

# Primjena geotehničkih sidara u stabilizaciji glinenih pokosa

---

Šmic, Nikolina

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:500873>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

Nikolina Šmic

**PRIMJENA GEOTEHNIČKIH SIDARA U STABILIZACIJI  
GLINENIH POKOSA**

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2020.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva  
za \_\_\_\_\_ u \_\_\_\_\_ sa  
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred  
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu  
Varaždin, \_\_\_\_\_

Predsjednik  
ispitnog povjerenstva:

*izr. prof. dr. sc. Igor Petronić*

### Članovi povjerenstva

- 1) Prof. dr. sc. Zorip Metec
- 2) Prof. dr. sc. Stjepan Strelac
- 3) izr. prof. dr. sc. Igor Petronić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

**PRIMJENA GEOTEHNIČKIH SIDARA U STABILIZACIJI  
GLINENIH POKOSA**

DIPLOMSKI RAD

KANDIDAT:

Nikolina Šmic

*Šmic N.*

MENTOR:

Prof. dr. sc. Josip Mesec

VARAŽDIN, 2020.



## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnica: NIKOLINA ŠMIC  
Matični broj: 204 - 2017./2018.  
Smjer: GEOINŽENJERSTVO OKOLIŠA

### NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

#### PRIMJENA GEOTEHNIČKIH SIDARA U STABILIZACIJI GLINENIH POKOSA

Rad treba sadržati:

1. Uvod
2. Glina
3. Stabilizacija pokosa
4. Geotehnička sidra
5. Postupak ugradnje geotehničkih sidara
6. Nosivost i slom sidra
7. Injekcijska smjesa i kontrola kvalitete
8. Ispitivanje geotehničkih sidara
9. Zaštita sidra od korozije
10. Sidrenje u glinenom tlu
11. Zaštita građevinske jame RBA u Zagrebu
12. Zaključak
13. Literatura

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 18.03.2020.

Rok predaje: 07.09.2020.

Mentor:

Prof.dr.sc. Josip Mesec



Predsjednik Odbora za nastavu:

Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

PRIMJENA GEOTEHNIČKIH SIDARA U STABILIZACIJI GLINENIH POKOSA

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **prof.dr.sc. Josipa Meseca**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 03. rujna 2020. godine

---

Nikolina Šmic

(Ime i prezime)



(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ  
OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

PRIMJENA GEOTEHNIČKIH SIDARA U STABILIZACIJI GLINENIH POKOSA

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 03. rujna 2020. godine

prof.dr.sc. Josip Mesec

( Ime i prezime mentora)



(Vlastoručni potpis)

## SAŽETAK

Ime i prezime autora: Nikolina Šmic

Naslov teme: Primjena geotehničkih sidara u stabilizaciji glinenih pokosa

U ovom diplomskom radu opisana su geotehnička sidra. Prvi dio rada počinje klasifikacijom i svojstvima gline. Kompaktnost i plastičnost gline ovisi od količini postotka vode u glini. Glina se sastoji od glinenih minerala od kojih su najzastupljeniji kaolinit, montmorilonit, ilit. Opisani su načini stabilizacije kod klizišta i građevinske jame u kojima se sidra koriste.

Glavni dio rada počinje elementima te klasifikacijom sidra. Zatim je opisan sami postupak ugradnje sidra koji se sastoji od pripremnih radova, izrade bušotine, ugrađivanja i injektiranja sidra te prednaprezanje sidra. Prednaprezanje je vrlo bitan postupak u funkciji sidra. Nosivost ovisi o svojstvima tla i tehnologiji ugrađivanja sidra. Kako bi održali stabilnost građevine ne smije doći do sloma u dijelovima sidra i okolnom tlu. Ispitivanje sidra osiguravamo sigurnost objekta.

Kasnije je objašnjen postupak sidrenja u glinovitom tlu. Na kraju rada opisan je praktičan primjer primjene sidara na dogradnji poslovne zgrade.

Ključne riječi: glina, geotehničko sidro, prednaprezanje, injekcijska smjesa



## ABSTRACT

Name and surname of the author: Nikolina Šmic

Topic title: Application of geotechnical anchors in the stabilization of clay slopes

Geotechnical anchors are described in this diploma thesis. The first part of the paper begins with the classification and properties of clay. The compactness and plasticity of the clay depends on the amount of percentage of water in the clay. Clay consists of clay minerals, the most common of which are kaolinite, montmorillonite, and illite. Methods of stabilization in landslides and construction pits in which anchors are used are described.

The main part of the work begins with the elements and the classification of the anchor. Then, the process of anchor installation is described, which consists of preparatory works, drilling, installation and injection of anchors and prestressing of anchors. Prestressing is a very important procedure in the function of anchors. Load capacity depends on soil properties and anchor installation technology. In order to maintain the stability of the building, there must be no breakdown in the parts of the anchor and the surrounding ground. Testing the anchor ensures the safety of the facility.

The anchoring procedure in clay soil is explained later. At the end of the paper, a practical example of the application of anchors on the extension of an office building is described.

**KEYWORDS:** clay, geotechnical anchor, prestressing, injection mixture

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. GLINA.....	2
2.1 MINERALI GLINA.....	3
3. STABILIZACIJA POKOSA .....	5
4. GEOTEHNIČKA SIDRA.....	6
4.1 POVJEST .....	6
4.2 ELEMENTI GEOTEHNIČKOG SIDRA .....	7
4.3. KLASIFIKACIJA SIDRA.....	10
5. POSTUPAK UGRADNJE GEOTEHNIČKIH SIDARA .....	13
6. NOSIVOST I SLOM SIDRA .....	17
6.1 NOSIVOST .....	17
6.2. SLOM.....	17
7. INJEKCIJSKA SMJESA I KONTROLA KVALITETE SMJESE .....	19
7.1. KONTROLA KVALITETE SMJESE .....	19
8. ISPITIVANJE GEOTEHNIČKIH SIDRA.....	21
9. ZAŠTITA SIDRA OD KOROZIJE .....	25
10. SIDRENJE U GLINENOM TLU.....	27
10.1 TEHNIČKO RJEŠENJE .....	28
10.2. DETALJI TEHNIČKOG RJEŠENJA .....	30
11. ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME RBA U ZAGREBU .....	31
12. ZAKLJUČAK .....	40
13. LITERATURA.....	41
13.1 POPIS SLIKA .....	43
13.2 POPIS TABLICA .....	44

## 1. UVOD

Gline čine 70 % svih sedimentnih stijena, a nalazimo ih u primarnim i sekundarnim nalazištima. Prirodno glinovito tlo vrlo je osjetljivo na promjenu vlažnosti i kod visokih sadržaja vode postaje nestabilno kao građevinski materijal bilo da se radi u njemu ili s njim.

Geotehnička sidra su važan element rješavanja problema u geotehničkom inženjerstvu. Njihova zadaća je osigurati neželjene vertikalne i horizontalne deformacije te spriječiti da ne dođe do geotehničkog sloma. Moraju djelovati tako da pritiske s površine i/ili labilnih dijelova pokosa prenesu u duboke, stabilne slojeve tla ili stijene. Mogu djelovati samostalno, ali i kao dijelovi složenih građevinskih zahvata. Sidrenjem tla poboljšava se relativno niska čvrstoća tla s visokim vrijednostima čvrstoće čelika sidra.

Danas sidra imaju veliku raširenost u primjeni. Primjenjuju se u rudarstvu najviše kod tunelogradnje, osiguranju visokih brana, za sanaciju klizišta, za zaštitu iskopa kod dubokih građevinskih jama, za sidrenje upornjaka kod mosta.

Značajniji razvoj tehnologije sidrenja u geotehnici tijekom vremena doveo je do razvoja mnogih sustava sidrenja, vrsti i tehnologija izvedbe sidara. U slučaju da je pred geotehničara postavljen zahtjev potrebno je osigurati uvid na temelju kojega je moguće odlučiti gdje, kada i koje sidro koristiti te kako projektirati sidrenje.

## 2. GLINA

Zbog što lakšeg sporazumijevanja i rješavanja inženjerskih zadataka Artur Casagrande je razvio klasifikaciju kojom se grupira različita vrsta tla prema sličnim svojstvima. Tla dijelimo na krupnozrnate i sitnozrnate. Glina je sitnozrnato tlo koje sadrži preko 50% čvrstih čestica manjih od 0,060mm. Struktura sitnozrnatog tla formira se taloženjem čestica u vodi gdje uz gravitacijske sile na čestice djeluju i elektrokemijske sile koje drže čestice na okupu(kohezija) te se nazivaju i koherentna tla. Sitnozrna tla se klasificiraju prema granicama plastičnosti i sadržaju organskih tvari (Slika 1.). Švedski znanstvenik A.Atterberg utvrdio je da se s povećanjem vlažnosti tla povećava volumen istog tla i pri tome se mijenjaju svojstva plastičnosti. Otkrio je da materijal nakon određene granice, smanjenjem vlažnosti ne gubi na volumenu. Na osnovi rezultata pokusa opisao je žitko, polučvrsto i čvrsto konzistentno stanje te granicu tečenja, plastičnosti i stezanja između tih stanja. Plastičnost gline utvrđuje se i prema dijagramu plastičnosti. On dijeli područje na 2 zone: iznad A-linije gdje se nalaze glinoviti materijali i ispod A-linije prahoviti materijali i organske gline. Mora se uzeti u obzir i kada je granica tečenja ispod 50%, materijal je niskoplastičan (oznaka L), a kada je više od 50% visokoplastičan (oznaka H). Materijali koji se nalaze u dijagramu na istim točkama imaju slična svojstva poput stišljivosti, čvrstoće na smicanje pri jednakoj vlažnosti, propusnost.[1]

Sitnozrnata tla (više od polovice materijala s zrnima manjim od 0,06 mm)	Prašina i glina (granica tečenja < 50)	ML	Neorganski prah i vrlo fini pijesci, kameno brašno, prašinski i glinoviti pijesci ili glinovite prašine niske plastičnosti
		CL	Neorganske gline niske do srednje plastičnosti, šljunkovite gline, pjeskovite gline, muljevite gline, mršave gline
		OL	Organski prah i organske prašinate gline niske plastičnosti
	Prašina i glina (granica tečenja > 50)	MH	Neorganski prah, tinjčasti i dijatomejski materijali
		CH	Neorganske gline visoke plastičnosti, masna glina
		OH	Organske gline srednje do visoke plastičnosti, organski prah
	Visoko organska tla	PT	Treset i druga visoko organska tla

Slika 1. Klasifikacija sitnozrnatih tla [1]

Terenskom identifikacijom možemo vizualno procijeniti vrstu tla. Koherentna tla identificiraju se pokusom lijepljenja tla na prste. Glineno tlo ima unutarnje veze između čestica koje uvjetuju svojstvo lijepljivosti. Brojčana vrijednost lijepljivosti mjeri se silom koja je potrebna da se glina odlijepi od površine drugih materijala. Ljepljivost ovisi o vlažnosti koje s povećanjem raste a kasnije naglo pada te o mineraloškom sastavu gline. Povećanjem lijepljivosti povećava se i otpor tla. Plastičnost se može prepoznati rezom površine grumena. Voštani sjaj ima glina visoke plastičnosti dok mutan sjaj ima glina srednje plastičnosti. Glina može imati miris po organskoj zemlji dok joj je boja smeđa ili crna. Za identifikaciju koristi se još pokus suhe čvrstoće ili sadržaj solne kiseline. Rastom sadržaja vode u tlu, glinena tla povećavaju svoj volumen te počinju bubriti. Volumen koherentnog tla može varirati od maksimalno, na granici zasićenosti, do minimalno na granici stezanja. Što su slojevi gline na većoj dubini, sadržaj vode je obično manji pa je glina djelomično suha i tvrda, a na manjim dubinama je većinom vlažna i plastična. Sposobnost upijanja vode ovisi o visokoj specifičnoj površini glinenih čestica. Što su čestice sitnije, njihova specifična površina je veća te je veća mogućnost upijanja vode, a time je i glina plastičnija. Prema aktivnosti glina postoje neaktivne (kaolinit), normalne (ilit) i aktivne gline (montmorilonit). Zbog velike kohezije između čestica visoko aktivne gline stvaraju problem inženjerima. Aktivne gline imaju jaku kompakciju pod pritiskom, visoki kapacitet kationske zamjene, visoko su tiksotropne te imaju nizak otpor na smicanje dok su neaktivne malo povoljnije.[2]

## 2.1 MINERALI GLINA

Glina je mineraloški sediment koji je nastalo raspadanjem različitih magmatskih i silikatnih stijena pod utjecajem atmosferilija. Čestice gline pretežno su sastavljene od minerala u kojima su silikatni tetraedri povezani u listićavu strukturu. Karakter veze među listićima bitno utječe na ponašanje minerala gline. S upijanjem vode usko je povezan i pojam normalne konzistencije gline koja daje glineno tlo najveće plastičnosti i jačine na kidanje.

Glina se sastoji od glinenih minerala od kojih su najzastupljeniji kaolinit, montmorilonit, ilit. Nastaju trošenjem silikatnih minerala i hidrotermalnom hidratizacijom alumosilikata. Osnovnu strukturu čine slojevi tetraedara i slojevi

oktaedara. Strukture su dvoslojne ili troslojne. Većina glina je nastala taloženjem te je mješavina kaolinita i ilita, s promjenljivom količinom montmorilonita.

### KAOLINIT

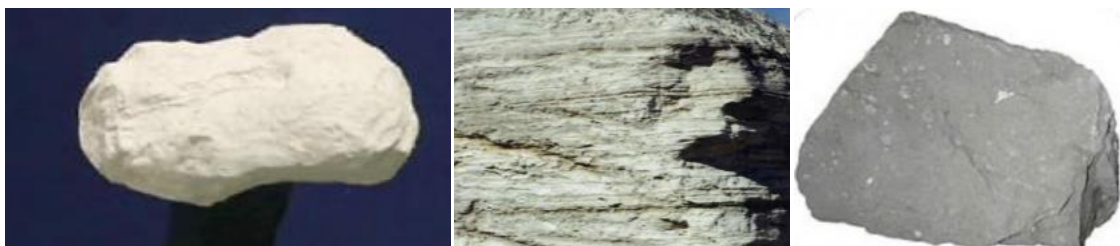
Kaolinit ili bijela glina je najrašireniji mineral u sedimentnim i rezidualnim tlima. Postanak kaolina veže se uz djelovanje humusnih voda i stvaranja mrkog ugljena ili raspada feldspata pod djelovanjem vulkanskih voda koje sadržavaju ugljičnu kiselinu. Sastoji se od jednog aluminijskog oktaedrijskog listića i jednog silicijskog tetraedrijskog listića spojenih zajedničkim kisikom. Sloj kaolinita je debljine 0,7 nm. Ima ograničenu mogućnost bubrenja jer kationi ne mogu u prostor između slojeva. Predstavlja aluminijev silikat s vodom, ima veliku otpornost na visoke temperature, tali se tek na 1750°C, srednju plastičnost te malu vezivnu moć.

### MONTMORILONIT

Mineral ima bijelo-sivu boju, važan je sastojak tropskih tla i bentonita. Građen je od dva tetraedarska sloja između kojih je umetnut jedan oktaedarski sloj. U dodiru s većom količinom vode njegova svojstva se mijenjaju, ali nije plastičan (neravnog je loma žuto do žućkastobijele boje). Ima najveći potencijal bujanja, volumen mu se povećava za 2,5 puta te izaziva probleme pri izgradnji temeljnog tla i daljnjeg korištenja objekta.

### ILIT

Sloj ilita sastoji se od jednog oktaedrijskog listića i dva tetraedrijska listića. Građom je sličan montmorilonitu ali je dio silicija zamijenjen aluminijem. Višak naboja se neutralizira vezivanjem kalija između slojeva kristalne rešetke pa se ne mogu razmicati kao i kod montmorilonita. Ima veliku mogućnost bubrenja od kaolinita a manju nego montmorilonit. Važni su sastojci škriljavih glina.



Slika 2. Minerali gline-kaolinit, ilit, montmorilonit [1]

### 3. STABILIZACIJA POKOSA

#### KLIZIŠTA

Većina klizišta nastaje u slabim geološkim materijalima, dominatno glinama i glinovitim stijena. Klizište u glini većinom je pojedinačno ili višestruko rotacijsko, u idealnom slučaju po kružnoj kliznoj plohi. Minerali glina, često produkti trošenja stijena, pridonose pojavi klizišta zbog svojih fizičkih i kemijskih značajki.

U rješavanju problema stabilnosti pokosa koriste se slijedeći postupci (pojedinačno ili kao kombinacija):

- preoblikovanje pokosa (smanjenje nagiba) i opterećenje nožice pokosa, zamjena materijala u pokosu s ugradnjom drenaže
- dreniranje pokosa, gradnja potporne konstrukcije, ojačanje tla u pokosu

Prvi korak pri stabilizaciji klizišta je uklanjanje nestabilnog dijela pokosa (kod plićih kliznih ploha) te ugradnja istog materijala sa zbijanjem ili zamjena za drugi materijal. Kako bi se održala stabilnost smanjuje se nagib kosine opterećenjem nožice pokosa i dobro zbijenim nasipom. Vrlo učinkovit način stabilizacije je dreniranje. Kopani i bušeni drenovi, uključujući i površinsku odvodnju (kanali i jarci) pokosa, predstavljaju najčešće poduzimanu mjeru za osiguranje stabilnosti pokosa odnosno sanaciju klizišta. Ova mjera ima za cilj smanjenje pornih tlakova vode u tlu radi povećanja efektivnih naprezanja i čvrstoće tla. Neke od potpornih konstrukcija u sanaciji su potporni zidovi, armirano betonski zidovi, gabionski zidovi, zidovi od prefabriciranih elemenata. Za ojačanje tla koriste se geotehnička sidra, različite metode injektiranja, čavlanog tla, termička obrada tla te sadnja vegetacije.

#### GRAĐEVINSKA JAMA

Zaštitom ili osiguranjem iskopa jame mora se spriječiti bilo kakav oblik prodiranja vode u slobodni prostor njezina iskopa i osigurati stabilnost iskopanih stranica. Najčešća zaštita jame je armirano betonskom dijafragmom. Dijafragma se ugrađuje u tlo prije iskopa, a tijekom iskopa se učvršćuje geotehničkim sidrima. U čvrstom glinenom tlu koristi se koncept čavlanog tla. Žmurje su uski, dugi i vitki elementi od čelika koji se upotrebljavaju za osiguranje građevne jame od tlaka tla ili vode. Čelično žmurje je najpogodnije za ugradnju u pjeskovita tla, meke do polučvrste gline i slične materijale.

Novije tehnologije koriste mlazno injektiranje za izradu neprekinutih zavjesa u tlu. U mlazno injektirana tijela armatura se ugrađuje utiskivanjem u svježe ugrađenu smjesu.

## 4. GEOTEHNIČKA SIDRA

Geotehnička sidra pripadaju grupi geotehničkih potpornih konstrukcija preko kojega se vlačna sila s konstrukcije prenosi u tlo. Na taj način se povećava stabilnost objekta što je i osnovni zadatak sidra. Ugrađuju se u tlo bušenjem sa svrhom armiranja i prenošenja vlačnog opterećenja iz građevine u tlo. Danas se smatra da su najznačajnija geotehnička sidra ona prednapregnuta sidra koja linijski prenose silu u tlo sa jasno izraženom slobodnom dužinom sidra. U svakom pojedinom slučaju u praksi potrebno je na temelju pomno razmatranih utjecajnih faktora provesti odgovarajući izbor geotehničkog sidra.

### 4.1 POVJEST

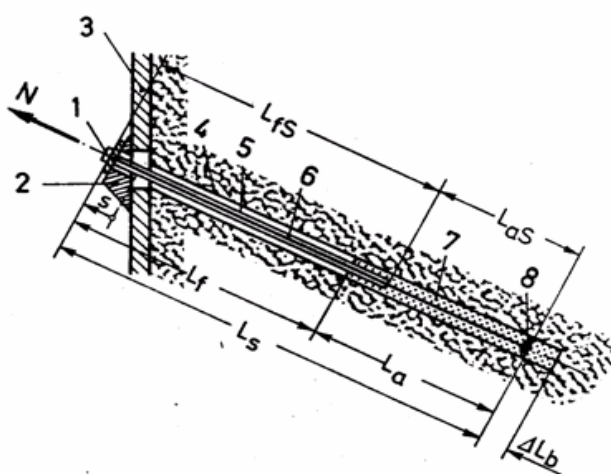
Podrijetlo geotehničkog sidra može se smjestiti na kraj 18.stoljeća. Jedna od prvih i najdojmljivijih primjena jest jačanje Cheurfas brane u Alžiru 1934.godine Izgrađena je od uobičajenih građevinskih materijala 1880.godine, ali je djelomično uništena samo pet godina kasnije nakon velikih poplava. Obnovljena je 1892., ali je u ranim 1930-tim godinama pokazivala nestabilnost, pri čemu je strukturni integritet obnovljen pomoću vertikalnih sidra teških 1000 tona, postavljenih na intervalima od 3,5 m. Sidra su prenijela napetost uzrokovanu težinom pješčenjaka, na otprilike 15 metara ispod temelja brane, odnosno, nasipa. Zbog prisutnosti vode u tlu, slijedila je korozija sidra, te ih je bilo potrebno zamijeniti, što je i učinjeno 1965. godine. Nakon 2.svjetskog rata počeo je velik razvoj sidra uglavnom u Francuskoj, Njemačkoj, Švedskoj i Švicarskoj, a kasnije i Engleskoj. Tijekom 1950-tih godina, sidra su prvi puta korištena za potporu duboke iskopine. Danas se sidra koriste uglavnom u cijelom svijetu, u svrhu zadržavanja zemlje, stabilizacije kosina i strukturnu potporu. Proizvode se na način da mogu biti djelotvorne i u stijenama i tlu-krutim glinama, pijesku i mulju. [3]



## 4.2 ELEMENTI GEOTEHNIČKOG SIDRA

Da bi se mogli postići željeni efekti prednaprezanja geotehničko sidro mora biti konstruirano tako da sadrži tri glavna elementa (slika 3.):

- sidrišna dionica, duljine  $L_a$
- slobodna dionica, duljine  $L_f$
- glava sidra



Slika 3. Elementi sidra [4]

Na slici su prikazani elementi sidra, a to su:

1. Glava sidra  
(s maticom i podložnom pločicom)
2. Konstrukcija oslonca
3. Usidrena konstrukcija  
(stjenka građevinske jame)
4. Bušotina
5. Zaštitna cijev
6. Čelična natezna dionica
7. Injekcijsko tijelo
8. Sidrišna stopa

$L_f$  – duljina slobodne dionice  
 $L_a$  – duljina sidrišne dionice sidra  
 $L_s$  – ukupna duljina sidra  
 $L_{fs}$  – slobodna duljina čelika  
 $L_{as}$  – duljina usidrenja čelične natezne dionice  
 $\Delta L_b$  – rezervni produžetak bušotine  
 $N$  – opterećenje sidara  
 $S$  – pomak glave sidra u smjeru osi sidra

## SIDRIŠNA DIONICA $L_a$

Dio sidra koji se postavlja na dno bušotine i dužina preko koje se ostvaruje veza s okolnim tlom naziva se sidrišna dionica ili sidrište. Uloga sidrišne dionice je da prenese silu sa sidra u tlo. Sila se prenosi preko kontaktnih naprezanja između sidra, injekcijske smjese i tla. Nosivost sidrišne dionice u ovisnosti o vrsti tla i pritisku injektiranja. Projektanti imaju veliku odgovornost pri dimenzioniranju sidrišne dionice jer postoji granična dužina dionice koja s povećanjem ne postiže veliku nosivost.

## SLOBODNA DIONICA $L_f$

Slobodna dionica nalazi se između sidrene konstrukcije i tla. Ona je većih dimenzija od sidrišne dionice te zbog ovih faktora ima veliku ulogu:

1. prenosi sile u duboke zone objekta da bi se ušlo u stabilnije dijelove tla i da bi se umanjio povratni refleks opterećenja iz sidrišne zone u usidreni objekt
2. osigurava elastično fleksibilnost sidra da bi pad sile prednaprezanja bio minimalan i sidru omogućava prilagodbu na pomake koji se događaju unutar sidrene građevine. Prema EN 1997-1 preporučena najmanja duljina slobodne dionice treba biti 5 m.

Slobodna dužina sidra zavisi :

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

## GLAVA SIDRA

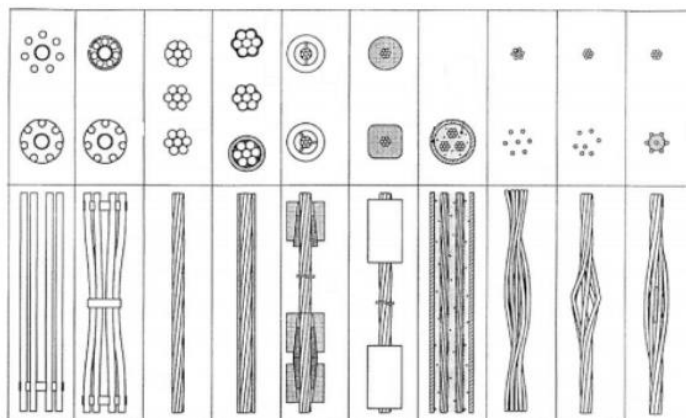
U glavu sidra spada metalna, najčešće čelična, podložna, nosiva ploča, zatim matica za napinjanje i dio šipke koji viri iz matice, odnosno složena glava s ukotvljenim kablovima. To je dio geotehničkog sidra koji preuzima opterećenje tla i prenosi ga na sidro. Glava sidra može se izvesti tako da se na nju može priključiti tijesak za prednaprezanje i/ili za provjeru sile. Glava sidra ostaje izvan bušotine, a podložna ploča se pričvršćuje na slobodnu površinu sidrene konstrukcije.

## ČELIČNA KOMPONENTA

Sila s glave sidra na sidrenu konstrukciju može se prenositi ispletenom čeličnom užadi ili čeličnim kablom. Kablovi su radionički učvršćeni na oba kraja u ploču iz koje se ne mogu iščupati. Kabeli su pocinčani, galvanizirani ili plastificirani radi zaštite od korozije. Prije upotrebe vrše se ispitivanja prema propisima za primjenu žice/kabla u prednapregnutim betonskim konstrukcijama. Danas se proizvodi užad od karbonskih vlakana što je znatno poboljšanje u vezi korozije.

## ZAŠTITNE CIJEVI

Cijevi u kojima se nalaze kablovi kod naknadnog prednapreznja proizvode se od čeličnih ili polietilenskih cijevi. One osiguravaju oblik vođenja natega, te moraju imati čvrstoću da preuzmu mehanička opterećenja. Izvode se s naboranim presjekom radi osiguranja prionljivosti s betonom izvana i injekcijskim mortom iznutra. Ti nabori im ujedno osiguravaju fleksibilnost. Cijevi ne smiju korodirati prije ugradnje. Beton izvana i injekcijski mort iznutra spriječit će pojavu korozije nakon ugradnje. Moraju biti nepropusne, a spojevi se moraju brtviti izolacijskom trakom. Prednosti polietilenskih cijevi su bolja zaštita kabela od korozije i na zamor, imaju bolju kemijsku otpornost i bitno manje trenje između stjenke cijevi i natege, što smanjuje gubitke prednapinjanja. Mana im je manja težina, zbog koje se može dogoditi da se tijekom betoniranja cijevi oslobode armaturnog koša i promijene položaj, zbog čega je iznimno bitno pravilno učvrstiti cijevi. Debljine cijevi su 2 do 3 mm (ovisno o veličini kabela), a međusobno se povezuju ili navojem ili postupkom toplog zavarivanja (slika 4.).



Slika 4. Primjeri presjeka čeličnih kablova [5]

### 4.3. KLASIFIKACIJA SIDRA

Za klasifikaciju geotehničkih sidara ne postoji jedinstveni kriterij, već se ona klasificiraju prema nekoliko osobina koje ih karakteriziraju [4] :

#### 1. PREMA VREMENSKOM TRAJANJU SIDRA:

- privremena- za konstrukcije kod kojih je vrijeme trajanja opterećenja do 2 godine, pa stoga ne zahtijevaju antikorozijsku zaštitu, mjere sigurnosti su nešto blaže, a to nije slučaj za trajno opterećena sidra  
trajna- s antikorozivnom zaštitom za trajne konstrukcije
- probna - ona koja su na poseban način oblikovana i ugrađena. Na ovim sidrima se vrše ispitivanja na osnovu kojih dobivamo podatke vezane za izbor vrste sidra i dužine veznog dijela sidra

#### 2. PREMA DULJINI SIDRENJA SIDRA:

- kratka sidra - predstavljaju štapna sidra duljine od 1,5m do 8m
- duga sidra - sidra s uobičajenom duljinom od 8m do 50m za prijenos velikih vlačnih sila

#### 3. PREMA NAČINU AKTIVIRANJA VLAČNE SILE SIDRA:

- obična ili pasivna sidra- sidra bez prednaprezanja koja djeluju samo kao armatura tla, tijekom izvedbe ne unose se dodatna opterećenja koja se prenose na tlo, nemaju slobodnu dionicu, tetiva je injektirana po čitavoj dužini u bušotini, realizira se nakon odgovarajućeg pomaka sidrišne dionice u nosivom dijelu tla, koji je uvjetovan deformacijom nateznog dijela sidra
- prednapregnuta ili aktivna sidra → aktivna sidra postižu punu nosivost neposredno poslije prednaprezanja, a radna vlačna sila opterećuje sidro bez pomaka tla, sve dok je radna sila manja od sile prednaprezanja

#### 4. VRSTA PRIJENOSA SILE SA SIDRA NA TLO

- Plošna sidra
- Volumna sidra
- Točkasta sidra
- Linijska sidra

#### 5. PREMA PROSTORNOJ ORIJENTACIJI NATEZNOG DIJELA

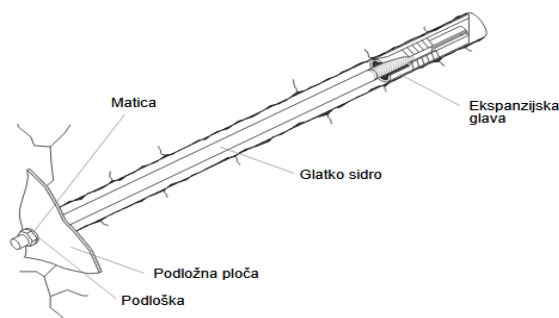
- Vertikalno sidro
- Koso sidro
- Horizontalno sidro

#### 6. S OBZIROM NA VRSTU IZVEDBE:

- ŠTAPNA SIDRA

Štapna sidra dijele se prema različitim načinima sidrenja:

- Mehanički usidrena-sidra s ekspanzijskom glavom koja sprječava pomake. Ekspanzijska glava konusno se širi rotacijom sidra pri čemu dolazi do utiskivanja elementa glave u zidove bušotine. Na taj se način mobilizira posmična čvrstoća sidra i tla. Sidra su jeftina, trenutno preuzimaju opterećenje nakon ugradnje te se koriste kao privremena ojačanja u tvrdoj stijenskoj masi jer uslijed djelovanja korozije vremenom dolazi do smanjenja nosivosti (slika 5.).

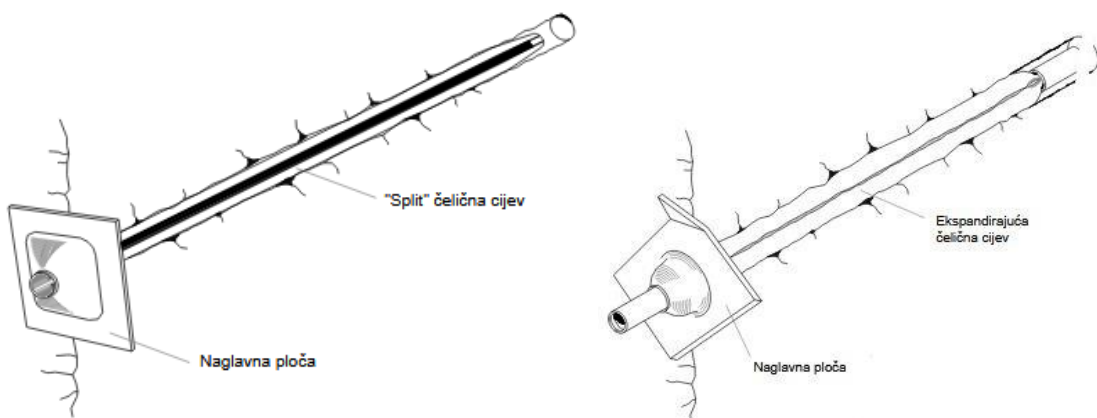
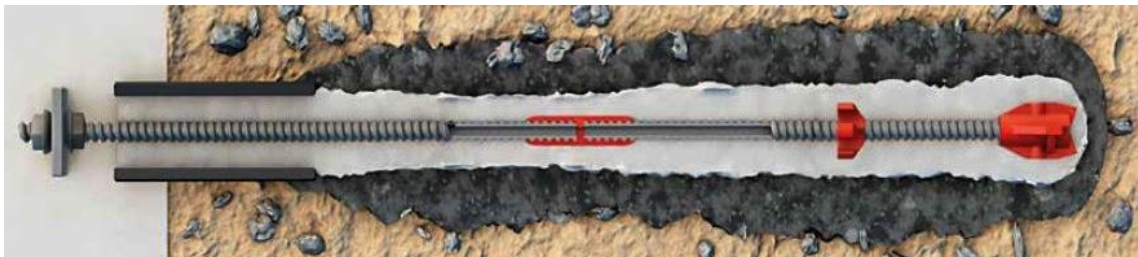


Slika 5. Sidro s mehaničkim usidrenjem[5]

- Injektirana sidra -ugrađuju se u bušotine ispunjene cementnom smjesom ili ljepilima na bazi epoksija. To su pasivna sidra izrađena od čeličnih niti pletenih kao čelično užje koja su injektirana cijelom svojom dužinom. U posljednje vrijeme primjenjuju se samobušiva sidra. Samobušiva sidra se koriste na način da se umjesto bušaće šipke koristi čelična šipku, koja na svom vrhu ima odgovarajuću bušaću krunu. Bušenjem sidra odgovarajuće dužine završeno je i

postavljanje sidra. Injektiranje sidra izvodi se kroz samo sidro, pri čemu injekcijska smjesa izlazi kroz otvor na bušačkoj glavi, sve dok injekcijska smjesa ne počne izlaziti na ušću bušotine. Primjenjuju se u teškim geološkim uvjetima u kojima postoji opasnost od zarušavanja bušotine.

- frikcijska sidra-prijenos opterećenja realizira se trenjem uslijed radijalne sile koja djeluje na zidove bušotine duž cijele dužine bušotine. Danas se koriste dva tipa (slika 6.):
  - split set sidra-koristi naglavnu ploču radi osiguranja tla na klizanje duž sidra. Ugradnja sidra izvodi se mehaničkim utiskivanjem pri čemu je promjer cijevi veći od promjera bušotine. Sidro se može prilagoditi većim pomacima bez sloma.
  - swellex sidra-sidro koje nosi trenjem ali i uklještenjem u zidove bušotine. Izvodi se proširivanjem ugrađene cijevi hidrauličkim pritiskom unutar cijevi pri čemu se cijev skraćuje.
- popustljiva sidra-ugrađuju se u slučaju većih radijalnih pomaka u tunelu, imaju popustljivu glavu koja dopušta pomake do 20cm, funkcioniše tako da sidro kod graničnog opterećenja popusti i održava nosivost tijekom pomaka glave sidra [5]



Slika 6. Samobušivo, split set i swellex sidro [5]

## 5. POSTUPAK UGRADNJE GEOTEHNIČKIH SIDARA

Za izbor najboljeg sidra potrebno je definirati osnovne elemente sidrenja, a to su:

- područje stijene ili tla koje omogućuje siguran prijenos sile sa sidra u tlo,
- vrijednost radne sile koju sidro preuzima,
- tip i trajnost, te dimenzije odabranog sidra,
- način izvedbe sidara,
- program prednaprezanja sidara,
- primopredaja i kontrola izvedenih sidara

Postupak izvedbe geotehničkih sidra provodi se u sljedećim fazama:

1. pripremni radovi
2. izrada bušotine
3. ugrađivanje sidra
4. injektiranje
5. prednaprezanje sidra

### PRIPREMNI RADOVI

Prije samog postavljanja geotehničkog sidra potrebni su pripremni radovi koji uključuju radioničku izradu sidra, transport te skladištenje sidra. Tijekom izrade sidra potrebna su ispitivanja i mjerenja materijala pogotovo čelične žice te zaštitne cijevi. Prilikom transporta sidra treba paziti od udara, ne smije ih se bacati niti previše savijati kako bi zadržala svoju funkcionalnost i efikasnost.[6]

### IZRADA BUŠOTINE

Metoda bušenja bušotine mora odgovarati materijalu u kome se vrši bušenje uz primjenu odgovarajućeg promjera bušotine. Izvedena se bušotina prije ugradnje sidara ili eventualnog injektiranja treba dobro očistiti zrakom ili vodom. Nakon završenog bušenja, bušotine se moraju zaštititi radi sprečavanja upadanja neželjenog materijala. Kod zemljanih materijala sa primjesom gline i kod materijala koji su podložni brzom raspadanju treba što prije ugraditi i injektirati sidro. Bušotine u kamenim masivima

treba ispitati na vodonepropusnost. Ako kvaliteta bušotine nije zadovoljavajuća tada je potrebno izvršiti njenu konsolidaciju sa injeztiranjem ili primijeniti neki drugi odgovarajući postupak. Kod šljunkovito-pjeskovitih materijala kod kojih može doći do zasipanja, bušenje se obavlja sa zaštitnom kolonom koja omogućava ugrađivanje sidra. Ove kolone se izvlače iz bušotine istovremeno sa injeztiranjem. Pri izvođenju bušenja treba kontrolirati poziciju, nagib i dužinu bušotine.

Za provođenje kvalitetnog bušenja potrebno je:

- osigurati dovoljno prostora za bušaće strojeve,
- tehniku bušenja potrebno je prilagoditi sastavu i karakteristikama tla
- pratiti i bilježiti propadanje bušaćeg pribora (kod vodenog ispiranja još i boju iznesene vode) i to naročito u zoni sidrenja

Bušenju se može pristupiti tek kad je izvršena provjera da je bušaći stroj pravilno centriran i usmjeren kroz uvodnu cijev. O bušenju svake bušotine treba voditi zapisnik u kojem se navode podaci o načinu bušenja, sastavu tla, te svim ostalim važnim podacima koji su značajni za bušenje.

## UGRAĐIVANJE SIDRA

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

Prilikom ugradbe sidra mogu biti postavljena:

- samostalno,
- kao sustav više sidara (sustavno sidrenje),
- kao sustav sidara (sustavno sidrenje) u kombinaciji:
  - s mrežom
  - mrežom i mlaznim betonom
  - armirano-betonskim gredama kao naglavnicama
  - armirano-betonskim pločama kao naglavnicama
  - armirano-betonskim zidovima
  - zidovima od žmurja



## INJEKTIRANJE

Injektiranje spada u grupu najznačajnijih postupaka koji su u sastavu izvedbe sidra. Osnovna funkcija injektiranja je unos sile sidrenja na vezni dio- sidrišnu dionicu te zaštita sidra od korozije. Prije injektiranja potrebno je dobro pročistiti bušotinu, odabrati pripadajuću injekcijsku smjesu te odrediti način injektiranja.

Faktori injektiranja:

- Gustoća bušotina-razmak između bušotina u jednom redu i razmak među redovima dubina i nagib bušotine
- Dubina i nagib bušotina
- Pritisak injektiranja
- Sistem i redoslijed injektiranja
- Kontrola uspjeha izvedenog injektiranja

Injektiranje sidara izvodi se na dva različita načina:

- Izvedena bušotina zapunjava se injekcijskom smjesom, a štapno sidro ugrađuje se u zapunjenu bušotinu
- U izvedenu bušotinu ugrađuje se štapno sidro nakon čega se injektira prostor između sidra i zidova bušotine

Injektiranje počinje od najudaljenijeg mjesta bušotine gdje se injektira vezni dio sidra do povrata smjese na ulaz bušotine te se ugrađuje paker. Nakon završenog prednapreznja obavi se injektiranje slobodnog dijela sidra. Ugradnja injekcije u tlo je indirektno kontrolirana reguliranjem njenih reoloških svojstava i parametara ugradnje: tlak injektiranja, količina i brzina protoka injekcije. Pritisak injektiranja i količinu mase za injektiranje treba prilagoditi odnosno uskladiti sa geometrijskim, geološkim i hidrogeološkim prilikama, tipu i sastavu sidra.

## PREDNAPREZANJE SIDRA

U građevinama, u kojima je sidro temeljni dio potpore, za učinkovitost sidra bitno je prednapreznje. Da bi sidro bilo aktivno potrebno ga je prije postavljanja sidrene glave prednapreznuti. Sa prednapreznjem visokokvalitetnog čelika, sidro preuzima onu funkciju koja mu je namijenjena.

Svrha prednaprezanja sidra:

unošenje sile kojom se sidro aktivira radi sprječavanja nepoželjnih (naknadnih) pomaka sidrene konstrukcije uslijed povećanja opterećenja (npr. uslijed iskopa)  
uklještenje blokova stijene radi povećanja integriteta i čvrstoće stijenske mase;  
kontrola nosivosti (otpornosti) sidra

Sila prednaprezanja se može primijeniti tek nakon što injekcijsko tijelo dovoljno očvrstne. Injekcijskoj smjesi treba otprilike 7 dana da dosegne čvrstoću od minimalno  $30 \text{ MN/m}^2$  tada počinje prednaprezanje. Točan trenutak prednaprezanja odredit će se na osnovu rezultata prethodnih ispitivanja ili prema uputama proizvođača injekcijskog maltera. Prije početka potrebno je odrediti jednu odgovornu osobu koja će voditi kompletan postupak prednaprezanja. Prednaprezanje se mora vršiti prema elaboratu za prednaprezanje sidara kojeg je pripremio projektant.

Postoje dvije faze u kojima se provodi prednaprezanje:

U prvoj fazi sidro se zateže do predviđene vrijednosti kojom se dokazuje da sidro može preuzeti projektnu radnu silu.

Nakon toga sila u sidru otpušta te se konačno zateže na silu prednaprezanja.

Naprezanje se izvodi u smislu ispitivanja sidra i u smislu kontrole naprezanja. Ispitivanje se obavlja radi dimenzioniranja sidra, a kontrola naprezanja radi određivanja nosivosti i preuzimanja sile sidrenja. Posebnu pozornost treba posvetiti sprečavanju pojave kondenzirane vode. Osim toga čelik za prednaprezanje ne smije biti izpostavljen temperaturnim promjenama (sunce). Najveća opasnost za čelične pramenove sidra predstavlja višak vode iz betona koja se nalazi u zaštitnoj cijevi, a u sebi sadrži kloride i sulfate. Stoga je potrebno vodu odstraniti iz cijevi. Opće pravilo, kojeg treba primjenjivati, je to da se prednapeta sidra što prije injektiraju čime se mogućnost pojave kondenzirane vode svodi na minimum.

Tehnologija prednapinjanja se razlikuje od sustava do sustava, ovisno o kompaniji koja ga je razvila. Vodeće kompanije su BBR (Birkenmaier, Brandestin, Roš u suradnji s Vogt-om), DYWIDAG (Dyckerhoff-Widmann Aktiengesellschaft), VSL (Vorspann System Losinger), Freyssinet, CCL

## 6. NOSIVOST I SLOM SIDRA

### 6.1 NOSIVOST

Nosivost sidra ovisi o kvaliteti unosa sile prednaprezanja u tlo. Nosiva tla mogu biti zemljani ili stijenski masivi. U stijenskim masivima u bušotini treba ispitati vodonepropusnost. Ako bušotina nije vodonepropusna treba se konsolidirati sa injeztiranjem. Poslije toga se izvrši novo bušenje i ugrađivanje sidra. Ako su različite osobine stijene prijenos sile može se odrediti probnim sidrima koje određuju stvarna opterećenja.

U zemljanim masivima nosivost ovisi o svojstvima tla i tehnologiji ugrađivanja sidra. Najveći utjecaj na nosivost ima vezni dio sidra čija primjena je ograničena. Sa povećanjem pomaka veznog dijela smanjuje se trenje po plaštu. Utjecaj na nosivost ima i bušotina. Mora biti pravilno izvedena tako da se povećavaju pritisci pri injeztiranju. Povećanjem promjera bušotine povećava sila trenja što za posljedicu ima povećanje troškova bušenja.

Kod koherentnih materijala koristi se poinjeztiranje. Injeztiranje se provodi više puta. Kod prvog injeztiranja popune se samo pukotine u bušotini te se prenose male vrijednosti sile. Sa povećanje pritiska injeztiranja veznog dijela sidra povećavaju se radijalni naponi na spoju mase za injeztiranje i zemljanog tla. Tako se povećava sila trenja na plaštu i formira oblik i površina sidra te osigurava bolji spoj sidra s tlom.

### 6.2. SLOM

Slom geotehničkog sidra može nastati na jedan ili više načina:

- slom po spoju sidrišnog tijela i kabla
- slom po spoju sidrišnog tijela i tla/stijene
- slom unutar mase tla/stijene
- slom čeličnog kabla ili njegovih komponenata
- drobljenje injezcijske smjese oko žice unutar sidrenog tijela
- neprihvatljiv pomak glave sidra
- slom naglavne konstrukcije sidra u grupi

Potrebno je kod dimenzioniranja sidra provjeriti svaki od navedenih uvjeta. U sustavu sidro –tlo moguće je da otkazu samo pojedine komponente sustava zbog prekoračenja nosivosti čelika ili sloma tla s prekoračenjem čvrstoće. Postoje dva mehanizma prijenosa vlačnih sila koji mobiliziraju parametre čvrstoće tla i pomak sidra uslijed vanjskog djelovanja.

Adhezioni mehanizam kod kojeg se zbog velikih pomaka sidrišne dionice u potpunosti aktivira trenje duž sidrišne dionice. Drugi mehanizam je generalni slom tla koji otkazuje nosivost sidrenog klina.

## 7. INJEKCIJSKA SMJESA I KONTROLA KVALITETE SMJESE

Osnovna funkcija smjese je da pričvrsti tetivu za okolno tlo te da ju zaštiti od korozije. Za injektiranje sidra koristi se najčešće smjesa portland cement i voda u omjerima vodocementnog faktora od 0,3 do 0,5. Niži vodocementni faktor,  $v/c = 0,3$ , daje veću nosivost sidru, ali teška ugradnja i heterogenost stvaraju problem. Smjese s višim vodocementnim faktorom,  $v/c = 0,5$ , slabije su kvalitete ali su lakše za ugradnju. Osim toga, zbog skupljanja smjese dolazi do skraćivanja sidrišnih dionica i oslabljivanja veze između injekcijske smjese i stijenske mase. Aditivi, kao što su plastifikatori i dodaci za bubrenje, rabe se za rješavanje problema ugrađivanja injekcijske smjese, ali ovi dodaci znatno utječu na smanjenje čvrstoće i promjenu deformacijskih značajki smjese. Cementne smjese s dodatkom plastifikatora rabe se za injektiranje pri niskim temperaturama ili radi dosezanja visokih vrijednosti čvrstoće smjese već u ranoj fazi injektiranja. Ako dolazi do gubitka injekcijske smjese kao punilo dodaje se pijesak. Materijali za pripremu injekcije su osjetljivi na promjene vlažnosti i temperature, vremensko trajanje i uvjete skladištenja, a mogu biti onečišćeni od transporta i vanjskih izvora. Pritisak injektiranja i količinu mase za injektiranje treba prilagoditi odnosno uskladiti sa geometrijskim, geološkim i hidrogeološkim prilikama, tipu i sastavu sidra. Ako se tlu nalaze agresivni elementi kao što su ugljična kiselina ili sulfatne soli, tada treba koristiti cemente koji su otporni na ove utjecaje. Prije injektiranja u laboratoriju se vrši ispitivanje smjese da se dobije najpovoljnija smjesa. Prilikom injektiranja vodi se zapisnik o pripremi mješavine i injektiranju sidra.

### 7.1. KONTROLA KVALITETE SMJESE

Posebnu pažnju pridaje se kontroli kvalitete injekcijske smjese za injektiranje sidara. Kontrola kvalitete injekcijske smjese obavlja se kroz prethodna i kontrolna laboratorijska ispitivanja.

Prethodnim ispitivanjima dokazuje se da smjesa s vremenom povećava svoj volumen do 5-10 % te postiže propisanu čvrstoću.

Prethodna ispitivanja služe za određivanje recepture smjese pri čemu je potrebno provjeriti:

- fizikalna i mehanička svojstva cementa,
- protočnost,
- izdvajanje vode,
- vrijeme vezivanja,
- promjenu zapremine,
- tlačnu čvrstoću nakon 7, 14 i 28 dana,
- tlak bujanja

Kontrolna ispitivanja obuhvaćaju ispitivanje kvalitete smjese za injektiranje (određivanje tlačne čvrstoće odabranih uzoraka).

Ispitivanje se vrši u laboratorijima na temelju prethodnih ispitivanja koje su izradile ovlaštene institucije za materijale koji se upotrebljavaju. Rezultati ispitivanja se dostavljaju na gradilište te ih nadzorni inženjer provjerava. Tijekom injektiranja kontroliraju se svojstva injekcijske mase, uzimaju se uzorci na miješalici i na izlazu iz injektora. Uzorci se čuvaju na gradilištu te služe za ispitivanje tlačne čvrstoće. Ukoliko je razlika u čvrstoći uzoraka uzetih iz miješalice i na izlazu injektora od 15%, to ukazuje na gubitak vode u transportu, odnosno da smjesa nema dovoljnu sposobnost zadržavanja vode, što treba odmah korigirati.

Injekcijska smjesa sadrži više komponenti koje se miješaju. Potrebno je vršiti i provjeru komponentata od kojih se izrađuje injekcijska smjesa. Kako bi smjesa bila što kvalitetnija treba se držati određenog redoslijeda doziranja i pravilnog miješanja. Najprije se izmiješaju suhe komponente s manjom količinom vode, kako ne bi došlo do grudanja smjese, a zatim se dodaje potrebna količina vode za postizanje tražene konzistencije. [7]

## 8. ISPITIVANJE GEOTEHNIČKIH SIDRA

Ispitivanje sidara je nužno u cilju:

### 1. verifikacije projektnog rješenja

Pri modeliranju sidara se koriste rezultati istražnih radova te podaci o parametrima injekcijske smjese i čelične dionice. S obzirom da je modeliranje takvih sidara opterećeno određenom dozom nesigurnosti, preporuča se ispitivanje sidara da bi se ustvrdilo ponaša li se sidro u skladu s pretpostavljenim

### 2. dobivanja parametara nužnih za projektiranje

Ponekad je poželjno ispitati sidro prije projektiranja da bi se dobili podaci nužni za što vjerodostojniji model. Takvo sidro se naziva probno sidro i izvodi se u probnom polju na lokaciji gdje će se izvoditi građevina

### 3. kontrole kvalitete izvedenih radova

Kontrola kvalitete radova izvedbe je nužna da bi se uočile eventualne nepravilnosti nastale nekvalitetnom izvedbom sidara koja negativno utječe na parametre nužne za funkcionalnost sidra pretpostavljenu projektom [8]

S aspekta ispitivanja sidara, mogu se ispitivati

- nosivost sidra/sila u sidru
- kvaliteta injektiranosti sidra

Vrste i metode ispitivanja injektiranih sidara su dane u normi EN ISO 22477-5. Norma EN ISO 22477-5 daje specifikacije za tri vrste ispitivanja:

- Istražno ispitivanje
- Ispitivanje prikladnosti
- Ispitivanje prihvatljivosti

Istražno ispitivanje je test opterećenja za utvrđivanje krajnje geotehničke otpornosti sidra i karakteristika sidra u radnom području. Ispitivanje prikladnosti je test opterećenja kojim se potvrđuje da će određena konstrukcija sidra biti primjerena u određenim uvjetima tla, a ispitivanje prihvatljivosti je test opterećenja kojim se potvrđuje da je pojedino sidro u skladu s kriterijima prihvatljivosti.

Od tri vrste ispitivanja, samo je ispitivanje prihvatljivosti obavezno za sva injektirana sidra. Druga ispitivanja se određuju ovisno o posebnim okolnostima projekta.

### TEST ČUPANJA SIDRA

Za određivanje nosivosti ugrađenih pasivnih stijenskih sidara, kao i aktivnih geotehničkih sidara, u praksi se široko primjenjuje razorna metoda poznata kao test čupanja sidra. Prema ISRM-u potrebno je ispitati minimalno 5 % ugrađenih sidara na projektnoj lokaciji. Pri opažanju sidara obično se vrši mjerenje sile na glavi sidra. Svrha mjerenja sile na glavi sidra je da se utvrdi sila kojom stjenka mase na konturi iskopa djeluje na glavu sidra (podložnu pločicu i navrtku ). Mjerilo sile umetne se između navrtke i posebnog elementa koji je prilagođen obliku mjerila sile. Tijekom vremena očitava se sila koju sidro preuzima na sebe.

Pokus čupanja sidra provodi se tako da je na glavu sidra postavljena hidraulička preša za čupanje sidra, koja se oslanja na kraj cilindra injekcijske smjese tako da se spriječe pomaci injekcijske smjese na kontaktu preše i sidra. Vlačna sila kojom se sidro poteže prenosi se na cilindrični uzorak injekcijske smjese preko veza između sidra i injekcijske smjese. Vrijednosti vlačne sile i deformacije mjere se digitalno.



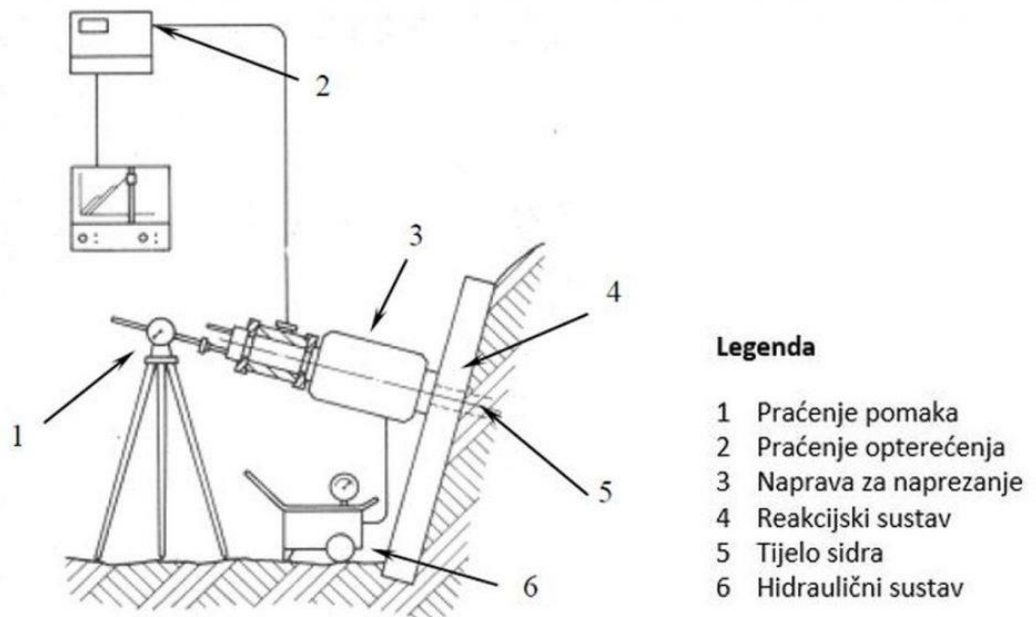
Slika 7. Ispitivanje sidara testom čupanja



Postoje dvije vrste ispitivanja testom čupanja:

1. provjera stvarne nosivosti sidra prilikom čega dolazi do sloma ili izvlačenja sidra iz okolnog tla
2. sidro se ispituje do sile predviđene projektom, te se za tim ispitivanje zaustavlja

Test čupanja je relativno skupa i spora metoda ispitivanja, sidra nakon ispitivanja više nisu funkcionalna. Stoga se u posljednje vrijeme koriste metode koje su brže i jeftinije a to su metode akustične emisije i GRANIT sustav.

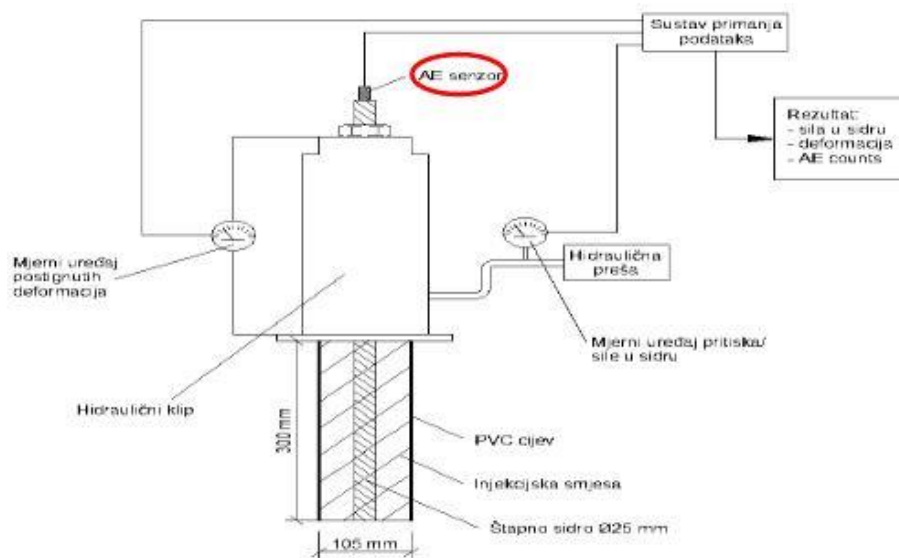


Slika 8. Dijelovi hidrauličke preše [7]

## AKUSTIČNA EMISIJA

Zbog pucanja veze injekcijske smjese i sidra te pojavom pukotina u materijalu naglo se oslobađa energija koja se u uzorku širi u obliku valova. Ti valovi izazivaju akustičnu emisiju. Mjeri se broj impulsa akustične emisije, odnosno vrhova dolaznih valova koji prelaze zadanu graničnu vrijednost električnog napona, pri čemu se postiže odgovarajuća osjetljivost mjerenja. Moguće je odrediti silu koja je vrlo blizu sile sloma kada mjereni broj impulsa akustične emisije naglo poraste. Na kraju sidra postavlja se osjetljivi senzor koji se sastoji od piezoelektričnoga kristala, transformira energiju vala u električni napon te se preko pred pojačala prenosi u sustav za mjerenje broja impulsa

akustične emisije. Rezultati mjerenja akustične emisije prikazani su kao odnos sile čupanja i izmjerenog broja impulsa. Standardnim čupanjem sidro se više ne može upotrijebiti dok mjerenjem akustične emisije moguće je predvidjeti silu sloma u sidru te isto sidro može služiti i dalje za ojačanje tla. Prednost metode je u tome što je izvor signala u samom materijalu, a ne izvan njega te se metodom dobiva trenutni uvid u ponašanje materijala pri opterećenju, a posebno u uvjetima koji upućuju na doseganje čvrstoće materijala i pojavu sloma. Oprema je ista kao i kod čupanja sidra (slika 9.). [9]



Slika 9. Akustična emisija [10]

## GRANIT SUSTAV

Metoda podrazumijeva ne razorni postupak određivanja sile u ugrađenom sidru tijekom njegovog uporabnog vijeka, i to mjerenjem vibracija pomoću akcelerometra postavljenog na glavi sidra. Sustav, patentiran i licenciran za upotrebu, temeljen je na analizi vlastitih frekvencija sidra, koje daju informaciju o razini sile. Da bi se dobio frekvencijski spektar, mjernim uređajem sastavljenim od klipa i stezaljke generira se kontrolirani impuls na glavi sidra.

Granit sustav je podijeljen u šest podsustava koji uključuju produženi dio slobodne dionice na koji se instalira uređaj za nanošenje impulsa (podsustav I), naglavni dio sidra (podsustav II), slobodnu dionicu koja nije u kontaktu sa stijenskom masom (podsustav III), sučelje čelične dionice i injekcijske smjese na dijelu sidrišne dionice (podsustav IV), sučelje injekcijske smjese i stijenske mase na dijelu sidrišne dionice (podsustav V)

te granicu između stijenske mase koja je pod utjecajem ojačanja i one koja nije pod utjecajem ojačanja sidrima (podsustav VI).[10]

## 9. ZAŠTITA SIDRA OD KOROZIJE

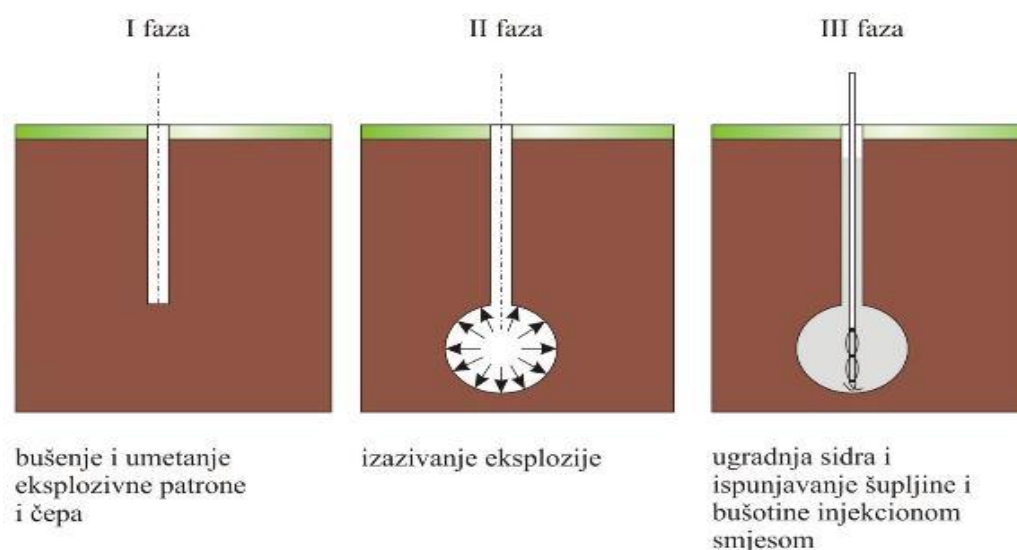
Funkcija sidra je trajnost i sigurnost građevine. Da bi obavljala svoju funkciju sidra se moraju zaštititi. Najvažnija zaštita sidra je zaštita od korozije. Korozija je elektro–kemijski proces koji se odvija na površini svakog metala, ako metal dolazi u dodir s kisikom i vodom. Prije svake zaštite od korozije, šipke i užad moraju biti potpuno čisti. Čelici visokih čvrstoća moraju se čistiti mehanički, nikako pranjem da bi se izbjegla reakcija čelika s vodikom. U većini slučajeva zaštita se obavlja još u tvornici i kao takva dolazi na gradilište. Neki od postupaka zaštite mogu se provoditi i na gradilištu.

Glava sidra je najosjetljiviji dio jer je izložena atmosferilijama te ju je najteže zaštititi. Vanjski dijelovi se galvaniziraju u tvornici ili proizvodnom pogonu. Galvanizacija se sastoji u elektrolitičkom postupku presvlačenja čelika slojem cinka. Postiže se dobra prionjivost uz injekcijsku smjesu, jeftina je, otporna na abraziju u transportu te ne treba daljnju zaštitu. Druga je mogućnost prekrivanje epoksidnim preparatima. Epoksidna obloga povoljna je zbog kemijske stabilnosti epoksidnih tvari. S druge strane ova je obloga vrlo osjetljiva na ogrebotine prilikom prijevoza i rukovanja. Na gradilištu se koristi epoksi sprej za popravke nastalih oštećenja. Glave sidara koje leže na površini štite se plastičnim ili čeličnim kapama. Ove kape ne smiju biti pocinčane nego zaštićene na koroziju sa premazima koji su električno neutralni prema čeliku. Proizvođači sidara uglavnom nude ove zaštite u sklopu ponude sidara. Sidrišnu dionicu štiti injekcijska smjesa od cementnog morta s dodacima. Sidro treba pravilno injektirati tako da se u njemu ne pojave prsline, kroz koje će do metala tetive doći vlaga i druge agresivne tvari. Veza između sidrišne dionice sa zaštitnim ovojem cijevi mora biti vodonepropusna. Kako je to tijelo napregnuto na vlak preporučuju se sidra sa zaštitnom košuljicom. Povoljnija su sidra sa završetkom u obliku sidrene ploče. Sidrena ploča tlači sidreno tijelo i sprječava stvaranje pukotina. Slobodna dionica štiti se cijevi koja je na kraju zabrtvljena, a omogućava slobodno deformiranje čeličnog članka. Prostor unutar cijevi ispuni se masom koja u zajednici sa oblogom štiti slobodnu dionicu. To mogu biti

cementni mort, masnoća, katranske emulzije, razni premazi . Zaštita ekstrudiranim polietilenom je postupak presvlačenja tetive polietilenom visoke gustoće. Polietilenska košuljica lijepi se na tetivu bituminoznim ljepilom (mastiksom). Pribor se štiti protukorozionim trakama i zaštitnim kapama. Zaštita protukorozinim trakama sastoji se u omatanju tetiva trakama od geotekstila impregniranim vodootpornim neutralnim naftnim derivatima. Premazi epoksidnim ugljenim katranom pokazuju dobar otpor na ogrebotine, ekonomični su i trajni. Metoda pre-injektiranja sastoji se u oblačenju tetiva u rebraste polietilenske cijevi u koje se zatim ubrizga malter. Katodna zaštita je još jedan način zaštite sidara od korozije. Primjenjuje se kao trajna zaštita. Radi pomoću kontroliranog električnog toka pri čemu su sidra katode, a anodni je članak potrošan. Sidra se stavljaju pod električni potencijal koji se smanjuje te se sprječava raspadanje metala. Sustav zahtijeva stalni nadzor i održavanje prisutna je opasnost od pojava vodikove krtosti i napona korozije visokokvalitetnih čelika. [11]

## 10.SIDRENJE U GLINENOM TLU

Glineno tlo zbog povećanja svoje vlažnosti mijenja svojstva plastičnosti te time postaje nestabilno tlo koje ne može preuzimati vlačne sile. Primjena sidara u mekanim tlima pojeftinjuje izgradnju potpornih zidova uz objekte i prometnice, temelje visokih tornjeva, dimnjaka, dalekovodnih stupova i slično. Osim toga, pojeftinjuje se i povećava sigurnost izvođenja primarne podgrade u najtežim uvjetima izgradnje podzemnih prostorija. Zbog toga početkom dvadesetog stoljeća sidrenje nije imalo veliku primjenu u geotehnici. Krajem 1988. godine prijavljen je izum pod nazivom „Postupak sidrenja u mekanim stijenama“ u kojem znanstvenici opisuju više vrsta sustava prijenosa vlačnih sila pomoću čeličnih sidara u području stabilizacije nadzemnih i podzemnih objekata u mekanim stijenama. U istraživanjima je sudjelovalo 9 znanstvenika sa Sveučilišta u Zagrebu. Cilj istraživanja je bila primjena proširenja sidara i zatega na objekte u glinenom tlu. Utvrđeno je da se u homogenim glinovitim naslagama određenom masom eksploziva koja je smještena duboko u tlo dobiva kuglasta šupljina koja zapravo proširuje dno bušotine. Volumen proširenja u obliku kugle ovisi o količini i vrsti upotrijebljenog eksploziva smještenog pri dnu minske bušotine i o geotehničkim značajkama koherentnog tla. Karakteristike tla određuju odnos promjera kuglaste šupljine i njezinu udaljenost od slobodne površine terena, kod kojeg ne dolazi do stvaranja pukotina u tlu. U kuglasto proširenje se ulaže kraj sidra sa kukom ili raspletenim kablom i nakon toga proširenje se ispunjava betonom ili cementnom injekcijskom smjesom (slika 10) . [12]



Slika 10. Ugradnja sidra u glinenom tlu [13]

## 10.1 TEHNIČKO RJEŠENJE

Tehničko rješenje problema sidrenja u mekanim stijenama sastoji se od slijedećih faza rada:

- bušenje bušotina odabranog profila i odabrane dužine, a prema potrebi preuzimanja sile i lokalnim geotehničkim prilikama,
- proširenje dna bušotina u obliku kugle ili primjerice elipsoida, detonacijom eksplozivnog naboja,
- kontrole dimenzija dobivenog proširenja,
- pripreme i ugradnja sidara,

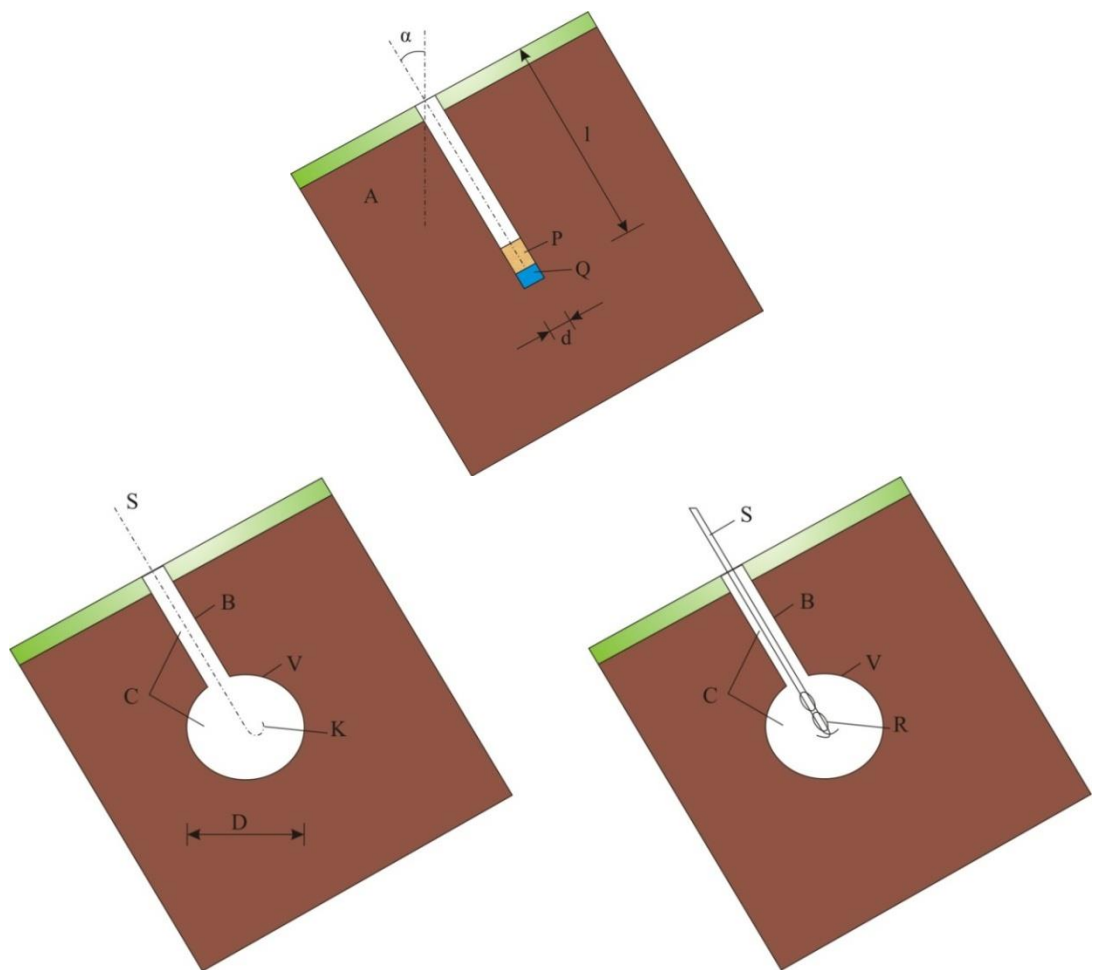
Ideja rješenja je stvoriti kuglasto sidreno tijelo dovoljno duboko u tlu kako bi sidro imalo veliki otpor potreban za izvlačenje. Kod ugradnje sidara, šupljina je stabilna a glineno tlo uz šupljinu komprimirano i prekonsolidirano. Na taj način potrebna sila za izvlačenje se još više povećava provjere nosivosti sidra.

Uobičajena sidra poput ekspanzijska, adhezijska ili prednapregnuta nisu efikasno primjenjiva u mekanim i rastresitim stijenama, a pogotovo u glini, ilovači ili sličnim tlima. Bušotina u obliku valjka s sidrom ispunjeno cementnom smjesom ima malu otpornost na izvlačenje jer je trenje između vezne smjese i glinenog tla ograničeno i nedovoljno za preuzimanje većih sila. Nepovoljni utjecaji svojstava koherentnog tla rezultiraju još manju trajnost i nosivost sidra.

Proračun nosivosti sidra zasniva se na zakonima geotehnike, pri čemu se kao metoda proračuna usvaja metoda konačnih elemenata. Metodom konačnih elemenata računa se sila potrebna za izvlačenje sidra odabranih dimenzija i silu koju može trajno preuzeti. Pri tom se u obzir uzimaju viskozna svojstva mekanih stijena. Proračunom se ispituju optimalne dubine sidrenja, pri kojima je položaj sidrenog tijela iza plohe mogućeg sloma ili klizanja. Osim toga, utvrđuju se deformacije i naprezanje mekanih stijena koje nastaje po detonaciji eksplozivnog naboja u zoni sidrenja. Paralelno provedene numeričke analize potvrđuju osnovne postavke tehničkog problema i daju vrlo dobru korelaciju s mjerenim i utvrđenim vrijednostima sila izvlačenja i deformacija tla.

Prethodnim geotehničkim istraživanjima utvrđuju se osnovne geotehničke značajke mekih stijena u sidrenoj zoni:

- poroznost,
- vlagu,
- zapreminsku masu,
- stišljivost,
- koheziju,
- kut unutrašnjeg trenja



Slika 11. Shematski prikaz moguće konstrukcije sidra [13]

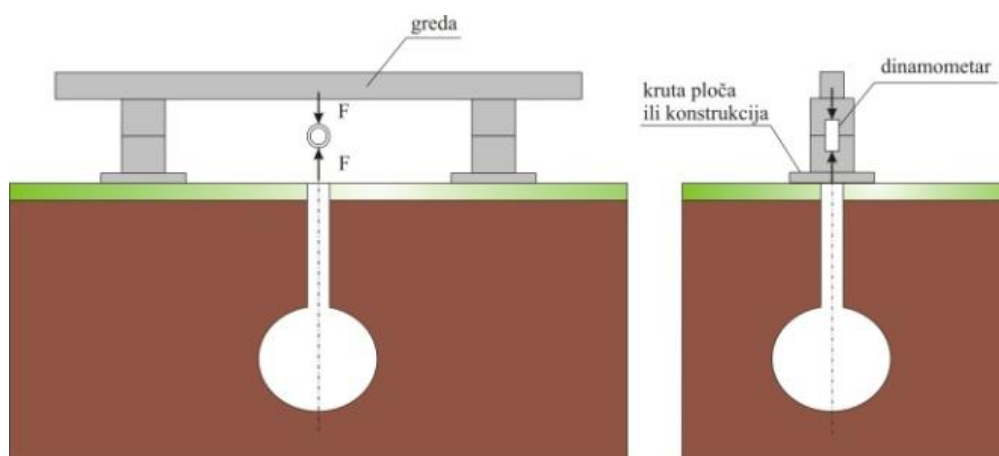
Oznake imaju slijedeće značenje: A - mekana stijena, B - bušotina, C - vezna smjesa, D - promjer kuglaste šupljine ostvarene detonacijom eksplozivnog naboja, L dužina bušotine, Q - eksplozivno punjenje, P - čep, V - kuglasta šupljina, S - metalno sidro, R rašireni snop žica, K - kuka.

## 10.2. DETALJI TEHNIČKOG RJEŠENJA

Promjer i nagib bušotina ovisi o geotehničkim značajkama predmetne mekane stijene, vrsti i količini upotrijebljenog eksploziva te lokalnim prilikama. Najčešće iznosi 70 do 150 mm. Ako su promjeri manji oni se odnose na horizontalno ili koso položena sidra kod kojih su kuglaste šupljine injektorski ispunjene punom veznom smjesom. Sidrenje se izvodi užetima ili snopovima žica koje se isprepliću unutar sidrene šupljine. Raspleteno i razvučeno uže ima zadatak povećanja prionjivosti usidrenja. Presjek čeličnog užeta ili šipke dimenzionira se uobičajenim koeficijentima koji određuju odnos graničnih i djelujućih sila u sidru.

Kad su kuglasta usidrenja veća od 1 m u šupljinu se polaže dodatna armatura sastavljena od tanjih žica zbog stabilizacije sidrene kugle. Kod vertikalnih i koso položenih sidra koristi se cementna suspenzija i dodaci za brže vezanje cementa radi ranog postizanja nosivosti.

Na lokaciji se izvode najmanje tri ispitivanja nosivosti sidra do sloma sidrenog sustava. Na probno sidro se ugrađuje trostruko veća površina čeličnih žica kako bi se dogodio slom u mekanoj stijeni a ne u čeliku. Projektom se definira broj sidra koja se tijekom izvedbe ispituju silom 1,5 puta većom od nazivne nosivosti dobivene proračunom. Ispitivanja sloma utvrđuje se ili premoštenjem prelomne zone mekane stijene, ili sa oslonračkom pločom dimenzija kao i kuglasto sidro (slika 12.).



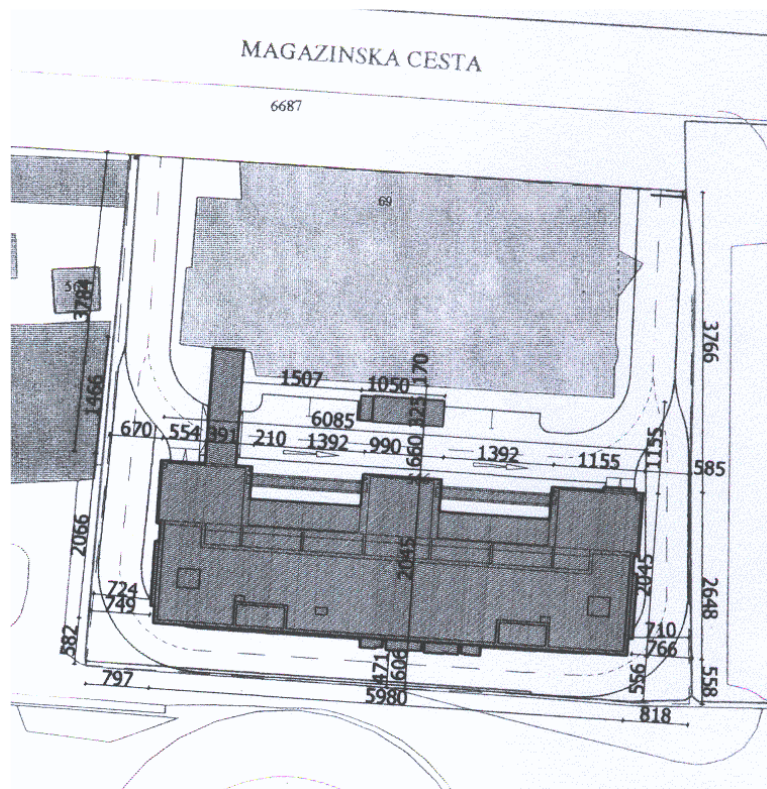
Slika 12. Shematski prikaz kontrolne nosivosti ugrađenog sidra [12]



## 11.ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME RBA U ZAGREBU

### LOKACIJA

S ciljem proširenja postojeće poslovne zgrade RBA banke (slika 13.) u Magazinskoj ulici br.69 u Zagrebu, na južnom dijelu zgrade gdje se nalazilo parkiralište tijekom 2008. godine izvedena je konstrukcija privremene zaštite građevinske jame. Jama je tlocrtnih dimenzija  $31,1 \times 61,5$  m, dubine iskopa maksimalno 18,58 m, s ukupno 5 podzemnih garaža. Oko planirane građevinske jame nalaze se dva rezervoara toplane HEP. Dubina iskopa jame znatno je niža od razine podzemne vode zbog toga je za osiguranje iskopa izvedena sidrena armiranobetonska dijafragma čija je zadaća osigurati vertikalni iskop, stabilnost susjednih zgrada te rad u suhom.



Slika 13. Tlocrt planirane dogradnje zgrade RBA[13]

## GEOTEHNIČKE ZNAČAJKE

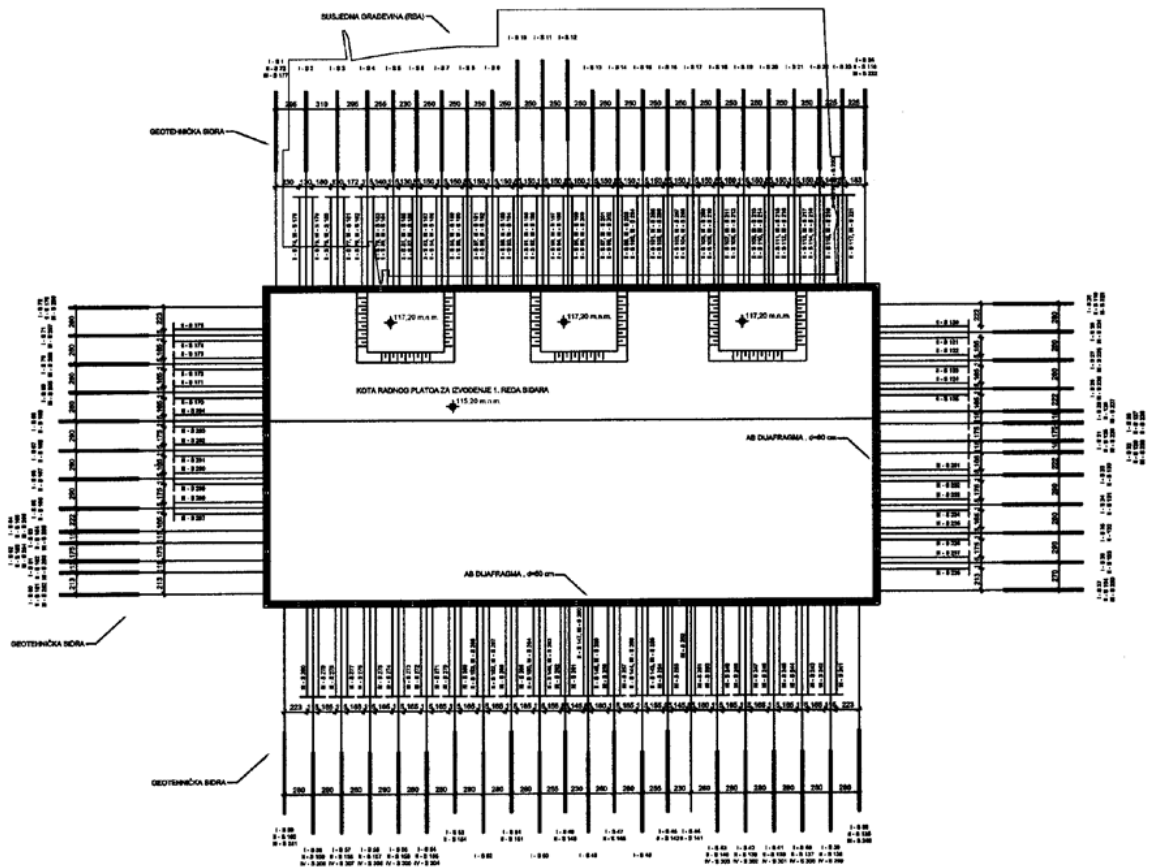
Geotehnički profil čini uslojeno tlo (šljunak, pijesak i prahovita glina) s vodenim stupcem visine 8,8 m. S geotehničke strane definiran je karakterističan profil s sljedećim slojevima tla:

Tabela 1. Geotehnički profil slojeva tla [13]

DUBINA(m)	MATERIJAL	OZNAKA	OPIS
0-3	nasip	-	-
3-6	Prašinasta glina srednje do niske plastičnosti	CI/CL	Teško gnječive konzistencije
6-7	Prah niske plastičnosti do sitnozrnati prašinasti pijesak	ML/SFc	Dobro zbijen
7-12	Zbijeni dobro graduirani šljunak s pijeskom	GW	Zrna pijeska i šljunka do 100mm
12-14,4	Prašinasta glina srednje do visoke plastičnosti	CI/CH	Pred kraj intervala pojava pijeska
14,4-19,7	Pijesak s prekomjerno praha	SFc/ML	Dobro zbijen
19,7-25	Glina, srednje do visoke plastičnosti	CI/CH	povremeno s proslojcima pijeska sivo plave i sivo smeđe boje.

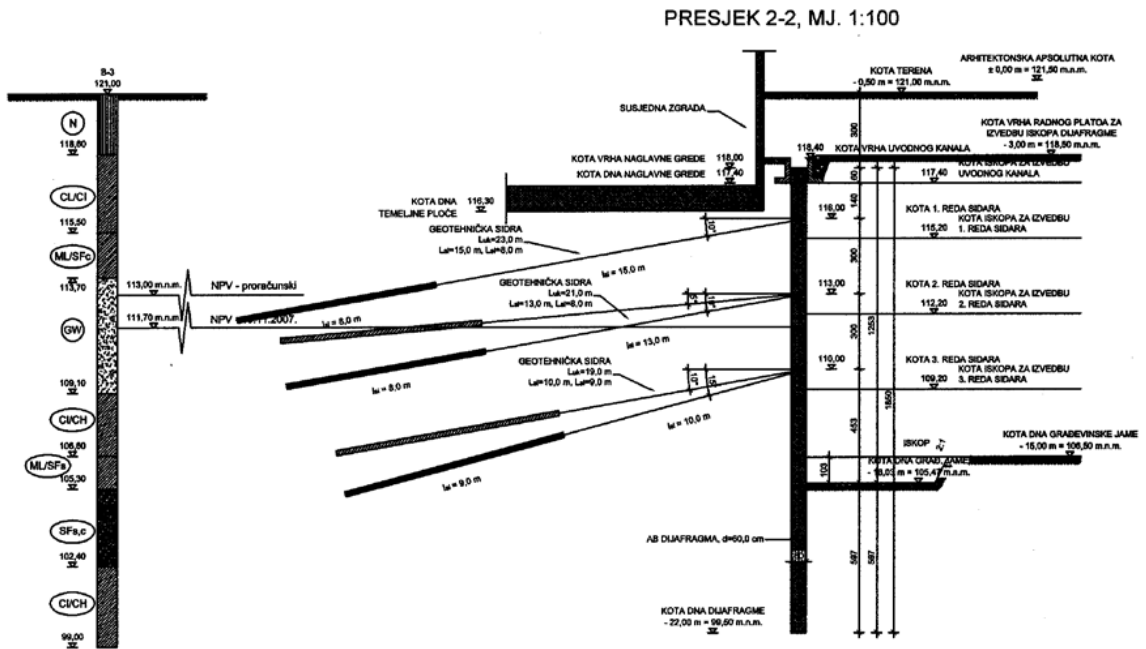
S obzirom na geotehničke uvjete kao rješenje zaštite građevinske jame odabrana je sidrena armiranobetonska dijafragma. Zaštitna konstrukcija građevinske jame je izvedena kao privremena sidrena konstrukcija, odvojena od nosive konstrukcije objekta s ciljem osiguranja nesmetanog odvijanja građevinskih radova, odnosno sprječavanja urušavanja bočnih strana iskopa, te značajnijeg nepovoljnog utjecaja podzemne vode.

TLOCRTNA DISPOZICIJA KAMPADNOG IZVOĐENJA SIDARA, MJ. 1:200



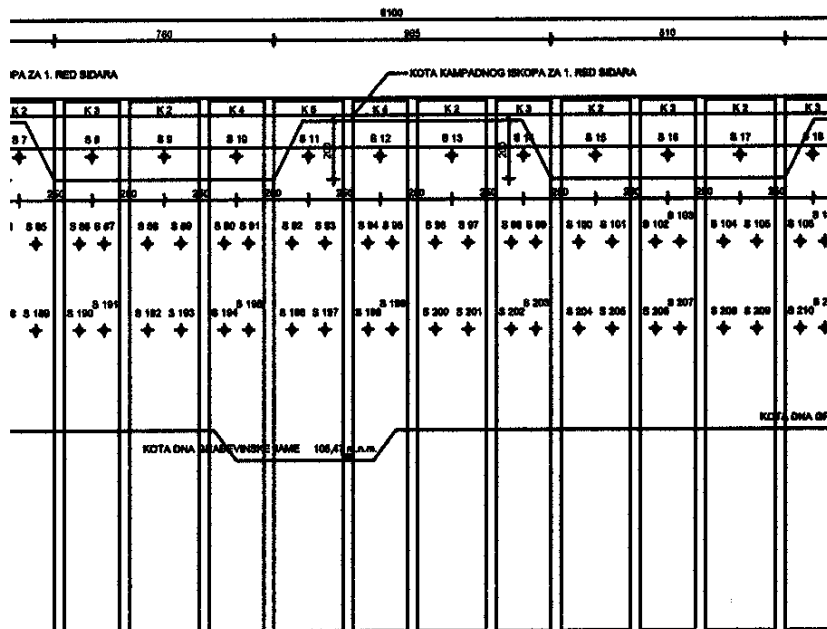
Slika 14. Tlocrtna dispozicija sidara[13]

U proračunskom konceptu izdvojeno je 6 karakterističnih geostatičkih profila (sjever 2, jug 2, istok i zapad 2). Na mjestima stubišta i dizala uz sjevernu i južnu stranu projektirano je produbljena iskopa. Vlastitih težina toranjskih dizalica na istočnoj i zapadnoj strani jame djelovala su kao vanjsko nepovoljno opterećenje. Dizalice su bile izravno oslonjene jednim krajem na naglavnu gredu dijafragme. Na tim mjestima paneli dijafragme su pojačano (dodatno) sidreni. Uz južnu stranu, na mjestu najdubljeg iskopa od 18,58 m, izveden je i 4. red sidara.



Slika 15. Karakterističan presjek na sjevernoj strani s 3 reda sidara

Na slici 15 je prikazan karakterističan presjek na sjevernoj strani. Sidra su se podvlačila ispod postojeće zgrade RBA banke. Postojeća zgrada RBA banke je višekatnica sa 7 etaža izvedena prije 20- tak godina.



Slika 16. Karakterističan pogled na južnu stranu dijafragme s neujednačenim rasporedom sidara

Slika 16. prikazuje pogled na sjeverni zid dijafragme koji je sidren s 3 reda sidara. U prvom redu po jedno sidro u svakom panelu, dok su u drugom i trećem redu su izvedena po dva sidra, ali s različitim kutevima nagiba prema horizontali. Na mjestima produbljenja za stubište i dizala, duljine slobodnih dionica su veće za otprilike 3 m po svakome sidru

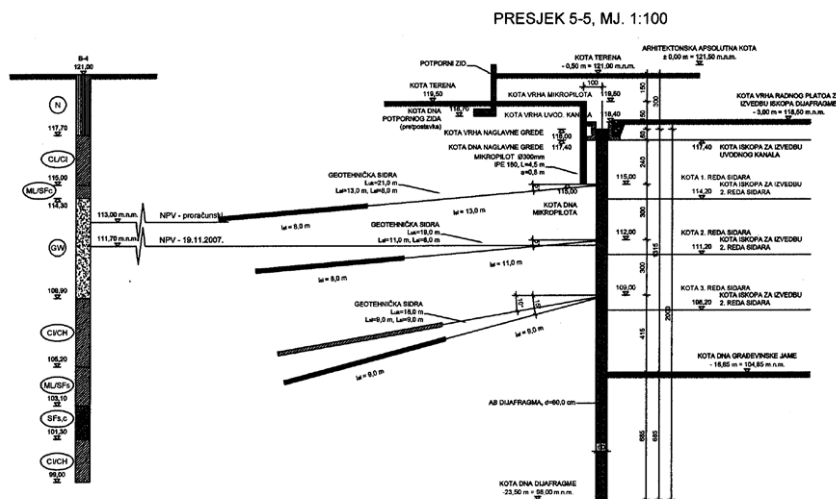
Duljine sidara su: 1. red  $L = 12 + 8\text{m}$

2. red  $L = 10 + 8\text{ m}$

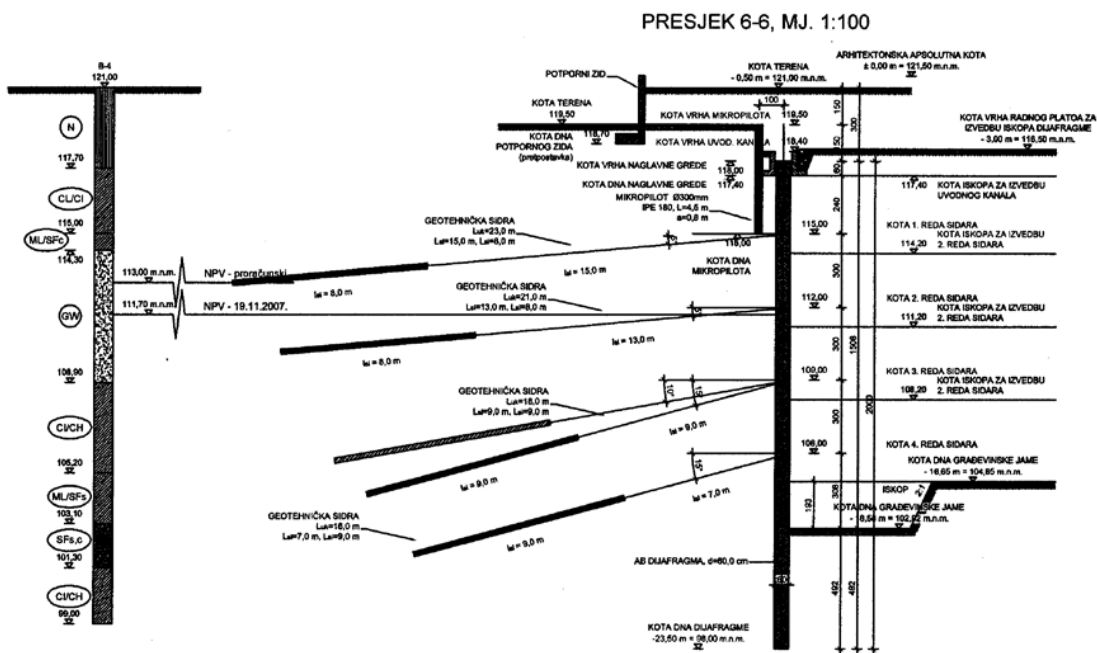
3. red  $L = 9 + 7\text{ m}$



Slika 17. postojeća zgrada RBA uz samu zaštitnu konstrukciju[13]



Slika 18. Karakterističan presjek s 3 reda sidara na dijelu južne strane jame bez produbljenja

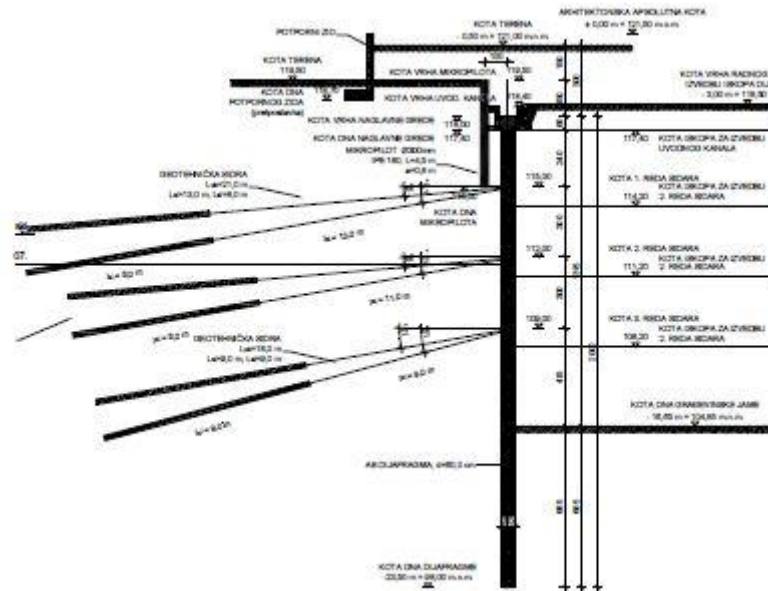


Slika 19. Karakterističan presjek s 4 reda sidara za dio južne strane jame s produbljenje

Južna strana dijafragme, (slike 18 i 19) sidrena je s 3 i 4 reda geotehničkih sidara. Prvi red po jedno sidro u svakom panelu, dok su u drugom i trećem redu izvedena po dva sidra, s razmakom od 115 cm sa razlikom u kutevima od horizontale za 5° (5°, 10° i 15° nagiba), te po jedno sidro u 4. redu. Duljine sidara su: 1. red  $L = 15 + 8$  m 2. red  $L = 13 + 8$  m, 3. red  $L = 9 + 9$  m i 4. red  $L = 9 + 9$  m na mjestima produbljenja za stubište i dizala.

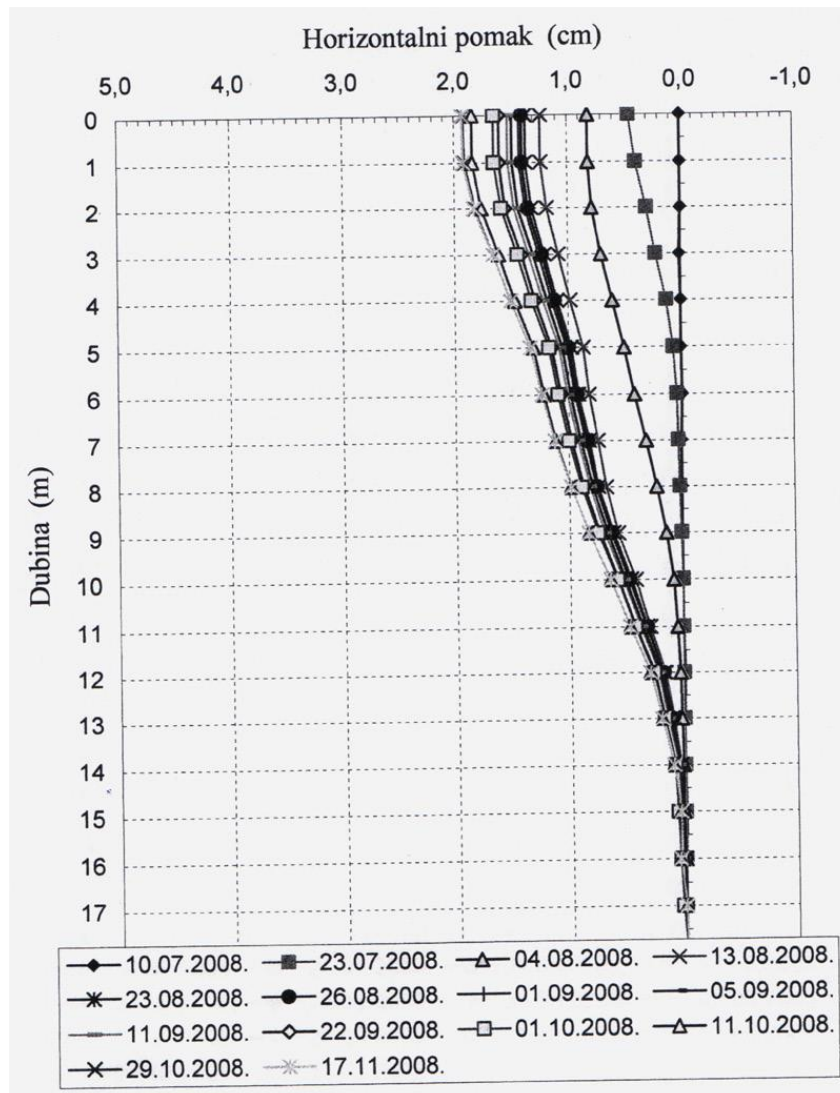


Slika 20. Južni dio građevinske jame i rezervoari toplane HEP-a [13]



Slika 21. Karakterističan presjek za istočnu stranu dijafragme sidrene s 3 reda sidara

Istočna strana dijafragme (slika 21) je sidrena s 3 reda sidara. Prvi red po jedno sidro u svakom panelu, dok su u drugom i trećem redu izvedena po dva sidra, ali s različitim kutevima nagiba prema horizontali. Duljine sidara su: 1. red  $L= 12 + 8$  m, 2. red  $L= 10 + 8$  m i 3. red  $L= 9 + 7$  m. Na mjestu oslanjanja toranjske dizalice (nosivosti 180 T) na naglavnu gredu, paneli su (ojačani) sidreni s po dva sidra u svakom redu na način: 1. red  $L= 13 + 8$  m, 2. red  $L= 11 + 8$  m i 3. red  $L= 9 + 9$  m, ali s različitim kutevima nagiba.



Slika 22. Rezultati mjerenja horizontalnih pomaka na inklinometru, sjeverna strana pored zgrade RBA

U fazi izvedbe 3. reda sidara, na sjevernoj strani opaženi su horizontalni pomaci. Njihove vrijednosti bile veće od predviđenih vrijednosti proračunom za spomenutu



fazu izvedbe. Istovremeno bili su manji od proračunom predviđenih za fazu konačnog iskopa. Daljnom provjerom utvrdilo se da pojava registriranih vrijednosti horizontalnih pomaka dijafragme javlja kao posljedica nedovoljno kvalitete izvedbe sustava sidrenja dijafragme. Opisana pojava je mogla biti registrirana tek nakon izvedbe i ugradnje dinamometara, koji su projektom bili predviđeni u 3. redu sidara. U konkretnom slučaju, ova pojava je uočena na vrijeme zahvaljujući permanentnom sustavu opažanja. Nakon spoznaje provedena je povratna analiza, koja je rezultirala izvedbom dodatnih 15 sidara na sjevernoj strani, duljine  $L = 20 + 9$  m i sile zaklinjavanja od 600 kN.



Slika 23. Ugrađeni dinamometar za praćenje sile u sidru [13]

Da bi se gubitak sile kontrolirao i ispravio ugradio se dinamometar koji bi ostao ispod glave sidra nakon zaklinjavanja (slika 23.). Na taj način bi se usporedila unesena sila na preši i sila na dinamometru. Nakon otpuštanja preše pojavio bi se pad sile na dinamometru. Stvarna razlika unesene sile s preše i očitane sile na dinamometru je predstavljala korigiranu vrijednost sile zaklinjavanja. Kako bi se nadoknadio gubitak sile sva izvedena sidra dotezala su sa sidrom zaklinjavanja uvećanom za 30% od projektirane (dio užadi za napinjanje još nije bio skraćivan).

## 12.ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskog rada bio je prikazati važnost geotehničkih sidara u geotehničkom inženjerstvu. Sidra se primjenjuju kod stabilizacije različitih vrsta pokosa. U radu je objašnjena klasifikacija sidra, elementi sidra od kojih se ističu sidrišna i slobodna dionica. Opisani je sami postupak ugradnje sidra u kojem treba istaknuti najvažniji dio prednaprezanje. Prikazane su komponente injekcijske smjese te na koji način se kontrolira njena kvaliteta. Ispitivanje geotehničkih sidara važno je pri samom projektiranju ali i kasnije u izvedbi na terenu. Najčešći način ispitivanja je test čupanja sidra. Zbog osiguranja trajnosti a time i funkcije sidra bitna je zaštita od korozije koja se vrši galvanizacijom čelika, raznim premazima poput epoksi smola ili plastičnim cijevima.

Postupak izvedbe sidra u glinenom tlu dobiva se dubokim miniranjem koji proširuje dno bušotine u obliku kugle. Volumen proširenja ovisi o eksplozivu koherentnom tlu. U to proširenje ugrađuje se sidro te se zapunjava cementnom suspenzijom. Sidra su isprepletana čeličnim nitima koja povećavaju prionjivost sidrenja.

Izgradnjom zaštitne konstrukcije sprječava se urušavanje bočnih strana iskopa i osigurava se nesmetano daljnji tok gradnje. Geotehnička sidra su važan element kod zaštite građevinskih jama. U ovom primjeru proširenja poslovne zgrade RBA banke u Zagrebu zaštitna konstrukcija bila je armiranobetonska sidrena dijafragma, s dodatnom zaštitom pred iskopa primjenom mikro pilota. Većina geotehničkih sidara je sidrena u slojevima pod vodom. Na sjevernoj i južnoj strani geotehnička sidra bila su produljena zbog dizala i stubišta. Duljina sidra sa svih strana dijafragme iznosila su oko 24m. Južna strana jame je sidrena neujednačenim rasporedom sidara zbog rezervoara toplane HEP. Istočna i zapadna strana dijafragme bile su sličnog oblika s 3 reda sidara.

Ovim primjerom napominje se važnost probnih geotehničkih sidara. Ugradnjom dinamometra na početku izvedbe probnih sidara spriječili bi se gubici sila u postupku zaklinjavanja te bi se provjerila sama nosivost sidra.

Cilj svakog projektanta je osigurati stabilnost građevine, okolnih objekta te sigurnost ljudi. Da bi se to postiglo primjena i uloga geotehničkih sidra je neophodna.

## 13.LITERATURA

1. Kavur B. (2015): Geotehnički praktikum I, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin
2. Strelec S., Štuhec D. (2011): Geotehnički laboratorij i primjena u inženjerskoj praksi, Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet, Interna skripta, Varaždin
3. Xanthakos, Petros P.(1991), Ground Anchors and Anchored Structures, John Wiley and Sons, Inc., 2-4, Kanada
4. Muhovec I. (1987): Uloga i karakter geotehničkih sidara s osvrtom na značenje injekcijskog zahvata, Geotehnička sidra i sidrene konstrukcije, 3 - 25, Zagreb
5. Vrkljan, I. (2013): Inženjerska mehanika stijena. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
6. Lovrenčić, D. (1987):Projektiranje geotehničkih sidrenih konstrukcija pri osiguravanju pokosa građevinske jame, Geotehnička sidra i sidrene konstrukcije,176, Zagreb
7. Srnec, K.(2011.) : Primjer analize i izrade geotehničkih sidara kod zaštite građevinske jame,Geotehnički fakultet,diplomski rad, Varaždin
8. Librić, L. (2014.) : Geotehničko inženjerstvo,Ojačanje stijenske mase štapnim sidrima, Građevinski fakultet, Zagreb
9. Arbanas Ž., Kovačević M., Szavits-Nossan V : Kontrola kvalitete štapnih sidara, Građevinar 57 ,11,(2005), 859-867
10. Bačić M.,Gavin K., Kovačević M., : Trendovi u ne razornom ispitivanju stijenskih sidara,Građevinar 71, 10(2019), 823-831
11. Roje-Bonacci t. (2005): Potporne građevine i građevinske jame, Sveučilište u Splitu Građevinsko-arhitektonski fakultet, sveučilišni udžbenik, Split.
12. Težak D. (2018): Utjecaj značajki miniranja na kotlovsko proširenje u glinenome tlu, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb

13. Lebo Ž.,Ivandić K. : Zaštita građevinske jame poslovne građevine RBA u Zagrebu, Zbornik radova 7. savjetovanja Hrvatskog geotehničkog društva s međunarodnim sudjelovanjem, Geotehnički aspekti nestabilnosti građevina uzrokovanih prirodnim pojavama, 253-258 (2016),Varaždin

### 13.1 POPIS SLIKA

Slika 1. Klasifikacija sitnozrnatih tla [1] .....	2
Slika 2. Minerali gline-kaolinit,ilit,montmorilonit [1] .....	4
Slika 3. Elementi sidra [4] .....	7
Slika 4. Primjeri presjeka čeličnih kablova [5] .....	9
Slika 5. Sidro s mehaničkim usidrenjem[5] .....	11
Slika 6. Samobušivo,split set i swellex sidro [5] .....	12
Slika 7. Ispitivanje sidara testom čupanja .....	22
Slika 8. Dijelovi hidrauličke preše [7].....	23
Slika 9. Akustična emisija [10] .....	24
Slika 10. Ugradnja sidra u glinenom tlu [13].....	27
Slika 11. Shematski prikaz moguće konstrukcije sidra [13].....	29
Slika 12. Shematski prikaz kontrole nosivosti ugrađenog sidra [12] .....	30
Slika 13. Tlocrt planirane dogradnje zgrade RBA[13].....	31
Slika 14. Tlocrtna dispozicija sidara[13] .....	33
Slika 15. Karakterističan presjek na sjevernoj strani s 3 reda sidara .....	34
Slika 16. Karakterističan pogled na južnu stranu dijafragme s neujednačenim rasporedom sidara .....	34
Slika 17. postojeća zgrada RBA uz samu zaštitnu konstrukciju[13] .....	35
Slika 18. Karakterističan presjek s 3 reda sidara na dijelu južne strane jame bez produbljenja .....	36
Slika 19. Karakterističan presjek s 4 reda sidara za dio južne strane jame s produbljenje .....	36
Slika 20. Južni dio građevinske jame i rezervoari toplane HEP-a [13].....	37
Slika 21. Karakterističan presjek za istočnu stranu dijafragme sidrene s 3 reda sidara ..	37
Slika 22. Rezultati mjerenja horizontalnih pomaka na inklinometru,sjeverna strana pored zgrade RBA.....	38
Slika 23. Ugrađeni dinamometar za praćenje sile u sidru [13] .....	39

## 13.2 POPIS TABLICA

Tabela 1. Geotehnički profil slojeva tla [13] .....	32
---	----