

principu "od dna bušotine - prema ustima", nezavisno od nagiba bušotine, odnosno nagiba bušotine u odnosu na površinu sa koje se vrši sidrenje.

Kod tzv. injektiranih sidara, kod kojih se prvo ugradjuje sidro a zatim ubacuje vezivno sredstvo, princip punjenja prostora na dužini kotvljenja je "odozdo na gore", što zahteva vođenje računa o tome da li se radi o "uzlaznom" ili "silaznom" sidru.

#### 3.4.4 Dugačka prednapregnuta sidra

Za razliku od svih ranije opisanih sidara čija zajednička osobina je da su kruta, adhezionna sidra sa ukotvljenjem na jednom delu bušotine i prednaprezenjem imaju najčešće savitljivo telo. Sastavljena su od sidrene glave preko koje se vrši prednaprezanje i tela sidra koje je izradjeno od snopa žica od visokokvalitetnog čelika ili snopa čeličnih užadi. Ovakva sidra se primenjuju isključivo kao prednapregnuta, za razliku od krutih ili kratkih sidara koja se koriste i kao slobodna i kao prednapregnuta.

U istorijskom pogledu ova sidra su najnovijeg porekla; u tehničkom pogledu su najsvršenija, imaju veliku sigurnost kako u pogledu ugradjivanja, tako i u pogledu efikasnosti kotvljenja i održavanja sila prednaprezanja. Mogu da se naprežu do više stotina tona, a i mogu da budu dugačka do više desetina metara.

Još jedna prednost ovakvih sidara ogleda se u tome što se sa uspehom primenjuju u svim terenima koji mogu da se injektiraju. To znači da im je domen primene pored krutih stenskih masa i u sluvijalnim naslagama.

Ovakva sidra su ujedno i jedina prednapregnuta sidra koja se sa uspehom primenjuju u šljunkovitim i peskovitim terenima.

Na žalost, u glinovitim materijalima, koji praktično ne mogu da se konsoliduju injektiranjem, ovakva sidra ne mogu da se primenjuju.

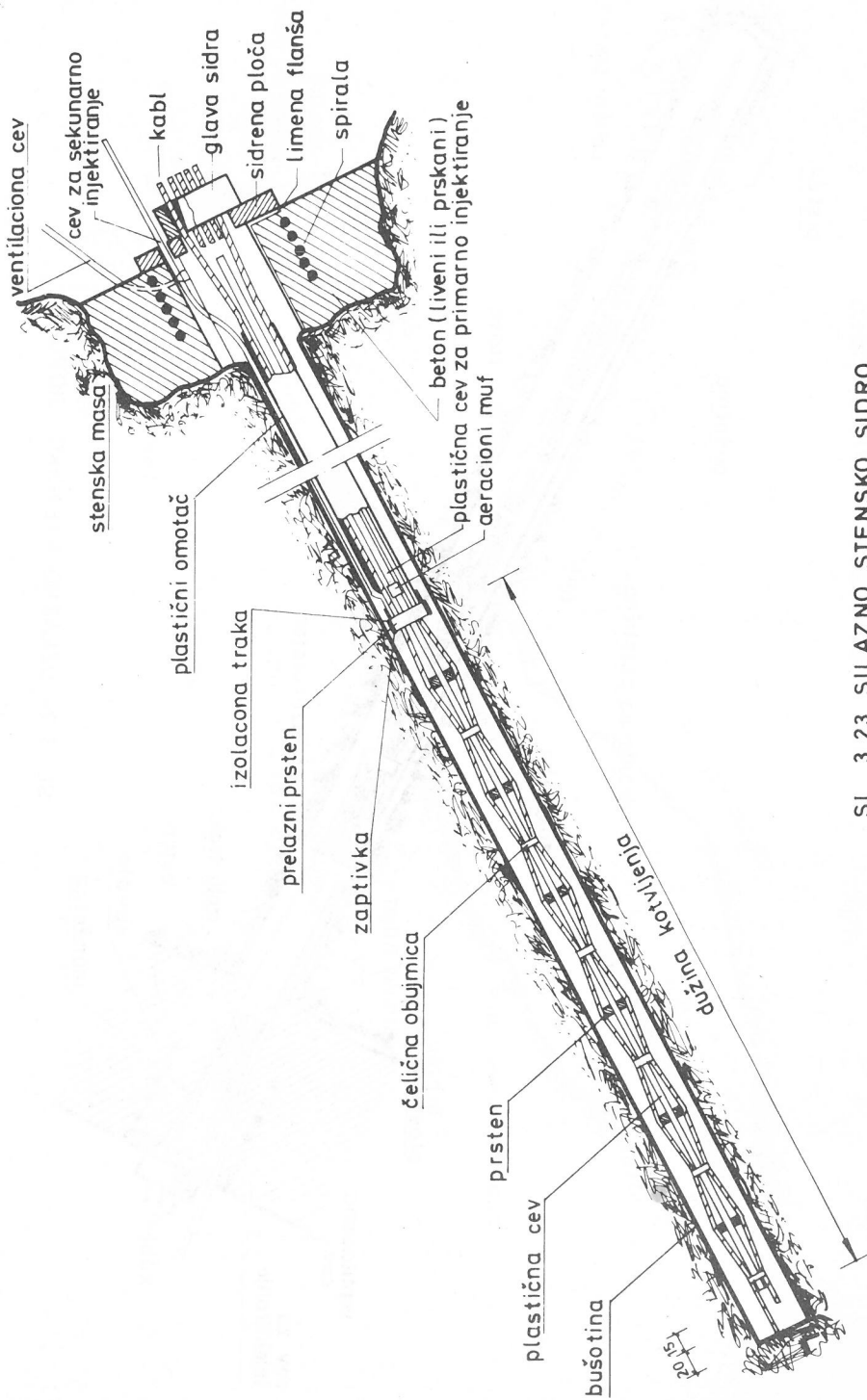
Na sl. 3.23 i 3.24 dati su detalji sidara sa adhezionim ukotvljenjem na delu bušotine koje se primenjuju u stenskim masama, a na sl. 3.25 isto ovakvo sidro koje se primenjuje u aluvijalnim naslagama. Sidro na sl. 3.23 je takozvano "silazno" sidro, dok je na sl. 3.24 dato tzv. "uzlazno" sidro. Orientacija nagiba sidra u odnosu na slobodnu površinu stenske mase igra važnu ulogu u postupku koji se primenjuje prilikom injektiranja bušotine.

Kao što se vidi iz sl. 3.23; 3.24 i 3.25 ova sidra se sastoje iz tri dela: sidrene glave, tela sidra i dela na kome se ostvaruje kotvljenje.

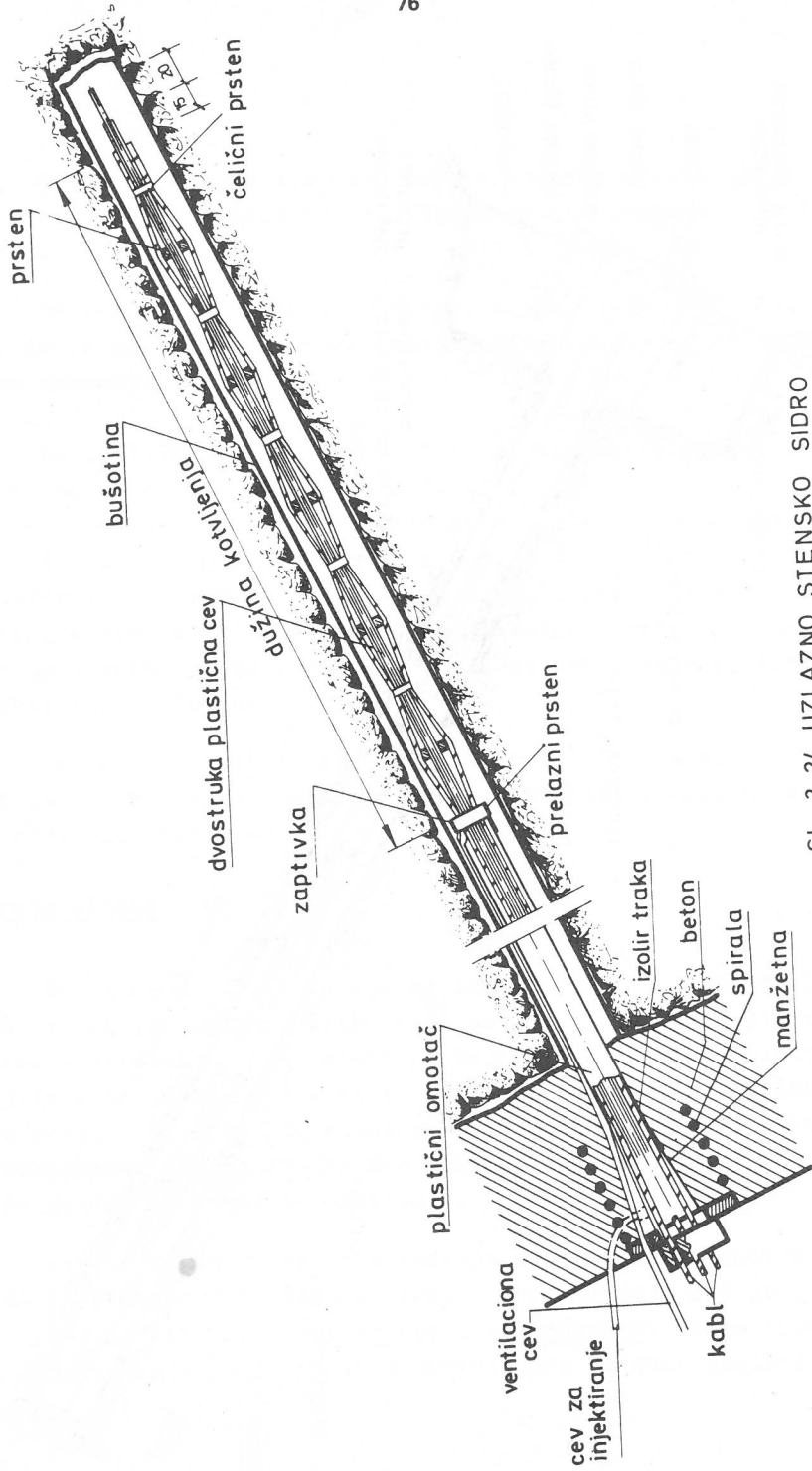
#### 1° Opis sidara

Na sidrenoj glavi nalaze se ispusti za žice ili užad od visokovrednog čelika koji se pružaju celom dužinom sidra. U sredini sidrene glave postoji otvor za izvod centralne plastične injekcione cevi za primarno injektiranje sidra. Isto tako, u blizini glave nalaze se izvodi plastičnih cevi za sekundarno injektiranje, kao i aereciona cev kojom se evakuira vazduh za vreme injektiranja.

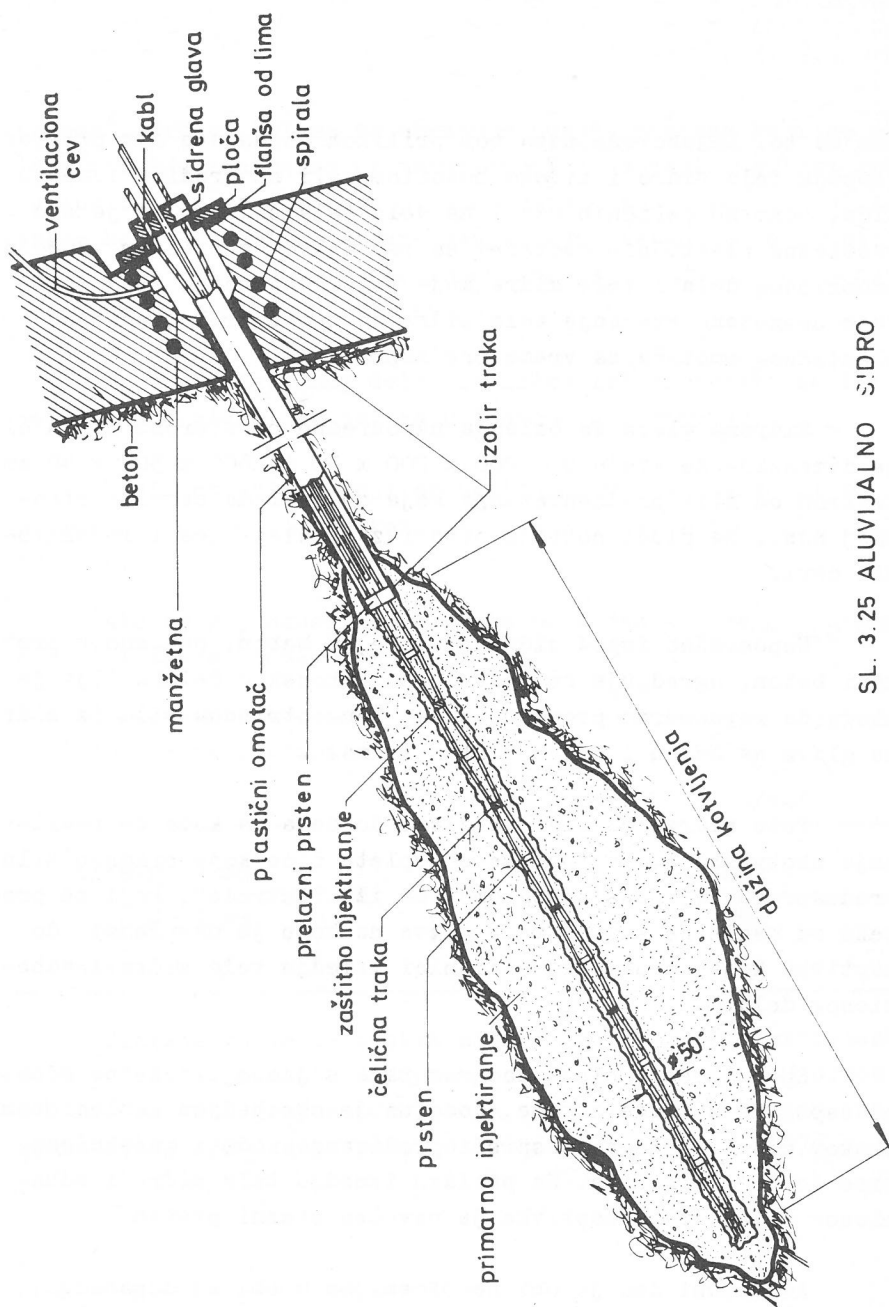
Zapaža se odmah razlika između ovih sidara i sidara koja se injektiraju po celoj dužini. U ovom slučaju reč je o dve vrste injektiranja: primarnom i sekundarnom. Uloga primarnog injektiranja je da osigura ukotvljenje na delu predviđje-



SL. 3.23 SILAZNO STENSKO SIDRO



SL. 3.24 UZLAZNO STENSKO SIDRO



SL. 3.25 ALUVIJALNO SIDRO

nom za to. Injekciona masa tom prilikom popunjava sav prostor između tela sidra i zidova bušotine, ali ne prodire između žica, odnosno čeličnih užadi na delu tela sidra, jer je ovo zaštićeno plastičnim omotačem sa zaptivkom na prelazu između adhezionog dela i tela sidra koje se prednapreže, što omogućuje nesmetano kretanje tela sidra unutar futrole, odnosno plastičnog omotača, za vreme prednaprezanja.

Sidrena glava se oslanja neposredno na sidrenu ploču čije dimenzije se kreću od 200 x 200 x 30 do 300 x 300 x 40 mm, zavisno od sile prednaprezanja koja se želi da saopšti stenskoj masi. Na ploči postoje otvori za prolaz žica i inekcionih cevi.

Neposredno ispod sidrene ploče, u beton, odnosno u prskani beton, ugrađuje se spirala od betonskog čelika čija je uloga da ravnomerno prenese veliku koncentrisanu silu iz sidrene glave na beton i dalje u stensku masu.

Telo sidra, od sidrene glave do dela na kome se realizuje ukotvljenje, sastoji se od spleta žica koje primaju silu prednaprezanja, plastičnog omotača ili "futrole", koji se proteže od manžetne kod sidrene glave na koju je navučena, do zaptivke koja se nalazi na granici između tela sidra i adhezionog dela.

Spoj između plastičnog omotača s jedne i manžetne odnosno zaptivke s druge strane, dodatno je obezbedjen izolacionom trakom čija je uloga da spreči prodiranje vode i injekcione mase do čeličnih žica. Na prelazu između tela sidra i adhezionog dela, preko zaptivke je navučen stezni prsten.

Adhezioni deo je obično oformljen u obliku dugačkog

talasa<sup>x</sup>. Vrhovi talasa se obrazuju pomoću prstena koji se nalaze između centralne primarne injekcione cevi i spleta žica. Doline talasa se obrazuju pomoću prstenastih stega od čelične trake koje sa spoljne strane obuhvataju svežanj žica i priljubljuje ih uz cev za primarno injektiranje. Na dužini sidrenja obrazuje se 4 do 5 polutalasa.

Na dnu adhezionog dela, iz sidra izlazi dvostruka ili jednostruka plastična cev za primarno injektiranje.

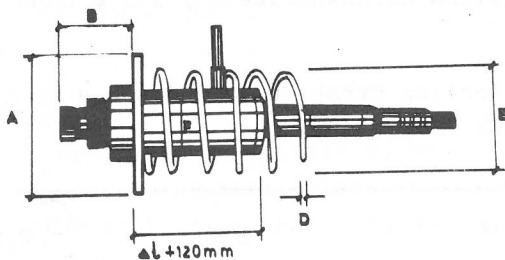
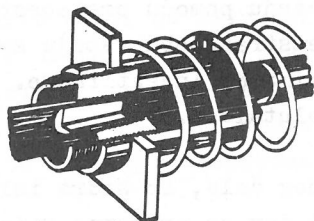
Kvalitet čelika koji se upotrebljava za ovakva sidra zavisi od toga da li se koriste žice  $\varnothing 7$  ili  $\varnothing 8$  mm ili čelična užad.

Ako sa  $\beta_z$  označimo čvrstoću na kidanje a sa  $\sigma_{0,2}$  granicu istezanja, onda imamo:

Vrsta materijala	$\beta_z$ kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ kp/mm <sup>2</sup>
žice $\varnothing 7$ mm	170	150
žica $\varnothing 8$ mm	160	140
užad $\varnothing 1/2$ "	180	160

Sidrene glave za ovakva sidra razlikuju se u zavisnosti od toga da li je sidro načinjeno od žica ili užadi. U prvom slučaju se vrši grupno kotvljenje svih žica, a u drugom se svako uže  $\varnothing 1/2$ " kotvi posebno (videti sl. 3.26 i 3.27).

<sup>x</sup> Postoje različiti oblici adhezionog dela sidra, što je predmet posebnog proučavanja stanja napona i deformacija na tom delu.



SL. 3.26 SIDRENA GLAVA KABLA OD ČELIČNIH  
ŽICA

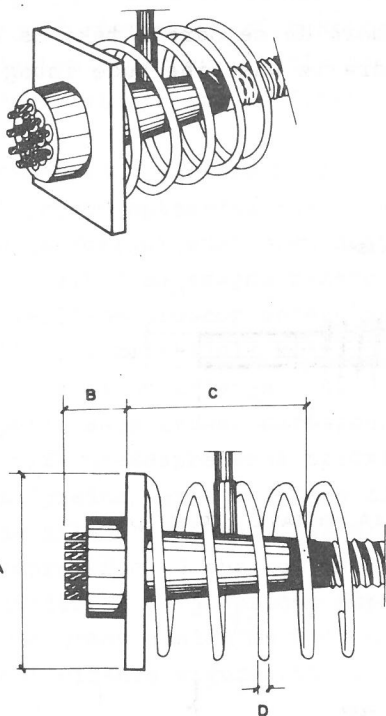
Sidrene glave se obično upuštaju u specijalne niše, tako da posle završetka redova ne strče iz površine terena (videti sl. 3.28).

### 2° Odredjivanje dužine kotvljenja

Ovo je vrlo značajan element u tehnologiji sidrenja i zbog toga mu se ovom prilikom posvećuje posebna pažnja. Proizvođači ovakvih sidara daju podatak da se dužina kotvljenja



treba da kreće od 3 - 5 m zavisno od sile prednaprezanja, dubine na kojoj se ostvaruje kotvljenje, stanja stenske mase itd. Već i sam dijapazon koji daju proizvođači pokazuje veliko rasturanje, pa se ovi podaci moraju posmatrati samo kao informacije opšteg značaja.

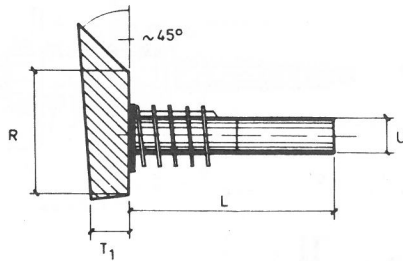


SL. 3.27. Sidrena glava kabla od čeličnih užadi

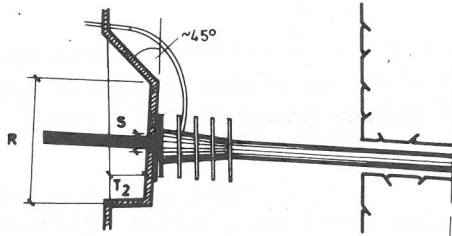
U suštini dužina kotvljenja zavisi uglavnom od mehaničkih karakteristika stenske mase i injekcione mase, odnosno od kvaliteta veze između maltera i zidova bušotine izraženog

preko parametara čvrstoće na smicanje ove veze, s jedne strane, kao i veličine sile prednaprezanja, s druge strane. Ovde nije pomenuta adhezija između žica i cementnog maltera. Ovo stoga što je adhezija između ova dva materijala veća od adhezije između maltera i stenske mase, a i okvašena površina je veća, pa dužina kotvljenja ne zavisi od nje.

Dužina kotvljenja mora da se odredi tako da koeficijent sigurnosti na čupanje sidra iz bušotine bude istog reda veli-



SL. 3.28 NIŠA ZA UPUŠTANJE SIDRENE GLAVE



SL. 3.29

čine kao i koeficijent sigurnosti na kidanje kabla od koga je sidro napravljeno. S obzirom na relativno slabije poznavanje parametara čvrstoće na smicanje veza malter - stena u svakoj tački stenske mase u kojoj se vrši kotvljenje od otpornosti na kidanje kablova, potrebno je da usvojeni koeficijent sigurnosti na čupanje kotve iz stenske mase bude nešto veći od koeficijenta sigurnosti na kidanje kabla. Pošto proizvođači sidara garantuju nominalnu silu kojom se priteže telo sidra sa koeficijentom sigurnosti kabla većim od 1,50, potrebno je da koeficijent sigurnosti na čupanje bude veći od 2,00.

Najefikasnija kontrola koeficijenta sigurnosti na čupanje bilo bi probno opterećenje svakog ugradjenog sidra do sile sa kojom je koeficijent sigurnosti sigurno veći od 1,50. Međutim, s obzirom na trajnu namenu ugradjenih sidara i ograničenost veličine probnog opterećenja (ne sme se preći granica elastičnosti materijala koja je kod visokootpornih čelika bliska čvrstoći na kidanje), nije dozvoljeno da se vrši kontrola opterećenja svakog ugradjenog sidra. U stvari tehničkim uslovima prednaprezanja predviđeno je da se svako sidro za vreme prednaprezanja zatege trenutno za oko 15 % više od nominalne sile prednaprezanja, a zatim da se blokira sa silom prednaprezanja. S obzirom na kratkotrajnost ovog opterećenja i činjenicu da je proces čupanja kotve plastičnog karaktera, ovim preopterećenjem<sup>em</sup> ne može da se dobije ni utisak o veličini koeficijenta sigurnosti na čupanje sidra.

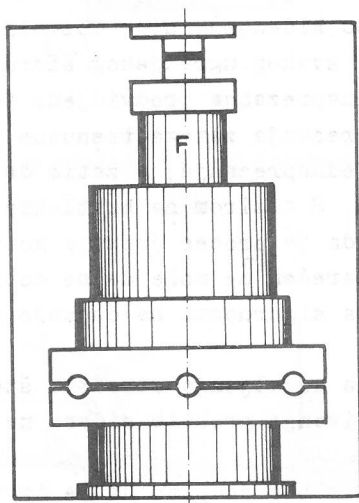
Da bi se dužina kotvljenja odredila što tačnije potrebno je izvršiti ispitivanje probnih sidara na čupanje.

U tom cilju potrebno je prvo da se izvrši klasifikacija stenske mase u zoni sidrenja. Kada se odrede kvazihomogene zone<sup>x</sup>

<sup>x</sup> Određjivanje kvazihomogenih zona vrši se na osnovu rezultata inženjerskogeoloških, geotehničkih i geofizičkih ispitivanja koja treba da se izvrše u zoni u kojoj se primenjuje sidrenje.

stenske mase po parametru deformabilnosti, potrebno je da se u svakoj zoni izvrši serija probnih ispitivanja nosivosti na čupanje sidra sa silama koje daju potreban koeficijent sigurnosti na čupanje. Opterećenje probnih sidara treba da se vrši sve do loma, odnosno sve dok može da se povećava sila čupanja, odnosno do trajnih deformacija od 20 i više santimetara. Jedna serija ispitivanja podrazumeva grupu od najmanje tri probna sidra.

Da u toku probnog ispitivanja ne bi došlo do kidanja tela sidra - što nije cilj ovog ispitivanja - potrebno je da se pre početka ispitivanja, kao i pre sastavljanja programa ispitivanja, sa sigurnošću zna da će se ispitivanjem dobiti sila čupanja.



SL. 3. 30

Okvirni podsci o karakteristikama čvrstoće na smicanje veza malter - stenska masa mogu da se dobiju na osnovu relativno prostih i jevtinih ispitivanja (v. sl. 3.30). Jezgro stenske mase koje se izvede iz bušotine u koju će se ugraditi sidro sa mesta na kome će se vršiti kotvljenje, ubacuje se u sredinu čeličnog cilindra bez dna, a prostor između zidova cilindra i jezgra se puni injekcionom masom koja će se koristiti za primarno injektiranje probnih i stalnih sidara. Posle isteka vremena koje je potrebno da injekciona masa dobije potrebnu čvrstoću, vrši se opterećenje jezgra sve do loma veze malter - stena.

Serijom ovakvih inverznih ispitivanja sa različitim dužinama prijanjanja dobijaju se predhodni rezultati o čvrstoći na smicanje veze malter - stena.

Na osnovu ovako dobijenih rezultata treba odrediti minimalnu dužinu sidrenja za sidro najmanje nosivosti iz grupe serija koja će se podvrgnuti probnom opterećenju.

Posle ovoga treba izvršiti dimenzionisanje kabla od koga će se izraditi probna sidra, tako da prilikom ispitivanja sigurno dodje do čupanja sidra, a ne do kidanja kabla. Dužina kotvljenja probnih sidara treba da se, po mogućstvu, odredi tako da se već probnim opterećenjem dobije usvojeni koeficijent sigurnosti na čupanje.

Tek na osnovu rezultata probnog opterećenja prve serije sidara (sidra sa najmanjom silom zatezanja) treba odrediti dužinu kotvljenja za sledeće serije probnih sidara držeći se principa od manjeg na većem.

Po ovoj metodici treba izvršiti ispitivanje probnim opterećenjem u dve ili tri kvazihomogene zone koje prema proceni imaju najlošije mehaničke karakteristike.

#### 4. TEHNIČKI USLOVI SIDRENJA

S obzirom da su adheziona sidra sa kotvljenjem na ograničenoj dužini bušotina ujedno i najsluženija, kako po konstrukciji, tako i po metodici postavljanja, posebno će se posvetiti pažnja tehničkim uslovima sidrenja sa ovakvim sidrima.\*) Na sl.4.1 ilustrovane su najvažnije etape sidrenja u stenskim masama i aluvijalnim naslagama.

Potpuni tehnički uslovi treba da obuhvate sledeće operacije:

- Izrada bušotine
- ispitivanje vodopropustljivosti
- izrada sidara
- ugradjivanje sidara
- primarno injektiranje
- postavljanje sidrenih ploča i obrazovanje glave sidra
- prednaprezanje
- sekundarno injektiranje
- kontrola sila u sidrima\*\*)
- zaštita sidara od korozije\*\*)

\*) Za ostala sidra, kako adheziona, tako i za sidra sa ukotvljenjem na jednom mestu, tehnički uslovi nisu posebno isticani, ali se mogu odrediti na osnovu onoga što je izneto u delu teksta ovog rada koji se odnosi na ovakva sidra, i ovih tehničkih uslova.

\*\*\*) Iako suštinski pripadaju tehničkim uslovima, ove dve operacije su u ovom tekstu obradjene kao odvojena poglavlja. Ovo je učinjeno zbog toga što je njihov značaj, naročito ako su u pitanju sidra od visokovrednog čelika, izuzetno veliki.

zalepljene na zidovima. Najefikasnije ispiranje bušotina vrši se smesom vode i vazduha pod pritiskom koja se preko račve uvodi u bušotinu.

Ispitivanje vodopropustljivosti bušotine treba da se vrši po postupku koji je ustaljen u našoj tehničkoj praksi.

Ako se konstatuje da je vodopropustljivost velika, bušotinu treba zainjektirati i posle toga je naknadno izbušiti kroz injekcionu masu.

Posle završetka ispitivanja vodopropustljivosti bušotine koje su nagnute na dole, potrebno je da se iz njih odstrani voda. Ovo se postiže tako što se u bušotinu uvodi samo vazduh pod pritiskom i bušotina se izduvava sve dok iz nje izlaze čestice vode.

#### 4.3 IZRADA SIDARA

Sidra mogu da se rade u prostoru radilišta ili van njega. S obzirom na karakter ovog rada, kao i činjenicu da je proizvođač ovih sidara najkompetentniji za ovaj posao, nismo u mogućnosti da damo detaljne pojedinosti o načinu izrade sidara.

Medjutim, s obzirom na metodologiju prilaska problemima ovakve vrste, smatramo da je potrebno obuhvatiti ovaj problem posebnom tačkom tehničkih uslova, s tim što će prilikom izrade projekta, ova vrsta posla morati da dobije odredjenu težinu.

#### 4.1 IZRADA BUŠOTINA

Bušotine u koje se ugradjuju sidra treba da imaju odredjene prečnike. Bušenje mora da se izvodi neposredno po otkrivanju lica stenske mase na kome će se izvršiti sidrenje. Bušotina treba da se izvede pre nanošenja prskanog betona, odnosno pre betoniranja konstrukcije koja se sidri. Dužina bušotine mora da bude nešto veća nego što idealne mere iz projekta zahtevaju.

Garnitura za bušenje može da bude rotacionog ili perkusionog tipa. Vrlo je važno da bušača garnitura može da se podesi tako da izvodi bušotine pod bilo kojim uglom u prostoru.

Ako se bušotine izvode pre nanošenja prskanog betona, onda je neophodno potrebno da se pre početka nanošenja prskanog betona postave sidrene ploče sa manžetnom i spiralom i da se fiksiraju u položaju koji će zauzimati za vreme prednaprezanja sidra. Osa manžetne mora da leži u produžetku ose bušotine.

Definitivno fiksiranje manžetne i spirale ostvaruje se na taj način što se prostor između stenske mase i sidrene ploče popuni ili prskanim betonom ili livenim betonom visoke otpornosti. Na taj način se ostvaruje sidreni blok koji je u stanju da prenese silu prednaprezanja na stensku masu.

#### 4.2 ISPITIVANJE VODOPROUSTLJIVOSTI

Posle završetka bušenja, svaku bušotinu treba dobro isprati da bi se iz nje odstranile fine čestice stenske mase koje su se istaložile u bušotini ili su ostale



#### 4.4 UGRADJIVANJE SIDARA

Po završetku izrade, svako sidro mora da dobije oznaku bušotine u koju će se ugraditi.

Ugradjivanje u bušotinu se vrši tako što se sidro ugura u bušotinu do dna a posle toga se povuče za cca 10 - 15 cm, kako bi se omogućilo nesmetano injektiranje kroz centralnu injekcionu cev.

Posle postavljanja sidara u željeni položaj, potrebno je izvršiti fiksiranje sidra. Ovo se postiže na taj način što se medjuprostor izmedju omotača tela sidra (deo koji se prednapreže) i zidova bušotine popunjava cementnim malterom koji se brzo stvrdnjava do velike čvrstoće. Na taj način je sidro fiksirano u željenom položaju a omogućeno mu je nesmetano pomeranje unutar plastičnog omotača.

U trenutku ugradjivanja sidra spirale, sidrena ploča i zaštitni limeni omotač na delu prolaska sidra kroz beton, odnosno prskani beton, treba da se nalaze na licu mesta pri čemu je već ugradjen betonski deo.

Ukoliko je ugradjivanje sidra izvršeno pre betoniranja, odnosno pre nanošenja prskanog betona, onda je posle fiksiranja sidra potrebno fiksirati i limeni omotač, spiralu i sidrenu ploču u željeni položaj, pa posle toga izvršiti ugradjivanje betona, odnosno prskanog betona.

#### 4.5 PRIMARNO INJEKTIRANJE

Primarno injektiranje sidra vrši se sa ciljem da se popuni prostor izmedju adhezionog dela sidra i zidova

bušotine, čime se postiže intimna mehanička veza sidra i stenske mase i aktivira kotva.

Za primarno injektiranje koristi se brzostvrđavajući cementni malter. Vodocementni faktor injekcione mase treba da bude 0.50.

Postupak primarnog injektiranja zavisi od položaja sidra u prostoru.

#### 4.5.1 Sidra sa padom naviše - uzlazna sidra

Ova sidra se moraju injektirati uzlaznim postupkom tako da injekciona masa puni bušotinu odozdo na gore. Ovo se postiže na taj način što se bušotina injektira preko kraćeg polietilenskog creva. U početku se injektiranje vrši bez pritiska sve dok iz centralnog dužeg injekcionog creva ne počne da ističe cementni malter u punom profilu. Posle toga se centralno injekciono crevo brzo ispere, kako bi se osposobila za naknadno primarno injektiranje.

Naknadno primarno injektiranje se izvodi preko centralnog injekcionog creva, pri čemu se zatvori kraće injekciono crevo. Tom prilikom injektiranje treba vršiti pod pritiskom od 10 - 15 kp/cm<sup>2</sup>. Injektiranje treba vršiti sve dotle dok se ustanovi da bušotina ne prima više injekcionu masu.

Posle injektiranja pod pritiskom potrebno je da se oba creva dobro isperu i da se sidro ostavi kako bi moglo da se obavi vezivanje injekcione mase. Nakon isteka perioda od 12 časova pristupa se još jednom naknadnom injektiranju, ovaj put preko centralnog injekcionog creva. Pritisak i kriterijum završetka injektiranja su isti kao u prethodnom slučaju.

#### 4.5.2 Horizontalna i silazna sidra

Kod sidara koja su ugradjena horizontalno ili su blago nagnuta na dole, primarno injektiranje se izvodi kroz centralno polietilensko crevo. Injektiranje se izvodi pri otvorenom kraćem crevu koje služi za evakuaciju vazduha u toku injektiranja, sve dok iz kratkog creva ne počne da izlazi injekciona masa u punom profilu. Posle se kratko crevo zatvara i injektiranje se nastavlja pod pritiskom od 10 - 15 kp/cm<sup>2</sup>.

Kriterijum završetka injektiranja je isti kao i kod uzlaznih sidara: bušotina se drži pod pritiskom sve dok se ne konstatuje da ne prima više injekcionu masu.

Iskustva koja postoje u svetu pokazuju da u cilju efikasnog injektiranja ne treba izvoditi horizontalna stenska sidra, već ih uvek treba izvoditi blago nagnuta na dole. Ovo zbog toga što se kod horizontalnih sidara ne može efikasno odstraniti vazduh za vreme punjenja bušotine injekcionom masom. Kod nagnutih sidara usta ventilacione cevi se nalaze na najvišoj tački onog dela bušotine koji se injektira, što omogućava kontinualno punjenje bušotine injekcionom masom.

#### 4.6 POSTAVLJANJE SIDRENIH PLOČA I OBRAZOVANJE GLAVE SIDRA

Ova operacija može da se završi odmah posle ugradjivanja sidra u bušotinu. Ukoliko to nije iz bilo kojih razloga uradjeno, potrebno je da se uradi pre prednaprezanja sidra, a neposredno posle primarnog injektiranja, kako se ne bi posebno čekalo na stvrdnjavanje betona ili prskanog betona u zoni glave sidra.

#### 4.7 PREDNAPREZANJE SIDRA

Prednaprezanje stenskih sidara za visoke prednaponske sile izvršiće se specijalnim uređajem za prednaprezanje koji isporučuje proizvođač.

Potrebno je da se obezbedi dovoljno slobodnog prostora za postavljanje ovih uređaja (videti sl.3.29 i 4.2)

Prilikom prednaprezanja stenskih sidara treba uvek da se izazove veća sila prednaprezanja od nominalne sile u statičkom proračunu. Oпитno opterećenje od koga treba prednapregnuti svako sidro treba da bude za 15% veće od nazivnog opterećenja iz statičkog proračuna.

Prednaprezanje preko nominalnog opterećenja radi se u cilju kontrole kvaliteta primarnog injektiranja kao i u cilju kontrole nosivosti materijala od koga su izradjena sidra.

Prilikom izrade projekta sidrenja potrebno je da se sva sidra detaljno specificiraju i obeleže.

#### 4.8 SEKUNDARNO INJEKTIRANJE

Sekundarno injektiranje sidara izvodi se sa ciljem da se tela sidra zaštite od korozije i da se obezbedi trajna sila prednaprezanja u sidru.

S obzirom da prilikom sekundarnog injektiranja injeksiona masa prodire između žica, odnosno užadi od kojih je napravljeno sidro na delu tela sidra, (dužina koja se prednapreže), posle sekundarnog injektiranja nije više moguće

da se vrši regulisanje sila u sidrima. Zbog toga sekundarno injektiranje mora da se obavi tek nakon zaustavljanja procesa konvergencije slobodne površine sidrenja, odnosno tek pošto se na osnovu merenja ustanovi da je konvergencija u funkciji vremena uniformno opadajući proces sa tendencijom zaustavljanja u doglednom vremenskom periodu. U tom slučaju mora da postoji sigurnost da procenjena ukupna naknadna konvergencija nakon isteka vremenskog perioda neće izazvati povećanje sila u sidrima veće od maksimalnog opterećenja za dato sidro.

Obično se za sekundarno injektiranje sidara koristi injeksiona masa od portland cementa sa vodocementnim faktorom  $W/C = 0,4$ .

Postupak sekundarnog injektiranja zavisi od položaja sidra u prostoru.

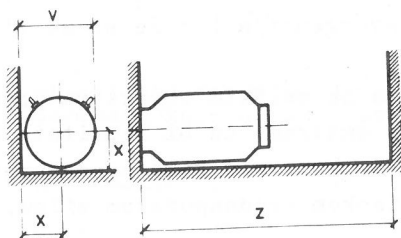
#### 4.8.1 Uzlazna sidra

Sekundarno injektiranje sidara koja se pružaju u usponu odozdo na gore vrši se kroz kratko polietilensko crevo koje je uloženo u zaštitni limeni omotač neposredno iza sidrene ploče. U početku injektiranja slobodan prostor se puni injeksionom masom sve dok ova ne počne da ističe kroz dugačko crevo koje se proteže sve do athezionog dela sidra. Posle toga se kratka cev zatvori i nastavi injektiranje preko dugačke polietilenske cevi sve dok se ne postigne injeksioni pritisak od  $10 \text{ kp/cm}^2$ . Kriterijum završetka je isti kao i kod primarnog injektiranja.

#### 4.8.2 Horizontalna i silazna stenska sidra

Kod ovih sidara injektiranje se vrši odozdo na gore - uzlaznim postupkom. U početku injektiranja slobodan

prostor se puni kroz dugačku polietilensku cev sve dok se malter ne pojavi na glavi sidra odnosno na kratkoj polietilenskoj cevi. Posle toga zatvara se dugačka polietilenska cev a injektiranje se nastavlja kroz kratku cev, u svemu kao u prethodnom stavu.



sl. 4.2.

## 5. KONTROLA SILE U SIDRIMA

S obzirom na široku primenu sidara za visoke prednaponske sile opravdano se postavlja pitanje kontrole sile u ovim sidrima.

Ovo pitanje je vrlo važno, jer svetska iskustva u vezi sa primenom prednapregnutih sidara u stenskim masama pokazuju da kod velikih podzemnih prostorija odnosno na površini terena dolazi do pojave deformacija slobodnih površina, odnosno do njegovog ulaženja u slobodni prostor. Ova pojava naziva se konvergencija i može se meriti.

S obzirom da se na velikim objektima predviđa i merenje konvergencije, smatramo da bi rezultate ovog merenja trebalo koristiti za kontrolu sile prednaprezanja u ugrađenim sidrima sa visokom prednaponskom silom.

S druge strane, kontrola sile u sidrima može se izvršiti direktnim merenjem sile pomoću uređaja za prednaprezanje, odnosno pomoću specijalnih mernih kutija.

### 5.1 KONTROLA NA OSNOVU MERENJA KONVERGENCIJE

#### 5.1.1 Oznake

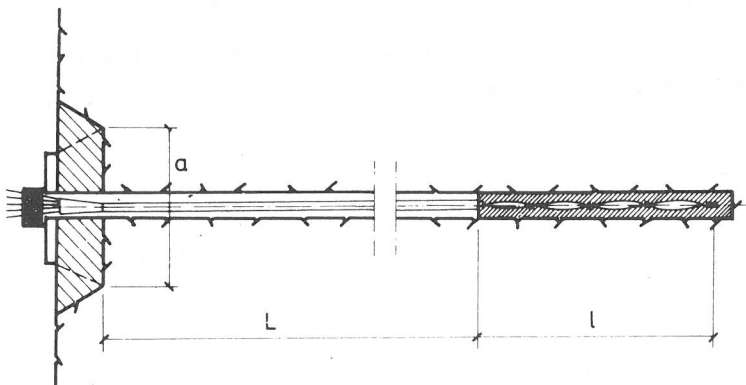
Za proračun se usvajaju sledeće oznake:

- $V_0$ , sila prednaprezanja (Mp)
- $F_e$ , površina poprečnog preseka kabla od koga je napravljeno sidro (cm<sup>2</sup>)
- $\sigma_e$ , normalni napon zatezanja u žicama kabla (kp/cm<sup>2</sup>)

- $\delta_e$ , istezanje tela sidra ( cm)
- E, modul elastičnosti čelika (kp/cm<sup>2</sup>)
- D, modul deformacije stenske mase (kp/cm<sup>2</sup>)
- $F_a$ , površina stenske mase koja je direktno opterećena dejstvom jednog sidra (cm<sup>2</sup>)
- $q_0$ , kontaktni pritisak na površini  $F_a$  (kp/cm<sup>2</sup>)
- $\delta_F$ , deformacija stenske mase pod opterećenjem  $q_0$  (cm)

Na sl.5.1 dat je shematski prikaz sidra sa geometrijskim veličinama koje ulaze u proračun:

- L dužina prednaprezanja sidra ( cm)
- l dužina kotvljenja ( cm)



SL.5.1. Shematski prikaz i geometrijske veličine



### 5.1.2 Računske pretpostavke

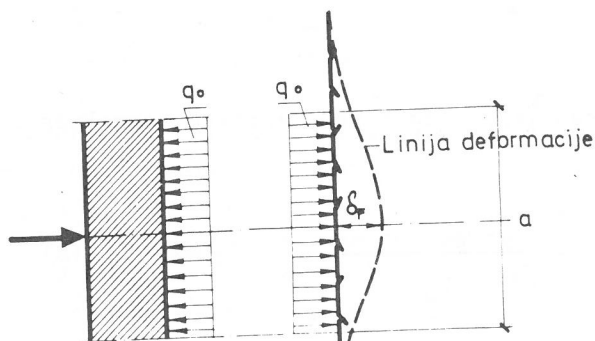
Usvajaju se sledeće računске pretpostavke:

- dužina prednaprezanja (L) dovoljno je velika i zona kotvljenja nije obuhvaćena konvergencijom i smatra se nepomerljiva u prostoru;
- opterećenje koje se preko sidrene čaure, sidrene ploče i betonskog podmetača prenosi na stenu je ravnomerno podeljeno i deluje na površini kvadratnog oblika sa stranicom a;
- u važnosti su pretpostavke o idealnoj sredinstenske mase;
- kotvljenje je potpuno i nema plastičnih pojava u zoni kotvljenja.

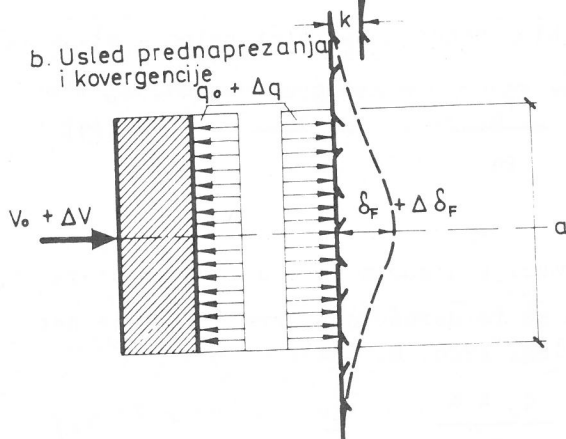
### 5.1.3 Računska shema

Na sl.5.2 data je računska shema dejstva prednapregnutog stenskog sidra.

a. Samo usled prednaprezanja



b. Usled prednaprezanja  
i kovergencije



SL.5.2 Deformacija slobodne površine

#### 5.1.4 Proračun

Posle izvršenog prednaprezanja dolazi do uspostave ljanja ravnotežnog stanja u stenskoj masi opterećenoj ravnomerno podeljenim opterećenjem  $q_0$  preko kvadratne površine sa stranicom  $a$ .

Normalni napon u čeliku dat je izrazom:

$$\epsilon_e = \frac{V_o}{F_e} \quad (1)$$

Izduženje sidara pod dejstvom normalnog napona dato je izrazom:

$$\delta_e = \frac{\epsilon_e L}{E_s} = \frac{V_o L}{E_e F_e} \quad (2)$$

Kontaktni napon u spojnici beton - stena iznosi:

$$q_o = \frac{V_o}{F_a} = \frac{V_o}{a^2} \quad (3)$$

Deformacija stenske mase u centru opterećenja površine dobija se iz uprošćenog izraza koji je dao Schleicher (Bauing, 1926. S. 934).

$$\delta_f = \frac{q_o \times a}{D_f} \quad (4)$$

Posle ugradjivanja sidra i njegovog prednapreznja nastavlja se sa radovima sve do dobijanja definitivne konture iskopa. Za vreme iskopa, kao i u izvesnom periodu po njegovom završetku, dolazi do preraspodele napona u stenskoj masi, što kao posledicu izaziva ulaženje konture iskopa u slobodan prostor - konvergenciju.

Konvergenција se može meriti preciznim geodetskim ili direktnim merenjem.

Usled konvergenције dolazi do promena položaja spoljne -glave sidra što, s obzirom na promenljivost zone u kojoj je izvršeno sidrenje, izaziva dodatno izduženje sidra na dužini prednaprezanja  $L$ . Kao posledica toga sidro i stenska masa dolaze u novo ravnotežno stanje.

Usled ovog novog ravnotežnog stanja javlja se nova sila u sidru  $V_0 + \Delta V$ , novi kontaktni napon  $q_0 + \Delta q$ , nova deformacija u centru opterećenja površine i novo izduženje sidra.

U procesu preopterećenja sidra usled konvergenције dolazi do naknadne deformacije stenske mase ispod opterećene površine, koja je izazvana sprečenim pomeranjem lica iskopa usled dejstva sidra. Ako ovu veličinu označimo sa  $\Delta \delta_F$  možemo da napišemo:

$$\Delta \delta_F = K - \Delta \sigma_e \quad (5)$$

Iz uslova ravnoteže posle nastupanja konvergenције (sl. 5.2) izlazi:

$$V_0 + \Delta V = (q_0 + \Delta q) F_a \quad (6)$$

odnosno, pošto je  $q_0 \cdot F_a = V_0$ :

$$\Delta V = \Delta q \cdot F_a \quad (7)$$

odavde sledi:

$$\Delta q = \frac{\Delta V}{F_a} \quad (8)$$

S druge strane, na osnovu izraza (2) imamo:

$$\Delta \delta_e = \frac{\Delta V \cdot L}{E_e \cdot F_e} \quad (9)$$

Isto tako prema izrazu (4), u kome  $\delta_f$  zamenimo sa  $\Delta \delta_f$  a  $q_0$  sa  $\Delta q$ , dobijamo:

$$\Delta \delta_f = \frac{\Delta q \cdot a}{D_f} \quad (10)$$

Ako u izraz (5) unesemo vrednosti  $\Delta \delta_e$  i  $\Delta \delta_f$  iz izraza (9) i (10) dobijamo:

$$\frac{\Delta q \cdot a}{D_f} = K - \frac{\Delta V \cdot L}{E_e \cdot F_e} \quad (11)$$

Kada u (11) unesemo vrednost  $\Delta q$  iz (8) dobijamo:

$$\frac{\Delta V \cdot a}{D_f \cdot F_a} = K - \frac{\Delta V \cdot L}{E_e \cdot F_e} \quad (12)$$

Sredjivanjem ovog izraza dobijamo

$$\Delta V = \frac{K}{C} \dots \dots \dots \text{ (cm)} \quad (13)$$

gde je dato C izrazom:

$$C = \frac{1}{D_f} \cdot \frac{a}{F_a} + \frac{L}{E_e} \cdot \frac{1}{F_e} \quad (\text{cm/kp}) \quad (14)$$

Na levoj strani jednačine (13) nalazi se veličina  $\Delta V$  koja predstavlja preopterećenje sidra izazvano konvergencijom. Na desnoj strani ovog izraza, u imeniocu je veličina  $C$  koja je s obzirom na izraz (14) konstantna veličina, a u brojiocu je vrednost  $K$  koja se meri.

Napomena:

Da bi mogla da se primeni ova metoda kontrole sile u sidrima, potrebno je da se konvergencija  $K$  meri u tačkama koje su dovoljno udaljene od glave sidara. Najbolje je da se  $K$  meri u težištu geometrijske figure koja se dobija kada se za teme-  
na te figure usvoje glave sidara.

Ukoliko se prilikom merenja konvergencije usvoji da se vrši opažanje konvergencije glava sidara koje vire iz stenske mase, preopterećenje sidara  $\Delta V$  može se direktno izračunati iz izraza (9).

$$\Delta V = \frac{\Delta \delta_e \cdot L}{E_e \cdot F_e} \quad (15)$$

U izrazu (15) na desnoj strani jednačine su poznate veličine  $L$ ,  $E_e$  i  $F_e$ , dok se  $\Delta \delta_e$  direktno meri.

Pored napred iznetih računskih postupaka za iznalaženje preopterećenja sidara usled konvergencije slobodne površinske stenske mase, u sidrima se može direktno meriti veličina sile preopterećenja. Ovo se radi pomoću presa kojima se vrši prednaprezanje sidara, na taj način što se presa uključuje u kabl od koga je izrađeno sidro i aktivira se sve dok se ne oslobodi sidrena čaura. Sila koja se u tom trenutku očita na presi nešto je veća od stvarne sile koja je postojala

u telu sidra pre aktiviranja prese, ali je ovaj postupak vrlo efikasan jer se u isto vreme može izvršiti i korekcija sile na projektom predviđenu vrednost.

Direktno merenje sile u prednapregnutim sidrima može se obaviti pomoću mernih doznih (dinamometara) koji se ugradjuju između glave sidra i stenske mase, pri čemu se sila očitava na daljinu.

S obzirom na veliki broj sidara koja se ugradjuju, direktno merenje bi zahtevalo mnogo vremena i izradu skele za pristup do glava sidara, u uslovima kada je već završen objekat koji se osigurava sidrima.

Zbog toga se preporučuje da se kao osnovna metoda kontrole sile u sidrima primeni jedna od računskih metoda, a da se, ukoliko se računске metode pokažu da je to potrebno, izvrši samo korektura sile u preopterećenim sidrima.

Pored toga, preporučuje se da se direktna metoda kao "štih proba" čak i u slučaju da se računskim metodama ne dobiju nepovoljni rezultati.

## 6. ZAŠTITA SIDARA OD KOROZIJE

Zaštita od korozije stenskih sidara koja imaju ulogu stalnog osiguranja pojedinih elemenata objekta je vrlo važan problem, jer visokovredni čelici od kojih se prave dugačka prednapregnuta sidra imaju jednu, još nedovoljno proučenu osobinu, da su u napregnutom stanju znatno podložniji dejstvu korozije nego kada nisu napregnuti.

U principu, najefikasnija trajna zaštita kabla od korozije postiže se sekundarnim injektiranjem unutrašnjeg dela sidra.

Medjutim, sekundarno injektiranje treba da se izvede tek pošto se osmatranjem ustanovi da ne postoji tendencija promene naponskog stanja u stenskoj masi sa vremenom.

Da ne bi došlo do korozije tela sidra za vreme od ugradjivanja do sekundarnog injektiranja, prilikom izrade sidara potrebno je da se deo kabla koji se prednapreže premaže nekim zaštitnim sredstvom i tek posle toga uvuče u zaštitnu cev koja se proteže od glave sidra do dela na kome se realizuje sidrenje.

Sredstvo za zaštitu sidra od korozije treba da ima iste osobine kao i sredstvo za zaštitu kablova od prednapregnutog betona.

Prilikom premazivanja kabla odnosno pojedinačnih žica koje sačinjavaju kabl, zaštitu treba izvršiti samo na delu kabla koji se neće primarno injektirati u cilju kotvljenja. Ukoliko bi se zaštitnim antikorozionim premazom obuhvatio deo sidra na kome se vrši kotvljenje putem adhezije, smanjilo bi se prijanjanje između cementnog maltera i kabla, što može da dovede u pitanje efikasnost ukotvljenja i veliko smanjenje koeficijenta sigurnosti na čupanje.



Ova činjenica predstavlja veliku prepreku prilikom rešavanja zaštite sidara od korozije, jer je za sada praktično nemoguće zaštititi sidro od korozije nekim premazom koji neće smanjiti prisanjanje između čelika i maltera. Sekundarnim injektiranjem se u slučaju premazivanja čelika ne može "zarobiti" sila prednaprezanja.