

INSTITUT ZA VODOPRIVREDU „JAROSLAV ČERNI“



POSEBNA IZDANJA

KNJIGA

22

INSTITUT ZA VODOPRIVREDU „JAROSLAV ČERNI“

Omilj Marković

**SIDRENJE
STENSKIH MASA**

POSEBNA IZDANJA

KNJIGA

22

P R E D G O V O R

Planom poslediplomske nastave na Šmeru za geotehniku, Geološkog odseka, Rudarsko-geološkog fakulteta, predviđeno je da se u okviru letnjeg semestra školske 1976./77. godine uvede predmet "Sidrenje stenskih masa".

Čini mi veliku čast što mi je nastavni kolegijum ukazao poverenje pozivom da održim predavanja iz ovog predmeta.

U dogovoru sa predmetnim nastavnikom prof. B. Kujundžićem, pristupio sam izradi ovih skriptata. Njihova prvashodna namena je da pomogne slušaocima spremanje ispita, ali, imajući u vidu nedostatak stručne literature iz ove oblasti na našem jeziku, smatram da skripte mogu koristiti i inženjerima praktičarima koji se u svome radu sreću sa ovom problematikom. Stoga je ovim skriptama obuhvaćena i materija koja nije bila predmet nastavnog programa i koja nije obavezna za ispit. Slušaoci koji su redovno pohađjali predavanja lako će izvršiti izbor materije potrebne za uspešno polaganje ispita, a praktičarima će ovako dopunjena skripta biti od veće koristi.

Osnovni materijal koji je autor koristio za izradu ovih skriptata bila je "Studija sidrenja stenskih masa u cilju poboljšanja njihovih mehaničkih karakteristika" izdatoga u Institutu za vodoprivredu "Jaroslav Černi" 1970. Izradu Studije finansirao je Savezni fond za naučni rad u okviru makroprojekta: "Razvoj konstrukcije u građevinarstvu putem teorijskih i eksperimentalnih istraživanja".

Kako prilikom izrade pomenute Studije, tako i prilikom izrade ovih skriptata, autoru su bile od velike koristi konsultacije sa prof. Branislavom Kujundžićem, koji je, kako svojim ličnim savetima i usmeravanjima, tako i svojom bogatom dokumentacijom, prevodima i bibliografijom, a naročito skriptama iz mehanike stena i geotehničkih melioracija koja je napisao

II

redovnu i poslediplomsku nastavu na Rudarsko-geološkom i Gradjevinskom fakultetu u Beogradu i Gradjevinskom fakultetu u Zagrebu, koje mi je stavio na raspoloženje, mnogo doprineo da ovaj materijal ugleda svetlo dana.

Veliku pomoć je pružio i kolega Milan Tomaš, dipl.inž. slušalac poslediplomske nastave, u tehničkoj obradi i prelomu skripata, kao i kolektiv OOUR Odeljenja za konstrukcije Instituta za vodoprivredu "Jaroslav Černi" koji je iz fonda za naučni rad za 1977. god. finansiralo prekucavanje teksta, izradu slika i objavljivanje ovog rada.

Na kraju, želim da ovim putem zamolim sve one, koji iz bilo kog razloga budu čitali ova skripta, da mi ukažu na nedostatke koje budu uočili i da mi dostave svoje primedbe i sugestije.

Beograd, juna 1978.

Autor,

S a d r ž a j

	str.
1. UVOD	1
2. OPŠTE O SIDRENJU	4
2.1 Istorijski razvoj sidrenja	4
2.2 Definicije sidrenja	5
2.3 Dejstvo sidrenja na poboljšanje karakteristika stenske mase	7
2.3.1 Uticaj na heterogenost	7
2.3.2 Uticaj na snizotropiju	9
2.3.3 Uticaj na ispucalost	11
2.3.4 Uticaj na napregnutost	11
3. NAČIN DEJSTVA SIDARA	13
3.1 Opšta razmatranja i definicije	13
3.1.1 Delovi sidara	13
3.1.2 Mehaničko dejstvo sidara	14
3.1.3 Elementi sidrenja	19
3.2 Kotvljenje	26
3.3 Sidra sa ukotvljenjem na jednom mestu	34
3.3.1 Sidra sa klinom i rascepkom	34
3.3.2 Sidra sa ekspanzionom čsurom	40
3.4 Sidra sa produženim ukotvljenjem adhezijskih sidra	48
3.4.1 Analiza kotvljenja kod adhezijskih sidra	50
3.4.2 Sidra sa ukotvljenjem na celoj dužini	59
3.4.3 Sidra sa ukotvljenjem na delu bušotine	64
3.4.4 Dugačka prednapregnuta sidra	73

4. TEHNIČKI USLOVI SIDRENJA	86
4.1 Izrada bušotine	88
4.2 Ispitivanje vodopropustljivosti	88
4.3 Izrada sidara	89
4.4 Ugradjivanje sidara	90
4.5 Primarno injektiranje	90
4.5.1 Sidra sa padom naviše - uzlazna sidra	91
4.5.2 Horizontalna i silazna sidra	92
4.6 Postavljanje sidrenih ploča i obrezovanje glave sidra	92
4.7 Prednaprezanje sidra	93
4.8 Sekundarno injektiranje	93
4.8.1 Ulazna sidra	94
4.8.2 Horizontalna i silazna stenska sidra	94
5. KONTROLA SILE U SIDRIMA	96
5.1 Kontrola na osnovu merenja konvergencije	96
5.1.1 Oznake	96
5.1.2 Računske pretpostavke	98
5.1.3 Računska shema	98
5.1.4 Proračun	99
6. ZAŠTITA SIDARA OD KOROZIJE	105
7. PRIMENA SIDRENJA	107
7.1 Sidrenje u podzemnim radovima	107
7.1.1 Sidrenje u cilju zaštite od ispadanja	107
7.1.2 Sidrenje u cilju podgradjivanja	109
7.1.3 Primena sidrenja kombinovana sa drugim postupcima	110
7.2 Sidrenje na površini terena	117
7.2.1 Direktna primena sidara u stenskoj masi	117

7.2.2 Ostale primene	121
8. PRORAČUN SIDRENJA	126
8.1 Opšte	126
8.2 Proračun sidrenja u podzemnim redovima	129
8.2.1 Proračun krovine	129
8.2.2 Proračun bokova	141
8.2.3 Uticaj vode u diskontinuitetima	144
8.3 Savremeni postupci	145
8.3.1 Uopštensna teorija	145
8.3.2 Proračun bokova	152
8.4 Proračun sidrenja na površini terena	164
8.4.1 Osigurenje stenskih masa	165
8.4.2 Usidrenje koncentrisane sile	165
9. PROVERA EFIKASNOSTI SIDRENJA	171
9.1 Probna merenja	171
9.2 Kontrolna merenja	174
9.2.1 Merenja u cilju provere sile kotvljenja	174
9.2.2 Merenje u cilju provere efikasnosti sidrenja	175
9.2.3 Merenja u cilju provere mogućnosti sidrenja	177

SIDRENJE STENSKIH MASA

(Predavanje na posleddiplomskoj nastavi, smera za geotehniku Rudarsko-geološkog fakulteta, III semestra, 1976/77. školska godina)

1. UVOD

Veliki zamah privrednog razvoja, koji je u poslednje vreme zahvatio skoro sve zemlje sveta, nametnuo je projektantima i graditeljima sve teže i složenije probleme prilikom radova u stenskim masama. Razlog porasta složenosti problema leži u dvema činjenicama: (1) probrane lokacije sa dobrim geotehničkim karakteristikama prilikom izgradnje prethodnih objekata i (2) sve veće dimenzije kako nadzemnih tako i podzemnih objekata koji se grade u stenskim masama i shodno tome veća specifična i totalna opterećenja koja ovi objekti treba da prenesu na stensku masu.

Pored toga, sve veća mehanizovanost radova kako na površini terena tako i u podzemlju i znatno povećanje brzine gradjenja zahtevali su "čistija" gradilišta, sa manjim brojem radnika, uz istovremen porast njihove kvalifikovanosti.

Ako se ovome doda i činjenica da se u savremenoj praksi zahteva sve veće poznavanje opšte sigurnosti objekata uz tendenciju svesnog snižavanja vrednosti koeficijenta sigurnosti iz ekonomskih razloga, moralo je da dodje do razvitka postupaka kojima se poboljšavaju mehaničke karakteristike stenske mase.

U takve postupke za poboljšanje mehaničkih karakteristika stena, koji istovremeno ispunjavaju sve napred navedene zahteve, spada i sidrenje.

Sidrenje ili ankerovanje je našlo široku primenu u različitim domenima tehničke delatnosti, posebno u rudarstvu, gde je prvo i nastalo i gradjevinarstvu, gde je našlo vrlo različitu primenu.

U rudarskim radovima sidrenje se uglavnom primenjuje u podzemlju; u gradjevinarstvu i u podzemlju (saobraćajni i hidrotehnički tuneli, kaverne, cevi i okna pod pritiskom) i na površini terena (osiguranje prirodnih i veštačkih kosina, zaštita saobraćajnica od odronjavanja, ankerovanje kranskih staza, ojačanje visokih brana, osiguranje gradjevinskih jama bez razupiranja, sidrenje oslonaca mostova i mnogi drugi površinski radovi); u vojnoj praksi sidrenje se široko primenjuje prilikom izrade velikih podzemnih prostorija kao što su skloništa, hangeri, skladišta i dr. kao i za fortifikacija na teškim terenima, stalne i privremene mostove i sl.

Sidrenje, kao mera ojačanja stenske mase, u početku se razvijalo parcijalno; u okviru rudarstva i gradjevinarstva. Danas je sidrenje integralni deo mehanike stena, odnosno mehanike stena koja se bavi poboljšanjem svojstava stenske mase - geotehničkih melioracija.

U okviru ovih skriptata problem sidrenja biće obradjen sa sledećih aspekata: opšte o sidrenju (istorijet, definicija i dejstvo sidrenja na poboljšanje osnovnih karakteristika stenskih masa); opšta razmatranja o kotvljenju; mehanizam dejstva sidara (podela sidara prema načinu kotvljenja, principi rada, načini ugrađivanja i dobre, odnosno loše strane pojedinih vrsta sidara); primena sidrenja u podzemnim radovima, na površini terena i kombinovano sa drugim postupcima; proračun sidrenja (klasične i savremene metode) na površini i u podzemnim radovima kao i merenja koja je potrebno da se izvedu u cilju dobijanja karakteristika sidara, odnosno kontrole njihovog delovanja na objektu na kome su ugrađjena.

Skriptama nisu obuhvaćeni praktični primeri primene sidrenja koji su inače obuhvaćeni nastavnim programom. Slušaoci će moći da koriste objavljene radove na našem jeziku i prevode sa stranih jezika koje je i predavač koristio u toku predavanja. Savremene tehnike umnožavanja omogućiće im da, zajedno sa ovim skriptama, prikupe na jednom mestu potrebnu dokumentaciju za uspešno savladjivanje gradiva i primenu stečenog znanja u njihovoj inženjerskoj praksi.

Na kraju dat je spisak bibliografskih podataka koji je načinjen u toku prikupljanja materijala za pomenutu studiju i skripta /posebno su zaokruživanjem označene anotacije koje su direktno korišćene prilikom izrade ovog materijala/.

2. OPŠTE O SIDRENJU

2.1 ISTORIJSKI RAZVOJ SIDRENJA

Sidrenje (ankerovanje) je ustvari prilično star postupak, mada je njegova industrijska primena novijeg datuma.

Postoje podaci da je sidrenje praktikovano još prošlog veka u Anžerskim rudnicima škriljaca, tako što su u pravcu škriljevosti zabijani duži klinovi od suve kestenovine, koja je docnije pod uticajem vlage bubrila i kompaktizovala stensku masu u pravcu upravnom na škriljevost.

U evropskim zemljama bilo je početkom ovog veka pokušaje se sidrenjem krovine u rudnicima, ali je to ostalo u ograničenoj primeni.

U SAD je počela primena ovog postupka u rudnicima već od 1930. godine. Medjutim, tek posle 2. svetskog rata počela je masovna i sistematska primena sidara i to prvo u SAD (U.S. Bureau of Mines), a docnije i u evropskim zemljama.

Danas^{se/} u svim zapadnoevropskim zemljama masovno primenjuje sidrenje krovine u rudnicima. U Lorenskim rudnicima gvozdja na primer, postavljaju se sidra u vrednosti više od 100.000 dolara mesečno, a prilikom pobijanja tunela ispod Mont Blanc-a ugradjeno je više stotine hiljada sidara čija ukupna dužina iznosi oko 1000 km, što je ujedno i svetski rekord za jedan objekat (podatak iz 1970.).

Masovna i sistematska primena u građevinarstvu je sasvim novog datuma. U svim većim organizacijama koje se bave izvođenjem radova u steni sidrenje je steklo pravo građanstva.

U našoj zemlji, pored primene u rudarstvu (Trepča, Bor) sidrenje je u građevinarstvu primenjeno za sanaciju desnog nizvodnog boka brane Jablanica (posle završene izgradnje brane i nekoliko godina eksploatacije), za sanaciju leve obale brane Grančarevo, za osiguranje od uzgona slapišta brane Djerdap, osiguranje useka na pruzi Nikšić - Titograd i td. Primena sidara prilikom probijanja tunela "Zlatibor" na putu Beograd - Bar donela je izvodjačima velike uštede u novcu i vremenu. U toku je sidrenje potpornih zidova na lokaciji nove putničke železničke stanice Beograd u Prokopu.

2.2 DEFINICIJA SIDRENJA

Sidrenje kao postupak primenjuje se na više različitih načina, u velikom broju raznovrsnih situacija, pa smatramo za potrebno da se odmah na početku pokuša da da kratka definicija ovog postupka.

Smatram da je na početku potrebno istaći razlike u pojmovima "sidrenje" i "kotvljenje". U skriptama je dosledno vodjeno računa o tome.

Za razliku od pojma "sidrenje" koji se odnosi na celokupni postupak primene ojačanja stenskih masa, pojam "kotvljenje" odnosi se samo na vezu između sidra i medijuma u kome se vrši sidrenje.

Često se u nas umesto "sidrenje" upotrebljava izraz "ankerovanje", a pojam "kotvljenje" zamenjuje izrazom "sidrenje".

Sidro i kotva su naše reči i treba ih koristiti, pri čemu treba voditi računa o suštinskoj razlici između ova dva pojma.

Sidrili (ankerovati) stensku masu znači ubacivati u nju metalne šipke koje će vršiti ulogu ojačanja i omogućiti joj da primi naprezanja koja stenska masa po svojoj konstituciji i svojim mehaničkim karakteristikama nije u stanju da primi.

S obzirom da ova skripta obuhvataju materiju u kojoj će biti govora uglavnom o prednapregnutim sidrima, gornju definiciju ćemo dopuniti na sledeći način:

- sidrenje je jedan od postupaka melioracije stenskih masa kojim se poboljšavaju mehaničke karakteristike stenske mase na taj način što se utezanjem stenske mase u nju veštački unose unutrašnje sile čiji pravac i intenzitet biramo tako da menjamo po našoj želji naponsku sliku u jednom delu stenske mase.

Ova definicija je univerzalnija s obzirom da objašnjava suštinu delovanja sidara i u sklopu stenska masa - objekat.

Sidrenje se primenjuje sa ciljem da se stenska masa osposobi da može da osigura bezbednost, kako u toku izvršenja radova u steni, tako i u docnijoj eksploataciji objekta izgrađenog u podzemlju ili na površini terena. Treba napomenuti i to da je sidrenje efikasno samo u sredinama koje pokazuju elastične ² osobine, dok je u plastičnim sredinama manje efikasno.

Sidrenje se u praksi primenjuje u dva slučaja:

- 1° Kao unapred predviđena mera, obuhvaćena projektom koncepcijom i
- 2° Kao poslednja, unapred ne predviđena, mera u cilju sanacije oštećenja ili sprečavanja rušenja.

Iskustva pokazuju da je u prvom slučaju sidrenje ekonomski daleko opravdanije nego u drugom.

U prvom slučaju ono je i tehnički i ekonomski opravdana mera, dok je u drugom slučaju samo tehnička mera.

2.3 DEJSTVO SIDRENJA NA POBOLJŠANJE OSNOVNIH KARAKTERISTIKA STENSKE MASE

Stenske mase kao realne sredine su po pravilu heterogene, anizotropne, ispucale i napregnute.

Gore navedena svojstva su opšte fizičke i strukturne karakteristike stenskih masa^x.

Primena sidrenja prilikom radova u stenskim masama utiče na promenu na bolje ovih karakteristika tako što smanjuje njihov uticaj na stensku masu u smislu približavanja realne - diskontinualne sredine, idealnoj - kontinualnoj.

Osnovna definicija idealnih sredina koje razmatra teorija neprekidnih sredina je da su kontinualne, izotropne i homogene. Ove idealizacije omogućuju da se prilikom odredjenja stanja napona i deformacija u ovakvim sredinama može sa uspehom da primeni klasičan matematički aparat i da se u velikom broju slučajeva dobiju rešenja u zatvorenom obliku.

2.3.1 Uticaj na heterogenost

Osnovna definicija homogenosti je da je to osobina nekog tela da u svakoj svojoj tački ima isto svojstvo S obzirom na karakter ove studije i praktični značaj proučavanja

^x Ovo je definicija koju je prvi formulisao prof. B. Kujundžić: Mehanika čvrstih stenskih masa, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, 1962

u oblasti mehanike stene, od interesa su homogenosti mehaničkih karakteristika stenskih masa, odnosno homogenost njihovih mehaničkih čvrstoća i strukturna homogenost.

Kao što je poznato stenska masa ne poseduje nijednu od ove dve homogenosti. Razlog nehomogenosti mehaničkih čvrstoća stenske mase treba tražiti u njenoj strukturnoj nehomogenosti. Ova pak, ima uglavnom tri vida: nehomogenost u pogledu: (1) strukture zrna, (2) ispucalosti i (3) slojevitosti.

(1) Nehomogenost stenskih masa u pogledu strukture zrna i njihovih međusobnih veza, javlja se odmah, u trenutku nastajanja stenske mase, bilo prilikom izlučivanja, taloženja ili rekristalizacije i u toku metamorfoze. Odmah treba reći da je ovaj vid strukturne nehomogenosti od najmanjeg značaja za proučavanje nehomogenosti mehaničkih karakteristika, jer se s obzirom na efekat razmere prilikom inženjerskih razmatranja stenska masa može posmatrati kao kvazihomogena sredina u odnosu na ova svoja svojstva. Ovo je posledica toga što je veličina zrna, kako onih najmanjih kod magmatskih stena, tako i onih najvećih kod konglomerata i breča, mala - u odnosu na veličinu objekta koji se gradi u steni ili na njoj. Sitršenje nema praktično nikakvog uticaja na promenu ove vrste strukturne heterogenosti stenskih masa, baš zbog efekta razmere, koji ovakvu heterogenost pretvara u takozvanu kvazihomogenost.

(2) i (3) Druga dva tipa strukturne nehomogenosti: ispucalost i slojevitost, imaju praktično daleko veći značaj, ukoliko je njihov intenzitet (gustina) takav da deli stensku masu u blokove različitih mehaničkih čvrstoća, čije su dimenzije takve da se moraju uzeti u obzir prilikom razmatranja opšte stabilnosti objekta u stenskoj masi.

I ispucalost i uslojenost stenske mase odnosno njena razdeljenost menjaju mehaničku homogenost tako što je hete-

rogenizuju, bilo u vidu stvaranja blokova različitih mehaničkih otpornosti, bilo u vidu stvaranja zone drugačijih odnosno manjih čvrstoća u razdelnicama odnosno u njihovoj neposrednoj blizini.

S obzirom na ovo, primena sidara u ispucalim odnosno uslojenim stenskim masama može se izvesti na dva načina:

- 1^o. Za ojačanje slabih blokova sa lošijim mehaničkim karakteristikama u cilju njihovog poboljšanja, odnosno približavanja karakteristikama jačih blokova, i
- 2^o. Za poboljšanje mehaničkih karakteristika u razdelnicama, odnosno u zonama manjih čvrstoća koje se često obrazuju u bližoj ili daljoj okolini razdelnica.

Prema tome, sidrenje kao jedan od postupaka geotehničkih melioracija, sam, ili u kombinaciji sa drugim postupcima, povoljno utiče na mehaničku nehomogenost "grosso modo" odnosno na njegovu makroheterogenost. Dejstvo sidrenja na makrohomonizaciju stenskih masa u zonama oko objekta u kojima se primenjuje ima prema tome povoljan uticaj na ovo svojstvo stenskih masa.

2.3.2 Uticao na anizotropiju

Iz osnovne definicije da je izotropno telo ono telo koje se u svim pravcima ponaša na isti način, izlazi da stenska masa kao geološko telo nije uvek izotropna.

Za oblast kojoj pripada materija sidrenja, od značaja je takozvana mehanička anizotropija, odnosno anizotropija čvrstoće stenskih masa na pritisak, odnosno na smicanje.

Uzročnik anizotropije mehaničkih karakteristika stenskih masa je njihova izdeljenost, odnosno ispucalost. Diskontinuiteti u stenskoj masi, počev od velikih raseda, preko pukotina i slojnica, do najfinije škrljivosti, čine da se stenska masa različito ponaša u pravcu paralelnom sa površinom diskontinuiteta i upravnom na ovu površinu. Ukoliko se radi o čvrstoći na pritisak dobija se da je ona različita u dva ortogonalna pravca - jedan u ravni sa normalom upravnom na diskontinuitet i drugi u ravnima sa normalama koje su paralelne sa površinom diskontinuiteta. Čvrstoća na smicanje je različita u tri međusobno ortogonalna pravca u prostoru: (1) u pravcu ravni sa normalom upravnom na diskontinuitet; (2) u pravcu ravni sa normalom paralelnom sa diskontinuitetom, kada je smičuća sila upravna na diskontinuitet i (3) u istoj ravni kao pod (2), kada je smičuća sila paralelna sa diskontinuitetom.

Ukoliko u stenskoj masi postoji sistem međusobno paralelnih pukotina, slojevitost ili škrljivost, kažemo da je stenske masatransverzalnoanizotropna.

Primenom sidera u anizotropnim stenskim masama teži se da se sidra orijentišu tako da prodiru kroz ravni diskontinuiteta pod uglom što bližim pravom uglu.

Na taj način se vrši sabijanje stenske mase u pravcu upravnom na diskontinuitet, odnosno njegovo zatvaranje, i smanjuje njena deformabilnost u tom pravcu. S druge strane saopštavanjem odredjenih normalnih napona na ravan sa normalom upravnom na diskontinuitet, postiže se povećanje početne čvrstoće na smicanje u toj ravni^x.

^x Ovo je generalno tačno. Međutim, u slučajevima povećanja stabilnosti odnosno samo povećanja čvrstoće na smicanje često je ekonomski mnogo opravdanije da sidra seku razdelnice u stenskoj masi pod uglom dosta različitim od pravog ugla.

S obzirom da u ravnima diskontinuiteta stenska masa ima najmanju čvrstoću na pritisak u pravcu normale na tu ravan a najmanju čvrstoću na smicanje u samoj toj ravni, proizilazi zaključak da se primenom sidrenja smanjuju efekti anizotropije u stenskim masama.

2.3.3 Uticao na ispucalost

U predhodnim tačkama smo videli kakav je efekat sidrenja na heterogenost i anizotropiju stenske mase koji su direktna posledica ispucalosti i slojevitosti. Na osnovu toga može se izvući zaključak da sidrenje na ispucalost utiče indirektno na taj način što poboljšava one karakteristike stenske mase koje su između ostalog i direktna posledica ispucalosti.

Na samu ispucalost odnosno izdeljenost stenske mase sidrenje ne može direktno fizički da utiče kao na primer injektiranje koje popunjavanjem slobodnih prostora u stenskoj masi fizički direktno anulira ovu njenu osobinu.

2.3.4 Uticao na napregnutost

Opšte je poznata činjenica da je stenska masa izložena dejstvu unutrašnjih sila - napona.

Naponi u stenskoj masi mogu biti primarni i sekundarni. Primarni naponi su oni koji postoje u stenskoj masi nezavisno od toga da li se u njoj vrše neki radovi. Ovi naponi su poznati još i kao prirodni naponi. Njihovo poreklo u stenskim masama trajnog je karaktera: usled gravitacije, tektonskih zbivanja u prošlosti, odnosno usled pomeranja zemljine kore u sadašnjosti.

S obzirom da u ravnima diskontinuiteta stenska masa ima najmanju čvrstoću na pritisak u pravcu normale na tu ravan a najmanju čvrstoću na smicanje u samoj toj ravni, proizilazi zaključak da se primenom sidrenja smanjuju efekti anizotropije u stenskim masama.

2.3.3 Uticaaj na ispucalost

U predhodnim tačkama smo videli kakav je efekat sidrenja na heterogenost i anizotropiju stenske mase koji su direktna posledica ispucalosti i slojevitosti. Na osnovu toga može se izvući zaključak da sidrenje na ispucalost utiče indirektno na taj način što poboljšava one karakteristike stenske mase koje su između ostalog i direktna posledica ispucalosti.

Na samu ispucalost odnosno izdeljenost stenske mase sidrenje ne može direktno fizički da utiče kao na primer injektiranje koje popunjavanjem slobodnih prostora u stenskoj masi fizički direktno anulira ovu njenu osobinu.

2.3.4 Uticaaj na napregnutost

Opšte je poznata činjenica da je stenska masa izložena dejstvu unutrašnjih sila - napona.

Naponi u stenskoj masi mogu biti primarni i sekundarni. Primarni naponi su oni koji postoje u stenskoj masi nezavisno od toga da li se u njoj vrše neki radovi. Ovi naponi su poznati još i kao prirodni naponi. Njihovo poreklo u stenskim masama trajnog je karaktera: usled gravitacije, tektonskih zbivanja u prošlosti, odnosno usled pomeranja zemljine kore u sadašnjosti.

S druge strane, radovima u steni, bilo na površini terena, bilo u unutrašnjosti, menjaju se geometrijski i konturni uslovi u stenskoj masi, što neminovno dovodi i do promene stanja napona i deformacija u bližoj ili daljoj okolini od mesta na kome se radovi izvode. Ovi naponi se nazivaju sekundarni.

Ukoliko preraspodela napona izazvana radovima u steni dovodi u delovima stenske mase do formiranja takvog naponskog stanja koje ugrožava stabilnost objekta koji se gradi na tom mestu, potrebno je da se stenskoj masi pomoću sidara seopšte određeni naponi definisani po pravcu i intenzitetu tako da novoobrazovano stanje napona bude slično prirodnom, odnosno povoljnije od njega, posmatrano sa aspekta opšte stabilnosti objekta^x.

Ovo proizilazi iz osnovnih definicija sidrenja datih u tački 2.2.

Razmatranja koja su izneta u tački 2.3 predstavljaju ustvari dopunu osnovne definicije sidrenja i njeno objašnjenje, pa su izložena u okviru uvodnih razmatranja o sidrenju sa ciljem da pre prelaska na konkretnu materiju iz ove oblasti pomognu u sticanju opšte slike o sidrenju.

^x Pod pojmom objekta podrazumeva se kompleks građevina - stenska masa, sve do dubine do koje su promenjeni uslovi prirodnog naponskog stanja.

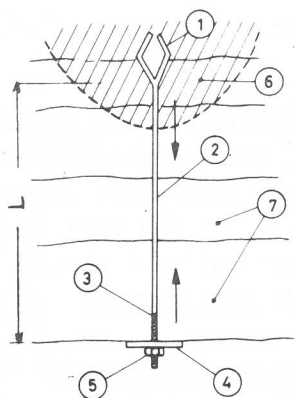
3. NAČINI DEJSTVA SIDARA

3.1 OPŠTA RAZMATRANJA I DEFINICIJE

3.1.1 Delovi sidra

Iz osnovne definicije sidrenja vidi se da je to postupak ojačanja stenske mase koji se sprovodi na taj način što se u prethodno izvedene bušotine ubacuju sidra (ili ankeri) čija uloga se svodi na pritezanje ili prednaprezanje. Da bi sidro moglo da funkcioniše, potrebno je da se na neki način ukotvi u dubini stenske mase a da se na slobodnoj površini stenske mase može da fiksira, odnosno da se dovede u intiman kontakt sa njom.

Na sl. 3.1 dat je šematski prikaz mehanizma dejstva sidra.



Sl. 3.1 Princip dejstva sidra

1. glava za ukotvljenje
2. telo
3. navoj na kraju
4. podložna ploča
5. matiča za pritezanje
6. zona u kojoj se vrši kotvljenje
7. teren zahvaćen oslobađanjem napona

L dužina sidra

Deo sidra preko koga se ostvaruje intimna veza između sidra i unutrašnjosti stenske mase naziva se glava za ukotvljenje ili kraće kotva.

Deo preko koga sidro naleže na slobodnu površinu stenske mase naziva se glava za fiksiranje ili spoljna glava, odnosno kratko rečeno glava sidra.

Telo sidra je onaj njegov deo koji se nalazi između kotve i glave i ima ulogu da prenese silu sa jednog na drugi kraj sidra.

Dužina sidrenja l je rastojanje od slobodne površine stenske mase do početka kotve i ona je praktično jednaka dužini tela sidra.

3.1.2 Mehaničko dejstvo sidara

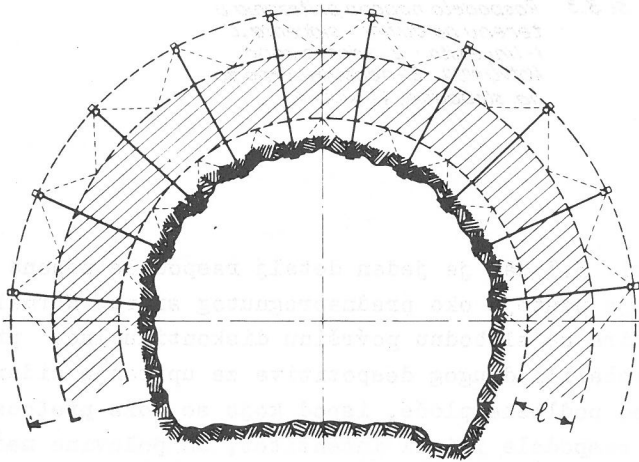
Mehanička aktivnost sidra u ojačanju stenske mase ogleda se na dva načina:

- 1° u pridržavanju pojedinih blokova stenske mase bilo na površini terena, bilo u njenoj unutrašnjosti; u ovom slučaju sila u telu sidra se saopštava preko njegove glave samo u cilju ostvarenja intimnog kontakta između glave sidra i stenske mase. Ovakva sidra se nazivaju nenapregnuta ili obična sidra.
- 2° U saopštavanju odredjenog, računskim ili eksperimentalnim putem dobijenog normalnog napona na slobodnu površinu stenske mase u cilju popravljavanja naponske slike u domenu dejstva sidra.

Kada se sidra koriste kao nenapregnuta, njihov kapacitet se koristi prosto da pridrži stenski blok i da spreči njegovo

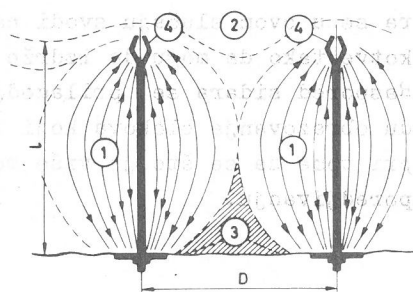
ispadanje. Dejstvo se u ovom slučaju svodi na povezivanje i ne zahteva početno nspreznje sidara. Kao rezultat ovakvog dejstva javlja se izvesno zatezanje sidra koje nije prvobitno zategnuto, odnosno izvesno povećanje sile zatezanja, kada je sidro prvobitno prednapregnuto, i to samo u slučaju kada je težina stenske mase koju sidro nosi veća od sile kojom je sidro prednapregnuto.

Proračun sidara se u ovom slučaju svodi na dimenzionisanje tela sidra i kotve tako da mogu da izdrže težinu bloka koji obezbeđuju. Raspored sidara se prilagodjava konkretnoj situaciji u pogledu obrazovanja blokova koji su potencijalno opasni, težeći pri tome da se što je više moguće održi neka pravilnost u raspoređivanju.



Sl. 3.2 Podgrađivanje sidrenjem

U slučaju kada se sidra u podzemnim prostorijama prednaprežu, mehanizam njihovog dejstva se ogleda u apliciranju normalnih napona na zidove podzemne prostorije, usled čega se u zoni debljine oko prostorije obrazuje prednapregnuti prsten ili deo prstena, koji je osposobljen da se lakše odupre silama pritiska od brdske mase (v. sl.3.2).

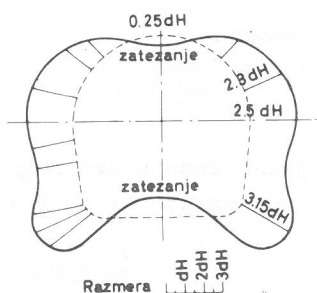


Sl. 3.3 Raspodela napona pritezanja u terenu na dužini sidrenja. 1- linije sila; 2- zdrava zona kotvljenja; 3- neobuhvaćena zona, slobodna; 4- kotva.

Na sl. 3.3 dat je jedan detalj raspodele napona i linije sila koje postoje oko prednapregnutog sidra. Normalni napon se aplicira na slobodnu površinu diskontinualno, preko podložnih ploča ili drugog despozitiva za upiranje sidara. Napon varira od podložne ploče, ispod koje se može pretpostaviti ravnomerna raspodela i isti intenzitet, do polovine međurazmaka dva susedna sidra. Ako je ispunjen uslov da su sidra dovoljno bliska, sav teren će biti prožet normalnim naponom koji se za proračun mogu uzeti kao ravnomerno rasporedjen. Ova pretpostavka je na osnovu iskustva iz prakse dovoljno potvrđjena.

Da bi sidrenje bilo efikasno treba ga vršiti neposredno posle izbijanja podzemne prostorije. Ovo stoga što u tom slučaju postoji najmanja mogućnost da dodje do oslobadjanja napona u stenskoj masi. Ustvari i u tom slučaju dolazi u maloj meri do oslobadjanja napona, ali na sreću ovaj fenomen nije trenutna i brzom intervencijom, u početnoj fazi njegovog nastajanja mogu se sprečiti nezgodni efekti izazvani ovom pojavom.

Kada se oko podzemnog otvora posredstvom sidrenja formira prsten, odnosno deo prstena ili svod, dalje oslobadjanje napona može da se dešava iza ovog prstena, čime se povećava opterećenje na prsten. Povećanje opterećenja na ovako formirani prsten deluje ustvari povoljno, jer po svojoj prirodi (opterećenje je uglavnom radijalno) izaziva kompaktizaciju prstena koji, ukoliko je stenska masa otporna na pritisak, postaje jači. Iz ovog razmatrenja izlazi da prilikom izbora dužine sidara, treba težiti da dužina bude što veća, imajući u vidu tehničke mogućnosti izvršenja sidrenja, mehaničke karakteristike stenske mase, prirodu oslobadjanja napona u datom slučaju i drugo^x.

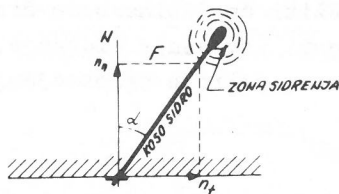


Sl. 3.4. Raspored pritiska oko galerije na dubini H (d - gustina terena)

^xDetaljnije o ovome videti u poglavlju Proračun sidrenja

Ukoliko po obodu podzemne prostorije dodje do pojave napona zatezanja, što se najlakše može ustanoviti merenjem prirodnih napona "in situ" ili prostim opažanjem pukotina, onda se pristupa primeni kosih sidara. Na sl.3.4 date je raspodela pritiska, odnosno zatezanja oko galerije koja se nalazi na dubini H ispod površine terena. Ova slika raspodele je dobijena iskustvenim putem na bazi mnogostrukih eksperimenata vršenih u podzemnim prostorijama.

Primenom kosih sidara na mestima pojave napona zatezanja tako što su sidra u osovini galerije postavljena neuobičajeno: jedan kraj se nalazi sa leve a drugi sa desne strane osovine, postiže se smanjenje a nekad i potpuno anuliranje ovih napona. Sidra su neizmenično nagnuta na levu odnosno na desnu stranu (videti sl. 3.6).



Sl. 3.5 Uticaj kosog sidra

Na sl. 3.5 dato je jedno koso sidro nagnuto pod uglom α prema vertikali. Sidro je napregnuto silom F i daje srednji napon pritiska

$$f = \frac{F}{S}$$

gde je:

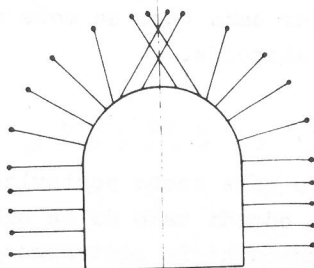
S - deo slobodne površine koja dolazi na jedno sidro.

Razlaganjem vektora f na n_n i n_t , normalnu i tangencijalnu komponentu, vidimo da tangencijalna komponenta n_t smanjuje tangencijalni napon zatezanja koji postoji na tom mestu. Obično se iz praktičnih razloga uzima da je $\alpha = 45^\circ$ mada bi teorijski bilo povoljnije da α bude što veća, jer je:

$$n_n = F \cos \alpha$$

$$n_t = F \sin \alpha$$

Primer koji ilustruje način postavljanja sidara u savladjivanju napona zatezanja koji se često javljaju u krovini podzemnih radova dat je na sl. 3.6



Sl. 3.6 Sidrenje jednog preseka sa napohima zatezanja u krovini.

3.1.3 Element sidrenja

Da bi sidrenje moglo od zamisli, preko projekta, izvođenja do kontrole, da se realizuje, potrebno je utvrditi generalna pravila i mogućnosti, s tim što se konkretna

rešenja prilagodjavaju konkretnim uslovima u svakom razmatranom slučaju. Ta pravila i mogućnosti zovu se elementi sidrenja i u njih spada:

- 1° Pravac sidara
- 2° Raspored sidara
- 3° Gustina sidrenja
- 4° Dubina sidrenja
- 5° Način prenošenja sile na slobodnu površinu
- 6° Kombinovanje sa drugim postupcima

Redosled navodjenja nije dat po stepenu značaja. Svi nabrojani elementi su od istog značaja i treba ih sve definisati na najbolji način, jer samo tako se može izvesti tehnički i ekonomski opravdano sidrenje.

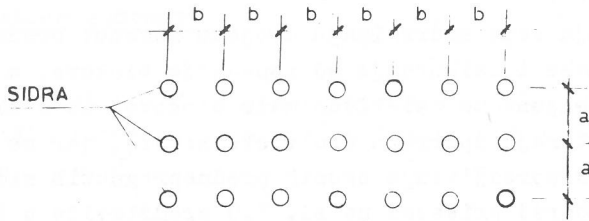
1° Pravac sidara

U pogledu pravca u kome treba postavljati sidra od velikog je značaja da se on odredi tako da se sidra seku pod uglom bliskom 90° sa najznačajnijim sistemima pukotina, slojevima odnosno sa škriljavošću. Na taj način se postiže najveći broj preseka sidra sa diskontinuitetima, odnosno obuhvataje najvećeg mogućeg paketa stenske mase.

Međutim, kao u slučajevima datim na sl. 3.2 i 3.6, pravac sidara zavisi od dejstva koje želimo da postignemo sidrenjem.

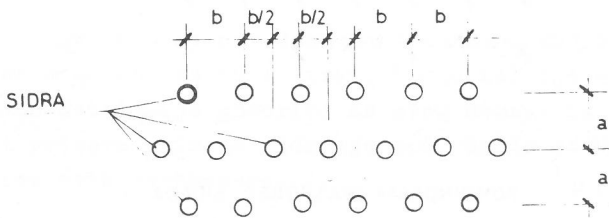
2° Raspored sidara

U pogledu rasporeda sidara u jednom sistemu, najčešće se primenjuju šeme prikazane na sl. 3.7 do 3.9.



Sl. 3.7 NORMALNI POREDAK RASPOREDA
SIDARA

Raspored može da bude u normalnom poretku kao na sl. 3.7 ili, što se češće primenjuje, u smaknutom poretku kao na sl. 3.8

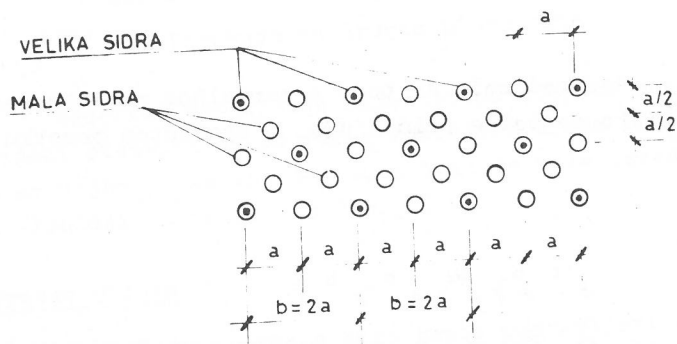


Sl. 3.8 SMAKNUTI POREDAK RASPOREDA
SIDARA

U slučaju da je $a = b$ imamo tekozvani kvadratni raspored koji isto može da bude u normalnom ili u smaknutom poretku.

Obično se uzima da je $b = 2a$ i smaknuti poredak.

U slučaju kada sidra imaju dvojaku namenu: prednapre-
 zanje stenske mase i osiguranje od ispadanja blokova, a sten-
 ska masa je izdijeljena na relativno male blokove, onda ekonom-
 ski razlozi diktiraju upotrebu dve vrste sidara, jer se ne
 isplati gusto rasporedjivanje skupih prednapregnutih sidara.
 Kombinovani raspored prikazan na sl. 3.9 predstavlja u tak-
 vim slučajevima jedno od mogućih racionalnih rešenja.



Sl. 3.9 KOMBINOVANI RASPORED SIDARA

Za vreme izvršenja sidrenja potrebno je u toku gra-
 djenja voditi računa o stvarnoj mreži pukotina u stenskoj ma-
 si i raspored sidara prilagođjavati postojećoj situaciji, pri-
 državajući se pri tom ranije iznetih osnovnih načela.

3° Gustina sidrenja

Gustina sidrenja je vrlo važan tehnički i ekonomski element sidrenja. Izražava se brojem sidara na jedinici površine (obično m^2).

Gustina sidrenja je element sidrenja koji jednovremeno zavisi od više parametara:

- (a) Potrebne sile sidrenja na jedinicu površine dobijene proračunom,
- (b) mogućnosti postizanja sile kotvljenja na jednom sidru
- (c) homogenosti naponske slike u zoni u kojoj se primenjuje sidrenje (v. sl. 3.2 i 3.3),
- (d) ekonomičnosti sidrenja u celini.

Svi napred navedeni parametri od kojih zavisi gustina sidrenja moreju se analizirati i što tačnije odrediti. O tome se neće detaljnije govoriti na ovom mestu. Iz sledećih poglavlja i primera primene sidrenja moći će da se vide načini i analize ovih parametara.

4° Dubina sidrenja

Dubina sidrenja jednaka je dužini sidra (L) (videti sl.3.1).

Ovaj element sidrenja se u suštini određuje na osnovu uloge koje se poverava sidru, načina mehaničke aktivnosti sidra (v. tačku 3.1.2). Prilikom određivanja dužine sidrenja treba voditi računa da pored tzv "teorijske" dužine

koja se određuje iz mehaničke aktivnosti sidra, treba voditi računa o realnoj dužini koja je uvek nešto veća od teorijske. Koliko je veća, zavisi od mnogo parametara kao što su:

- stepen poznavanja sredine u kojoj se primenjuje sidrenje
- mehaničke čvrstoće stenske mase
- homogenost stenske mase
- ispucalost stenske mase
- pravac sidrenja
- iskustvo.

Nije teško zaključiti kakva je zavisnost izmedju dubine sidrenja i prva četiri parametra.

Treba, međjutim, naglasiti da dužina sidara, jako zavisi od pravilnog izbora pravca sidara. Optimalni izbor dužine i pravca sidara garantuje istovremeno i maksimalnu ekonomičnost sidrenja.

Iskustvo je takodje značajan parametar i tu se ne mogu unapred propisivati recepti. U početku primene sidrenja iskustveni faktor je igrao najveću ulogu, ne samo kod određivanja dubine sidrenja, već i kod određivanja i drugih njegovih elemenata. Postoje i danas iskustvena pravila za dužinu sidrenja, ali se ona sve manje primenjuju. Treba naglasiti da se često potcenjuje ovaj element sidrenja što dovodi do "ispadanja" već ugrađenih sidara. Nažalost i precenjena dužina je štetna, sa ekonomskog aspekta, samo se ne može ustanoviti tako očigledno kao potcenjena.

5° Način prenošenja sile na slobodnu površinu

Spoljna glava sidra može da prenosi silu na slobodnu površinu ili da je prima na sledeća dva načina:

- (a) pojedinačno, svako sidro za sebe, i
- (b) kontinualno, preko neke prenosne konstrukcije, više sidara u grupi.

U prvom slučaju, kada svako sidro prenosi, odnosno prima silu pojedinačno, prenosnik sile može biti čelična ploča - u slučajevima kada se radi o manjim silama ili betonski blok - u slučajevima kada se radi o velikim silama od nekoliko desetina tona.

U drugom slučaju, kada sidra rade u grupi, sila može da se prenosi preko tzv. roštilje ili kontinualne ploče. Roštilj je konstrukcija od linijskih armiranobetonskih elemenata u dva međusobno upravna pravca u čijim čvorovima se primenjuju pojedinačna sidra. Kod kontinualnog prenosnika, u slučaju grupnog prenošenja sile, radi se o armiranobetonskim ili nearmiranim pločama, zidovima oblogama, temeljima i drugim oblicima konstrukcija, kao i o torkretnim oblogama.

U oba slučaja, neposredno ispod glave sidra, bilo da su u pitanju obična, bilo prednapregnuta sidra, ispod glave sidra se postavlja čelična ploča čiji oblik i dimenzije zavise od veličine sile, vrste podloge ispod ploče i dr.

6° Kombinovanje sa drugim postupcima

Redak je slučaj da se sidrenje primenjuje kao jedina mera, geotehničkih melioracija.

Obično se sidrenje primenjuje zajedno sa prskanim betonom, čeličnom mrežom i drenažema, kako u podzemnim radovima tako i na površini terena.

Dok kombinovanje sa prskanim betonom i čeličnom mrežom može da se svrsta i pod način prenošenja sile, kombinacija sa drenažom je suštinskog karaktera. Dreniranje, naime, sprečava stvaranje hidrostatičkog pritiska unutar stenskih masa, čime se otklanja jedan od najčešćih uzročnika nestabilnosti stenskih masa, kako na površini terena, tako u podzemnim radovima.

Iz ovog razloga se kombinovanje sidrenja i injektiranja^a retko primenjuje jer se injektiranjem zaptiva stenska masa.

3.2 KOTVLJENJE

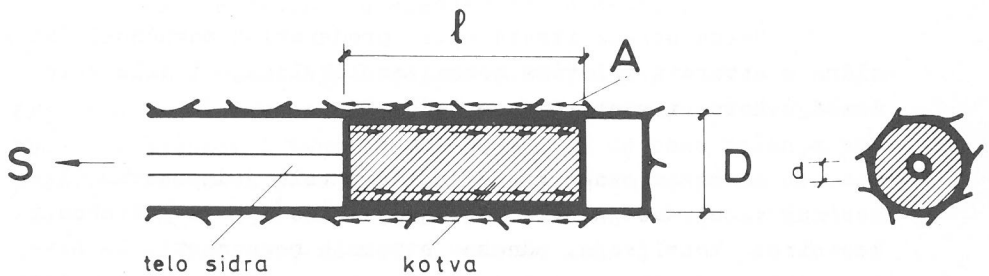
Kotvljenje u sidrenju predstavlja osnovni i često ograničavajući faktor primene. U stenskim masama i sluvijalnim terenima kotvljenje je praktično uvek moguće, s tim što ga od slučaja do slučaja treba analizirati i definisati. U glinovitim i drugim plastičnim sredinama problem kotvljenja je još uvek nedovoljno rešen i dosadašnji pokušaji nisu doveli do trajnih i zadovoljavajućih rešenja. Treba naglasiti pri tom, da je sa uspehom radjeno sidrenje i u glinovitim sredinama, ali je zbog "popuštanja" kotve moralo stalno da se vodi računa o sili u sidru. Prema tome, sa sadašnjim asortimanom sidara može se primenjivati sidrenje u glinovitim sredinama, ali ne kao trajna, već kao privremena mera.

Ovde ćemo pokušati da jednostavnom analizom dodjemo do opštih zakonitosti u vezi sa kotvljenjem. Pri tome moramo da istaknemo da je u ovoj analizi predpostavljeno^a ravnomerna raspodela sile veze (prijanjanja) između kotve i stenske

mase po dubini, što nije u suštini tačno, ali omogućuje sagledavanje problematike kotvljenja u jedinstvenom obliku.

Ako posmatramo jednu šematski prikazanu kotvu (sl. 3.10) koja radi na, bilo mehaničkom, bilo athezionom principu kotvljenja, onda izraz za ukupnu silu u kotvi koja deluje na delu sidra neposredno izvan kotve možemo da napišemo u obliku:

$$S = A \cdot D \cdot \pi \cdot l \quad (3.1)$$



Sl. 3.10

gde je: S - ukupna sila koju sidro preko kotve prenosi na stensku masu u njenoj unutrašnjosti

A - sila prijanjanja (adhezija) između kotve i stenske mase na jedinicu površine

D - prečnik bušotine na delu ukotvljenja
($D \cdot \pi = 0$ je obim bušotine)

l = dužina kotvljenja

d = prečnik tela sidra

Izraz (3.1) predstavlja najuopšteniju vezu izmedju sile kotvljenja, odnosno "nosivosti sidra" s jedne, i geometrijskih veličina kotve i sile prisanjanja, s druge strane.

Leva strana jednačine (3.1) predstavlja u suštini naš zahtev u pogledu nosivosti sidra, odnosno silu koja nam je potrebna za rešenje nekog tehničkog problema, bilo kao sile nosivosti (pasivna sila) bilo kao sila prednaprezanja (aktivna sila); i u jednom i u drugom slučaju ova sila se dobija na osnovu geostatičkog proračuna.

Desna strana izraza (3.1) predstavlja mogućnost datog sidra u stvarnim uslovima mehanizma kotvljenja i sile veze izmedju kotve i stenske mase (adhezije).

Analizom ovog izraza dobijamo vrlo jednostavnu (linearnu) vezu izmedju sile kotvljenja koja nam je potrebna i kapaciteta kotvljenja, odnosno stvarnih mogućnosti. Poznavanjem svih parametara na desnoj strani jednačine (3.1) možemo da dimenzionišemo telo sidra, i gustinu sidrenja.

Telo sidra dimenzionišemo iz uslova da postoji ista sigurnost na kidanje tela sidra i čupanje kotve. U praksi je, naime, vrlo čest slučaj da se ne poštuje ovaj princip što se ogleda u primeni sidra ce nekoliko puta većom nosivošću tela sidra od sile čupanja kotve.

Gustinu sidrenja dimenzionišemo na osnovu potrebe za silom sidrenja, bilo ukupnom, bilo na jedinicu površine.

Na osnovu izraza (3.1) možemo da izvršimo i tehničko-ekonomsku optimizaciju našeg osiguranja na taj način što ćemo ga tako transformisati da možemo napraviti analizu troškova.

Ako za sada pretpostavimo da je sila veze A na jedinicu površine konstantna i da je njena distribucija na dužini kotvljenja l ravnomerna, vidimo da je sila kotvljenja S upravno srazmerna sa prečnikom bušotine D i dužinom kotvljenja l. Na prvi pogled izgleda da bi sa povećanjem prečnika bušenja i dužine ukotvljenja mogao da se na jednostavan način reši ovaj problem, uvek na zadovoljavajući način.

U najčešćem broju slučajeva se povećava dužina kotvljenja l, jer za dati prečnik bušenja ovo povećanje u odnosu na ukupnu dužinu bušenja (slobodna dužina i dužina kotvljenja) ne izaziva veliko povećanje ukupne cene.

Prečnik bušenja D je, međjutim, u najvećem broju slučajeva ograničavajući faktor u smislu povećanja iz dva razloga: ekonomskog i tehničkog. Poznato je da cena bušenja progresivno raste sa povećanjem prečnika bušenja, pa se ne isplati bušenje bušotine velikog prečnika na celoj dužini da bi se na njenom dnu, na dužini znatno manjoj od dužine bušotine, postiglo povećanje nosivosti sidra. Kod aluvijalnih prednapregnutih sidara se kotvljenje realizuje pomoću injektiranja pod velikim pritiskom samo na dužini kotvljenja l. Na taj način se zbijanjem aluvijalnog depozita na dužini kotvljenja i prodiranjem injekcione mase u njega stvara kotva čiji prečnik je znatno veći od prečnika bušotine. Ovaj način je opravdan i tehnički i ekonomski. Kod stenskih sidara bi miniranjem dna bušotine moglo da se postigne njeno proširenje i povećanje sile kotvljenja, ali se to po pravilu ne čini zbog toga što u takvim slučajevima nisu potpuno jasni uslovi kotvljenja, a može doći i do zarušavanja cele bušotine. Kod stenskih sidara, kod kojih se kotvljenje postiže injektiranjem ili generalno govoreći posredstvom cementnog maltera, postoji i čisto tehničko ograničenje da prečnik bušotine ne sme da bude mnogo veći od prečnika kotve, jer

posle određene granice dolezi do nepovoljnog naponskog stanja u očvrslom cementnom malteru i do razrušavanja njegove strukture i do loma kroz malter. Zbog toga se kod stenskih sidara povećanje sile kotvljenja postiže na zadovoljavajući način samo povećanjem dužine kotvljenja. Ovde je potrebno naglesiti da se kod stenskih sidara u slabijim stenama ne može uvek postići zadovoljavajuća sila kotvljenja povećanjem dužine kotvljenja l . Drugim rečima, ne вреди neograničeno povećavati ovu dužinu. O razlozima zbog kojih postoji ograničenje biće reči u daljem tekstu.

Veličina A , u jednačini (3.1) koja predstavlja silu veze između kotve i stenske mase ima u suštini karakter smičućeg napona.

Ako se poslužimo Coulomb - Mohr -ovim zakonom o graničnoj nosivosti, odnosno zakonom loma usled prekoračenja čvrstoće materijala, koji glasi:

$$T = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3.2)$$

dobijamo, smenom $A = T$; i $c = a$

$$A = a + \sigma_r \operatorname{tg} \varphi \quad (3.3)$$

U izrazu (3.3), pojedine oznake imaju sledeća značenja:

- a - tangencijalna sila veze između kotve i zida bušotine bez dejstva normalnog napona, ili adhezija
- σ_r - normalni napon koji se u radijalnom pravcu prenosi iz kotve na zidove bušotine
- $\operatorname{tg} \varphi = \mu$ - koeficijent trenja između kotve i zida bušotine

Zamenom (3.3) u (3.1) dobijamo:

$$S = (a + \sigma_r f) D \pi \cdot l \quad (3.4)$$

U ovom izrazu a i f su parametri koji su u svakom datom slučaju konstante.

Sredjivanjem izreza (3.4) dobija se:

$$S = a \cdot D \pi \cdot l + E \cdot f \quad (3.5)$$

pri čemu je:

$$E = \sigma_r \times D \pi \cdot l \text{ ukupna ekspanziona sila u kotvi.}$$

Iz izraza (3.5) vidi se jasno da se sila kotvljenja može postizati uglavnom na dva načina:

- 1° athezijom (prvi član na desnoj strani jednačine)
i
- 2° ekspanzijom (drugi član na desnoj strani jednačine)

U prvom slučaju dimenzije katve su parametri od kojih zavisi sila kotvljenja, dok u drugom sila kotvljenja ne zavisi od dimenzija kotve, već samo od sile ekspanzije E .

Iz ove analize proizilazi i osnovna podela sidara na:

- 1° Sidra sa ukotvljenjem na jednom mestu - ekspanziona sidra, i
- 2° Sidra sa ukotvljenjem na konačnoj dužini l - adhezionna sidra.

Izraz (3.5) predstavlja najopštiji izraz za kapacitet kotvljenja bilo kog sidra.

Da bismo stekli kvalitativni utisak o mogućnostima povećavanja kapaciteta kotvljenja, sprovedemo kratku parametarsku diskusiju ovog izreza u okviru već poznatih, osnovnih principa kotvljenja sidara.

Sve veličine na desnoj strani ove jednačine su veće od nule, što znači da se njihovim povećanjem povećava i kapacitet kotvljenja. Razmotrimo pojedinačne mogućnosti povećanja svake.

Veličina (a) je konstanta sredine, odnosno veze između dve sredine. Generalno govoreći ona može da se poveća u slučaju konsolidacionog injektiranja. Ovo povećanje je uslovno i ograničeno: uslovno zato što nije moguće da se injektiraju sve sredine u kojima se primenjuje sidrenje; ograničeno zbog toga što se konsolidacionim injektiranjem a ne može neograničeno povećati.

Veličina (D) je, kao što smo ranije videli, uslovno promenljiv parametar, jer seⁿ može relativno lako povećati.

Veličina (l) može da varira u prilično širokim granicama - od nekoliko santimetara do nekoliko metara. Zato je možemo okarakterisati kao parametar sa velikom mogućnošću varijacije i neograničenom primenom.

Veličina (E) ima veliki dijapazon mogućnosti promene - od nule (kod adhezionih) do 1000 i više kiloponda (kod ekspanzionih) sidara. Međutim, veličina ekspanzije zavisi od deformabilnosti stenskih masa i može se mnogo povećavati samo kod krutih stena. Zbog toga se ovaj parametar može okarakterisati kao parametar sa velikom mogućnošću varijacije i ograničenom primenom.

Veličina ($f = \operatorname{tg} \varphi$) je slična veličini (a) uslovno ograničen i promenljiv parametar; može se povećavati samo konsolidacionim injektiranjem.

Iz predhodnog izlaganja se vidi da prema mogućnosti-varijacije i uslovima pod kojima mogu da variraju, gore navedene parametre, od kojih zavisi kapacitet kotvljenja jednog sidra, možemo da klasificiramo po sledećem redosledu, dajući pri tome istu težinu mogućnosti njegovog povećanja i ograničenosti njegove primene.

Tablica I

Red. br.	Naziv parametra kotvljenja	Mogućnosti varijacije	ograničenost primene	zbir poena
1.	Dužina kotvljenja	velika ++	ni je uslovljena	++++ =4
2.	Ekspanzija	velika ++	uslovljena +	+++ =3
3.	Prečnik kotvljenja	ograničena +	uslovljena +	++ =2
4.	Adhezija	ograničena +	uslovljena +	++ =2
5.	Ugao unutrašnjeg trenja	ograničena +	uslovljena +	++ =2

Kao što se vidi iz tablice I dužina kotvljenja je parametar sa najvećom slobodom promene; ekspanzija dolazi na drugo mesto; malu slobodu promene imaju prečnik kotvljenja, adhezija i ugao unutrašnjeg trenja. Međutim, pošto je grubost ocenjivanja bile velika, smatramo da prečnik kotvljenja treba izdvojiti ispred a i $f = \operatorname{tg} \varphi$ zbog toga što je baš njegovo povećanje dovelo do razvoja jedne posebne i jako potrebne vrste sidara - aluvijalnih sidara.

Iz ove kratke analize se vidi jasno da parametri koji zavise od sredine u kojoj se realizuje kotvljenje - nje-
ne mehaničke čvrstoće-imaju najmanju slobodu promene. Ovo je
uostalom i razumljivo kada se uzme u obzir činjenica da je
baš sidrenje jedna od mera koje se preduzimaju u cilju njihovog
povećavanja.

U daljem tekstu analiziraćemo mehanizam kotvljenja
pojedinih vrsta sidara.

3.3 SIDRA SA UKOTVLJENJEM NA JEDNOM MESTU

Ovakva sidra imaju takve kotve koje se posle ugradji
vanja sidra delovanjem sa površine terena mogu dovesti u in-
timan kontakt sa zidom bušotine i da se na bazi novoobrazovar
veze kotva - stena osigura nepomerljivost kotve na željenoj
dubini u unutrašnjosti stenske mase.

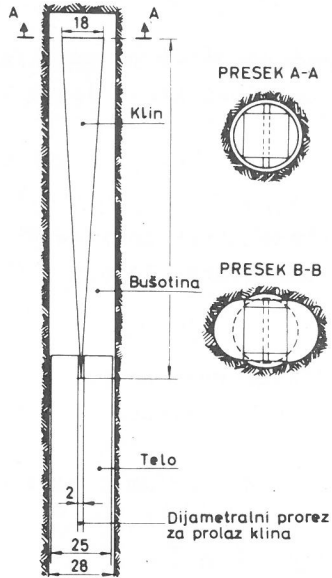
Ovakva sidra se dalje dele na :

- sidra sa ukotvljenjem pomoću klina i rascepke i
- sidra sa ukotvljenjem pomoću ekspanzione čaure

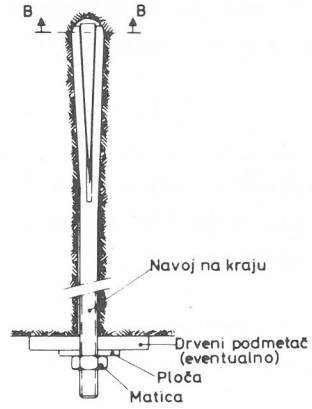
3.3.1 Sidra sa klinom i rascepkom

U istorijskom pogledu ova sidra su prva nastala, pa
će o njima prvo biti reči. Sastoje se od okrugle čelične
šipke čija minimalna jačina na kidanje treba da iznosi 40-
50 kg/mm²; dužina u zavisnosti od terena koji treba konsoli-
dovati; prečnik min 25 mm, u zavisnosti od dužine sidra, s
obzirom na izvijenje u toku nabijanja. Na kraju na kome se
nalazi ^{KOTVA}šipka je zasečena 2-3 mm na dužini od oko 150 mm, a
na drugom je snabdevena navojem iste dužine (v.sl. 3.11).

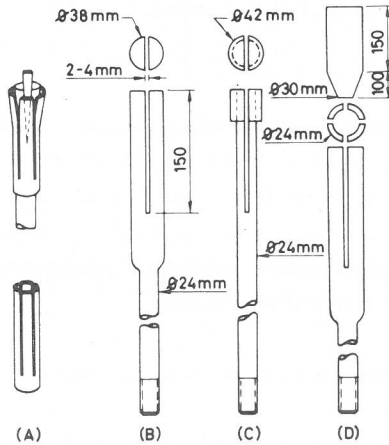
PRE NABIJANJA



POSLE NABIJANJA



SI. 3. 11 SIDRENJE SA KLINOM. ŠEMA AKTIVIRANJA



SI.3.12. RAZNE VARIJANTE SIDRA SA KLINOM
 A) SISTEM UKOTVLJENJA „MISSOURI“
 B) SISTEM POJAČAN NA 38mm NA CELOJ DU-
 ŽINI PROREZA
 C) SISTEM POJAČAN NA 38mm NA DELU PROREZA
 D) SISTEM SA PROSEČENOM CEVI

Na delu gde je zasečena nalazi se jedan prizmatičan klin iste dužine kao i zasek, koji je na širem kraju debeo 16-18 mm.

Prilikom montiranja ovakvog sidra glava klina se oslanja na dno bušotine, klin se pod uticajem potiskivanja spolja uvlači u zasek i širi obraze šipke koji se utiskuju u okolni teren i na taj način ostvaruju ukotvljenje sidra blizu dna bušotine.

Potiskivanje se najčešće vrši sa pneumatskim udarnim alatom posebno podešenim za ovu svrhu.

Bušotina mora biti min $d = 28$ mm i mora imati pravilne oblike, naročito na mestu ukotvljenja.

Na sl.3.12 prikazani su neki tipovi ovakvih sidara.

Studijom mehaničkog dejstva klina i rascepke i analizom koju su izvršili A.Hugon i A.Costes, dobijen je sledeći izraz za nosivost sidra F:

$$F = 2 KD \cdot e \cdot E \cdot f(\nu) \cdot \cotg \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi_2$$

gde je:

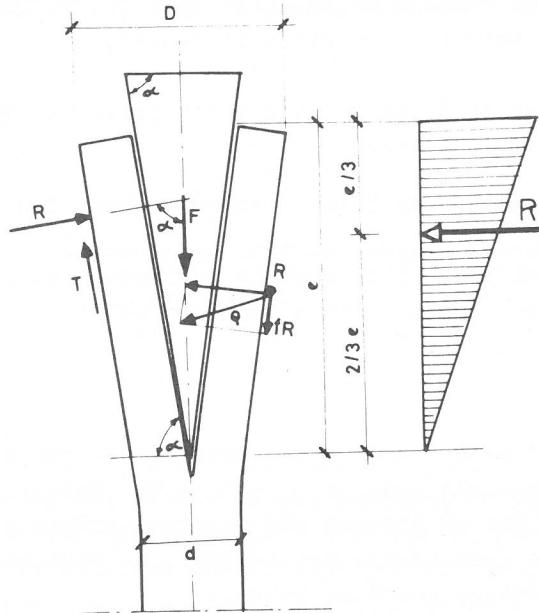
- K - koeficijent proporcionalnosti između ukupne normalne sile kotvljenja i srednje deformacije stenske mase koja je uniformno elastična.
- D - prečnik kotve u trenutku njenog maksimalnog otvaranja pod dejstvom klina.
- e - dužina prodiranja klina u rascepu
- $f(\nu)$ - funkcija zavisna od promene Poissonovog koeficijenta (ν) stenske mase

E - modul elastičnosti stenske mase

α - nagib klina u odnosu na njegovo čelo (sl. 3.13)

γ_2 - ugao trenja između metala i stenske mase

Šematski prikaz mehanizma dejstva ovakve kotve dat je na sl. 3.13



Sl. 3.13 Sidro sa presekom i klinom

Iz gornjeg izreza se vidi da je nosivost sidra F upravo srazmerna sa svim veličinama koje figurišu u njemu izuzev ugla α .

Na osnovu toga mogu se izvesti sledeći zaključci u vezi nosivosti sidra sa kotvom u obliku klina i rascepe:

- treba težiti da prečnik kotve bude što veći, jer se u tom slučaju dobija i najveće otvaranje sidra D. Ova konstatacija je, međjutim, u koliziji sa ekonomičnošću, jer se u slučaju povećanja prečnika tela sidro ne koristi u dovoljnoj meri njegova nosivost na zetezanje. Da bi se uskladila ova dva suprotna zahteva, pribegava se takvom konstruktivnom rešenju da se kotva radi od debljeg materijala, a telo i glava sidra od tanjeg,
- dužina utiskivanja klina u prorez kotve treba da bude što veća,
- ugao nagiba klina α treba da bude što manji.

I ovi zahtevi ne mogu da se ispune bez ograničenja, jer istovremeno treba da bude ispunjen uslov:

$$\alpha + \varphi_1 > 90^\circ$$

Ovaj uslov je diktiran zahtevom za trajnošću ukotvljenja, jer u slučaju da je $\alpha + \varphi_1 \leq 90^\circ$ dolazi do samoisklizavanja klina iz proreza pod dejstvom bočnog pritiska na kotvu; φ_1 je ugao trenja metal-metal, na kontaktu između klina i unutrašnje površine kotve.

Drugi praktičan razlog : zahteva da α bude što veće. To je sila kojom se utiskuje klin u prorez, koja se povećava sa smanjenjem α .

- Ugao φ_2 treba da bude što je moguće veći. Ovo se postiže tako što se kotva sa spoljne strane veštački orapavljuje.
- Stenska masa treba da ima visoke mehaničke čvrstoće: modul elastičnosti i ugao unutrašnjeg trenja φ

treba da bude što veći a Poisson-ov koeficijent što manji.

Da bi se u datim uslovima dobilo pravo inženjersko rešenje, potrebno je pored teorijskih razmatranja izvršiti i direktna terenska ispitivanja "in situ" (videti tačku 9).

Dobre strane ovakvih sidara su:

- mogućnost proizvodnje na svim bolje opremljenim gradilištima i u rudnicima;
- mala cena izrade i montaže;
- postavljanje je relativno jednostavno;
- sila sidrenja je ista bez obzira na pritezanje
- nema opasnosti od naglog popuštanja ali postoji mogućnost klizanja naročito u mekšim terenima.

Nedostaci su sledeći:

- dubina bušotine mora tačno da odgovara dužini tela sidra; suviše duboka bušotina onemogućuje ostvarenje ukotvljenja i pritezanje; nedovoljno duboka bušotina onemogućuje pritezanje jer se sidra prave sa ograničenom dužinom navoja u zoni glave;
- zasek smanjuje presek sidra i time njegovu nosivost,
- postavljanje zahteva specijalan ključ sa pogonom na sabijeni vazduh (ovo nije veliki nedostatak pošto je manje više svako gradilište snabdeveno pneumatičkim uređajima),
- sidro ne može da se prekraja ako je to potrebno,
- u mekim terenima (škriljci, glinovite partije i dr.), kotva prilikom pritezanja kliza pre nego što sila pritezanja postigne željenu vrednost;

- aktiviranje glave je onemogućeno ako dno bušotine nije u tvrdim partijama stene, jer se klin umesto da se utiskuje u prorez, utiskuje u dno bušotine.

Sistemi na sl. 3.12 otklanjaju neke od nabrojanih nedostataka, na način koji je lako uočiti posmatrajući svako od sidara na slici.

3.3.2 Sidra sa ekspanzionom čaurom

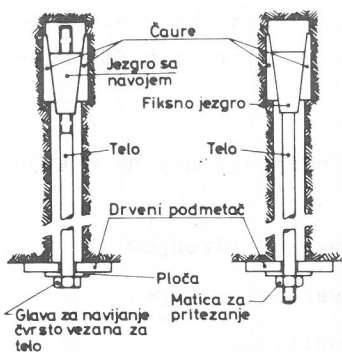
Sidra sa ukotvljenjem pomoću ekspanzione čaure je sistem sa velikim brojem varijanti u pogledu načina na koji se postiže ekspanzija glave na mestu ukotvljenja. Svi ovi sistemi su zaštićeni patentnim pravom i pravo proizvodnje imaju isključivo njihovi proizvođači i oni koji plate licencu.

Ovakvi sistemi se u osnovi sastoje od konusnog jezgra koji klizi unutar čaure koja ima sposobnost širenja. Čaura ili čaure (zavisi od sistema) je sa unutrašnje strane obradjena konusno u suprotnom smeru od jezgra. Jezgro je uvek na neki način povezano sa telom sidra.

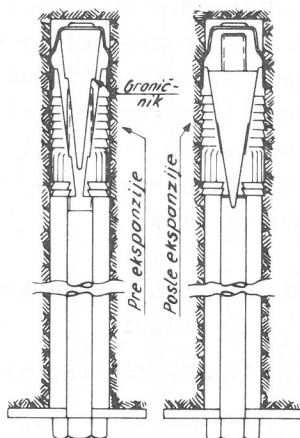
Po načinu na koji se izaziva ekspanzija čaure, ova sidra se mogu podeliti u dve grupe: u prvoj se stablo sa slobodne površine okreće i preko navoja koji prolazi kroz jezgro translatorno ga pokreće u odnosu na čauru, čime se izaziva njena ekspanzija i ukotvljenje; kod druge grupe stablo je čvrsto povezano sa jezgrom i zajedno sa njim se translatorno pomera u odnosu na čauru pomoću matice koja se nalazi na slobodnoj površini.

Na sl.3.14 prikazana su šematski oba osnovna tipa ekspanzione čaure. Treba napomenuti da se u oba slučaja zajedno sa ekspanzijom čaure postiže i prednaprezanje sidra,

što je sa manjim modifikacijama zajedničko svojstvo svih sidara sa ekspanzionom čaurom. Ovakav način kotvljenja naziva se još i slobodno kotvljenje. Kod sidara kod kojih je telo vezano sa jezgrom preko navoja, ekspanzija čaure i pritezanje sidra mogu se izvršiti odvojeno, s tim što se telo sidra obradi tako što na svom slobodnom kraju ima navoj. Prilikom izazivanja ekspanzije čaure na navoj se navije kapa, dok se prilikom pritezanja postavlja matrica.



Sl. 3.14 SIDRENJE SA EKSPANZIONOM ČAUROM



Sl. 3.15 Karakteristična šema sidra LENOIR i MERNIER (sistem Dottin)

Postoje tipovi sidara iz druge grupe kod kojih se prvo vrši ekspanzija čaure pri čemu jezgro dodje u granični položaj u odnosu na čauru čime je sprečena dalja ekspanzija.

Daljim pritezanjem matice koja se nalazi na slobodnoj površini postiže se samo prednaprezanje sidra (sl.3.15). To je takozvano prinudno kotvljenje.

Takodje postoje sidra kod kojih se montaža vrši u nekoliko taktova, kakav je na primer tip Boltex, prikazan na sl.3.16.

Treba napomenuti da postoje i takvi tipovi kod kojih se nezavisno obavlja prvo ekspanzija, a potom prednaprezanje i to ekspanzija na način koji je opisan u mehanizmu delovanja sidara sa ekspanzionom čaurom prve grupe, a prednaprezanje pomoću pritezanja matice, na način kako funkcionišu sidra druge grupe. Bilo bi potrebno mnogo prostora kada bi se navodile dobre i loše strane svakog tipa posebno. Važno je istaći da prilikom izbora tipa koji će se usvojiti treba voditi računa o sledećim parametrima, imajući u vidu princip funkcionisanja svakog tipa;

1. Prirodu terena i fazu oslobadjanja napona u kojoj se nalazi;
2. Zahtev za trajanjem osiguranja sidrenjem
3. Kapacitet kotvljenja odgovarajućeg tipa;
4. Cenu koštanja (izrada i montaža).

U slučaju sidra sa ekspanzionim čaurama (jednom ili više) moguće je izvršiti teorijsku analizu nosivosti sidra, odnosno kapaciteta kotvljenja. Prema A. Hugon-u i A. Costes-u /30/, izraz za nosivost kotve glasi:

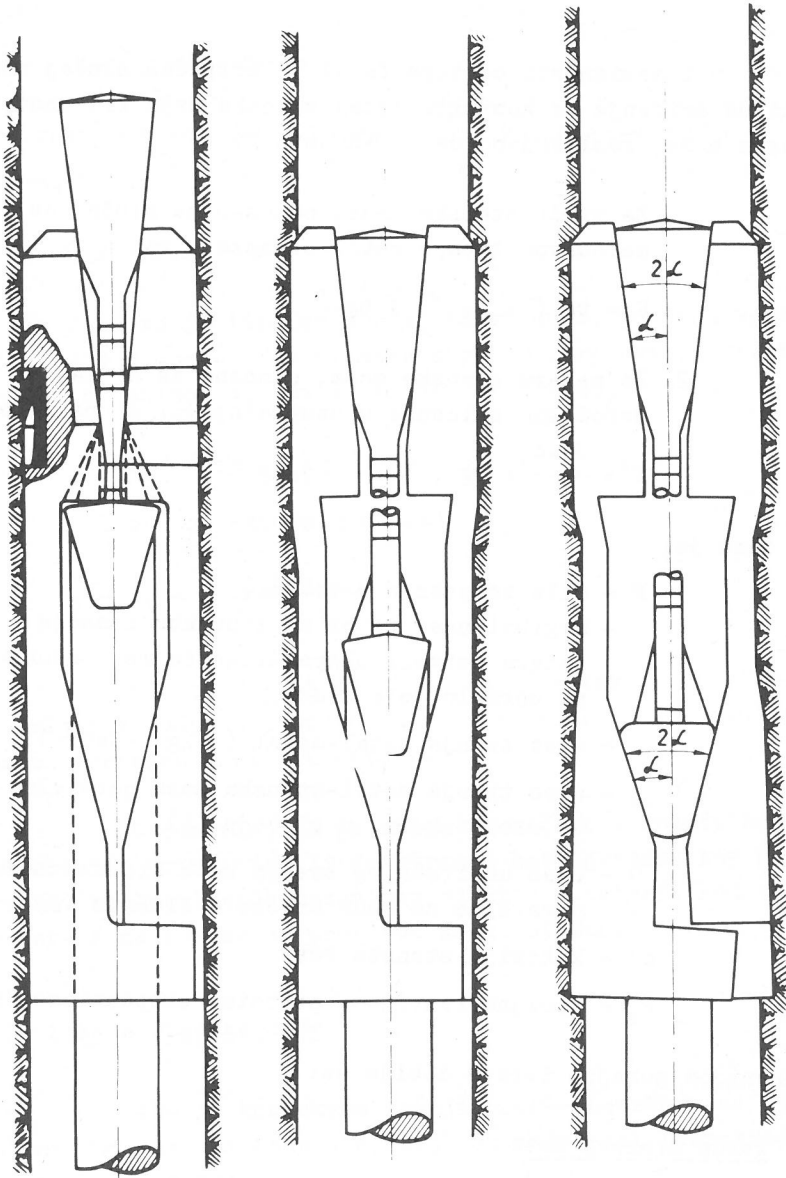
$$f = K \cdot F$$

gde je:

f - nosivost kotve

K - koeficijent nosivosti sidra

F - sila zatezanja koja se poverava sidru



Sl. 3.16 SIDRO BOLTEX - KLASA III - POSTAVLJANJE — KRAJ DRUGOG KORAKA POSLE KIDANJA VRATA — FUNKCIONISANJE DRUGOG DELA JEZGRA I PREDNAPREZANJE TELA

U zavisnosti od toga da li je kritičan slučaj nosivosti na smicanje po kontaktu metal stenska masa ili unutar stenske mase, razlikujemo dve vrednosti K:

1. Za tvrde stenske mase, odnosno za slučaj da je merodavno trenje metal-stenska masa

$$K = \operatorname{tg} (\alpha - \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_2$$

2. Za mekane stenske mase, odnosno za slučaj da je merodavno smicanje u unutrašnjosti stenske mase

$$K' = \frac{P_s \cdot c}{F} + \operatorname{tg} (\alpha - \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_3$$

Pri čemu je:

- F - sila zatezanja u zatezi,
- α - nagibni ugao rampe na kontaktu između jezgra kotve i ekspanzione čaure u odnosu na normalu tela sidra,
- φ_1 - ugao trenja metal-metal (jezgro-čaura),
- φ_2 - ugao trenja metal-stenska masa paralelno sa osom ankera, u slučaju (1),
- φ_3 - ugao unutrašnjeg trenja kroz stensku masu paralelno sa osom ankera u slučaju (2)
- c - kohezija stenske mase
- P_s - spoljna razvijena površina ekspanzione čaure.

Diskusijom gornjih izraza dobija se:

(1) Tvrda stenska masa

$$(1.1) \quad K \geq 1 \text{ odnosno } \operatorname{tg} (\alpha - \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_2 \geq 1$$

ovo je zadovoljeno za :

$$\alpha - \varphi_1 + \varphi_2 \geq \frac{\varphi}{2}$$

što znači da ako je α blisko $\frac{\varphi}{2}$ a φ_1 vrlo malo, K će bez obzira na φ_2 biti veće od 1.

$$f = K \cdot F > F$$

Ovo je idealan slučaj kotvljenja, postoji samo ograničenje u slučaju loma stenske mase prouzrokovanog brzim prirastom normalnog napona u radijalnom pravcu.

$$(1.2) \quad K < 1, \text{ odnosno } \operatorname{tg}(\alpha - \varphi_1) \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} < 1$$

ovo je zadovoljeno sa:

$$\alpha - \varphi_1 + \varphi_2 < \frac{\varphi}{2}$$

Ovo je slučaj mada je nemoguće takozvano slobodno kotvljenje, odnosno, pošto je $f < F$ sidro bi se izvlačilo usled postojanja sile u zatezi.

U tom slučaju pristupa se sidrenju pomoću kotve sa takozvanim prinudnim ili forsiranim kotvljenjem, kod kojih je kapacitet kotvljenja nezavisan od sile u zatezi. Kod takvih sidara F ne sme da se povećava neograničeno.

(2) Mekane stenske mase

Ako je kontaktno trenje čaura-stenska masa veće od otpornosti na smicanje u njenoj unutrašnjosti (neposredno iza kontakta), imamo:

$$(2.1) \quad K' \geq 1 \text{ odnosno } f \geq F$$

$$\frac{P_s \cdot c}{F} + \operatorname{tg}(\alpha - \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_3 \geq 1$$

Da bi ova nejednačina bila zadovoljena, drugi deo izraza levo od znaka nejednakosti može da bude veći ili manji od 1:

$$(2.1.1) \quad \operatorname{tg}(\alpha - \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_3 > 1, \text{ odnosno kao i u slučaju}$$

$$(1.1) \quad \alpha - \varphi_1 + \varphi_3 > \frac{\pi}{2} \quad \text{pošto je } \frac{P_s c}{F} > 0, \text{ važe isti}$$

zaključci kao pod (1.1).

$$(2.1.2) \quad \operatorname{tg}(\alpha - \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_3 < 1 \quad \text{odnosno}$$

$$\alpha - \varphi_1 + \varphi_3 < \frac{\pi}{2}$$

S obzirom da je $f > F$, treba da bude zadovoljen uslov

$$F \leq \frac{P_s c}{1 - \operatorname{tg}(\varphi - \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_3}$$

Pošto su imenilac i brojilac uvek veći od nule, gornja nejednačina pokazuje da je moguće slobodno kotvljenje uz ograničenje koje diktira vrednost razlomka na njenoj desnoj strani.

$$(2.2) \quad K' < 1 \quad \text{odnosno } f < F$$

izlazi:

$$\frac{P_s c}{F} + \operatorname{tg}(\alpha - \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_3 < 1 \quad \text{ili}$$

$$F > \frac{P_s c}{1 - \operatorname{tg}(\alpha - \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_3}$$

U slučaju da je φ_3 malo što je i slučaj kod mekih stena, vidi se da nije moguće slobodno kotvljenje, dok se forsiranim kotvljenjem ne može da dobije toliko veliko f jer sam početni uslov pokazuje da je f malo.

Ovo je ujedno i za praksu najteži slučaj, jer je, kao što se vidi, sidrenje u mekim stenskim masama prilično ograničeno.

Kao što se vidi iz slučajeva (1) i (2) optimalni uslovi sidrenja diktirani su nejednačinama:

$$\alpha - \varphi_1 + \varphi_2 \geq \frac{f}{2}$$

$$\alpha - \varphi_1 + \varphi_3 \geq \frac{f}{2}$$

Ovaj uslov zadovoljavaju sidra čije kotve imaju što je veće moguće α i što je moguće manje φ_1 ; φ_2 i φ_3 , pri čemu dva poslednja zavise isključivo od stenske mase. Da bi φ_1 bilo što manje pribegava se izradi kotvi kod kojih je kosina po kojoj se vrši ekspanzija čaura fino obradjena i presvučena niskofrikcionim legurama.

Napred iznete diskusije mogu normalno da posluže za donošenje odluka da li će se vršiti sidrenje sa kotvama u vidu ekspanzionih čaura, odnosno kada se već donese pozitivna odluka, uži izbor tipa ekspanzione čaure.

Zajedničke osobine sidara sa ukotvljenjem na jednom mestu su da im je primena ograničena skoro isključivo na podzemne radove, zbog toga što im je nosivost relativno mala jer je uslovljena:

- (1) Silom ukotvljenja koja obzirom da se vrši na ograničenom prostoru relativno mala i zavisi od čvrstoće na smicanje medijuma u kome se vrši;

- (2) Silom kidanja tela ankera, koja je ograničena dimenzijama poprečnog preseka tela i kvalitetom materijala od koga je telo izradjeno.

Dužina tela ne može s obzirom na mehanizam aktiviranja ukotvljenja, da bude velika, što je još jedan razlog koji ovu vrstu sidara predodređuje za upotrebu u podzemnim radovima gde nije moguće izvoditi bušotine velike dubine. Zbog ove svoje osobine ovakva sidra se još zajednički zovu "kratka sidra".

Sila ukotvljenja kod ovih sidara može da se dobije analitičkim putem kada su poznati principi na kojima se zasniva ukotvljenje i mehaničke čvrstoće stenske mase u kojoj se ono vrši. Međutim, bez obzira na rezultate koji se dobijaju analitičkim putem, potrebno je da se u svakoj situaciji, posle donošenja odluke o primeni određenog tipa kotve, izvrši terensko ispitivanje nosivosti sidra u sredini u kojoj će biti primenjeno.

Dalje, često se pogrešno smatra da će se velikom ekspanzijom čaure postići veća moć kotvljenja. Naprotiv, velikom ekspanzijom može se zdrobiti stenska masa u zoni kotvljenja i time smanjiti moć kotvljenja ekspanzione čaure.

3.4 SIDRA SA PRODUŽENIM UKOTVLJENJEM - ADHEZIONA SIDRA

Na osnovu razmetranja iznetih u tačkama 3.2 i 3.3, vidi se da sidra sa ukotvljenjem na jednom mestu imaju ograničen kapacitet kotvljenja, a naročito kada su u pitanju stenske mase sa lošijim mehaničkim čvrstoćama.

S obzirom da se sidrenje kao postupak primenjuje baš u cilju ojačanja lošijih stenskih masa, traži se takvo sidro koje će i u lošijim stenskim masama biti u stanju da izvrši svoj zadatak.

Radovi koji se izvode u savremenoj inženjerskoj praksi izazivaju ponekad takve poremećaje u stenskoj masi, za čiju sanaciju su potrebne ogromne sile koje daleko premašuju kapacitet kotvljenja ekspanzionih čaura. S druge strane velike sile zahtevaju i velike dubine kotvljenja, koje su izvan domašaja "kratkih sidara".

Rešenje koje zadovoljava skoro sve slučajeve koje nameće savremena praksa dato je u obliku adhezionih sidara.

Dijapazon mogućnosti jednog istog tipe ovakvih sidara, kao što su na primer VSL, Zölner und Polensky, Stump Bohr ili BBRV sidra, praktično pokriva sve zahteve koje danas postavlja inženjerska praksa^x:

- primenjuju se u svim vrstama stenskih masa, uključujući i aluvijalne naslage, izuzev glinovitih materijala,
- dužine sidara preme potrebi variraju od 3 do 60 i više metara,
- sila prednaprezanja varira od 10 do 400 i više tona.

Za razliku od sidara sa ukotvljenjem na jednom mestu, adhezioni sidra ostvaruju kotvljenja na jednoj odredjenoj konačnoj dužini bušotine, zbog čega se nazivaju još i sidra

^xU nas je u poslednje vreme za sidrenje stenskih masa počela primena domaćih sistema razvijenih za prednapregnuti beton.

sa produženim ukotvljenjem. Danas su adhezionna sidra praktično potpuno izbacila iz upotrebe sidro se ukotvljenjem na jednom mestu.

Princip kotvljenja ovakvih sidara je adhezija sidro - malter i malter - stenska masa.

Ovakva sidra se uglavnom sastoje od metalnog dela sidra koje se ugradjuje u unutrašnjost bušotine i spoljne glave sidra. Telo ovakvog sidra može da bude od punog okruglog, glatkog ili orapavljenog čeličnog profila, čelične cevi, spleta čeličnih žica visoke otpornosti na zatezanje ili spleta čeličnih užadi.

Ma kakav bio metalni materijal koji se koristi za zatege ovakvih sidara, on je okružen slojem maltera koji čini celinu sa stenskom masom. Veze između maltera i stenske mase je utoliko intimnija ukoliko je stenska masa više ispucala, ukoliko su zidovi bušotine grublji i ukoliko je injekcioni pritisak veći. Da bi ispuna od cementnog maltera izvršila svoju ulogu veznog materijala između tela sidra i stenske mase, potrebno je da prečnik bušotine bude samo nešto malo veći od prečnika tela sidra. Zatega može da bude glatka ili rapava, prava ili izlomljena linija, kruta ili savitljiva. Kao vezni materijal se često koriste malter sa ekspanzivnim cementima ili poliesterskim smolama; ovi drugi naročito u slučajevima kada je neophodno brzo vezivanje.

3.4.1 Analiza kotvljenja kod adhezionih sidara

Pre nego što se predje na podelu, opis, način postavljenja, dobre i loše strane pojedinih vrsta ovakvih sidara, potrebno je da se razmotre neki teorijski aspekti rada adhezionih sidara koji su zajednički za sva ovakva sidra.

Sila zatezanja u telu sidra na elementu dužine dx iznosi:

$$dZ = - O \cdot A \cdot dx$$

gde je: O - obim šipke, odnosno okvašeni obim zatege u dodiru sa cementnim malterom

A - sila adhezije čelik - malter, odnosno otpornost na smicanje cementnog maltera

$$\frac{dZ}{dx} = - O \cdot A = - \mathcal{D} \cdot D \cdot A,$$

gde je D prečnik zatege (razmatranje radi uprošćavanja svodi-mo na zategu od punog okruglog profila).

Integracijom ovog izraza dobijamo:

$$Z = - D \cdot A \cdot x + C$$

gde je C integraciona konstanta.

Za $x = 0$; $Z = Z_i$; sledi: $C = Z_i$, odnosno $Z = Z_i$

Za $x = l$; $Z = 0$; sledi: $C = \mathcal{T} D A l$, odnosno

$$Z = - \mathcal{T} D A x + \mathcal{T} D A l = \mathcal{T} D A (l - x)$$

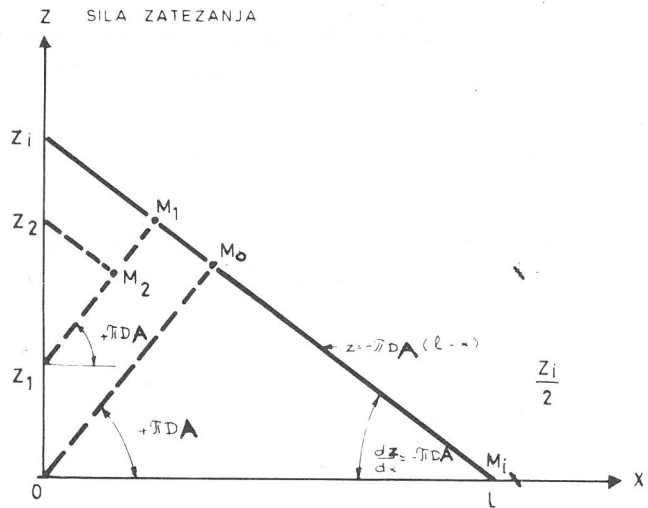
Ako predpostavimo da na početku adhezionog usidrenja vlada početna sila zatezanja Z_i i da se na dubini l ova sila anulira (angažovanost adhezije linearno opada sa dubinom uro-njavanja šipke u cementni malter) dobijamo:

$$Z = - \mathcal{T} D \cdot A (l - x)$$

Grafički prikaz ove funkcije dat je punom linijom na sl.3.17

To je prava linija sa nagibom

$$\frac{dZ}{dx} = -\sigma \cdot D \cdot A$$



SL 3 17

Ako sila zatezanja opadne od Z_i na Z_1 šipke će u blizini $x = 0$ težiti da se "uvuče" u malter. Analogno prethodnom razmatranju karakteristična prava za novo stanje biće tačkasta linija $Z_1 M_1$ sa nagibom $+ \varphi \cdot D \cdot A$. Od M_1 nadalje prethodna ravnoteža nije narušena. Ako se Z_i spusti na nulu, novonastalo stanje karakteriše se linijom OM_0M_i . Odatle se vidi da se ni posle potpunog rasterećenja ne gubi potpuno sila zatezanja Z , već da se u dubini zadržava polovina prvobitno izazvane sile Z_i .

U slučaju novog zatezanja šipke od Z_1 na Z_2 u blizini tačke $X = 0$ dolezi do novog izduženja i novo stanje je na osnovu analogije definisano pravom $Z_2 M_2$ sa nagibom $-\varphi \cdot D \cdot A$. Stanje na dužini l definisano je izlomljenom linijom $Z_2 M_2 M_1 M_i$.

Ako bismo sidro ponovo zategli do Z_i , slika bi se ponovo vratila u prvobitni položaj.

Izduženje šipke Δ zategnute silom Z dobija se integraljenjem izraza

$$d\Delta = \frac{Z}{F \cdot E_a} \cdot dx \quad \text{gde je } F \text{ površina poprečnog}$$

preseka zatege, a E_a modul elastičnosti materijala od koga je zatega napravljena.

$$\Delta = \int_0^x \frac{Z}{\frac{\pi D^2}{4} \cdot E_a} dx = \int_0^x \frac{4Z}{\pi D^2 \cdot E_a} dx$$

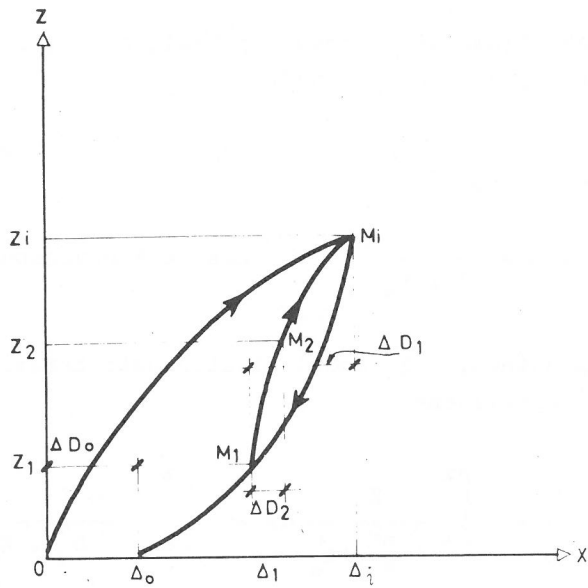
U prvom zatezanju za $Z = Z_i$ imamo:

$$Z = Z_i - \varphi \cdot D \cdot A \cdot x$$

Posle integracije, koristeći smenu:

$$l = \frac{Z_i}{\pi D \cdot A} \quad \text{dobijamo}$$

$$\Delta_i = \frac{2}{\pi^2 D^3 A E_s} \cdot F_i^2 = K \cdot F_i^2$$



To je luk parabole $\widehat{OM_i}$ sa sl. 3.18

Rasterećenjem Z_i na Z_1 dobija se vrednost:

$$\Delta D_1 = \frac{K}{2} (Z_i - Z_1)^2$$

koja je predstavljena lukom parabole $\widehat{M_i M_1}$ sa sl. 3.18

Konačno zatezanjem od Z_1 na Z_2 dobija se povećanje izduženja

$$\Delta D_2 = \frac{K}{2} (Z_2 - Z_1)^2 \text{ i odgovarajući luk parabole } \widehat{M_1 M_2}$$

na sl.3.18.

Iz ove kratke analize se vidi da je adhezivnost reverzibilan fenomen sa ireverzibilnim posledicama iz čega proizilazi:

- 1^o Zategnuta, pa zatim zalivena šipka ne može potpuno da se otpusti; posebno, sredina zategnutog dela zadržava u sebi silu koja je jednaka najmanje polovini početnog zatezanja.
- 2^o Izduženje koje pretrpi zatega usled početnog prednaprezanja ne može da se anulira i zadržava najmanje polovinu početnog izduženja.

Ovi zaključci se koriste direktno u tehnologiji sidrenja sa adhezionim sidrima.

Kao što je poznato princip rada adhezionih sidara zasniva se na sadejstvu koje se realizuje u sistemu zatega - malter - stenska masa. Zbog toga treba proučiti i stanja u kojima mogu da se nalaze veze adhezije:

- malter - zatega, s jedne, i
- malter - stena s druge strane.

Na osnovu ranije iznetog mogu da se napišu uslovi ravnoteže:

Sila zatezanja Z_x u telu sidra, u preseku sa apscisom x , mereno od početka maltera iznosi:

$$Z_x = Z - \sigma d A x,$$

gde je:

Z - sila zatezanja u slobodnom delu zatege

d - prečnik tela sidra

A - adhezija na kontaktu čelik - malter

Ova sila se prenosi na ispunu od cementnog maltera preko transverzalne sile T_x koja, iz uslova ravnoteže, ima istu vrednost:

$$T_x = Z - \sigma d A x$$

Ista ta sila se preko kontakta malter - stenska masa prenosi na stensku masu, pa imamo:

$$T'_x = Z - \sigma \cdot D \cdot B \cdot x,$$

gde je:

D - prečnik bušotine

B - adhezije na kontaktu malter - stenska masa

Potpuna ravnoteža će postojati kada je,

$$T_x = T'_x, \text{ odnosno}$$

$$A \cdot d = B \cdot D$$

Medjutim, u opštem slučaju ovo nije slučaj, odnosno:

$$A \cdot d \neq B \cdot D$$

Razlikujemo dve slučaja:

(1) $B \cdot D > A \cdot d$ Tada je malter pritisnut u ravnima sa normalom u pravcu ose sidra i trpi napone smicanje paralelno

sa osom zatege. U tom slučaju dolazi do izvlačenja zatege iz maltera (videti sl. 3.19 pod a), pod uslovom da je $X_0 > l_k$ gde je l_k kritična dubina do koje može da se angažuje veza malter - zatega.

- (2) B . D < A . d (sl. 3.19 pod b). Tada nastupa zatezanje u malteru u ravnima uprevnim na osu zatege i smicanje u malteru paralelno sa osom zatege. Doći će do izvlačenja ispune od maltera iz bušotina ako je još i $x' > l_k$ gde je l_k - kritična dubina do koje može da se angažuje veza malter-stenske masa.

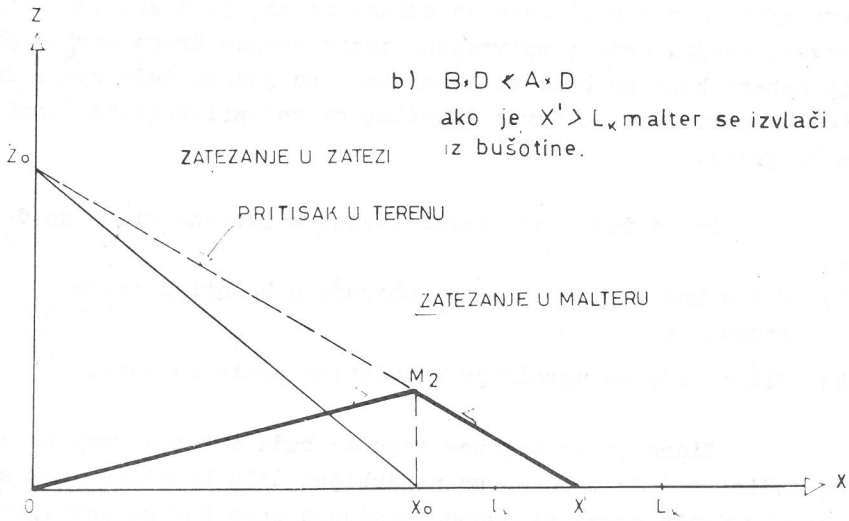
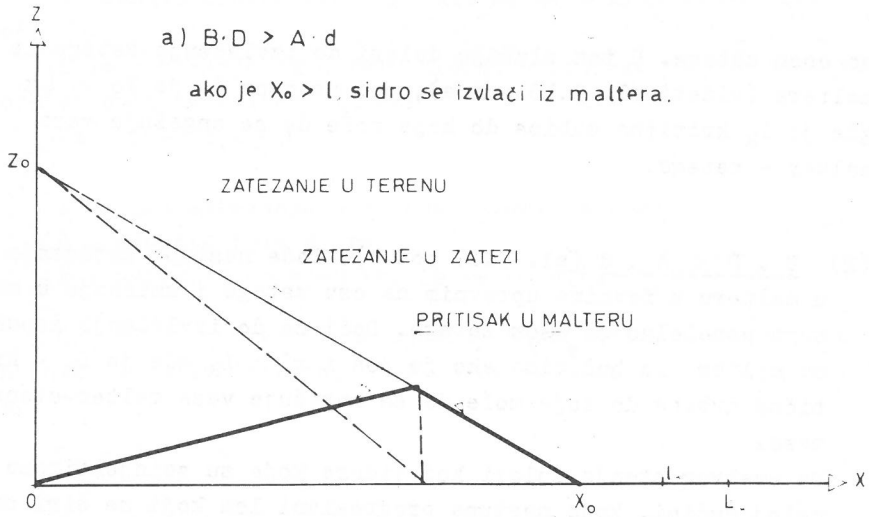
Do ovakvog stanja dolazi kod sidara koje su zainjektirana po celoj dužini, kada nastupa progresivni lom koji se širi od usta bušotine prema dnu.

Za vreme ispitivanja probnih anкера za osiguranje slapišta brane HE Djerdap zapažena je ova pojava pa je predloženo da se ankeri ne zalivaju do vrha čime se ustvari poboljšava njihova nosivost iako je dužina na kojoj su zaliveni bila ustvari manje. Ovo je potvrđeno ispitivanjem druge serije probnih anкера koji su bili zaliveni samo na jednom delu svoje dužine. Ispitivanje je izveo Institut za vodoprivredu "J.Černi" iz Beograda.

Prema redosledu ugradjivanja adhezionna sidra se dele na:

- (1) Sidra kod kojih se malter ubacuje u bušotinu posle sidra, i
- (2) Sidra koje se ugradjuju u bušotinu posle maltera.

Sidra iz prve grupe mogu da budu zebetonirana na celoj dužini ili delimično, na najdubljem delu bušotine, dok se sidra iz druge grupe uglavnom ugradjuju tako što se kotvljenje



realizuje na ograničenom potezu, u dnu bušotine.

S druge strane, zavisno od krutosti materijala od koga je napravljeno telo sidra, ova sidra mogu biti:

- (1) sa krutim telom (pun čelični presek ili debelozidna cev)
- (2) sa vitkim telom (splet čeličnih žica ili užadi)

Na kraju, adhezioni sidra mogu biti kombinovana sa sidrima sa kotvljenjem na jednom mestu (V. sl. 3.20).

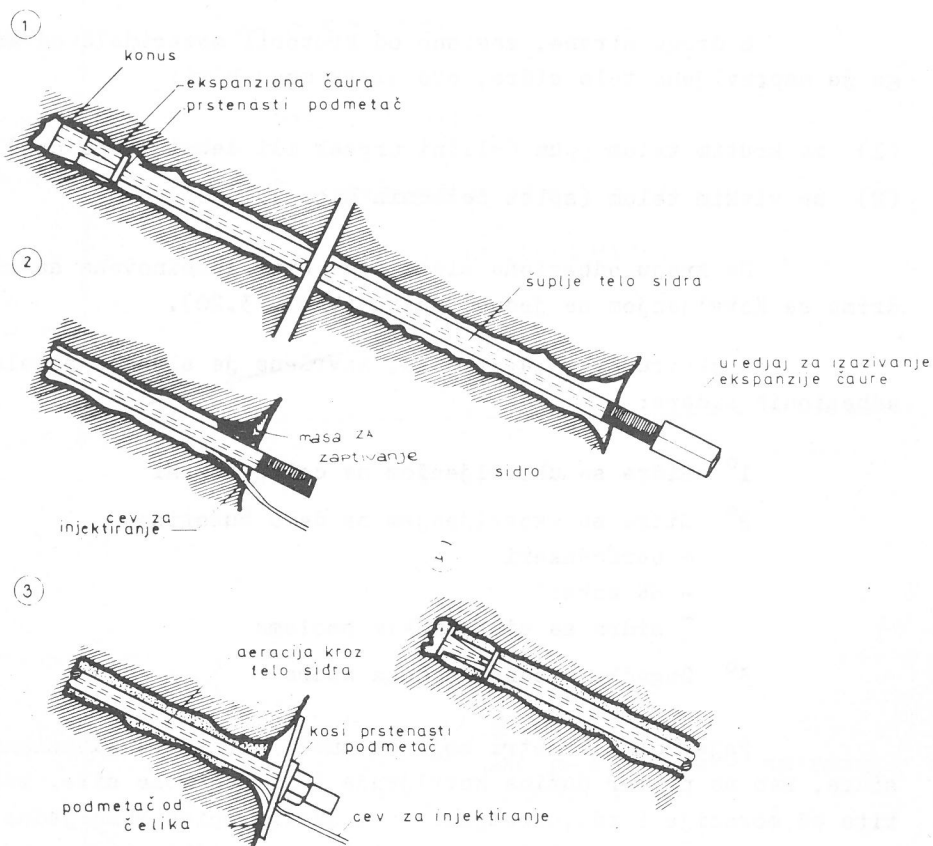
U okviru ovog materijala, izvršena je sledeća podela adhezionih sidara:

- 1° Sidra sa ukotvljenjem na celoj dužini
- 2° Sidra sa ukotvljenjem na delu bušotine
 - perfoankeri
 - SN ankeri
 - sidra sa sintetičkim smolama
- 3° Dugačka prednapregnuta sidra

Pojedini parametri koji su značajni za sva adhezioni sidra, kao na primer dužina kotvljenja (1), kontrola sile, zaštita od korozije i td., obradjeni su u okviru opisa samo jedne vrste sidra. Svi zaključci u tom smislu zajednički su za sva adhezioni sidra.

3.4.2 Sidra sa ukotvljenjem na celoj dužini

Postoje različiti tipovi ovakvih sidara. Osnovni problem kod postavljanja ovih sidara predstavlja zapunjevanje prostora između tela sidra i zidova bušotine cementnim malterom. Zapunjevanje se uglavnom vrši pod pritiskom uz pomoć injektora sa specijalnim dispozitivima za injektiranje i odstranjivanje vazduha iz bušotine,



FAZE:

- ① — UGRADJIVANJE, EKSPANZIJA ČAURE
- ② — POSTAVLJANJE INJEKCIJONIH CEVI I ZAPTIVKE
- ③ — POSTAVLJANJE SPOLJNE GLAVE I ZATEZANJE
- ④ — ZAINJEKTIRANO SIDRO

SL. 3.20 INJEKTIRANO EKSPANZIONO SIDRO

Drugi problem predstavlja izbor konzistencije maltera kojim se vrši injektiranje. Postoje razvijeni postupci i patentni razradjeni za ovu svrhu. Upotrebljavaju se razni aditivi kojim se postiže veća fluidnost injeksione mase, njeno brže vezivanje, smanjenje efekta skupljanja maltera u toku kristalizacije cementa i sl. Svi ovi parametri koji utiču na injeksionu masu vrlo su značajni kada se vrši izbor iste i potrebno je pre konačne odluke dobro prostudirati efikasnost pojedinog aditiva i izvršiti probna opterećenja sidara u cilju ustanovljavanja njihove nosivosti. Pored početne nosivosti vrlo je značajan efekat plastičnog tečenja maltera, o čemu treba voditi računa naročito ako se predviđa dugotrajno dejstvo adhezionog sidra.

Na sl. 3.20 prikazano je jedno ekspanziono sidro koje se primenjuje za ankerovanje stenske mase. Injektiranje ovakvih sidara se vrši iz tri razloga:

- da se telo ankera zaštiti od agresivnih voda
- da se sila pritezanja zadrži ista tokom celog vremena eksploatacije
- da se osigura bolje ukotvljenje sidara u stensku masu.

S druge strane, ako se sidra sa ekspanzionom čaurom predspregnu, stvaraju se mnogo povoljniji uslovi za injektiranje stenske mase koje se može izvršiti bez bojazni da usled visokih injeksionih pritisaka dodje do destrukcije stenske mase naročito u slučajevima kada je ona uslojena.

Kako se vidi iz ovog primera postoji mogućnost kombinovane upotrebe raznih vrsta sidara, čime se polje primene ove tehnike još više proširuje. S druge strane, kombinovanjem dva postupka za poboljšavanje mehaničkih karakteristika stenskih masa, injektiranja i sidrenja postiže se daleko veći efekat, nego primenom samo jednog od ovih postupaka.^x

^x Prilikom kombinovanja sidrenja i injektiranja treba biti vrlo obazriv (videti 3.1.3 elementi sidrenja, tačka 60 kombinovanje sa drugim postupcima).

Treba naglasiti da se za ovakva sidra, bez obzira da li su kombinovena sa ekspanzionom čaurom ili su čisto adheziiona, telo sidra izradjuje od punog profila ili od debelozidnih cevi. Jedino u slučajevima kada zapunjavanje bušotine cementnim malterom može da se izvede slobodnim nalivanjem sa usta bušotine, primenjuju se puni profili.

Spoljna površina tela ovakvih sidara, kada nemaju glavu za ukotvljenje može da bude glatka ili orapavljena. Poznati su tipovi orapavljenih okruglih profila za vreme valjanja kao što su Tor, Caron, Crenelle itd. Za osiguranje slapišta brane HE Djerdap korišćena su adheziiona sidra od rebrastih okruglih profila \emptyset 30 i \emptyset 40 mm, sovjetske proizvodnje.

Što se tiče kvaliteta materijala, treba birati čelike što veće otpornosti, pod uslovom da se obezbedi sila kotvljenja istog reda veličine kao i otpornost na kidanje tela sidra.

Prilikom postavljanja ovakvih sidara treba izvršiti sledeće operacije:

- (1) Izrada bušotine, pneumatičkim, perkusionim ili rotacionim alatom, sa vazdušnim ili vodenim hladjenjem. Izbor alata kojim će se izvršiti bušenje bušotine zavisi od mnogo parametara kao što su: raspoloživa pogonska energija na gradilištu, tvrdoća stenske mase koja se buši, prečnik i dubina bušotine, mogućnost snabdevanja vodom, topografski uslovi i dr. pa o tome neće biti posebno reči. Bušotina treba da odgovara svrsi, odnosno da bude odgovarajućeg prečnika i dubine, kao i da bude očišćena od prašine ili taloga. Napominje se samo još da je većina sidara sa ekspanzionom čaurom izradjena tako da može da se ugradi u bušotinu izradjene pneumatskim čekićem sa krunicom \emptyset 32 mm.

- (2) Ugradjivanje sidra i, ukoliko je kotvljenje kombinovano, izazivanje ekspanzije čaure.
- (3) Montiranje kratke plastične injekcione cevi za injektiranje međuprostora između sidra i bušotine i zaptivanje usta bušotine. Zaptivanje se vrši ili pomoću gumene zaptivke koju isporučuje proizvođač sidara ili pomoću ugradjivanja neke brzovezujuće mase na usta bušotine. Ovakve mase su obično višekomponentalne smese na bazi epoksi smole. Njihovo vreme vezivanja iznosi obično samo nekoliko minuta (obično 2-5 min).

Ukoliko je u pitanju sidro sa šupljim telom kao na sl. 3.20, ova operacija je time završena. Kod sidara čije telo je od punog materijala, posebno se dodaje dugačka plastična cev koja dostiže do dna bušotine i čija namena je da evakuše vazduh iz nezainjektiranog dela bušotine. Ploča preko koje se prenosi sila iz sidara na stensku masu treba da, pored otvora kroz koji prolazi telo sidra, ima još i otvore za prolaz injekcione, odnosno aeratione cevi.

- (3)* U slučaju da je kombinovano kotvljenje, treba izvršiti i prednaprezanje sidra.*

(4) Injektiranje

- (4.1) Izbor injekcione mase treba vršiti na osnovu predhodno izvršenih laboratorijskih analiza.

Cement treba da bude portland, visoke marke koji postiže

* Prednaprezanje svih takozvanih "kratkih" sidara vrši se pritezanjem matice na glavi sidra. Ovo pritezanje se vrši momentnim ključem koji dozvoljava pritezanje matice do određenog momenta uvijanja koji propisuje proizvođač sidara. Moment uvijanja može da se sračuna, ako se poznaju svi elementi navoja i matice kao i presek i kvalitet materijala od koga je izradjeno sidro.

visoku čvrstoću za kratko vreme. Da bi se smanjila agresivnost podzemnih voda na čelik, portland cement treba da sadrži dodatke od pucolena ili topioničke zgure. Aditivi na bazi hlorida nisu dozvoljeni.

U cilju smanjenja efekta skupljanja maltera, potrebno je injekcionoj masi dodati editive za ekspaniranje maltera.

Vodocemtni faktor injekcione mase treba da se kreće od 0,40 do 0,50. To znači da na 1 kg cementa treba dodati 0,40 do 0,50 l. vode.

- (4.2) Injektiranje se vrši kroz injekcionu cev, odnosno kroz otvor u telu sidra - zavisno od toga da li je sidro u ulaznom ili silaznom nagibu. Na taj način se postiže najbolji efekat injektiranja, jer se bušotina uvek puni odozdo na gore, čime se postiže potpuno i kontinualna evakuacija vazduha iz bušotine.

Iskustvo u svetu pokazuje da nikada ne treba postavljati horizontalna sidra, već ih umesto toga treba izvoditi blago nagnuto na dole. Ovo zbog toga što se kod horizontalnih sidara ne može efikasno da odstrani vazduh za vreme punjenja bušotine injekcionom masom. Treba se uvek držati pravila da se prilikom injektiranja usta aeracione cevi nalaze uvek na najvišoj tački onog dela bušotine koji se injektira, a usta injekcione cevi na najnižoj tački.

Ovakva adhezionna sidra injektirana po celoj dužini postavljaju se isključivo u čvrstoj stenskoj masi.

3.4.3 Sidra sa ukotvljenjem na delu bušotine

Kod ovakvih, čisto adhezionnih sidara, osnovni princip je vezan za redosled radnih operacija. Posle izrade bušo-

tina i njihovog čišćenja, uvek se na neki od načina ugradjuje prvo vezivni materijal (malter ili sintetična smola) a zatim se ugradjuje sidro. Ostale operacije imaju isti redosled kao kod sidara sa ukotvljenjem na celoj dužini bušotine.

Zavisno od načina na koji se ubacuje vezivo u bušotinu i vrste veziva, kod svih sidara razlikujemo:

- 1° Perfoankere
- 2° SN sidra
- 3° Sidra sa sintetičnim smolama

1° Perfoankeri

Na sl. 3.21 prikazan je jedan perfoanker^x. Ovaj anker se sastoji od perforirane cevi sastavljene od dva polucilindrična perforirana limena korita. Svaki polucilinder se posebno napuni cementnim malterom srednje konzistencije, u kome se nalazi frakcija finog peska. Ova dva polucilindra se sastave i obrazuju jedan cilindar ispunjen cementnim malterom koji se ugura do dna bušotine. Telo ankera se naknadno ubacuje u bušotinu i utiskuje u cementni malter perkusionim putem. Malter izlezi iz perforirane cevi kroz rupe i popunjava prazninu između perfo cevi i zidova bušotina. Na taj način se ostvaruje adhezija sidro - malter - stenska masa. Ovakva sidra su vrlo praktična zbog jednostavne konstrukcije i jednostavnog postavljanja. Ne zahtevaju ni injektiranje ni cevi za ispuštanje vazduha. Nedostatak im je što se kotvljenje ostvaruje sa relativno malom količinom maltera, pa se zbog toga mora težiti za tim da prečnik bušotine bude samo nešto veći od prečnika perfo - cevi, usled čega postoji opasnost od destrukcije perifernog sloja maltera.

^x U ovom slučaju se svesno odstupilo od domaćeg termina "sidro" zbog toga što je termin "perfoanker" ušao uveliko u našu terminologiju, zajedno sa širokom primenom ove vrste sidra u praksi.

Perfoankeri se vrlo često koriste u našoj zemlji prilikom gradnje podzemnih hidrotehničkih objekata i kaverni za podzemne elektrane. Primenjivani su prilikom izgradnje HE Dubrovnik, HE Senj.

Prilikom dimenzionisanja perfoankera treba strogo voditi računa o ispunjenju uslova:

$$F_b < F_{pc} + F_s$$

gde je:

F_b - površina poprečnog preseka bušotine

F_{pc} - površine poprečnog preseka perforirane cevi ispunjene malterom

F_s - površina poprečnog preseka tela ankera

Obično je dovoljno: $F_{pc} + F_s = 1,25 F_b$

2° "SM" sidra

Videli smo da se kod perfoankera mora strogo voditi računa o poprečnim presecima tela sidra, perfocevi i bušotine. U slučaju da je $F_b > F_{pc} + F_s$, neće doći do potpunog popunjavanja celokupnog prostora između tela perfoankera i zida bušotine na celoj dužini perforirane cevi. Na taj način se ne može u potpunosti iskoristiti optimalni kapacitet kotvljenja^x, što za posledicu ima "ispadanje" perfoankera iz bušotine.

S druge strane, ako posle punjenja perforiranih cevi ne izvršimo dovoljno čvrsto spajanje obe polutke u jedinstvenu celinu, prilikom utiskivanja tela perfoankera doći će do raz-

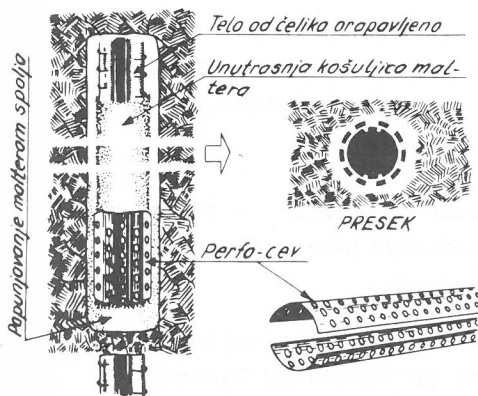
^x Kod ovakvih sidara se preporučuje da dužina kotvljenja l bude nešto veća od optimalne iz razloga iznetih u tački 3.2 kotvljenje.

micanja polutki i njihovog priljubljenja za zidove bušotine čime će se znatno smanjiti površina kontakta između maltera i zidova bušotine, što opet ima za posledicu smanjenje kapaciteta kotvljenja i "ispadanje" perfoankera iz bušotine.

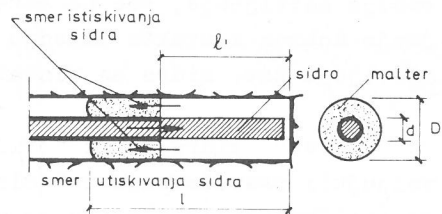
Da bi se prevazišli ovi nedostaci, punjenje bušotine malterom vrši se pomoću gumenog creva u koje se utiskuje malter pod pritiskom. Prilikom ubrizgavanja maltera gumeno crevo se postepeno povlači od kraja bušotine prema njenim ustima, a prostor između dna bušotine ostaje ispunjen malterom.

Utiskivanje tela sidra u bušotinu vrši se na isti način kao kod perfoankera.

Prilikom projektovanja i izvodjenja osiguranja sa SN sidrima, dužina punjenja l' može se relativno jednostavno odrediti iz sledećeg razmatranja:



Sl. 3 21 a) Perfoanker



SL 3 21 - 6)

ODREĐIVANJE DUŽINE KOTVLJENJA KOD
SN SIDARA

Ako nam je unapred utvrđena dužina kotvljenja l , onda je zapremins zazora između sidra i bušotine, koju treba ispuniti malterom jednaka:

$$V = (D^2 - d^2) \cdot l/4$$

Iz uslova da ovu količinu maltera prethodno utisnemo u bušotinu imamo:

$$V = D^2 \frac{l'}{4}$$

odnosno:

$$D^2 \frac{l'}{4} = (D^2 - d^2) \frac{l}{4}$$

Eliminacijom l' iz gornjeg izraza dobijamo, posle sredjivanja:

$$l' = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right) l$$

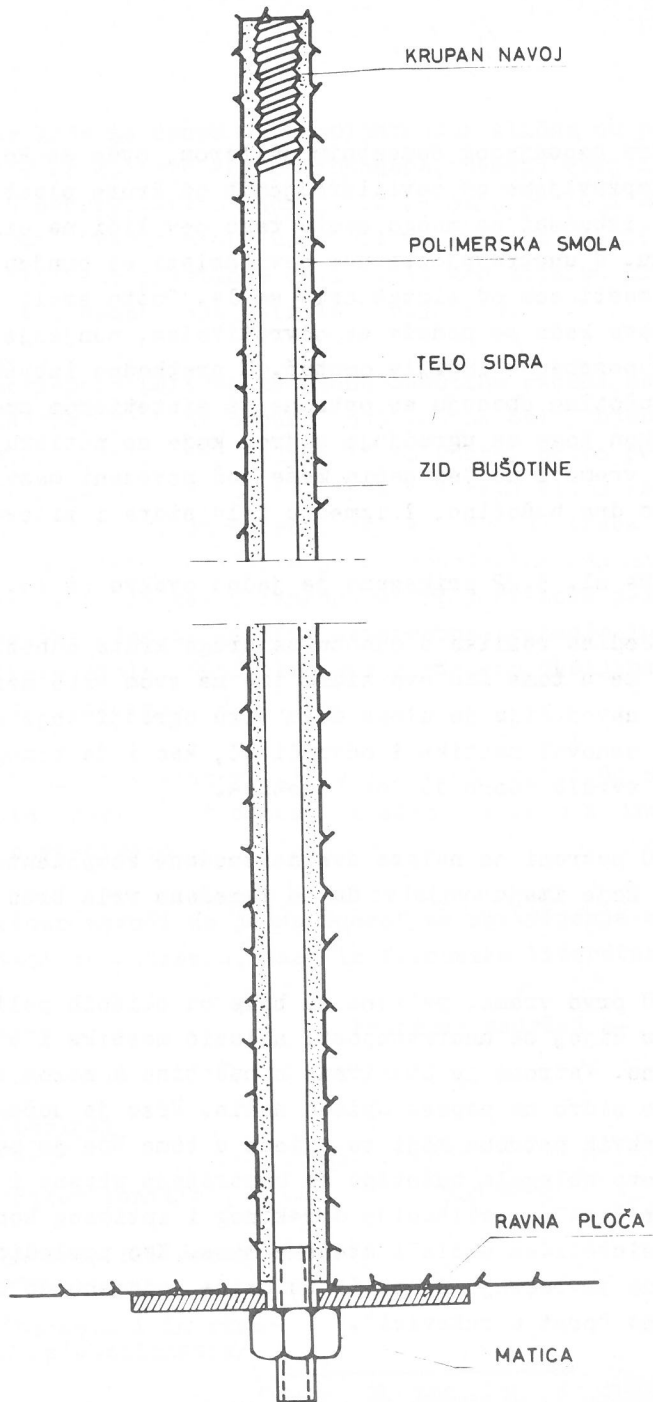
3° Sidra sa sintetičkim smolama

Posebnu vrstu adhezionih sidara, ne po principu realizacije kotvljenja, već po materijalu koji se koristi za dobitanje dobrog kontakta između sidra i zidova bušotine, predstavljaju tzv. sidra sa sintetičkim smolama^x.

Ovakva sidra su najnovijeg datuma i razvila su se zahvaljujući usavršavanju tehnologije industrijske proizvodnje sintetičkih smola i njihovom pojeftinjenju.

Način ugradjivanja ovakvih sidara je sličan načinu na koji se ugradjuju perfoankeri. Umesto perforiranog limenog

^xNaziv "sidro sa sintetičkim smolama" nastao je iz francuskog izraza "boulon à la résine", što doslovno prevedeno znači "sidro u smoli"; s obzirom da je reč o sintetičkim smolama, naziv je malo proširen. Inače, u našoj stručnoj literaturi, koliko je poznato, ne postoji neko prihvaćeno ime za ovu vrstu sidara.



Sl. 322. Sidro sa sintetičkim smolama

cilindra napunjenog cementnim malterom, ovde se koriste patrone napravljene od cevi izradjenih od krute plastike čiji su zidovi izbušeni na mnogo mesta tako cev liči na cilindričnu rešetku. U unutrašnjosti ove cevi nalazi se punjenje sa nevezanim mastiksom od sintetičkih smola. Pošto smola vrlo brzo očvršćava kada se pomeša sa očvršćivačem, punjenje je zatvoreno u poseban - lomljiv omotač. U prethodno izbušenu i očišćenu bušotinu ubacuju se patrone sa sintetičkom smolom, a odmah nakon toga se ugrađuje sidro, koje se potiskuje i rotira u isto vreme i na taj način meša još nevezani mastiks i prodire do dna bušotine, i između tela sidra i zidova bušotine.

Na sl. 3.22 prikazano je jedno ovakvo sidro.

Jedina razlika u odnosu na druga kruta adhezione sidra ogleda se u tome što ovo sidro ima na svom vrhu narezan vrlo krupen navoj čija je uloga da u toku ugrađivanja sidra dobro izmeša osnovni mastiks i očvršćivač, kao i da pomogne sidru da kao svrdlo dopre do dna bušotine.

U patroni se nalaze dve neizmešane komponente "epoxy" smole, koje imaju svojstva da se izmešane vrlo brzo stvrdnjavaju.

U prvo vreme, patrone su bile od običnih polietilenskih creva u čijoj se unutrašnjosti nalazio mastiks i očvršćivač odvojeno. Patrona je ubacivana u bušotinu a nakon toga je ugrađivano sidro na napred opisan način. Brzo je uočen nedostatak ovakvih patrona koji se ogleda u tome što je polietilensko crevo oblagalo bušotinu sa unutrašnje strane i na taj način sprečavalo realizaciju direktnog i intimnog kontakta između sintetičke smole i stenske mase. Kao posledice došlo je do izvlačenja sidra iz bušotine, odnosno do stvaranja fenomena "prst u rukavici".

Patrone koje se danas upotrebljavaju i slične su perfo-cevima koje se koriste kod perfoankera, nemaju ovaj nedostatak jer su napravljene od lomljivog materijala koji se drobi za vreme utiskivanja sidra u bušotine; spoljni omotač je od krute perforirane plastične cevi služi kao zaštita prilikom transporta i nameštanja patrone u bušotine.

Broj potrebnih patrone za jednu bušotinu računa se tako da sidro i sadržaj patrone napune bušotinu na celoj njenoj dužini, odnosno na željenoj dužini 1'. Obrnuto, pošto patrone ne mogu da se dele na više delova, prečnik tela sidra za određenu dubinu sidrenja i određen prečnik bušotine treba birati tako da se prilikom ugradjivanja cela bušotina napuni, uzimajući u obzir i to da zazor između sidra i stenske mase ne bude mnogo veliki čime se izaziva nepotrebno trošenje inače skupe sintetičke smole. Minimalan zazor odnosno debljina smole ne treba da bude ispod 2 mm.

Vreme vezivanja sintetičkih smola kreće se od 30 sekundi do 3 minuta, zavisno od odnosa između aktivnih i inertnih sastojaka u očvršćivaču.

Kao primer navodi se jedan recept za spravljanje mase koja se koristi za sidrenje, uzet iz francuske literature:

Sastav mastiksa	Prosečan sadržaj
- Poliesterska smola	28,5 %
- inertni materijal /mleveni dolomit/	66,0 %
- Ubrziivač /dimetilanilin/	0,5 %
Sastav očvršćivača ili katalizato- ra polimerizacije:	
- Peroksid benzola i inertan materijal /plastifikator/	5,0 %
	<hr style="width: 20%; margin-left: auto; margin-right: 0;"/>
	Σ 100,0 %

Ovakva polimeriska smola ima otpornost na pritisak od 1.200 kp/cm² a na zatezanje 200 kp/cm². Najveći broj stenskih supstanci ima mehaničke karakteristike istog reda veličine, s tim što su otpornosti na zatezanje uvek niže nego kod sintetičkih smola.

Prednost ovakvih sidara su sledeće:

- Omogućuju brze intervencije u slučajevima kada se zahteva kotvljenje na celoj dužini bušotine.

- Sintetičke smole su dosta inertne na uticaj voda koje su inače agresivne na cement.

- Postupak sidrenja je čistiji nego kod perfoankera, jer se patrone proizvode industrijski a ne na licu mesta.

Nedostaci:

- Osnovni mastiks gubi kvalitet sa vremenom, pa o tome treba strogo voditi računa.

- Ugradjivanje mora da se izvede što je moguće brže, što zahteva istrenirane ekipe koje vrše sidrenje kao i obavezno korišćenje mehanizovanih alata sa pogonom na električnu energiju ili zbijeni vazduh. Zastoja ne sme da bude; kada se jednom pogreši prilikom ugradjivanja nekog sidra, popravke se ne mogu izvršiti jer je vezivanje praktično trenutno.

- Obzirom na prethodni nedostatak, u slučaju većeg ras-
tura, cena ovakvog načina sidrenja prestaje da bude konkuren-
tna čak i u odnosu na klasično podgradjivanje.

. - . - . -

Zajednička svojstvo svih sidara kod kojih se u bušotinu ubacuje prvo malter a zatim sidro je da se malter ubacuje po

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.

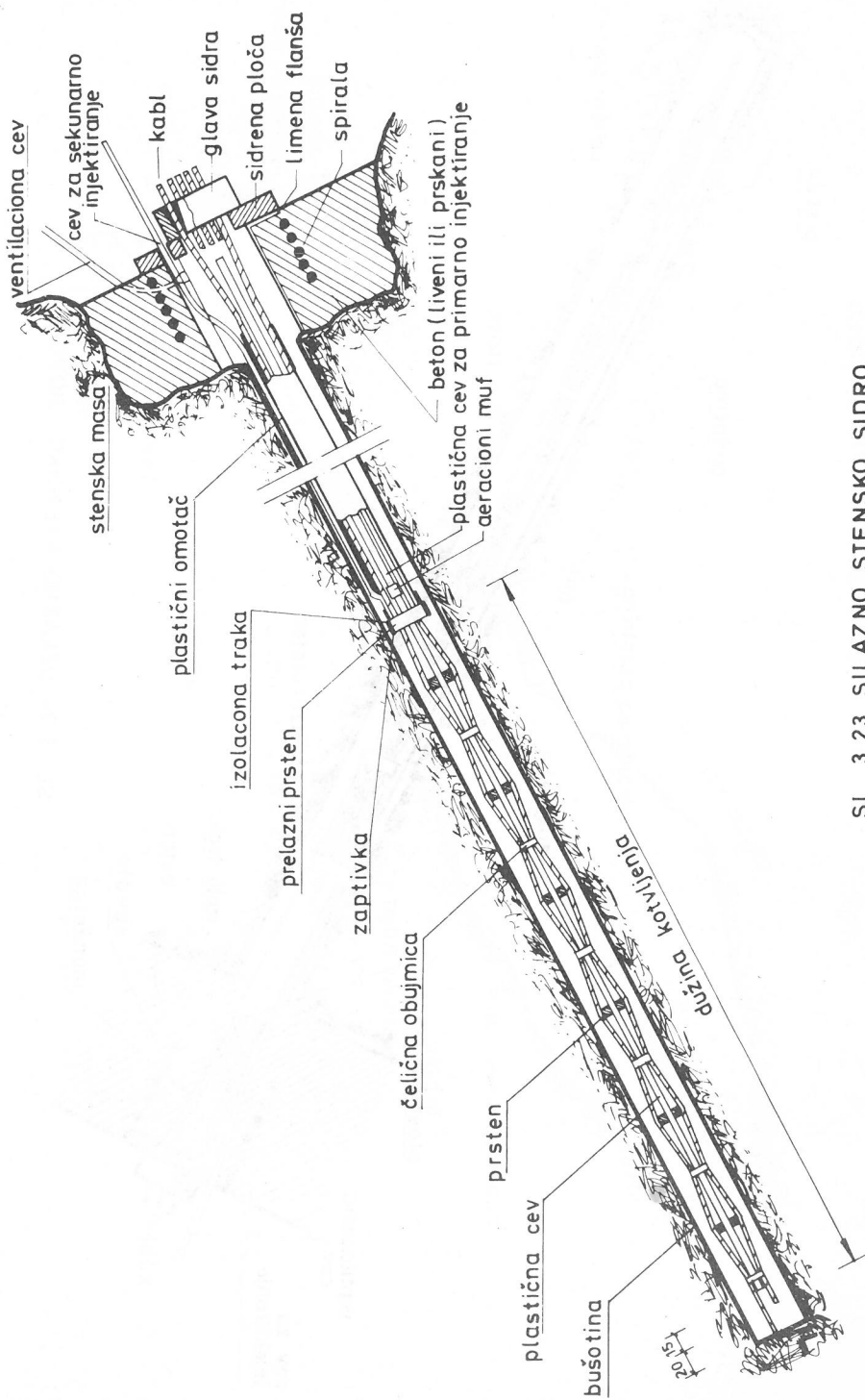
Na sl. 3.23 i 3.24 dati su detalji sidara sa adhezionim ukotvljenjem na delu bušotine koje se primenjuju u stenskim masama, a na sl. 3.25 isto ovakvo sidro koje se primenjuje u aluvijalnim naslagama. Sidro na sl. 3.23 je takozvano "silazno" sidro, dok je na sl. 3.24 dato tzv. "uzlazno" sidro. Orientacija 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.

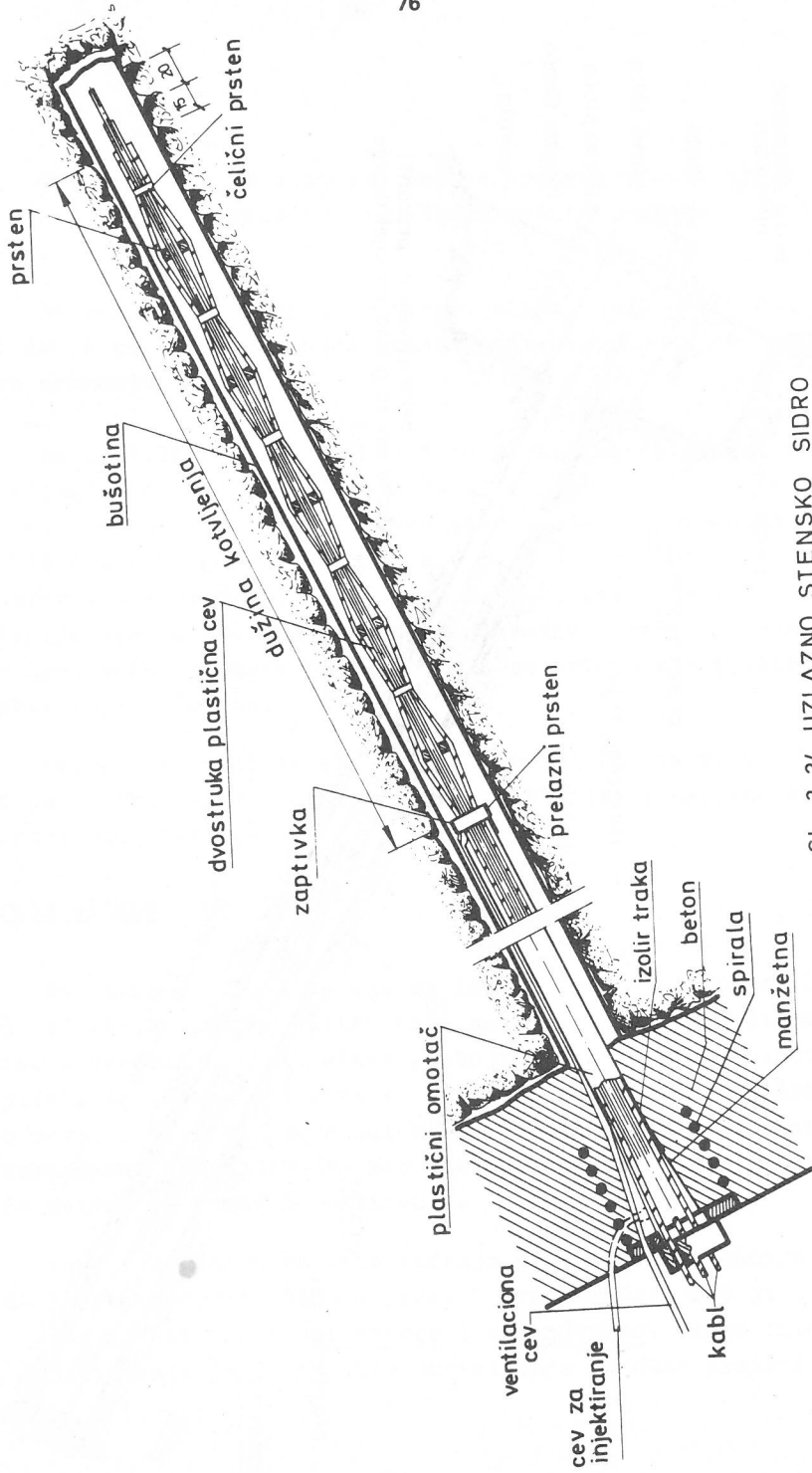
1° Opis sidara

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.

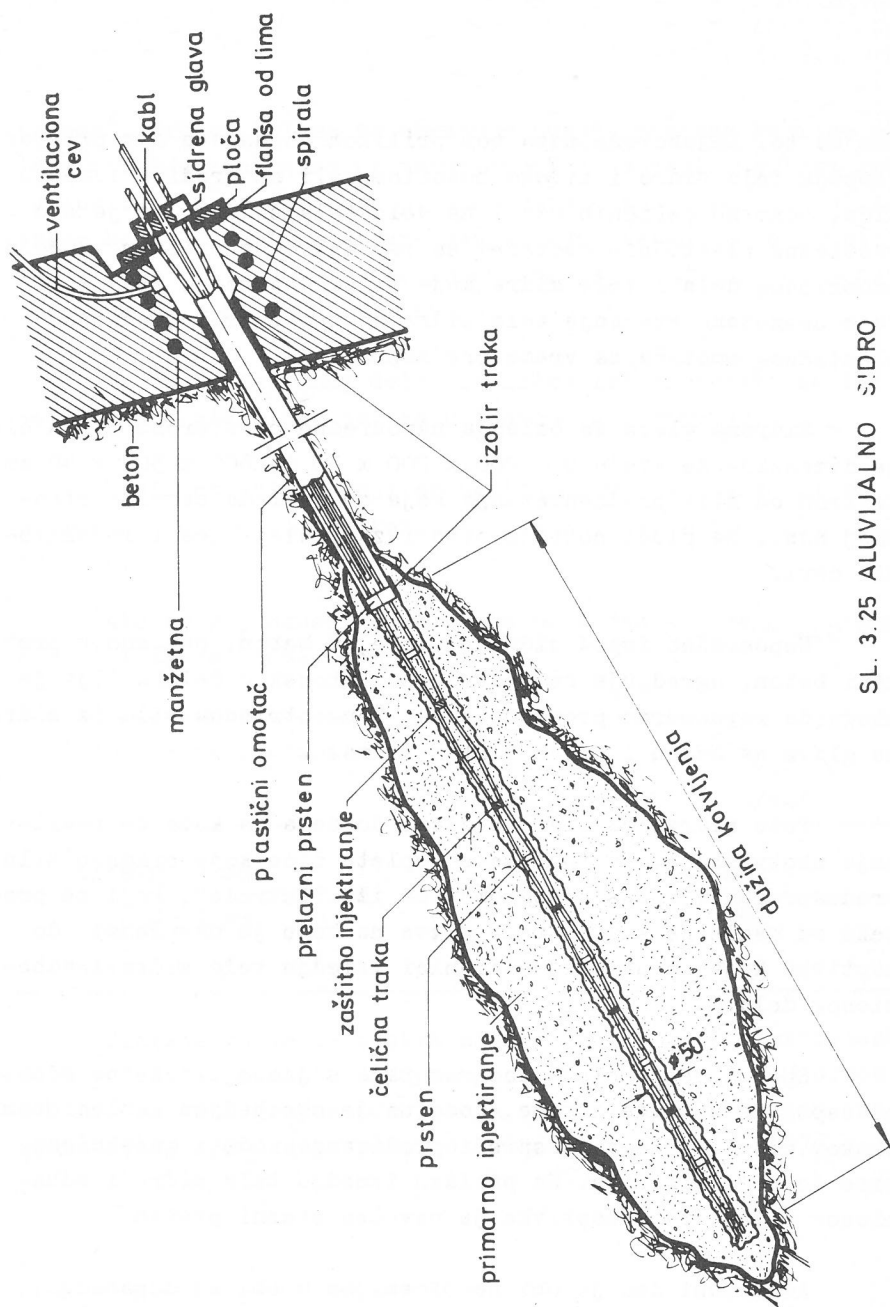
Zapaža se odmah razlika između ovih sidara i sidara koja se injektiraju po celoj dužini. U ovom slučaju reč je o dve vrste injektiranja: primarnom i sekundarnom. Uloga primarnog injektiranja je da osigura ukotvljenje na delu predviđje-



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 izmedju tela sidra i zidova bušotine, ali ne prodire izmedju žica, odnosno čeličnih užadi na delu tela sidra, jer je ovo zaštićeno plastičnim omotačem sa zaptivkom na prelazu izmedju 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, ugradjuje 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 izmedju tela sidra i adhezionog dela.

Spoj izmedju 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 izmedju tela sidra i adhezionog dela, preko zaptivke je navučen stezni prsten.

Adhezioni deo je obično oformljen u obliku dugačkog

talasa^x. 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.

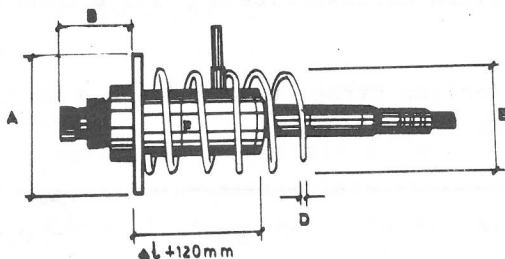
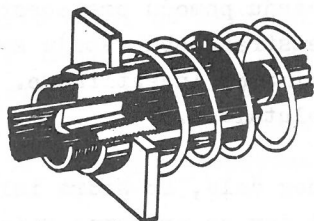
Kvalitet čelika koji se upotrebljava za ovakva sidra zavisi od toga da li se koriste žice $\varnothing 7$ ili $\varnothing 8$ mm ili čelična užad.

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

Vrsta materijala	β_z kp/mm ²	$\sigma_{0,2}$ kp/mm ²
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).

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



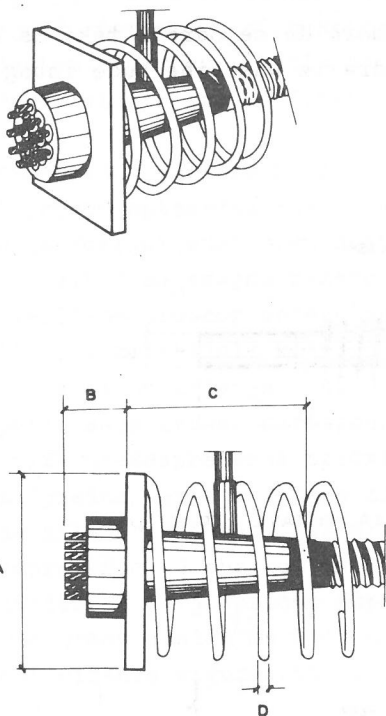
SL. 3.26 SIDRENA GLAVA KABLA OD ČELIČNIH
ŽICA

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 podatke 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.

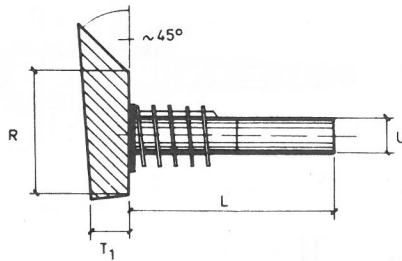


SL. 3.27. Sidrena glava kabla od čeličnih užadi

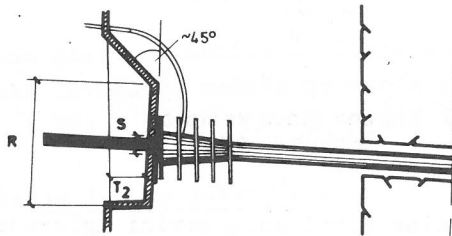
U suštini dužina kotvljenja zavisi uglavnom od mehaničkih karakteristika stenske mase i injekcione mase, odnosno od kvaliteta veze između maltera i zidova bušotine izraženog

preko parametara čvrstoće na smicanje ove veze, s jedne strane, kao i veličine sile prednapreznja, 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^{em} ne može da se dobije ni utisak o veličini koeficijenta sigurnosti na čupanje sidra.

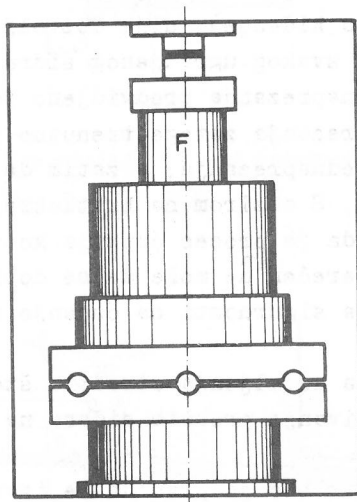
Da bi se dužina kotvljenja odredila što tačnije potrebno je izvršiti ispitivanje probnih sidara na čupanje.

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

^x Odredjivanje 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 jeftinih 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 metodi 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 isticali, 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/cm². 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/cm².

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. Opitno 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.

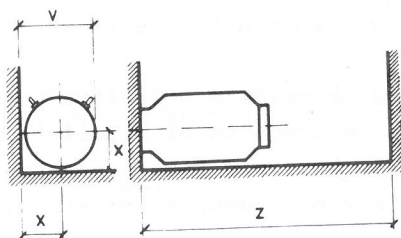
4.8.1 Uzlazna sidra

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 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

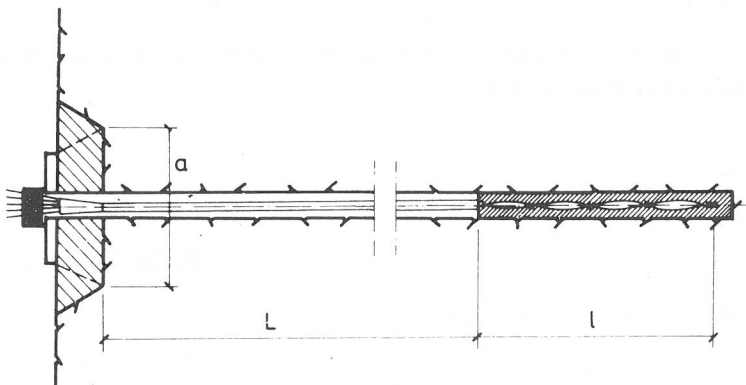
Za proračun se usvajaju sledeće oznake:

- V_0 , sila prednaprezanja (M_p)
- F_e , površina poprečnog preseka kabla od koga je napravljeno sidro (cm^2)
- σ_e , normalni napon zatezanja u žicama kabla (kp/cm^2)

- δ_e , istezanje tela sidra (cm)
- E, modul elastičnosti čelika (kp/cm²)
- D, modul deformacije stenske mase (kp/cm²)
- F_a , površina stenske mase koja je direktno opterećena dejstvom jednog sidra (cm²)
- q_0 , kontaktni pritisak na površini F_a (kp/cm²)
- δ_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

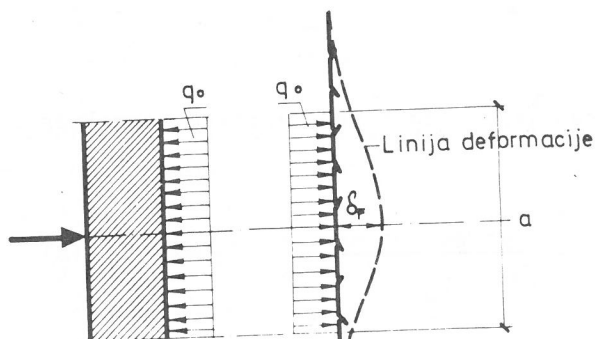
Usvajaju se sledeće računске pretpostavke:

- 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.

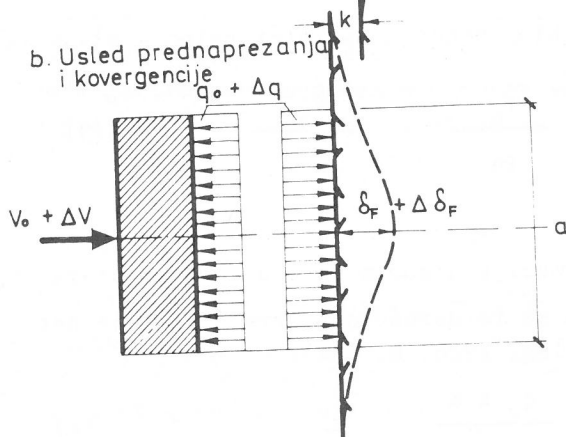
5.1.3 Računska shema

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.

Konvergencija se može meriti preciznim geodetskim ili direktnim merenjem.

Usled konvergencije 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 konvergencije 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 konvergencije (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 δ_f zamenimo sa $\Delta \delta_f$ a q_0 sa Δq , 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 Δq 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 ΔV 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 ΔV 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.