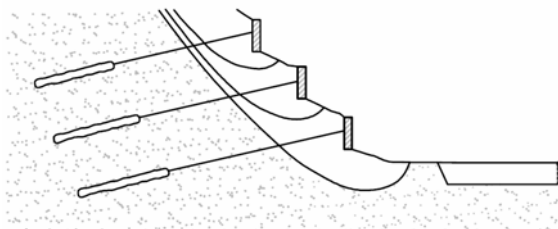
Injektiranje spada u grupu najznačajnijih postupaka koji su u sastavu izrade sidra. Radi toga se ovoj fazi mora posvetiti posebna pažnja pri čemu se vodi uredan zapisnik o pripremi mješavine i injektiranju sidra.

Sa prednapenjanjem visokokvalitetnog čelika, sidro preuzima onu funkciju koja mu je namijenjena.

Sidro se može prednapeti tek kada je masa za injektiranje dostigla propisanu otpornost. Vrijeme, poslije kojeg se može vršiti prednapenjanje, se određuje na osnovu rezultata ispitivanja ili prema upustvima proizvođača injekcijskog maltera.

Prije početka prednapenjanja mora se odrediti odgovorna osoba koja će voditi kompletan postupak prednapenjanja. Napenjanje se mora vršiti u svemu prema elaboratu za prednapenjanje sidara koga je pripremio projektant

Napenjanje se izvodi u smislu ispitivanja sidra i u smislu kontrole napenjanja. Ispitivanje se obavlja radi dimenzioniranja sidra, a kontrola napenjanja radi određivanja nosivosti i preuzimanja sile sidrenja.



Slika 9.6: Sidra na potpornoj konstrukciji

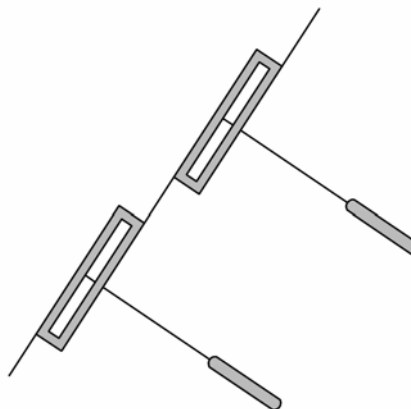
U fazi izrade, transporta, uskladištenja i ugrađivanja potrebno je spriječiti pojavu lokalne korozije na sidrima na kojima nije obavljeno napenjanje te na sidrima koja su prednapeta, a još nisu injektirana. Privremena zaštita (umotavanje u zamašćen papir, transport u drvenim sanducima sa dobrim zračenjem) je u praksi dala dobre rezultate. Posebnu pozornost treba posvetiti sprečavanju pojave kondezne vode. Osim toga čelik za prednaprezanje ne smije biti izpostavljen temperaturnim promjenama (sunce).

Najveća opasnost za čelične pramenove sidra predstavlja višak vode iz betona koja se nalazi u zaštitnoj cijevi, a u sebi sadrži kloride i sulfate. Radi toga treba tu vodu odstraniti iz cijevi. Opšte pravilo, kojeg treba primjenjivati, je to da se prednapeta sidra što prije injektiraju sa čime se mogućnost pojave kondezne vode svodi na minimum.

9.7 Upotreba geotehničkih sidara

Upotreba geotehničkih sidara dosta je u praksi raširena. Međutim sidra se upotrebljavaju samo u slučajevima u kojima primjena drugih rješenja daje slabije rezultate.

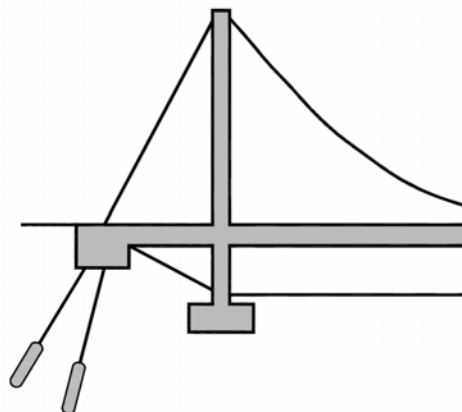
To se prije svega odnosi na slučajeve u kojima bi moglo doći do rušenja konstrukcije, a istu treba sačuvati, u slučajevima estetskih zahtjeva kada su u pitanju znatno povećani troškovi ili u slučajevima u kojima se radovi ne mogu izvesti bez upotrebe sidara.



Slika 9.7: Sidreni blokovi na kamenjaci

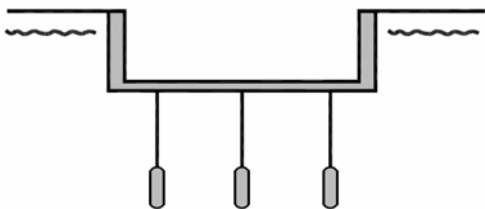
Neke konstrukcije se ne mogu zamisliti bez upotrebe sidra, kao kod:

- visokih brana radi formiranja povoljnih naponskih stanja u kritičnim zonama. To se prije svega odnosi na obezbjeđenje dobre saradnje temeljnog tla i objekta radi sprečavanja neželjenih deformacija.

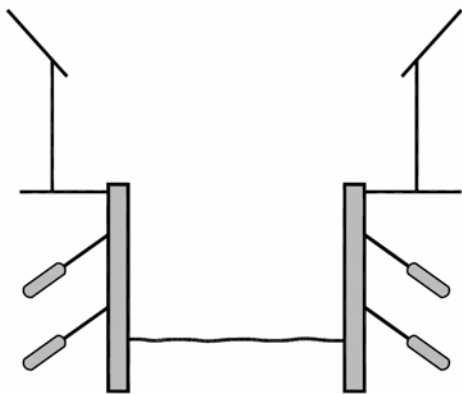


Slika 9.8: Sidreni blok visećeg mosta

- kod hidrotehničkih konstrukcija kod kojih treba obezbijediti opštu stabilnost objekta na uticaj uzgona ili klizanja, kada treba povezati nadograđeni sa postojećim dijelom nekog objekta, za preuzimanje hidromehaničke opreme te za obezbijeđenje stabilnosti objekata kod opterećenja na potres.



Slika 9.9: Sidrenje za preuzimanje sila uzgona



Slika 9.10: Sidrenje građevinske jame

- za zaštitu iskopa kod dubokih građevinskih jama,
- za sanaciju nestabilnih padina i klizišta, sidrenje svodova u podzemnoj izgradnji, sidrenje upornjaka kod mostova itd.

9.8 Zaštita geotehničkih sidara

Sidra treba da budu projektovana i izvedena tako da obavljaju svoju funkciju za čitavo vrijeme trajanja objekta pošto obično imaju važnu funkciju u egzistenciji objekta. Radi toga sidra moraju biti izgrađena tako da predstavljaju trajne i sigurne elemente građevine. Da bi se sve to postiglo, moraju se obezbijediti slijedeći parametri:

- vijek trajanja sidra mora biti jednak ili veći od trajanja objekta
- uvid u stanje sidra mora biti dostupan u bilo kom vremenskom periodu
- eventualni prijevremeni prestanak funkcionisanja sidra mora se blagovremeno otkriti tako da ostane dovoljno vremena za evakuaciju ugroženog osoblja i zamjenu neispravnog sidra.

Ove zahtjeve ne ispunjava veliki broj do sada ugrađenih sidara, a neki ispunjavaju samo djelomično. Bez obzira što se kod brojnih sidrenih objekata ne može tačno predvidjeti odkazivanje funkcije djelovanja pojedinih sidara, do sada nismo imali štetu na sidrenim objektima, a nadamo se da će tako biti i u budućnosti. Sa ovom činjenicom je upoznata i sa njom se slaže većina investitora. Ovaj problem neki prevlađuju sa profesionalnim optimizmom, dok mnogi zabranjuju upotrebu trajnih sidara. Kako bi ove druge uvjerili da nisu u pravu moramo trajna sidra stalno dograđivati kako bi se u njihovu funkciju što više vjerovalo.

Dugoročna sigurna i trajna sidra izrađena iz visokokvalitetnog čelika su samo ona koja su u potpunosti i trajno zaštićena od prodiranja vode i kod kojih tu zaštitu i nosivost možemo provjeriti u svakom trenutku.

Prema saznanjima metalurga, visokokvalitetni čelici su, u pogledu svojih mehaničkih osobina, najzahvalniji materijal za sidrenje konstrukcije bez obzira što su njegove mehaničke osobine ugrožene od svakoga elektrolitskoga procesa, koji se dešava na površini bez obzira na to da li sidra imaju ulogu anode ili katode.

Ova razlika, između visokokvalitetnih čelika koji se upotrebljavaju za sidra i čelika koji se upotrebljavaju za armaturu, ima za posljedicu da antikorozijska zaštita, izvedena pomoću cinkovanja ili katodne zaštite, kod geotehničkih sidara vrlo brzo otkazuje i u eksploataciji konstrukcije ne štiti sidra od propadanja. Pojavu i djelovanje elektrolitskih procesa može se spriječiti samo sa trajnom izolacijom koja štiti kompletno sidro od prodiranja vode. Ovako važan zahtjev u građevinskoj praksi još nije postignut bez obzira što je u švajcarskoj u posljednim godinama učinjen veliki napredak.

Nedostatak čelika ogleda se u tome što ima tendenciju da se vrati na najniži oblik energije čeličnih oksida. Taj nedostatak prouzrokuje i omogućava početak procesa korozije. Raspadanje čelika nastaje kao posljedica različitih vrsta korozije. Što je veći stepen litine to je kompliciraniji mehanizam korozije.

Obični čelici koji se upotrebljavaju za armaturu te visokokvalitetni čelici koji se upotrebljavaju za sidra izloženi su različitim vrstama korozije:

Površinska korozija se razvija na nezaštićenoj površini čelika sa dovoljnim procentom vlažnosti zraka.

Tačkasta korozija je rezultat različitih potencijala na površini čelika. Ubrzano nastajanje iona željeza je posljedica anodne reakcije. Slobodni kloridovi ioni su opasni za nastajanje ubrzane točkaste korozije.

Naponska korozija je fenomen visokih naponskih stanja u čeličnim palicama. Njena pojava je uslovljena sa anodnim reakcijama koje stvaraju određene uslove za pojavu vodikove krtosti.

Vodikova krtost - je vrsta korozije kod koje se najznačajniji uslov ogleda još u prethodnoj obradi čelika. Raspadanje kovine nije povezano sa prethodno navedenim vrstama korozije koje su predmet anodne korozije.

Reakcije u medijima kiseline direktno ugrožavaju čelike za prednapenjanje. Ove reakcije prouzrokuju stvaranje procesa u kojima se ioni vodika reduciraju i kod elektrolita bez kisika koji imaju jako negativne potencijale, posebno u slučajevima kod kojih dolazi do cijepanja vode i stvaranja atoma vodika. Ovi ioni direktno ugrožavaju površinu čelika.

Kod getehničkih sidara treba posvetiti posebnu pažnju naponima korozije koji su do sada bili zanemareni. U takvim slučajevima treba razmatrati slijedeće:

Lokalne napade korozije, koji nastaju kao posljedica uticaja klorida koji prouzrokuju gubitak alkalne cementne zaštite oko čelika i pojavu pukotina. Ove pukotine djeluju kao mehaničke pukotine, a istovremeno stvaraju pogodno tlo za pojavu napona korozije koja se oslobađaja sa pojavom vodika.

Stvaranje makroelemenata koji karakterizira lokalno odvajanje anode i djelimične katodne reakcije. U konkretnom primjenu se radi o makroelementu kojeg obrazuje armatura objekta sa sidrom u zemlji. Armatura je ubetonirana i nalazi se u pasivnom stanju dok se sidro, na mjestima nedovoljne antikorozijske zaštite, nalazi u aktivnom stanju. Razlika potencijala ΔU koja nastaje između čelika u aktivnom i pasivnom stanju u tom makroelementu vodi do električkog toka I koji na sidru izlazi iz kovine i ulazi u armaturu objekta. U takom slučaju nastaje reakcija na sidru na izlaznom mjestu zbog čega se nosivi poprečni presjek smanjuje, naponi se povećavaju sa čime se stvaraju uslovi za pojavu naponskih pukotina. Gustoća električnog toka anodnoga rastapljanja može da pređe vrijednost 1 mA/cm^2 , a zavisi od veličine oštećenja. Radi toga "dvojna antikorozijska zaštita" koja se obično

upotrebljava (sastoji se od cementnog maltera u koji se ugrađuje prednapeti kabel i polietilenske zaštitne cijevi koja je iz jednog komada na čitavoj dužini) ne može u potpunosti spriječiti ugrožavanje koje nastaje kao posljedica navedenog makroelementa. Eliminacija ove pojave moguća je jedino sa električnom izolacijom od objekta. Antikorozijska zaštita sa toplim cinkovanjem, koja se za normalne čelike upotrebljava, stvara takav makroelement. U takvom procesu cinkova prevlaka postaje anoda, a čelik katoda. Nastupajuća katodna reakcija, uz nedostatak kisika i prevelike katodne polarizacije, stvara mogućnost pojave atomskog vodika. Cinkovanje kao direktna antikorozijska zaštita zaštitnih kapa i ploča za sidrenje se ne smije upotrebljavati radi pojave i učinka vodikove krtosti. Zaštita ovih elemenata mora se nadomjestiti sa sistemima premazivanja

Lutajuće struje - predstavljaju klasičan oblik problematike koja se pojavljuje kod željeznica sa pogonom na istosmjernu struju. Dio kompletnog uzvratnog električnog toka napusti tračnice, ulazi u okolna tla i kao lutajuća struja dolazi do usmjerivača. Ako se na mjernom putu nalaze metalne konstrukcije (armatura) koje služe kao provodnik, onda dio te lutajuće struje ulazi u tu konstrukciju dok iz nje izlazi tek u blizini usmjerivača i preko tla ponovo ulazi u tračnice. Ugroženost od lutajućih struja nastupa pri njenom izlasku. Na tom mjestu se stvara djelimična anodna reakcija. Kod ulaska lutajuće struje nastupa proces djelomične katodne reakcije. U slučaju da nije prisutan kisik odnosno kada je gustoća toka velika, dolazi do razjedinjavanja vode. Tada se čelik katodno polarizuje, dolazi do nastanka atomarnog vodika koji, kod geomehaničkih sidara, stvara mogućnost pojave vodikove krtosti. Kakvu opasnost preuzrokuju lutajuće struje, govori podatak da električni tok od 1 A u vremenu od 1 godine "istopi" približno 9 kg čelika. Mjerenja su pokazala da lutajuće struje mogu biti i preko 100 A . Samo električna izolacija sidra od objekta zajedno sa dvojnomo antikorozijskom zaštitom može spriječiti ugrožavanje sidra od djelovanja makroelemenata i lutajućih struja.

Katodna zaštita kod koje se pomoću kontrolisanog električnog toka između anoda i čeličnog elementa, koga treba zaštititi od uticaja korozije, postiže smanjenje potencijala i sprečavanje raspadanja metala. Ova metoda, koja se dosta upotrebljava kod ukopanih cjevovoda i rezervoara, može postati problematična kod zaštite visokokvalitetnih čelika. Ovdje je takođe

prisutna opasnost od pojava vodikove krtosti i napona korozije visokokvalitetnih čelika.

Iz svega navedenog slijedi da se za obezbijedenje sigurnosti sidra i čelika za prednapenjanje, moraju izvesti postupci koji garantuju trajnu zaštitu protiv uticaja korozije i sprečavaju pojavu najmanje brazgotine koje mogu prouzrokovati stvaranje napona korozije. Pored osnovnog znanja o ugroženosti, značajna je tehnologija izvođenja zaštite i mogućnost provjeravanja predviđenih intervencija.

Radi toga zaštititi od uticaja korozije treba posvetiti posebnu pažnju kod transporta, ugrađivanja i u toku eksploatacije objekta.

Osnovna antikorozijska zaštita čelika za prednapenjanje osigurava se sa alkalnom okolicom mase za injektiranje uz pretpostavku, da je injektiranje izvršeno kvalitetno bez praznina. Kontrola injektiranja mora se vršiti u toku samog izvođenja. U masi za injektiranje ne smije biti dodataka koji mogu ubrzati proces korozije. Drugu barijeru za zaštitu od korozije predstavlja zaštitna cijev. Cijevi iz plastičnih masa su bolje od čeličnih cijevi. Najvažnija barijera za zaštitu predstavlja betonski omotač koji mora imati dovoljnu debljinu. Kod pripremanja zaštitnog betona ne smiju se upotrebljavati betonsko-tehnološke intervencije koje služe za postizanje visokovrijednih betona.

Svi dosadašnji sistemi trajnih sidara imaju "dvojni antikorozijsku zaštitu". Kod ovog koncepta vanjsku zaštitu čini plastična cijev (polietilen) na čitavoj dužini sidra, a unutrašnja zaštita pojedinih pramenova se ostvaruje sa injekcijskom masom. Najvažniji zahtjev ovog sistema je vodonepropusna plastična cijev (iz tvrdog polietilena) koja sprečava prodor vode u sidro. Ova cijev istovremeno obezbijeduje i zaštitu od lutajućih struja. Uticaji makroelementa mogu se spriječiti samo sa izolacijom sidra od armature objekta.

Osnovna načela antikorozijske zaštite sidara i prednapetih kablova su:

- **spriječiti dostup agresivnih medija (vode),**
- **spriječiti električni kontakt sa objektom**
- **obezbijediti mogućnost kontrole.**

Ispitivanja, koja su obavljena na već ugrađenim sidrima s mjerenjem električnog otpora, pokazala su da sidreni sistemi sa dvojnou zaštitom imaju znatne konstruktivne nedostatke. Dosta su česta oštećenja polietilenskih zaštitnih cijevi koja su nastajala

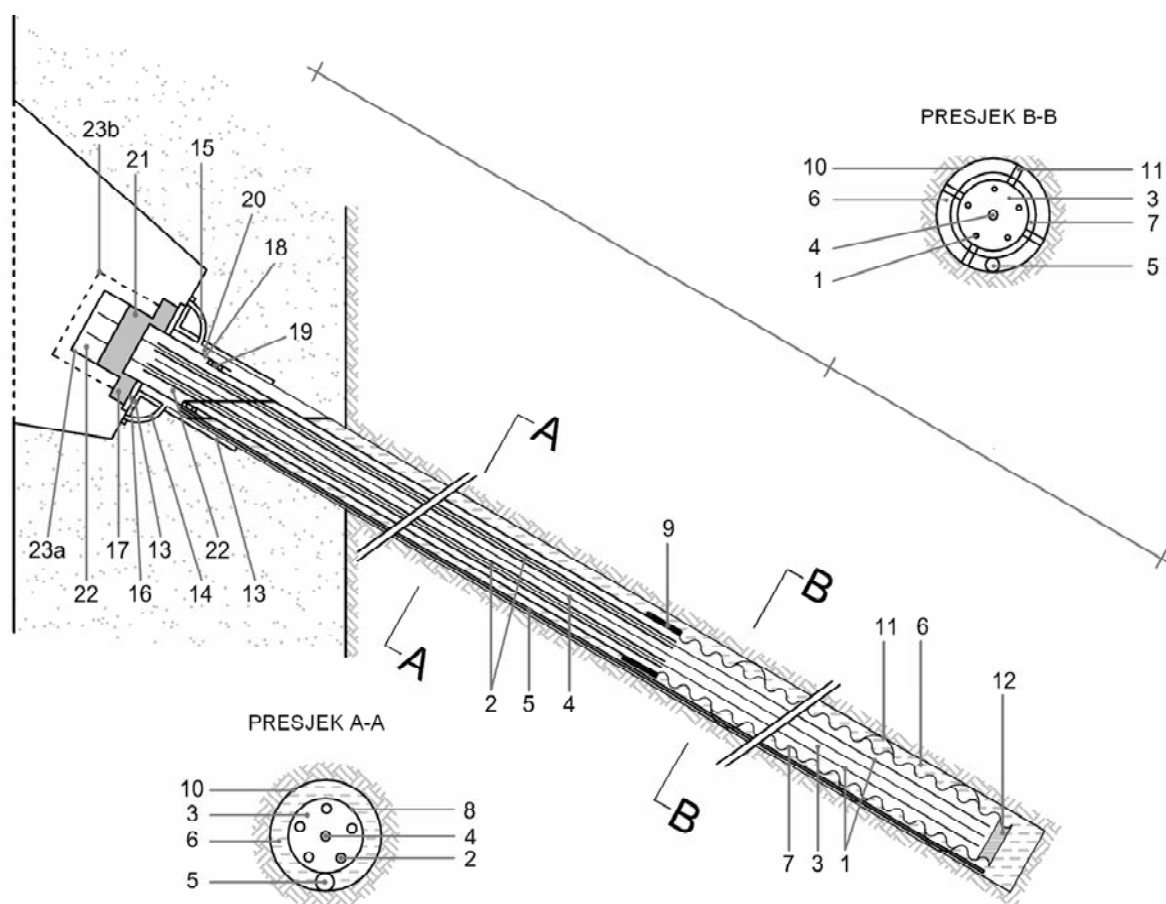
od nesavjesnog rukovanja na gradilištu odnosno prevelikih deformacija vezne dužine sidra kod probnog napenjanja. Pri radu sa sidrima mora se uzeti u obzir činjenica da samo jedno oštećenje plastične zaštitne cijevi može dovesti do toga da sidro postane makroelement sa odgovarajućim električnim tokom. Intenzitet električnog toka zavisi od razlike potencijala koji nastoje između kotve sidra (glave) koja je električno povezana sa objektom i temeljnim tlom u području oštećenog mjesta. Moguće lutajuće struje mogu, na tim mjestima, znatno povećati električni tok kroz sidra. Na oštećenom mjestu nalazi se koncentrisan ulaz i izlaz struje koja može dovesti do gubitka materijala na čeliku sidra i pojave vodikove krtosti.

Između teorije dvojne zaštite od korozije i prakse u građevinarstvu postoji veliki raskorak. U cilju savlađivanja i eliminacije ovih raskoraka uloženi su veliki radovi, obavljeni su veliki brojevi probnih ispitivanja, mjerenja i provjeravanja radnih postupaka i svih konstruktivnih kritičnih mjesta.

Sav ovaj uloženi trud eliminisao je razlike koje su postojale između teorije i prakse.

Rezultati navedenih ispitivanja uzeti su u obzir u novim preporukama SIA 191. U njemu je eliminisana pojava dvojne antikorozijske zaštite. Sidram moraju imati vanjski zaštitni omotač iz tvrdog polietilena koji se mora nalaziti na čitavoj dužini prednapetog oštećenja koja mogu nastati pri transportu, ugrađivanju i injektiranju. U cilju sigurnog odvajanja glave (kotve) za sidranje od armature objekta ugrađuje se izolacijska ploča između ploče za sidranje sidra i objekta koji se sidra.

Ova intervencija povećava otpor sidra za ulazak električne struje sa čime se istovremeno spriječava proticanje makroelementnih struja u armaturu sidranog objekta poprečno kroz sidro u području glave sidra. Veza između tulca za sidranje sa zaštitnim ovojem cijevi mora biti vodonepropusna. Prazan prostor, koji se nalazi između objekta koji se sidra i tulca za sidranje, mora se injektirati. Nezaabetonirane glave sidara koje služe za kontrolu i mjerenje treba zaštititi sa zaštitnim kapama. Ove kape ne smiju biti cinkovane nego zaštićene na koroziju sa premazima koji su električno neutralni prema čeliku.



Legenda:

- | | |
|---|--|
| 1. goli prednapeti kabel | 13. vanjski oslonac sidra sa pribornicom iz čeličnog lima zavarenom spiralom, cjevčicama za injektiranje i spuštanje zraka |
| 2. prednapeti kabel u PE zaštićenom ovoju, zamašćen | 14. cijev za injektiranje na vanjskom osloncu sidra |
| 3. unutrašnje injektiranje (PC) | 15. cijev za ispuštanje zraka |
| 4. injekcijska cijev za unutrašnje injektiranje | 16. izolacijska ploča (cevolit) |
| 5. injekcijska cijev za vanjsko injektiranje | 17. podložna ploča za sidrenje koja može biti ubetonirana ili zaštićena na koroziju |
| 6. vanjsko injektiranje | 18. tulec – privaren na sidreno ploču |
| 7. rebrasta ovojna PE cijev | 19. obruč za dihtovanje |
| 8. glatka ovojna PE cijev | 20. injekcijska masa vanjskog oboda sidra |
| 9. spoj rebraste i glatke ovojne cijevi | 21. kotva (glava) sidra |
| 10. zid bušotine | 22. unutrašnje injektiranje kotve (glave) sidra (mast ili PC) |
| 11. rastojnik | 23a zaštitna kapa (samostalna ili za betonirana) |
| 12. čep za zaštitu noge sidra | 23b zaštitna kapa sa premazom za koroziju |

Slika 9.11: Trajno sidro koje odgovara važećim zahtjevima u pogledu zaštite od korozije