

# Ispitivanje nosivosti štapnog geotehničkog sidra

---

**Krajačić, Bruno**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:032921>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-13**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





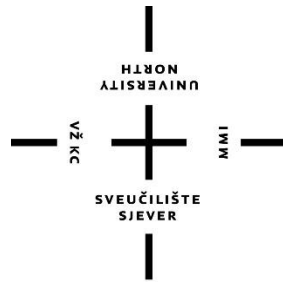
# Sveučilište Sjever

*Završni rad br. 25/9/2019*

## **Ispitivanje nosivosti štapnog geotehničkog sidra**

**Bruno Krajačić, 0579/336**

Varaždin, svibanj 2020. godine



# Sveučilište Sjever

**Odjel za Graditeljstvo**

**Završni rad br. 25/9/2019**

## **Ispitivanje nosivosti štapnog geotehničkog sidra**

### **Student**

Bruno Krajačić, 0579/336

### **Mentor**

Matija Orešković, doc. dr. sc.

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Bruno Krajačić	MATIČNI BROJ	0579/336
DATUM	01. 08. 2019.	KOLEGIJ	Geotehnika
NASLOV RADA	ISPITIVANJE NOSIVOSTI ŠTAPNOG GEOTEHNIČKOG SIDRA		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Ground anchor bearing capacity test		
MENTOR	dr.sc. Matija Orešković	ZVANJE	docent
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc. dr. sc. Aleksej Aniskin		
	2. doc. dr. sc. Matija Orešković		
	3. prof. dr. sc. Božo Soldo		
	4. Mirna Amadori, predavač		
	5.		

VŽKC

MMI

## Zadatak završnog rada

BROJ 369/GR/2019

### OPIS

U Završnom radu potrebno prikazati proces ugradnje i ispitivanja te puštanja u rad geotehničkog sidra. Potrebno je detaljno opisati proces ispitivanja, prikazati rezultate ispitivanja te rezultate međusobno usporediti na povećem broju ispitivanih sidara.

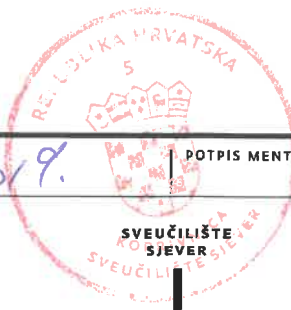
Rad se sastoji od:

1. UVOD
  2. OPĆENITO O GEOTEHNIČKIM SIDRIMA
  3. PROJEKTIRANJE GEOTEHNIČKIH SIDARA PREMA EUROKODU 7
  4. UGRADNJA GEOTEHNIČKIH SIDARA
  5. TERENSKO ISPITIVANJE GEOTEHNIČKIH SIDARA
  6. REZULTATI ISPITIVANJA
  7. ZAKLJUČAK
- Literatura

ZADATAK URUČEN

26.08.2019.

POTPIS MENTORA



IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Bruno Krajačić pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog rada pod naslovom Ispitivanje štapnog geotehničkog sidra (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:  
Bruno Krajačić

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Bruno Krajačić neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog rada pod naslovom Ispitivanje štapnog geotehničkog sidra čiji sam autor/ica.

Student:  
Bruno Krajačić

**Mentor: Matija Orešković, doc. dr. sc**

**Kandidat: Bruno Krajačić**

## **Ispitivanje štapnih geotehničkih sidara**

### **Sažetak**

U ovom Završnom radu općenito su opisana geotehnička sidra, gdje se koriste i zašto, elementi od kojih se sastoje, vrste, projektiranje, postupak ugradnje, te njihov zapis. Metode, postupak i rezultati terenskog ispitivanja je glavna tema, pa je taj dio obrađen detaljnije. Teoretski dio se sastoji od proučenih i prilagođenih standarada Eurokoda 7 (geotehničko projektiranje) i njegovog dodatka EN 1537 : Sidra u tlu. Eurokod 7 korišten je u svrhu razumijevanja razloga ugradnje geotehničkog sidra i na koji je način odabir korištenja sidra povezano sa uvjetima u tlu i na gradilištu. Dodatak EN 1537 se odnosi isključivo na sidro. Projekt samog sidra odnosi se na planiranje radova, mjesto ugradnje i uvjete u okolnom tlu mjesta ugradnje, od kojih materijala će se sastojati određeni dijelovi uključujući i zaštitu prilikom korištenja. Ugradnja je vrlo precizno isplaniran postupak sa relativno vrlo malom tolerancijom na pogrešku. Ispitivanje je također vrlo opširan i osiguravajuć postupak koji dokazuje jesu li projekt ili ugradnja dovoljno prilagođeni uvjetima u tlu i području samog gradilišta i oko njega koje je gotovo nemoguće potpuno i sa sigurnošću znati. Zbog tih činjenica taj postupak je vrlo detaljan. Praktičan dio rada sastoji se od izvještaja kojeg izrađuje ovlašteni inženjer iz tvrtke unajmljene za ispitivanja, u ovom slučaju to je tvrtka Geotest d.o.o. Izvještaj se sastoji od zapisanih rezultata od ispitivanja i dijagrama koji prikazuju koncentrirano praćenje ponašanja sidra pri postepenom nanošenju opterećenja s ciljem da se vidi nosivost koje sidro može podnijeti i hoće li ispuniti svoju svrhu pri zaštiti građevne jame, a to je sidrenje konstrukcije ugrađene kao zaštita za građevnu jamu. Od 5 ispitanih, 4 su zadovoljila, dok je jedno sidro zakazalo.

**Ključne riječi:** ispitivanje, geotehničko sidro, tetiva, injekcijska smjesa, ugradnja, izvedba, opterećenje, opterećivanje, sila, puzanje, pomak.

## Synopsis

In this Bachelor's thesis, ground anchors are described in general, where it is used and why, it's constructive elements, anchor system design, application process and the documentation of the projects progress. Methods, procedure and the result of ground anchor tests are the main thesis, so that part of the project is more detailed in general. Theoretical part is written out of a translated Eurocode 7 (geotechnical desing) and EN 1537 appendix : Ground Anchors documents. Eurocode 7 is used for understanding the reason behind the installation of ground anchors and which would be the optimal way to do it, given the ground conditions and construction site conditions. Appendix EN 1537 is used only for ground anchors. Design contains planning of the works, place of installation and ground conditions surrounding the borehole and construction site, defining the materials of all of it's parts, including it's protection system. Installation is a very precise and well planned procedure with relatively very small tolerance for measuring errors. Testing of ground anchors is also a very detailed procedure, whereas it has to prove that the design or the installation are made with enough precision. Practical part of the thesis is written out of a practical test, made by an engineer authorized specifically for ground anchors testing, he's an employee in an anchor testing company named Geotest d.o.o.. The report contains documented test results and diagrams, they show a closely monitored and measured anchors behavior while gradually loading the anchors tendon further with force. The report shows dependable results like ground anchors load-bearing capacity and more. In this thesis, an example of ground anchors protecting a construction pit is given. Out of 5 tested anchors, 4 were usable and one was not.

# Sadržaj

1.	Uvod.....	6-7
2.	Općenito o geotehničkim sidrima .....	8
2.1.	Elementi geotehničkog sidra .....	8-9
2.2.	Prednapregnuta(kabelska) geotehnička sidra .....	10
2.3.	Štapna geotehnička sidra .....	10
3.	Projektiranje geotehničkih sidara prema Eurokodu 7 .....	11-16
3.1.	HRN 1537 : Sidra u tlu.....	11-13
3.1.1.	Općenito o dodatku EN 1537 .....	11-13
3.1.2.	Planiranje radova.....	13
3.1.3.	Istraživanje gradilišta .....	13
3.1.4.	Materijali i proizvodi.....	13
3.1.5.	Glava sidra.....	14
3.1.6.	Tetive sidra .....	14
3.1.7.	Injekcijska smjesa .....	14
3.1.8.	Korozivna zaštita.....	14-15
3.1.9.	Primjena zaštite od korozije .....	15
3.2.	Završetak projekta geotehničkog sidra.....	15-16
4.	Ugradnja geotehničkih sidara .....	17-19
4.1.	Bušenje .....	17
4.2.	Proizvodnja, transport, rukovanje i ugradnja tetive sidra.....	17
4.3.	Injektiranje .....	17-18
4.4.	Naprezanje sidra .....	19
5.	Terensko ispitivanje geotehničkih sidara .....	20-26
5.1.	Općenito.....	20-21
5.2.	Točnost izmjera .....	21
5.3.	Početno očitano opterećenje .....	21
5.4.	Metode ispitivanja .....	22
5.5.	Ispitivanja sa probnim sidrom .....	23
5.6.	Ispitivanje prikladnosti .....	23-24
5.7.	Ispitivanje prihvatljivosti.....	24
5.8.	Maksimalno nulto opterećenj .....	24
5.9.	Procjena prividne duljine slobodne dionice tetive .....	25-26
5.10.	Nadzor ugradnje i ispitivanje.....	26
5.11.	Praćenje/nadgledanje ponašanja sustava za sidrenje .....	26
6.	Zapisi terenskog ispitivanja .....	27
7.	Obrada podataka prema dodatku normi "E" .....	28-31
7.1.	Metoda 1 .....	28
7.1.1.	Probna sidra - proces opterećivanja .....	28
7.1.2.	Ispitivanje primjerenosti - proces opterećivanja .....	28-29
7.1.3.	Ispitivanje prihvatljivosti - proces opterećivanja .....	29
7.1.4.	Izmjere karakteristike puzanja.....	29-31
8.	Rezultati terenskog ispitivanja .....	32
8.1.	Osoblje .....	32
8.2.	Oprema .....	32



8.3. Pripreme za ispitivanje .....	32
8.4. Ispitni postupak .....	32-33
8.5. Rezultati ispitivanja.....	33
8.5.1. Oznaka sidra : Istok 3 .....	33-38
8.5.2. Oznaka sidra : Sjever 1 .....	39-42
8.5.3. Oznaka sidra : Sjever 2.....	43-46
8.5.4. Oznaka sidra : Istok 1 .....	47-50
8.5.5. Oznaka sidra : Istok 2.....	51
9. Zaključak.....	52-53
10. Literatura i popis korištenih kartica .....	54-55





# 1. Uvod

Graditeljstvo je jedno od prvih djelatnosti čovječanstva i prva grana tehnike uopće. U Zakonu o gradnji definirana je građevina, citat članka 3. (NN 20/17,39/19) ; stavak prvi ; točka 7. „*građevina je građenjem nastao i s tлом povezan sklop, izveden od svrhovito povezanih građevnih proizvoda sa ili bez instalacija, sklop s ugrađenim postrojenjem, samostalno postrojenje povezano s tлом ili sklop nastao građenjem.*“ gdje vidimo kako je tlo nezaobilazan dio građevine odnosno gradnje. Mehanika tla je znanost koja proučava ponašanje tla u novonastalom stanju naprezanja. Znanja koja nudi mehanika tla prijekopotrebna su u rješavanju svakodnevnih problema u građevinskoj praksi. Karl Terzaghi je bio austrijski građevinski inženjer i geolog, te se smatra ocem mehanike tla nakon što je 1925. godine objavio knjigu „Mehanika zemljanih radova na temelju fizikalnih osobina tla“ iz koje su utemeljena brojna današnja rješenja problema u geotehničkom inženjerstvu i ostalim građevinskim inženjerskim zahvatima. Geotehnika se bavi projektiranjem i građenjem objekata u tlu. Uža podjela objekata i zahvata te tehničke znanosti su: temelji (duboki i plitki), nasute brane, nasipi, tuneli, klizišta, potporne konstrukcije, iskopi, građevinske jame, usjeci i odlagališta otpada. Za primjer bih uzeo zaštitu građevne jame u svrhu gradnje. Takve probleme većinom riješavamo znanjem iz geotehnike i mehanike tla. Zahtjevi sigurne gradnje postavljaju uvjet da građevne jame ostanu sigurne od vode i njezinog djelovanja za vrijeme gradnje i kasnije, to jest od podzemnih voda i vanjskih oborina (drenaža i odvodnja) i od urušavanja tla oko iskopa izgradnjom ili ugradnjom dijafragmi. Za dovoljno brzu, kvalitetnu i funkcionalnu, tamo gdje je potrebno, zaštitu jame dijafragmom sa nezadovoljavajućim geostatičkim svojstvima koje bi spriječile urušavanja za ojačanje koristimo posebne geotehničke konstrukcije koje zovemo geotehnička sidra.

Tema ovog Završnog rada je ispitivanje nosivosti štapnih geotehničkih sidara kao dio zaštite građevne jame uz susjedni objekt. Nakon općeg opisa geotehničkih sidara kao geotehničke konstrukcije, opisa projektiranja prema Eurokodu 7 i ugradnje geotehničkih sidara, obrađeno je izvješće o ispitivanju nekoliko sidara na gradilištu. Ispitivanje je provela tvrtka Geotest d.o.o. iz Zagreba u općini Zlatar Bistrica uz susjedni objekt OŠ Zlatar Bistrica, rezultati se zapisuju u obliku izvještaja. Izvještaj sadrži rezultate u obliku tablica i dijagrama iz kojih se mogu očitati razne izmjere čime ovlašteni inženjer donosi službeni zaključak o tome ima li određeno sidro zadovoljavajuću nosivost.

Podaci za obradu teme su prikupljeni sa predavanja doktora znanosti Matije Oreškovića iz kolegija Geotehnika, Sveučilišta Sjever objavljenih na Merlin-u, upisivanjem ključnih riječi na Google tražilicu koja mi je prikazala poveznice sa pristupom dijelovima Eurokoda 7, raznim predavanjima objavljenim na internetskim stranicama drugih sveučilišta i Wikipediji na hrvatskom

jeziku u rubrici „Geotehnika“, „Mehanika tla“ i „Građevinarstvo“. Detaljno objašnjenje o sidrima u tlu, postupku izgradnje same konstrukcije sidra, ugradnje i izvedbe geotehničkog sidra sam većinom prikupio iz britanske verzije EN 1537, te preveo i obradio na hrvatskom jeziku.

[1][2][3]

## 2. Općenito o geotehničkim sidrima

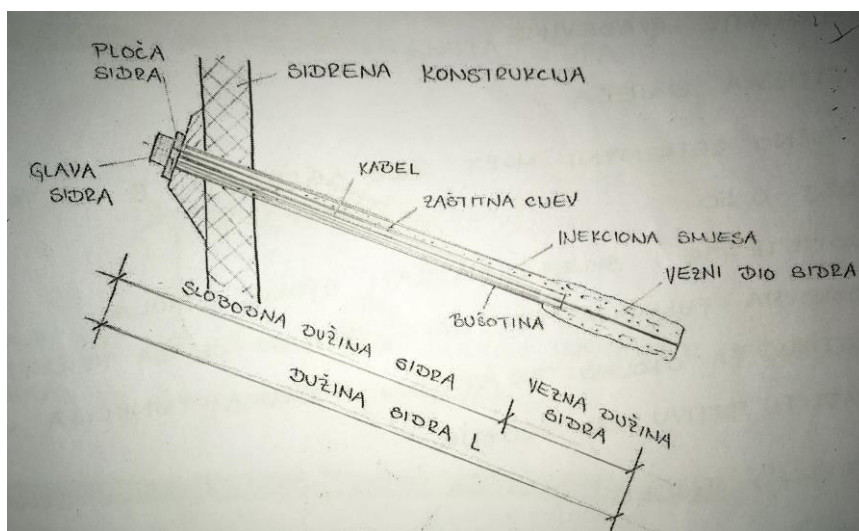
Geotehnička sidra su posebni geotehnički elementi koji očvršćuju zaštitnu konstrukciju jame ili prirodni teren iza profila tla. Princip rada je da vlačnu silu sa konstrukcije prenose u okolno tlo. Za prijenos vlačne sile koristi posmičnu čvrstoću tla u koje je usidreno. Sidra su razmjerno tanke ali dugačke željezne šipke ili povezani dugački snopovi čeličnih žica, koji se ugrađuju i na razne načine i učvršćuju u bušotinama manjeg promjera. Bušotina za geotehničko sidro je relativno vrlo malog promjera (8-14 cm), lako se izvede, a može se prenijeti relativno velika opterećenja. Uveliko se štedi na materijalu jer se njihovom primjenom koristi vlastita težina tla sa vrlo malim utroškom materijala u usporedbi s teškim betonskim konstrukcijama kao što je to slučaj kod gravitacijskih potpornih i upornih zidova, brana i slično gdje se puno materijala mora iskoristiti kako bi konstrukcija mogla svojom vlastitom težinom davati slične ciljne rezultate koji se mogu dobiti ovakvim sidrima.

Dijele se općenito na aktivna i pasivna. U aktivna sidra se unosi sila prednapinjanja čime se dodatno povećava sila otpora na plohu sloma dok se pasivna sidra aktiviraju tek kada se pomakne tlo po kliznoj plohi u koje je ugrađeno.

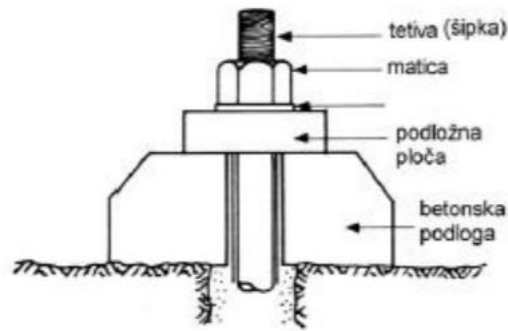
Šira primjena pasivnih geotehničkih sidara započeta je tek 40-ih i 50-ih godina, dok je to za aktivna sidra počelo tek pri kraju 20. stoljeća. U moderno doba se sidra standardno primjenjuju u osiguranju stabilnosti iskopa u rudarstvu i građevinarstvu širom svijeta. [4][5]

### 2.1. Elementi geotehničkih sidara

Svako sidro je konstruirano na 3 glavna elementa, daljnja analiza su varijacije prema potrebi na gradilištima, a to su: glava sidra, sidrišna dionica i slobodna dionica (Slika 1.1).



Slika 1.1 Elementi kablenskog prednapregnutog geotehničkog sidra (uslikano je skica sa predavanja iz Geomehanike 2 doktora znanosti Bože Solde vlastitim mobitelom)

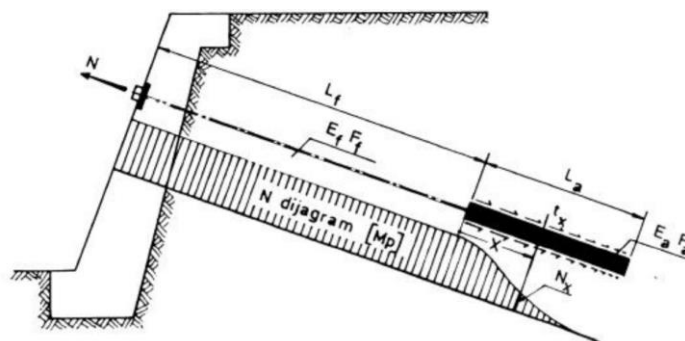


Slika 1.2. Elementi glave sidra [5]

Sidrišna dionica ima ulogu da se sila sa sidra prenese u tlo. Uloga slobodne dionice sidra je višestruka pa je ponekad potrebno više vremena za određivanje i projektiranje slobodne dionice nego sidrišne dionice.

Čelična komponenta(kabel) sastoji se od čeličnih žica spojenih u snop ili čeličnog kabla projektiranog profila. Kabeli i užad izrađuju se iz pojedinačnih manjih žica (6, 12, 18, pa i više), koje se isprepletu oko debele centralno postavljene žice, sve to zajedno u sustavnom prenošenju opterećenja u Radu sam nazvao 'tetiva sidra'. Kabeli su pocinčani, galvanizirani ili plastificirani što služi kao zaštita od korozije. U geotehničkim sidrima koriste se razne vrste čelika. Za pasivna(štapna) sidra koriste se čelične šipke, tako zvani rebrasti čelik. Za veliku nosivost koriste se geotehnička sidra s visokovrijednim čelikom.

Grafički prikaz raspodjele sila ovisi o međusobnom utjecaju triju statičkih veličina: sile, pomaka, posmičnog naprezanja između očvrslje injekcijske smjese na sidrišnoj dionici i okolnog tla, te sila prednaprezanja. [4][5][6]



Slika 1.3 Dijagram raspodjele sila [4]

## **2.2. Prednapregnuta(kabelska) geotehnička sidra**

Danas se kao najznačajnija geotehnička sidra čija je primjena najšira, izvode prednapregnuta sidra s linijskim prijenosom sile sa sidrišta u tlo. Imaju jasno izraženu slobodnu dionicu. Takvo sidro predstavlja geostatički element koji je sastavni dio sklopa objekt – sidro – tlo, unutar kojeg su vrlo složena stanja naprezanja i deformacije. [5][6]

## **2.3. Štapna geotehnička sidra**

Značajna je prednost mogućnost uporabe štapnih sidara u kombinaciji s bilo kojim od vanjskih podgradnih sustava (mreže, mlazni beton, podgradne armiranobetonske konstrukcije). Vrlo je lako mijenjati razmak između sidara i njihovu duljinu prema potrebi. Pogodna su za brzu primjenu nakon bušenja i gotovo odmah nakon ugradnje mogu preuzeti opterećenje nastalo rasterećenjem tla oko bušotine. Postoji više različitih štapnih sidara s obzirom na samu konstrukciju sidra, no pripadaju istoj vrsti sidara prema načinu prijenosa opterećenja. Dijelimo ih prema načinu sidrenja na mehanički usidrena, injektirana i trenjem usidrena štapna sidra. [5][6]



### 3. Projektiranje geotekničkih sidara prema Eurokodu 7

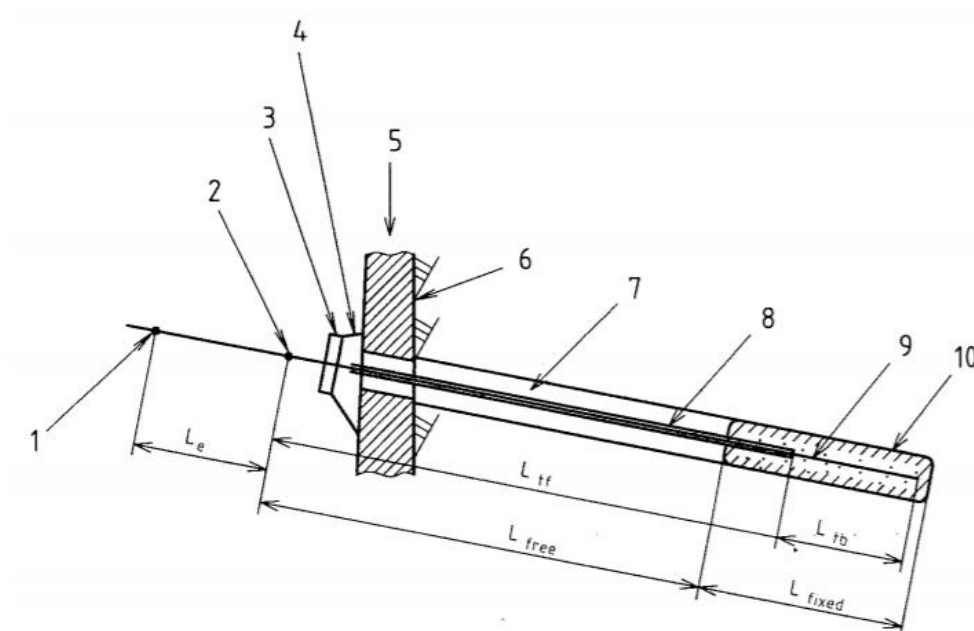
Eurokod (EN 1997) sastoji se iz 2 dijela, to su: EN 1997-1 Geotekničko projektiranje – Dio 1: Opća pravila, te EN 1997-2 Geotekničko projektiranje – Dio 2: Istraživanje i ispitivanje. Posebni dodatak normi po kojoj se projektiraju i ispituju sidra je EN 1537. [7]

#### 3.1. HRN 1537 : Sidra u tlu

Simboli:

$A_t$	Poprečni presjek tetive sidra
$E_d$	Numerička vrijednost djelovanja u projektu
$E_{d,dst}$	Numerička vrijednost destabilizirajućeg djelovanja u projektu
$E_{d,st}$	Numerička vrijednost stabilizirajućeg djelovanja u projektu
$E_t$	Modul elastičnosti tetive sidra
$f$	Gubitak trenja kao postotak od $P_p$
$f_{tk}$	Karakteristična vlačna čvrstoća tetive
$f_{t0,1k}$	Karakteristična vlačna čvrstoća kod kojeg se javlja trajno istegnuće od 0.1 %
$f_r$	Relativna površina rebra kod rebrastih ili profiliranih kablova ili štapova
$k_s$	Stopa pomaka od puzanja
$k_l$	Rasterećenje ili gubitak sile
$L_{app}$	Prividna duljina tetive
$L_e$	Vanjska duljina tetive od glave do zatezne točke
$L_{fixed}$	Duljina sidrišne dionice
$L_{free}$	Duljina slobodne dionice
$L_{tb}$	Duljina dijela tetive spojenog s injektiranom masom
$L_{tf}$	Duljina slobodnog dijela tetive
$P$	Sila koja djeluje na tetivu
$P_a$	Početno očitano opterećenje
$P_c$	Sila kritičnog puzanja
$P_{c'}$	Procijenjena sila za kritično puzanje
$P_o$	Nulto opterećenje
$P_p$	Ispitno opterećenje
$P_{tk}$	Karakteristična nosivost tetive
$P_{t0,1k}$	Karakteristično opterećenje kod kojeg se javlja trajno istegnuće od 0.1 %

$R_a$	Vanjski otpor sidra
$R_{ak}$	Karakteristični vanjski otpor sidra
$R_{ik}$	Karakteristični unutarnji otpor sidra
$R_d$	Projektirani otpor sidra
$R_k$	Niža vrijednost od karakterističnog vanjskog i unutarnjeg otpora
$s$	Pomak glave sidra
$t$	Vrijeme od primjene povećane sile ili od nultog opterećenja
$\alpha$	Nagib pomaka puzanja/graf određenih zapisa(logaritamski) u ovisnosti o vremenu
$\Delta P$	Razlika između ispitnog opterećenja i nultog opterećenja
$\Delta s$	Izmjereno produljenje tetive sidra usred povećanja $\Delta P$
$\gamma_q$	Varijacijski faktor opterećenja sidra
$\gamma_R$	Parcijalni faktor otpora sidra



Slika 2.1 Dijelovi geotehničkog sidra sa označenim karakterističnim duljinama [7]

- 1 Točka sidrenja tijekom naprezanja
- 2 Točka sidrenja na glavi sidra tijekom nošenja(projektirana funkcionalnost)
- 3 Nosiva pločica glave sidra
- 4 Dio glave sidra za prijenos opterećenja sa konstrukcije na sidro
- 5 Dio presjeka sidrene konstrukcije
- 6 Tlo/stijena
- 7 Bušotina
- 8 Zaštitna cijev

9 Tetiva (štapna ili kabela)

10 Tijelo sidrišne dionice (injektirana sidrišna masa) [7]

### **3.1.1. Općenito o dodatku EN 1537**

Ovaj standard je primjenjiv na ugradnju, ispitivanje i praćenje ponašanja privremenih i trajnih sidara u tlu gdje se ispituje nosivost. Termin 'tlo' obuzima sve vrste tla uključujući i stijensku masu.

Za projektiranje sidara potrebno je imati dovoljnog iskustva i znanja u ovom posebnom dijelu geotehnike koje je ukratko obrađeno u ENV 1997-1 po Eurokodu 7: Opća pravila, ali je detaljnije obrađeno u dodatku EN 1537.

Raspodjela odgovornosti za projektiranje, izvođenje, ispitivanje i održavanje mora biti jasno definirana. [7]

### **3.1.2. Planiranje radova**

Količina istraživanja i projektiranja ovisi o veličini projekta, kompleksnosti tla u koje će se ugrađivati i koliki rizik za ljudsku sigurnost postoji. [7]

### **3.1.3. Istraživanje gradilišta**

Najčešća greška pri ugradnji sidra koje ne nosi koliko bi trebalo su nedovoljno precizne informacije o tlu oko bušotine.

S obzirom na svoje često korištenje, gotovo jednako često kao i vertikalne geotehničke konstrukcije, potrebno je dovoljno opširno istraživanje za obje kategorije prema preporukama iz EN 1997.

Istraživanja bi trebalo proširiti i izvan gradilišta i mjesta ugradnje ako postoji sumnja da će sidro svojim djelovanjem imati toliko širok utjecaj na stabilnost tla. [7]

### **3.1.4. Materijali i proizvodi**

Svi materijali moraju biti međusobno kompatibilni, to se posebno odnosi na nadodane materijale sa zajedničkim presjekom. Svojstva materijala moraju biti kontinuirana kroz cijelu projektiranu trajnost. [7]

### **3.1.5. Glava sidra**

Na glavi sidra nakon ugradnje se treba moći napregnuti, elastično opteretiti i prednapregnuti, te ako treba, raspustiti, rasteretiti i ponovo opteretiti. Mora moći nositi karakteristično vlačno opterećenje tetive od 100 %  $P_{tk}$ . Mora imati malu toleranciju disocijacije pri relativno kompleksnoj ugradnji sidra i biti prilagodljiva svim deformacijama koje se očekuju tijekom uporabe glavne građevine. [7]

### **3.1.6. Tetive sidara**

Vrste tetiva:

- Hladne napete čelične niti profilirane nakon napinjanja
- Ugašene i temperirane rebrasto oblikovane žice nakon toplinske obrade valjanjem
- Rebrasti čelični štapovi
- Niti napravljene od sedam žica

Da bi se osiguralo pravilno postavljanje tetiva i njezinih komponenti, zaštitu od korozije i ostale komponente unutar bušotine, distanceri bi trebali biti postavljeni tako da je zadovoljen standard minimalne zapune oko cijele površine ugrađenog sidra iza sidrene konstrukcije. [7]

### **3.1.7. Injekcijska smjesa**

Kada se bira vrsta cementne smjese koja će biti u direktnom kontaktu sa okolnim tlom treba uzeti u obzir agresivne supstance u okolišu (ugljična kiselina i sulfati), permeabilnost tla i projektna trajnost sidra.

Zapuna bušotine oko tetive smolom ili mortom od smole može biti alternativa cementnoj smjesi ako je primjenjivost ispitana i dokazana primjerenom. [7]

### **3.1.8. Korozivna zaštita čeličnih tetiva i napregnutih čeličnih komponenata**

Sve čelične komponente geotehničkog sidra bi trebale biti zaštićene od korozije kroz cijelu projektiranu trajnost. Elementi zaštite od korozije bi trebali biti sposobni prenositi opterećenje na sidru, tamo gdje je potrebno.

Standard za zaštitu od korozije klasificirano je i broji se jednako kao i trajnost projektirana za sidro:

- Privremena geotehnička sidra imaju projektiranu trajnost tako da im funkcionalnost NE traje dulje od 2 godine
- Trajna geotehnička sidra imaju projektiranu trajnost tako da im funkcionalnost traje dulje od 2 godine

Minimalna zaštita od korozije koja je postavljena oko tetive u sidru treba biti jednostruk kontinuirani sloj zaštite i mora trajati i ne padati u kvaliteti kroz cijeli projektirani vijek trajanja sidra. [7]

### **3.2. Završetak projekta geotehničkog sidra(što treba definirati)**

Ovaj dio opisuje što treba biti u projektu a tiče se izvedbenog dijela geotehničkih sidara kako bi projektiranje sustava sidrenja moglo biti potpuno.

Sidrene konstrukcije mogu biti:

- Potporne konstrukcije
- Za stabilizaciju raznih pokosa i nagiba terena
- Podzemnih otvora(tuneli, rudnici i slično)
- Podzemne konstrukcije i podrumi na koje djeluje uzgon od podzemne vode
- Konstrukcije koje prenose vlačna opterećenja u temelj ili tlo stvorena od superkonstrukcije ili djelovanja na superkonstrukciju.

Sljedeće treba jasno prikazati na nacrtima konstrukcije, tamo gdje je to primjereno:

- Minimalne dimenzije i svojstva materijala svih elemenata sidra i njihovog spoja unutar cijelog sustava sidrenja
- Dimenzije slobodne i sidrišne dionice
- Kut nagiba bušotine gdje bi se smjestilo sidro
- Tolerancije pogrešaka u dimenzijama, nagibu i lokaciji sidra

Projekt je napravljen na osnovi parametara tla i geometriji i dimenzijama slobodnog prostora za izvedbu sidara.

Projekt sidrenja treba uzeti u obzir:

- Prilikom nanošenja opterećenja i ograničenja u nanošenju opterećenja na sidro, projektant sidrene konstrukcije to uzima u obzir kao korisno opterećenje
- Način na koji će se nanositi opterećenje na sidro tijekom svoje projektirane trajnosti, to jest dinamički ili statički
- Raspodjela opterećenja na sidrenu konstrukciju prilikom nanošenja opterećenja na sidro i tijekom cijele projektirane trajnosti sidra
- Zajednički dio sidra i sidrene konstrukcije kako bi se utvrdila stalna strukturalna stabilnost
- Posljedice koje se mogu dogoditi usred nanošenja opterećenja na sidro i u tom slučaju, rezervnih alternativa za smještanje drugih rezervnih sidara, ako je to potrebno

[7]

## 4. Ugradnja geotehničkih sidara

### 4.1. Bušenje

Promjer bušotine mora biti takav da omogući u projektu definiranu injekcijsku smjesu kako bi tetiva sidra bila prekrivena duž sidrišne dionice.

Ako nije drukčije definirano, izbor i postava opreme za bušenje trebaju zadovoljavati uvjete poput tolerancije na grešku ekscentriciteta osi glave prema osi bušenja i smjer izvedene bušotine s obzirom na projekt. Devijaciju bušotine treba provjeriti tokom bušenja.

Metoda bušenja se određuje prema uvjetima u tlu da bi se minimalizirala prilagodba tla ili da bi se tlo što više prilagodilo nosivosti sidra i da se omogući aktivacija projektiranog otpora sidra ( $R_d$ ). Posebnu pažnju zahtijeva bušenje kroz tlo u kojem djeluje strujni tlak.

Bušenje treba izvesti tako da se sve nove važne varijacije svojstava tla u usporedbi sa onim svojstvima prema kojim je projekt napravljen, mogu odmah vidjeti. [7]

### 4.2. Proizvodnja, transport, rukovanje i ugradnja tetiva sidra

Tijekom proizvodnje i skladištenja, tetive i njihove komponente trebaju biti čiste i bez korozije, mehaničkih oštećenja i ostataka nakon varenja.

Prilikom utovara, transporta i ugradnje tetive, ne smije ju se trknuti ili bilo kako oštetiti njezine komponente i elemente za zaštitu od korozije.

Prije ugradnje tetive treba provjeriti bušotinu od mogućih prepreka i čistoću po cijeloj duljini. Ugradnju treba izvršiti kontrolirano i ne smiju se bitno poremetiti komponente ugrađene na tetivu. U sidrima s nagibom iznad horizontalne osi tetive trebaju biti učvršćene kako se nebi mogle micati prilikom injektiranja zapune.

Vremenski intervali između svakog dijela procesa ugradnje sidara trebaju se uspostaviti prema svojstvima tla i trebali bi biti što kraći. [7]

### 4.3. Injektiranje

Injektiranje služi za jedno ili više sljedećih funkcija:

- a) Formira sidrišnu dionicu tako da se opterećenje na sidru može preko tetive prenijeti u okolno tlo
- b) Da bi zaštitilo tetivu od korozije

- c) Da odmah učvrsti tlo iznad izvedenog sidra kako bi povećalo kapacitet tla za izvedbu drugih sidara
- d) Da odmah zatvori tlo iznad sidrišne dionice kako se ne bi gubila injekcijska smjesa

Pri završetku bušenja ili tijekom injektiranja sidra injekcijskom smjesom, nakon njezinog slijeganja odnosno završetka injektiranja, treba poduzeti određene mjere iz kojih bi znali sigurno je li sidrišna dionica potpuno zapunjena.

Predinjektiranje bi trebalo izvršiti ispunom bušotine smjesom na bazi cementa. Smjesa cement/pijesak se obično koristi u stijenama i vrlo tvrdim do krutim koherentnim tlima sa djelomično raspuknutim ili otvorenim pukotinama i u permeabilnim nekoherentnim tlima da se smanji utrošak injekcijske smjese.

U mekim stijenama, vrijeme ponovnog bušenja u procesu dobivanja čvrstoće (sušenja) je presudno za izbjegavanje problema pri održanju bušotina ravnima.

Gdje je pri ispitivanju bušotine identificirano visokopermeabilno tlo ili da će injektiranje smjese imati veliki protok što znači veliki utrošak smjese, bez povratnog pritiska, predinjekcija je potrebna. To može biti rutinska procedura, ali je dobra mjera sigurnosti ako se sumnja da će loši uvjeti u tlu prevladati.

U izuzetnim okolnostima moglo bi biti nužno izvesti ispunjavanje praznih prostora u tlu kao proces općenitog ojačanja tla. U tom slučaju ta radnja ne pripada rutinskoj izvedbi ili ugradnji sidara.

Injektiranje sidara bi trebalo izvesti što je prije moguće nakon završetka bušenja. Proces injektiranja treba početi od najdubljeg dijela koji treba injektirati. Za vodoravne i bušotine bušene u visinu, čep ili paker je potreban kako se ne bi dogodio gubitak iz sidrišne dionice ili čak cijele bušotine. Zrak i voda trebaju moći izaći kako bi se injektiranje moglo izvršiti potpuno.

Pri određenim uvjetima u tlu gdje je stupac zapunjene smjese adekvatno zatvoren u slobodnoj dionici dio opterećenja se može prenijeti iz sidrišne dionice na slobodnu i na zadnji dio konstrukcije.

Pojavom arteške vode u bušotini treba poduzimati mjere opreza poput povećanja glave injekcijske smjese ili brzim predinjektiranjem gušćom smjesom od protjecajne vode u bušotinu.

[7]



#### 4.4. Naprezanje sidra

Nanošenje opterećenja je potrebno za ispunjenje dviju sljedećih funkcija:

- Da bi se zasigurno znalo i zabilježilo ponašanje sidra pod opterećenjem
- Da bi se opteretila tetiva na vlak i da bi sidro bilo u stanju nosivosti

Naprezanje i nanošenje opterećenja bi trebalo biti izvršeno od strane iskusnog osoblja pod kontrolom prikladnog nadzornog inženjera, na to mjesto postavljen preporučeno iz tvrtke koja je specijalizirana za geotehnička sidra ili specijalizirane za opremu nanošenja opterećenja za naprezanje sidra.

Oprema za naprezanje i stanice za opterećenje u redovitoj primjeni trebaju biti kalibrirane svakih 6 mjeseci.

Oprema za naprezanje za štapnu ili kabelsku tetivu treba nanositi vlačno opterećenje na tetivu kao na jedinstveno tijelo.

Ako je za kontrolu stavke postupka nanošenja opterećenja ili faze u nanošenju potrebno nanošenje opterećenja na cijelu konstrukciju, tada će to biti definirano u projektiranju.

Sidrena konstrukcija treba biti projektirana tako da pruži reakciju kako bi dopustila ispitivanje nosivosti prema sljedećem poglavlju.

Oprema se treba koristiti strogo prema priručniku kojeg izdaje proizvođač.

Naprezanje ili ispitivanje se ne smije izvršavati prije postizanja dovoljne čvrstoće injektirane smjese u sidrišnoj dionici, za koje normalno inače treba 7 dana.

U osjetljivim koherentnim tlima bilo bi primjereno pričekati minimalni vremenski period u kojem se tlo oporavi od završetka ugradnje geotehničkog sidra i prije naprezanja. [7]

## 5. Terensko ispitivanje geotehničkih sidara

### 5.1. Općenito

ENV 1997 opisuje 2 klase ispitivanja sidara, procjena i prihvatljivost. U ovom standardu 3 klasifikacije ispitivanja nosivosti na gradilištu se smatraju zasebnima.

To su:

- Ispitivanje sa probnim sidrom
- Ispitivanje prikladnosti
- Ispitivanje prihvatljivosti

Prve dvije klasifikacije se mogu smatrati kao potpoglavlje u ispitivanju procjene.

Ispitivanje sa probnim sidrom se provodi prije ugradnje trajnog sidra, mjeri se:

- a) Otpornost  $R_a$  sidra plohe dodira između injekcijske smjese i okolnog tla
- b) Kritično opterećenje na dnu sustava za sidrenje konstrukcije
- c) Karakteristike puzanja sustava za sidrenje pod opterećenjem sve do sloma
- d) Gubitak opterećenja na sustavu za sidrenje pri nultom opterećenju  $P_0$
- e) Prividna duljina tetive u slobodnoj dionici  $L_{app}$

Potvrda ispitivanja prikladnosti za određenu situaciju iz projekta:

- a) Sposobnost održavane nosivosti pri ispitnoj sili
- b) Puzanje ili karakteristike gubitka nosivosti sustava pri ispitnoj sili
- c) Prividna duljina tetive u slobodnoj dionici  $L_{app}$

Ispitivanje prihvatljivosti za svako sidro posebno:

- a) Sposobnost održavane nosivosti sidra pri ispitnoj sili
- b) Puzanje ili karakteristike gubitka nosivosti sustava pri ispitnoj sili
- c) Prividna duljina tetive u slobodnoj dionici  $L_{app}$

Nadzor i procjenu svih ispitivanja obavlja kompetentna osoba s puno iskustva s tehnologijom geotehničkih sidara. Metode ispitivanja za svaku klasu se primjenjuje za trajna i privremena sidra.

U svakom projektu i njegovoj izvedbi gdje se kapsulacije (oblačenje tetive i same konstrukcije sidra) injektiraju smjesom u bušotini, ispitivanje koje uključuje provjere potpunosti injektiranja sa kvalitetnom smjesom trebaju prvo biti obavljene simuliranim radnjama pod sličnim geometrijskim

uvjetima prije proizvodnje smjese. Ispitivanje se radi prije početka radova.

[7]

## 5.2. Točnost izmjera

Tijekom vremenskog perioda zadržavanja opterećenog sidra gdje se ispituje puzanje u bilo kojem ispitivanju, točnost mjerenja pomaka mora biti do 0.05 mm. Gdje nema puzanja koje se može izmjeriti, točnost mjerenja pomaka je do 0.5 mm. Oprema za mjerenje treba moći prepoznati pomak od 0.01 mm.

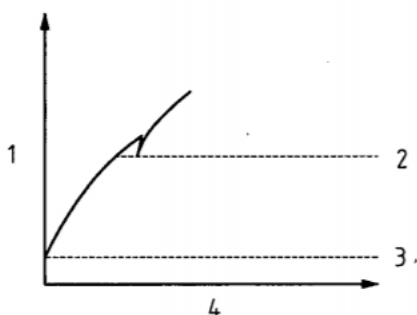
Mjerenje opterećenja na sidru se obavlja hidrauličkim, električnim ili mehaničkim uređajima koji mogu imati točnost manju od 2 % od maksimalnog nanesenog opterećenja tijekom svakog ispitivanja. Svi uređaji za mjerenje gubitka opterećenja trebaju moći prepoznati 0.5 % od ispitne sile.

[7]

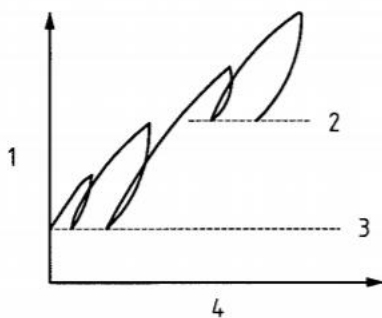
## 5.3. Početno očitano opterećenje

Početno očitano opterećenje  $P_a$  sa početka mjerenja je uobičajeno oko 10 % od ispitne sile.

Veća očitana opterećenja su dopuštena u ponovljenim opterećenjima kroz cikluse gdje se pojave neobično velika izduljenja tetive.



Dijagram 4.1 Bez ponovljenih ciklusa opterećivanja [7]



Dijagram 4.2 Sa ponovljenim ciklusima opterećivanja [7]

#### Legenda

- 1 Opterećenje na sidru
- 2 Proizvoljno veće očitano opterećenje
- 3 Očitano opterećenje  $P_a$
- 4 Pomak sidra

[7]

### 5.4. Metode ispitivanja

Ovlaštena osoba iz unajmljene tvrtke treba odobriti metodu ispitivanja i pripisan sustav interpretacije koje će se koristiti u svakoj od klasa ispitivanja. Za svaku klasu geotehničko sidro će biti opterećeno postepeno prema bilo kojem procesu potrebnom za tu klasu.

Tri metode primjenjive za svaku od klasa ispitivanja:

- a) Metoda 1 : Sidro se opterećuje kontinuiranim povećavanjem sile kroz jedan ili više ciklusa od početnog očitano opterećenja sve do ispitne sile. Pomak glave sidra se mjeri kroz određeni vremenski interval pri najvećem opterećenju tekućeg ciklusa.
- b) Metoda 2 : Sidro se opterećuje kontinuiranim povećavanjem sile kroz cikluse od početnog očitano opterećenja do ispitne sile do sloma. Gubitak opterećenja se mjeri kroz određeni vremenski interval pri najvećem opterećenju tekućeg ciklusa.
- c) Metoda 3 : Sidro se opterećuje postepenim povećavanjem sile u zasebnim postupcima od početnog očitano opterećenja do maksimalnog opterećenja. Pomak glave sidra se mjeri u vremenu održavanja opterećenja na svakoj novoj povećanoj održavanoj sili.

Tijekom svih ispitivanja opterećenje treba nanijeti ili otpustiti polako i kontrolirano tako da se sidro ne izlaže impulsima sile ili dinamičkim opterećenjima.

[7]

## 5.5. Ispitivanje sa probnim sidrom

Ispitivanje sa probnim sidrom se može pokrenuti za projektanta, prije ugradnje geotehničkih sidara pod radnim opterećenjem, zadnja i najveća otpornost na opterećenje, s obzirom na uvjete u tlu, korištenih materijala, da bi dokazalo kompetenciju izvođača i/ili da bi dokazalo novu vrstu geotehničkog sidra kroz indukciju sloma između dodirne plohe injekcijska smjesa-tlo.

Ispitivanja sa probnim sidrom se trebaju provesti tamo gdje se sidra koriste u tlu u kojem još ta ispitivanja nisu provedena ili sa višim radnim opterećenjima od onih već prisvojenih u sličnim uvjetima u tlu.

Sidra korištena u ovom ispitivanju opterećena su rigoroznije od sidara u ispitivanju prihvatljivosti, pa bi moglo doći do povećanja dimenzija tetive sidara kako bi se to provelo. Sidra nad kojima se provodi ispitivanje sa probnim sidrom se neće koristiti kao radna trajna sidra ako su ispitana do stanja sloma.

Promjer bušotine i dimenzije ostalih komponenata, osim tetiva, trebaju biti ista kao kod sidra opterećenog sa radnim opterećenjem.

Tamo gdje nije moguće provesti povećanje dimenzija tetive može se koristiti kraća sidrišna dionica kako bi inducirala slom dodirne plohe smjesa-tlo.

Tamo gdje se u ispitivanju dogodi slom zbog skraćene sidrišne dionice, ne treba se očekivati povećanje otpornosti na opterećenje proporcionalno produljenju sidrišne dionice za sidra sa duljom sidrišnom dionicom.

Ako se poveća promjer bušotine, ponašanje sidra u ispitivanju sa probnim sidrom se ne treba uspoređivati direktno sa ponašanjem radno opterećenih sidara.

Sidara će se opteretiti do sloma ( $R_a$ ) ili do ispitne sile ( $P_p$ ) što će se ograničiti na  $0.80 P_{tk}$  ili  $0.95 P_{t0,1k}$  ovisno o tome koje ima nižu vrijednost. [7]

## 5.6. Ispitivanje prikladnosti

Prije provođenja ovog ispitivanja, treba potpuno pregledati iskoristive rezultate iz ispitivanja sa probnim sidrom i procjenjuju se rezultati s bilo kojih sličnih ispitivanja.

Ciljevi ispitivanja prikladnosti su sljedeći:

- a) Gdje su provedena ispitivanja sa probnim sidrom, ispitivanje prikladnosti potvrđuje prihvatljivo puzanje ili karakteristike gubitka opterećenja pri razinama ispitnog opterećenja i razini nultog opterećenja za buduća ispitivanja prihvatljivosti ili za kritično opterećenje puzanja.

- b) Gdje se nije provodilo ispitivanje sa probnim sidrom i gdje nisu dostupni rezultati ispitivanja na sličnim sidrima i sličnim uvjetima u tlu, ispitivanje prikladnosti demonstrira karakteristike iz cilja a) iznad i daje kriterije za prihvatljivost puzanja ili gubitka opterećenja na razini opterećenja ispitne sile ispitivanja prihvatljivosti ili prikazuje kritično opterećenje za puzanje.
- c) Kako bi se odredila prividna duljina slobodne dionice

Bar tri ispitivanja prikladnosti treba provesti na sidrima u identičnim uvjetima kao i kod radnih sidara.

Tamo gdje se ne provedu ispitivanja sa probnim sidrom, može se dogoditi da sidra korištena za ispitivanje prikladnosti imaju tetive sa većim kapacitetom nosivosti opterećenja nego što ih imaju radna sidra. [7]

## 5.7. Ispitivanje prihvatljivosti

Svako radno sidro treba biti podvrgnuto ispitivanju prihvatljivosti.

Ciljevi ispitivanja prihvatljivosti su sljedeći:

- a) Kako bi se demonstriralo da ispitno opterećenje, ovisno o metodi ispitivanja, sidro može izdržati
- b) Kako bi se odredila prividna duljina slobodne dionice
- c) Kako bi se osiguralo da je nulto opterećenje sidra na razini projektiranog gdje se trenje ne uzima u obzir
- d) Utvrđuje da su puzanje i karakteristike gubitka opterećenja unutar granica funkcionalnosti, kada je to nužno [7]

## 5.8. Maksimalno nulto opterećenje

Ako granica puzanja ili granica gubitka opterećenja nije dosegnuta, nulto opterećenje ( $P_0$ ) se ograničava na  $0.60 P_{tk}$ .

Ako, u slučaju ispitivanja prikladnosti ili prihvatljivosti, granica puzanja ili granica gubitka opterećenja je dosegnuta, nulta sila se smanjuje na razinu gdje je zadovoljen kriterij puzanja ili gubitka sile. [7]

## 5.9. Procjena prividne duljine slobodne dionice tetive

Prividna duljina slobodne dionice  $L_{app}$  se računa iz izmjere produljenja tetive  $\Delta s$  od točke gdje se tetiva fiksira na 'jack' glave sidra ili od referentne spojne točke sa tetivom. Ova izmjera definira fiksno mjesto već izvedenog sidra koje uzima u obzir udaljenost između kraja slobodne dionice tetive i početak sidrišne dionice.

Jednadžba za prividnu duljinu slobodne dionice:

$$L_{app} = (A_t E_t \Delta s) / \Delta P$$

Gdje je

$L_{app}$	Prividna duljina slobodne dionice tetive
$A_t$	Presjek tetive
$E_t$	Modul elastičnosti tetive (čelik)
$\Delta s$	Elastično produljenje tetive
$\Delta P$	Razlika ispitne i početne očitane sile

Raspon izvan kojeg se  $L_{app}$  ne smije nalaziti:

- Gornja granica  $L_{app} \leq L_{tf} + L_e + 0.5L_{tb}$  ili

$$L_{app} \leq 1.10L_{tf} + L_e$$

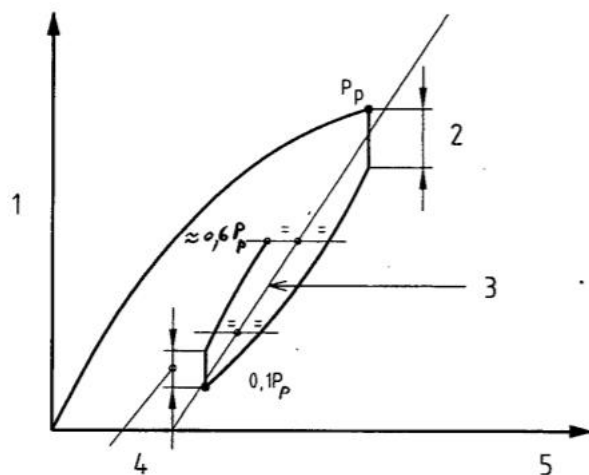
Uzima se veća vrijednost od navedenih iznad

- Donja granica  $L_{app} \geq 0.80L_{tf} + L_e$

Gdje postoji značajno trenje u slobodnoj dionici, metoda prikazana u dijagramu 4.3 se može koristiti, uzimajući u obzir histerezu između opterećivanja i rasterećivanja kako bi se procijenila elastična krutost u području slobodne dionice ( $\Delta P / \Delta s$ ).

Gdje se prividna duljina slobodne dionice nalazi izvan dopuštenih granica, sidro se može podvrgnuti ponovljenim ciklusima opterećivanja sve do  $P_p$ . Ako sidro demonstrira ponavljanje

proporcionalnog svojstva opterećenje/produljenje, tada projektant može odlučiti hoće li prihvatiti ili ne.



Dijagram 4.3 Procjena elastične krutosti gdje se pojavljuje značajno trenje [7]

Legenda

- |   |  |   |           |
|---|--|---|-----------|
| 1 | Opterećenje na sidru   | 4 | Trenje    |
| 2 | Trenje   | 5 | Pomak (s) |
| 3 | Pravac opterećenja i sa krivuljom pomaka $\Delta P/\Delta s$ |   |           |

## 5.10. Nadzor ugradnje i ispitivanje

Ugradnja sidara i ispitivanje svih sidara, te nadzor i rezultati ispitivanja se rade na gradilištu.

Ako nadzor ima nesigurnost prema kvaliteti ugrađenih sidara, dodatno istraživanje se provodi kako bi se odredili uvjeti pod kojima su ugrađena. [7]

## 5.11. Praćenje/nadgledanje ponašanja sustava za sidrenje

Geotehnička sidra se mogu ugrađivati sa uspostavom za praćenje. Gdje je struktura uspostave osjetljiva na opterećenje i micanje tla u koje je sidro ugrađeno, uspostava se može postaviti i biti tamo kroz cijeli projektirani vijek trajanja nosivosti sidra.

Broj praćenih sidara i intervale između mjerenja treba odrediti.

Zaštita od korozije na dostupnim mjestima glave sidra će biti pregledane periodično i obnovljene ako je potrebno. [7]



## 6. Zapisi terenskog ispitivanja

Plan za ugradbu geotehničkog sidra mora biti pripremljen i pristupačan na gradilištu, te sadržavati tehničke specifikacije za svaki sustav sidrenja koji će se koristiti.

Zapisi ispitivanja i same konstrukcije sidra će se pregledati prema ENV 1997-1-1, za buduće reference. To pokriva:

- Raspored dostavljanja svih materijala koji imaju cement, smola i otvrdivača, zapunskih cementnih i smjesa od smole
- Istragu gradilišta
- Tehnika bušenja
- Ugradnja i geometrija elemenata geotehničkog sidra
- Datum i vrijeme ugradnje svakog od sidara
- Za injektirana sidra: - materijal, pritisak, volumen injektirane smjese, duljina zapune i vrijeme injektiranja
- Ugradnja odabrane zaštite od korozije
- Injektiranje
- Naprezanje
- Ispitivanje sidra

Za svako sidro se izrađuje dnevnik rada. Taj zapis će sadržavati i specijalna svojstva i komponente same konstrukcije. Svi zapisi ugradnje i ispitivanja će se zadržati i nakon završenih radova. Nadodati će se svi dodatni (ranije nezapisani) radovi koji su bili potrebni i radili su se tijekom same ugradnje, bilo koji certifikat prihvatljivosti dodijeljen od nadležne osobe za provedbu Zakona o gradnji za materijale koji su se koristili za ugradnju geotehničkih sidara i biti spremljeni sa dnevnikom izgradnje konstrukcije sidra.

Kopije svih zapisa opisanih u ovom poglavlju trebaju biti složeni tako da se njima može koristiti bilo koja zainteresirana strana u budućnosti. [7]

## 7. Obrada podataka prema dodatku normi 'E'

U poglavlju 4 navedene su 3 klase ispitnih metoda obično prilagođenih prema geotehničkim sidrima. [7]

### 7.1. Metoda 1

Ovom uputom opisuje se ispitivanje nosivosti svih vrsta geotehničkih sidara ispitnom metodom 1 sukladno točki a), poglavlje 4.4. Završnog rada i Aneksu E norme HRN EN 1537:2000.

Nosivost se ispituje nanošenjem opterećenja na propisan način (period, sila, ciklusi) te mjerenjem pomaka na glavi sidra. [7]

#### 7.1.1. Probna sidra – proces opterećivanja

Sidara će se opteretiti do sloma ( $R_a$ ) ili do ispitne sile ( $P_p$ ) što će se ograničiti na  $0.80 P_{tk}$  ili  $0.95 P_{t0,1k}$  ovisno o tome koje ima nižu vrijednost.

Sidro treba opteretiti maksimalnom silom ispitivanja kroz minimalno 6 ciklusa, pogledaj poglavlje 4.

Ciklusi opterećivanja i minimalni period promatranja i praćenja dani su u tablici 1.

Gdje se nadgledaju pomaci od puzanja maksimalno opterećenje treba biti zadržano minimalno 15 minuta za sile ispod vrijednosti  $P_p$  i 60 minuta na vrijednosti  $P_p$  za nekoherentna tla ili 180 minuta za koherentna tla. Navedeni vremenski periodi se trebaju produljiti sve dok pomaci od puzanja ne budu imali otprilike konstantnu vrijednost pri tom opterećenju. [7]

#### 7.1.2. Ispitivanje prikladnosti – proces opterećivanja

Ispitna sila treba biti:

$$P_p \geq 1.25P_0 \quad \text{ili} \quad P_p \geq R_d$$

Ovisno o tome koje ima veću vrijednost.

Sila u tetivi ne smije biti iznad  $0.95 P_{t0,1k}$ .

Ciklusi opterećivanja i minimalni period promatranja i praćenja dani su u tablici 1.

Sidro se može opteretiti do maksimalne ispitne sile u minimalno pet ciklusa sa isključenim prvim ciklusom u tablici 1.

Maksimalni pomak od puzanja  $k_s$ , kod veličine ispitne sile ne smije biti veći od 1 mm, gdje su već izvođena ispitivanja sa probnim sidrom. Kod sloma (gdje je pomak od puzanja  $k_s = 2$  mm) koji nije potvrđen usred ovog ispitivanja, tada vrijednost pomaka kod sile  $P_p$  ne smije biti veći od 0.8 mm. [7]

### 7.1.3. Ispitivanje prihvatljivosti – proces opterećivanja

Sidro se treba opteretiti do sile  $P_p$  u minimalno tri postupka jednakih povećanja sile. Sidro će nakon toga biti rasterećeno do početnog očitano opterećenja  $P_a$  i ponovno opterećeno na silu  $P_0$ . Sila  $P_p$  treba biti minimalno na 1.25  $P_0$  ali ne veća od  $P_{t0.1k}$ .

Period motrenja i praćenja ne smije biti manji od 5 minuta pri sili  $P_p$ .

Moraju se primijeniti sljedeće ograničenosti:

- Dio od ukupnog pomaka od puzanja  $k_s$  ne smije biti veći od 0.8 mm pri sili  $P_p$  i 0.5 mm pri sili  $P_0$

Veće  $k_s$  vrijednosti (do 1 mm uz  $P_p$ ) su preporučljiva ako je bilo dokazano da su prihvatljive sa ranije izvedenim ispitivanjem sa probnim sidrom. [7]

### 7.1.4. Izmjere karakteristike puzanja

Povećanje pomaka glave sidra s obzirom na fiksnu točku sidra treba biti izmjereno na kraju vremenskih intervala za povećanje opterećenja prikazanih u tablici 1. Stopa povećanja pomaka od puzanja treba biti određen nakon konstantnog pomicanja od puzanja.  $k_s$  je izmjeren u 2 vremenska intervala.

$k_s$  je definiran prema sljedećem:

$$k_s = (s_2 - s_1) / \log \left( \frac{t_2}{t_1} \right)$$

Gdje je

$s_1$  pomak glave u vremenu  $t_1$

$s_2$  pomak glave u vremenu  $t_2$

$t$  vrijeme nakon nanošenja povećanog opterećenja

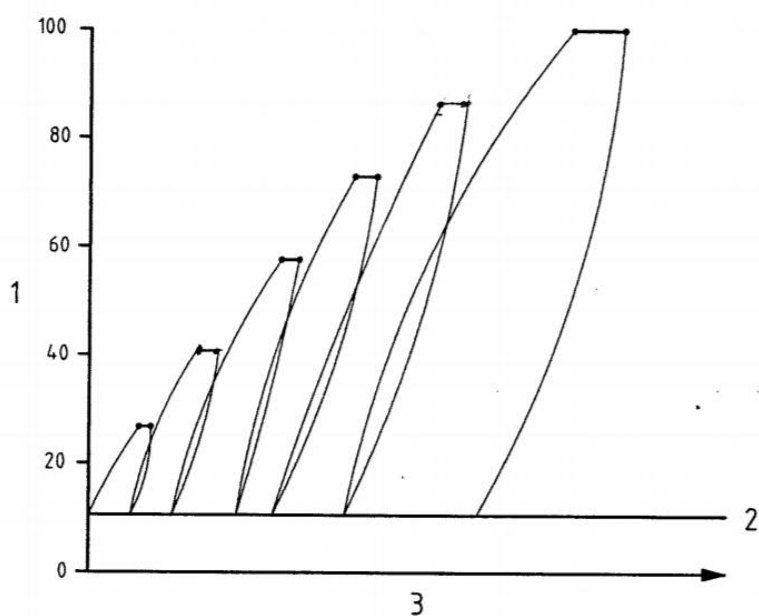
Granica stope povećanja pomaka od puzanja je maksimalna stopa povećanja pomaka dopušten pri specifičnoj sili od opterećenja.

Treba izmjeriti pomake glave sidra, po vremenu navedenim niže uz održavanje konstatne sile opterećenja.

Uzastopna promatranja kroz vrijeme (u minutama) pri maksimalnim ciklusnim razinama opterećenja kao što su prikazana u tablici 1 su sljedeća:

1 → 2 → 3 → 5 → 10 → 15 → 20 → 30 → 45 → 50 → 60.

Gdje je period promatranja manji od 60 min intervali se ograničavaju prema tablici 1.



Dijagram 6.1 Proces opterećivanja za Ispitnu Metodu 1 [7]

Legenda

- 1 Opterećenje u %  $P_p$
- 2 Početno očitano opterećenje
- 3 Pomak sidra

[7]

Razina opterećenja % P <sub>p</sub>						Minimalni period praćenja u minutama (samo Metoda 1)
Ciklus 1	Ciklus 2	Ciklus 3	Ciklus 4	Ciklus 5	Ciklus 6	
10	10	10	10	10	10	1
	25	40	55	70	85	1
25	40	55	70	85	100*	15(60 ili 180)
	25	40	55	70	85	1
10	10	10	10	10	10	1

Tablica 1 – ciklusi opterećivanja i minimalni periodi praćenja za Ispitivanja sa probnim sidrom i Ispitivanja primjerenosti [7]

## **8. Rezultati terenskog ispitivanja geotehničkih sidara**

### **8.1. Osoblje**

Ispitivanja obuhvaćena ovim uputama provode za to obučeni djelatnici tvrtke Geotest d.o.o. pod nadzorom ovlaštenog osoblja iste.

Nalog za ispitivanje daje Tehnički voditelj ispitivanja te je isti odgovoran i za provedbu i izdavanje izvještaja. [3]

### **8.2. Oprema**

Za provođenje ispitivanja koristi se sljedeća oprema:

- Mjerilo pomaka- mjerna ura (0-min 30 mm; rezolucija 0,01 mm)
- Mjerilo sile- prstenasta tlačna ćelija (0-1000 kN; točnost 2%; rezolucija 0,1kN)
- Štoperica (rezolucija 0,1 s)
- Geodetski stativ
- Nosač mjerila pomaka s magnetom
- Oslonac za ticalo mjerila pomaka s magnetom
- Hidraulična preša s prolaznim klipom (0-1000 kN)
- Ručna visokotlačna hidraulična pumpa (0-700 bara)

[3]

### **8.3. Pripreme za ispitivanje**

Tehnički voditelj laboratorija s Naručiteljem utvrđuje svrhu i protokol za ispitivanje. Utvrditi starost i tlačnu čvrstoću injekcijske smjese (ukoliko je moguće) te utvrditi odgovara li ista zahtjevima projektne dokumentacije.

Prije ispitivanja mora se površina na koju se oslanja hidraulična preša ili prijelazni sklop prilagoditi na način da osigura okomitost na os sidra. [3]

### **8.4. Ispitni postupak**

Obuhvaćeno je ispitivanje metodom 1 u svrhu ispitivanja probnih sidara (Investigation Test), ispitivanja prikladnosti (Suitability Test) i ispitivanja prihvatljivosti (Acceptance Test). Sidra se ciklički opterećuju i rasterećuju te se mjere pomaci glave sidra. Iz izmjerenih vrijednosti računaju se rezultati za mjeru puzanja te se izrađuju dijagrami za grafički prikaz ponašanja sidra u pogledu

stope puzanja i prividne duljine slobodne dionice sa ucrtanim graničnim linijama. Osim toga, izrađuje se radni dijagram sidra.

Prije početka ispitivanja u radni obrazac upisuju se opći podaci (datum, lokacija i sl.).

Na sidro se montira tlačna ćelija i hidraulična preša te se sve pričvrsti i osigura centričnost sidra (ili produžnog pribora) i okomitost na podlogu. Pri tome se ovisno o vrsti i dimenziji sidra, vrsti i kvaliteti podloge za oslonac, te duljini sidra izvan ušća, koristi različiti pomoćni pribor (kruta prijenosna ploča, adapteri i spojnice za nastavljavanje sidra i sl.).

Povezuje se hidraulična preša sa visokotlačnom pumpom. Nanosi se početno opterećenje (uz namještanje pribora i preše) koje je potrebno da se svladaju početni otpori te da se oprema namjesti u položaj paralelno sa sidrom.

Postavlja se mjerilo pomaka na stativ i dovodi se ticalo u kontakt sa vrhom sidra tako da je paralelno s osi sidra. Oslonac stativa treba udaljiti što je moguće više od oslonca preše.

Zapisuju se početne vrijednosti sile i pomaka, nanosi se sila prema režimu definiranom u ispitnom protokolu i zadnje slijedi izrada izvještaja. [3]

## 8.5. Rezultati ispitivanja

\*U ovom poglavlju tablice su označene prema određenom sidru i isključivo za ovo poglavlje kao na primjer: Za sidro „Sjever 1“ oznake su od 1-4, ovisno o potrebnom broju zapisa rezultata.

### 8.5.1. Oznaka sidra : Istok 3

Naručitelj:	Geobim d.o.o. , Livadska ulica 11, Beletinec
Gradilište/Objekt:	Zaštita građevne jame uz susjedni objekt OŠ Zlatar Bistrica
Izvoditelj:	Geobim d.o.o. , Livadska ulica 11, Beletinec
Svrha ispitivanja:	Provjera uvjetovane nosivosti sidra
Datum ispitivanja:	25.4.2019.
Korištena oprema:	Mjerilo pomaka GL-148, indikator sile GL-144, GL-145
Ispitna metoda:	Metoda 1 – ispitivanje sa probnim sidrom
Napomena:	<b>Sidro popustilo pri sili od 241 kN</b>
Odstupanja od metode:	Nema

Podaci o sidru:

Datum izrade:

Vrsta sidra: IBO R32S

Slobodna dionica [m]: 6

Sidrišna dionica [m]: 6

Duljina van bušotine  $L_e$  [m]: 0,7

Nagib sidra  $\beta$  [°]: -

Starost injekcijske smjese [dan]: -

Tlačna čvrstoća injekcijske smjese [MPa]: -

Čelik:

Ukupna površina presjeka [mm<sup>2</sup>]: 440

Granica elastičnosti [N/mm<sup>2</sup>]: 640

Vlačna čvrstoća čelika [N/mm<sup>2</sup>]: 820

Modul elastičnosti čelika [kN/mm<sup>2</sup>]: 195

Sila na granici elastičnosti [kN]: 280

Prekidna sila [kN]: 360

Ispitna sila  $P_p$  [kN]: 241

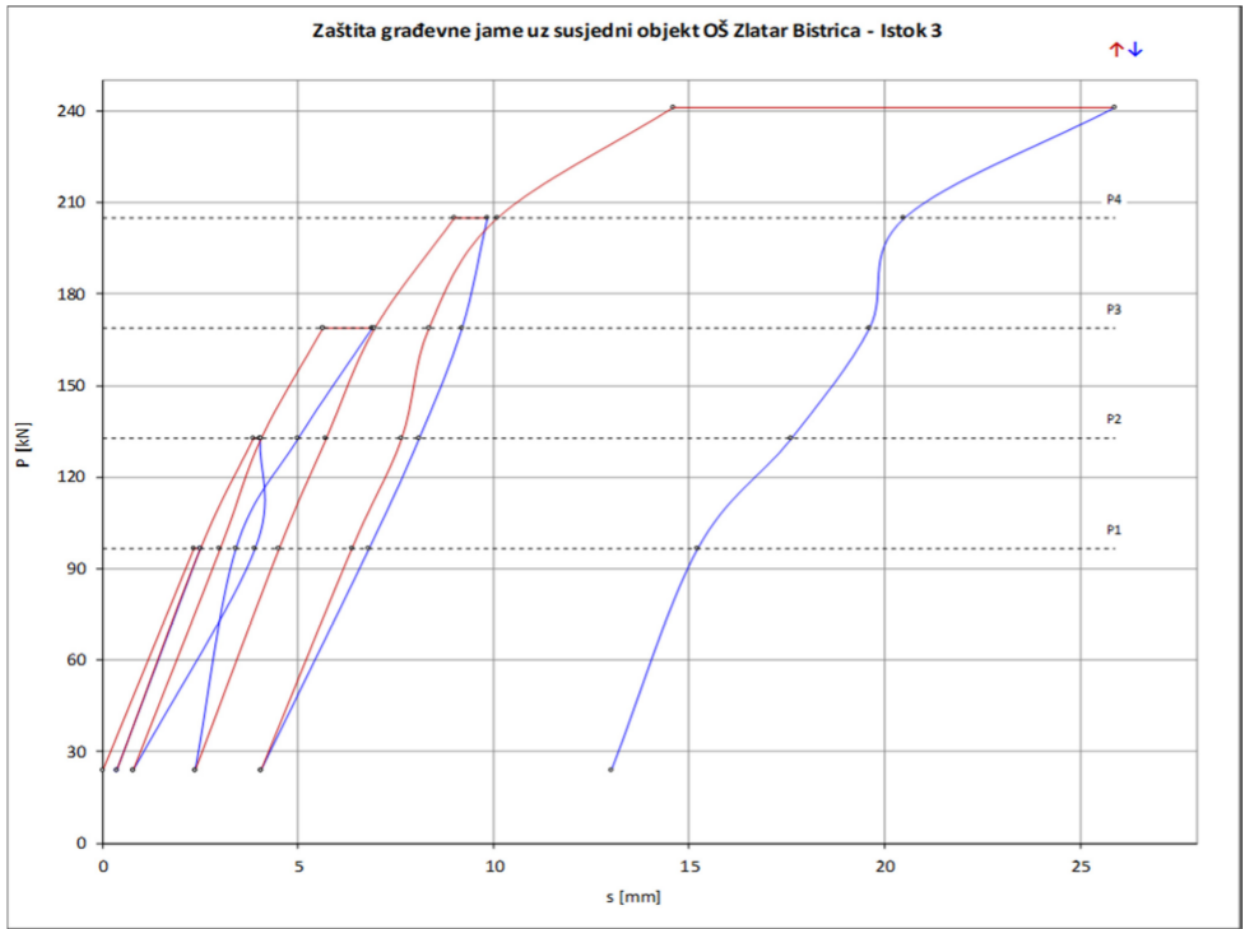
Sila klinjenja [kN]: 100

Projektna nosivost [kN]: 100

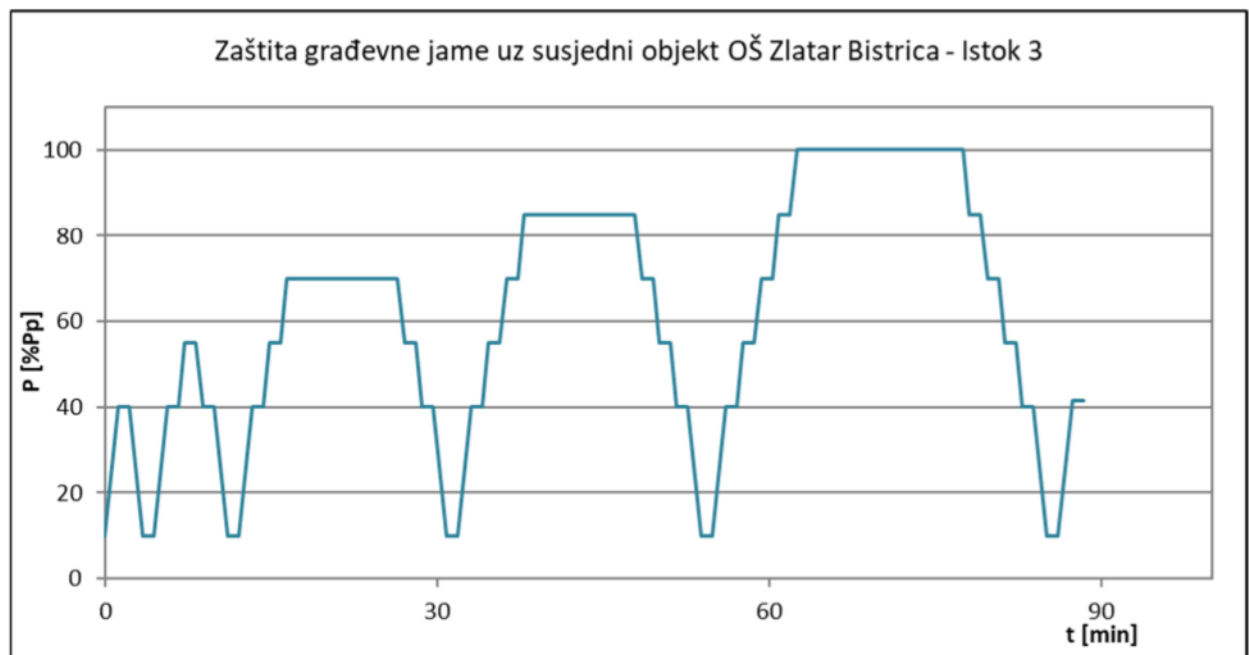




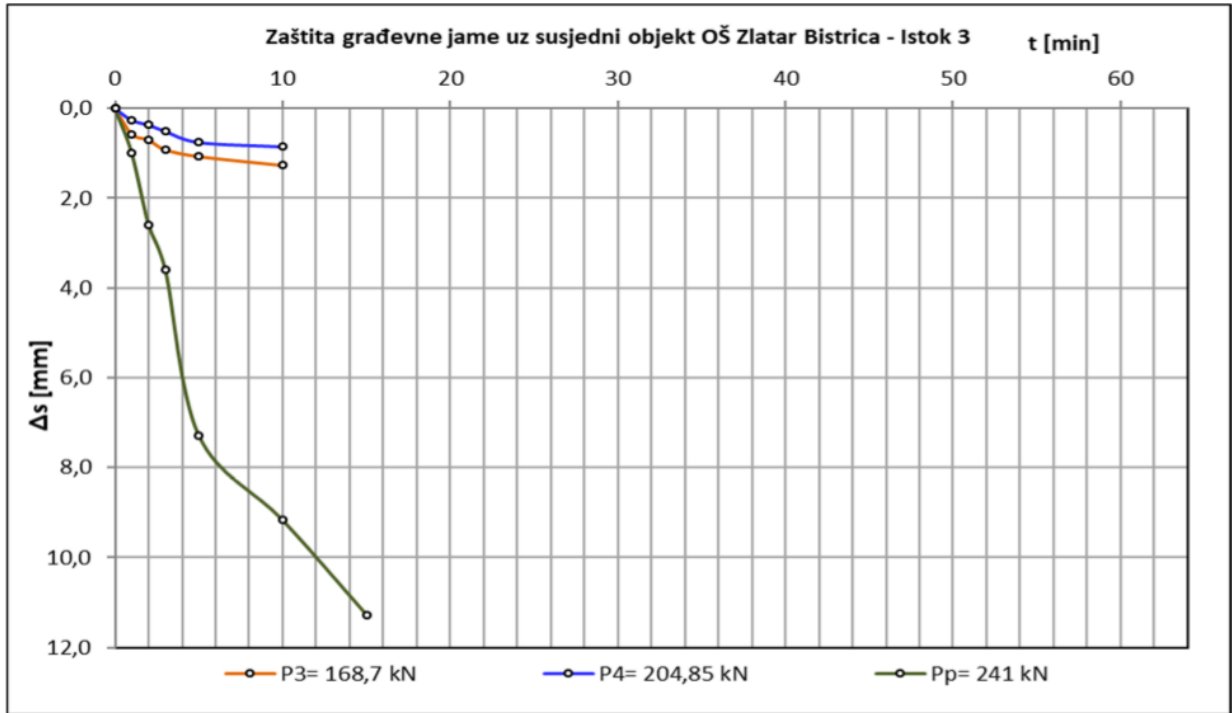
## 2. Radni dijagram sidra



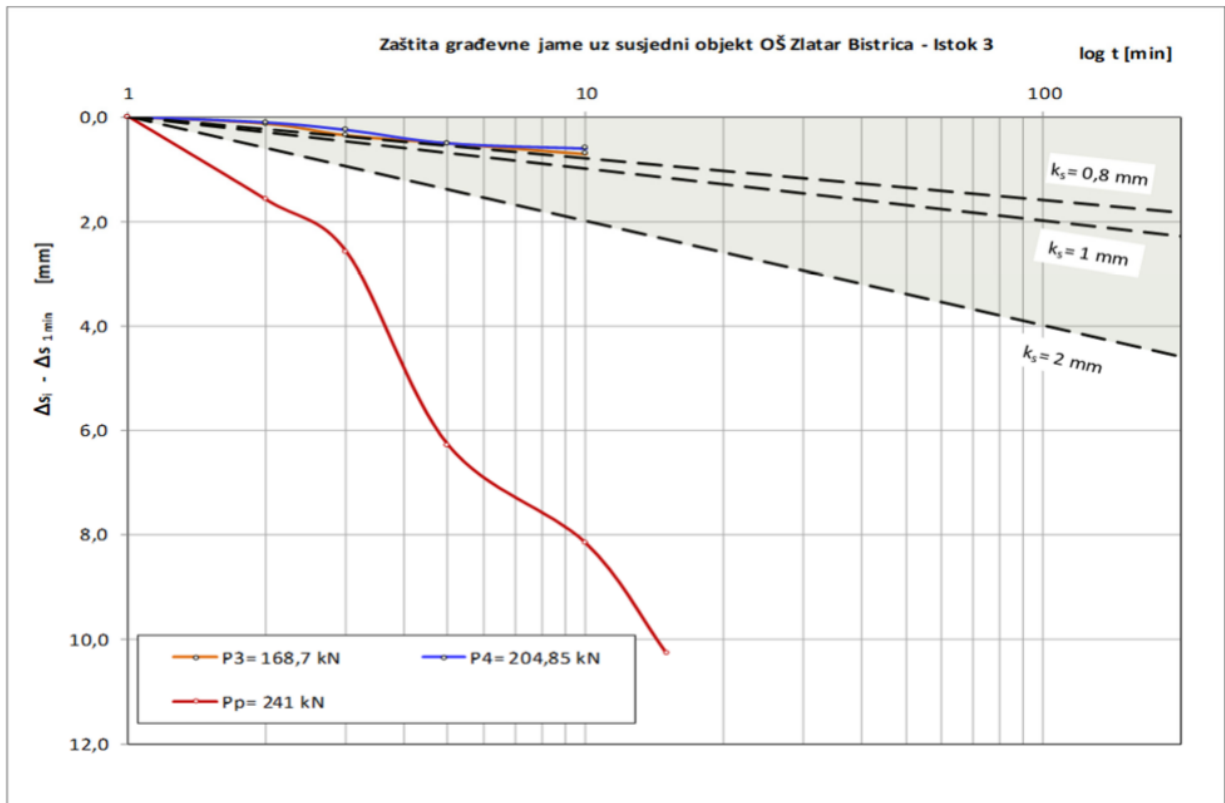
## 3. Dijagram sile u vremenu



4. Deformacije u vremenu po stupnjevima opterećenja

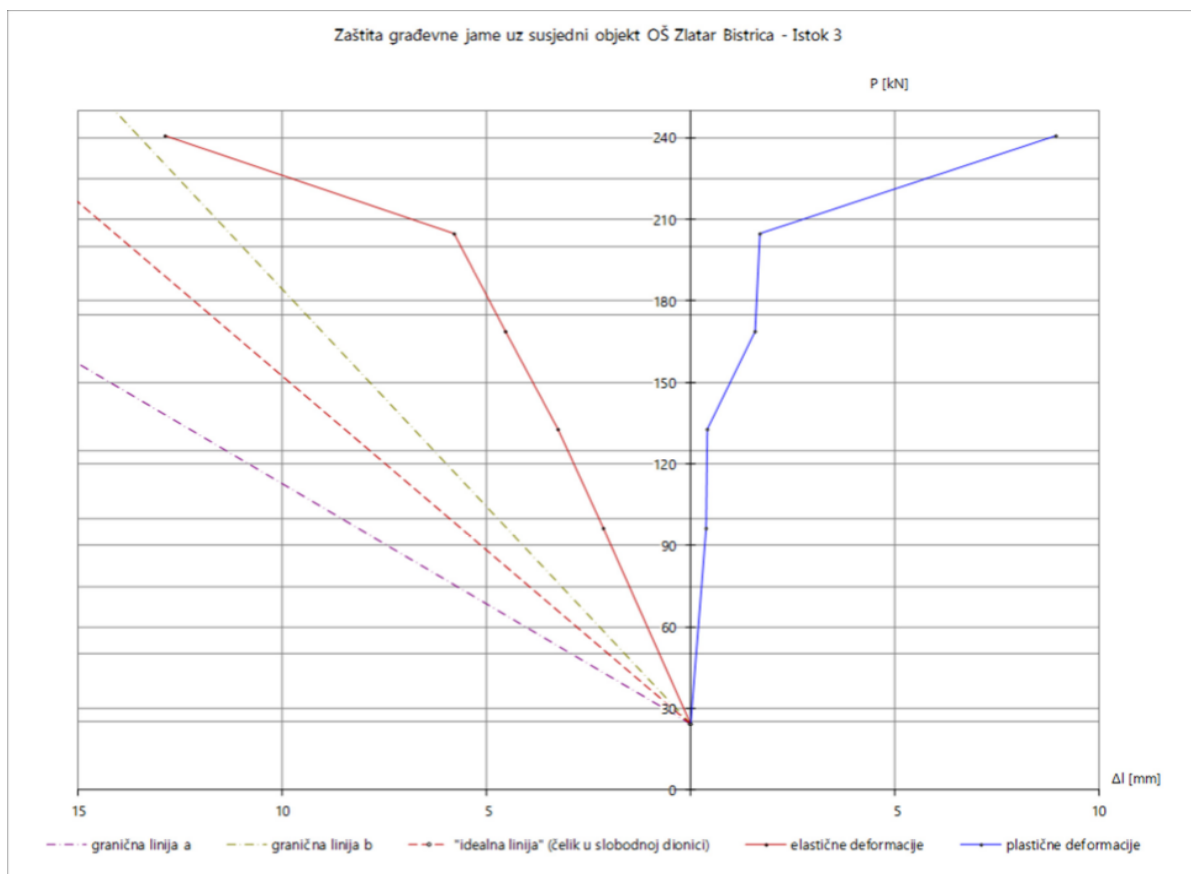


5. Stopa puzanja  $k_s$



$k_s > 2 \text{ mm}$

## 6. Elastične i plastične deformacije



$L_{fixed} = 6 \text{ m}$	Kriterij ocjenjivanja prividne duljine	kriterij 1: $L_{spr} \leq L_{free} \cdot 0.5 \times L_{fixed}$
$L_{free} = 6.7 \text{ m}$ (6 m + 0.7 m sa ispitnom opremom)	slobodne dionice prema EN 1537:	ili $L_{spr} \leq 1.1 \times L_{free}$
$A_t = 440 \text{ mm}^2$		(granična linija a)
$f_{tk} = 820 \text{ kN}$	$L_{APP} = \frac{\Delta l_{EL} \times A_t \times E_t}{P_p - P_a}$	
$f_{t0.1k} = 280 \text{ kN}$		kriterij 2: $L_{spr} \geq 0.8 \times L_{free}$
$E_t = 195 \text{ kN/mm}^2$	$L_{app} = 5.09 \text{ m}$	(granična linija b)

[3]

Zaključak: Tablica izmjerenih vrijednosti puzanja prikazuje pomake pri održavanju sile kroz vremenski period, što je prikazano u dijagramu pod rednim brojem 3.

Radni dijagram sidra jasno prikazuje da je sidro sposobno preuzeti silu od 96 kN, 133 kN, 169 kN, 205 kN. Na radnom dijagramu sidra jasno se vidi nagli porast deformacija u zadnjem koraku ispitivanja pri ispitnoj sili od 241 kN.

Dijagram deformacija u vrijeme po stupnjevima opterećenja i u dijagramu stope puzanja jasno potvrđuju da sidro nije sposobno preuzeti silu od 241 kN jer je stopa puzanja znatno veća od dozvoljenih 2mm.

Elastičnim i plastičnim deformacijama je određena prividna duljina sidra u iznosu od 5,09m.

Može se zaključiti kako je probno sidro Istok 3 sposobno preuzeti silu od 205 kN.

### 8.5.2. Oznaka sidra : Sjever 1

Naručitelj:	Geobim d.o.o. , Livadska ulica 11, Beletinec
Gradilište/Objekt:	Zaštita građevne jame uz susjedni objekt OŠ Zlatar Bistrica
Izvoditelj:	Geobim d.o.o. , Livadska ulica 11, Beletinec
Svrha ispitivanja:	Provjera uvjetovane nosivosti sidra
Datum ispitivanja:	25.4.2019.
Korištena oprema:	Mjerilo pomaka GL-148, indikator sile GL-144, GL-145
Ispitna metoda:	Metoda 1 – ispitivanje prihvatljivosti
Odstupanja od metode:	Nema

#### Podaci o sidru:

Datum izrade: -

Vrsta sidra: IBO R32S

Slobodna dionica [m]: 6

Sidrišna dionica [m]: 6

Duljina van bušotine  $L_e$  [m]: 0,7

Nagib sidra  $\beta$  [°]: -

Starost injekcijske smjese [dan]: -

Tlačna čvrstoća injekcijske smjese [MPa]: -

#### Čelik:

Ukupna površina presjeka [mm<sup>2</sup> ]: 440

Granica elastičnosti [N/mm<sup>2</sup> ]: 640

Vlačna čvrstoća čelika [N/mm<sup>2</sup> ]: 820

Modul elastičnosti čelika [kN/mm<sup>2</sup> ]: 195

Sila na granici elastičnosti [kN]: 280

Prekidna sila [kN]: 360

Ispitna sila  $P_p$  [kN]: 100

Sila klinjenja [kN]: 50

Projektna nosivost [kN]: 100

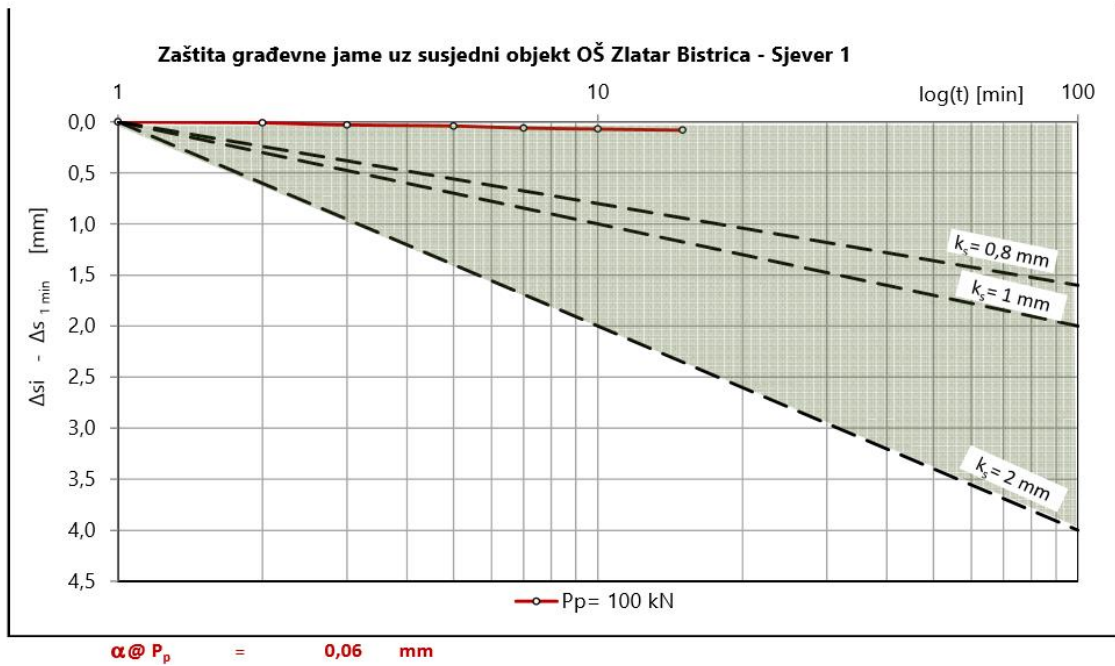
## 1. Izmjerene vrijednosti

sila po protokolu %P <sub>0</sub> [kN]		održavanje sile t [min]	izmjerena sila P [kN]	pomaci vrha sidra nakon ... t [min]																ΔS <sub>1</sub> =	
				s [mm]	0	1	2	3	5	7	10	15	25	30	35	40	45	50	S <sub>5</sub> -S <sub>3</sub>	α <sub>4-5</sub>	
10	10	1	10	0,00	0,00																
40	40	1	40	1,44	1,47														0,00	0,00	
55	55	1	55	1,91	1,93														0,00	0,00	
70	70	1	70	2,46	2,47														0,00	0,00	
85	85	1	85	3,03	3,04														0,00	0,00	
<b>100</b>	<b>100</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>3,61</b>	<b>3,62</b>	<b>3,63</b>	<b>3,65</b>	<b>3,66</b>	<b>3,68</b>	<b>3,69</b>	<b>3,70</b>								<b>0,04</b>	<b>0,08</b>	
10	10	1	10	0,61	0,61																
<b>50</b>	<b>50</b>	<b>1</b>	<b>50</b>	<b>2,10</b>	<b>2,10</b>																

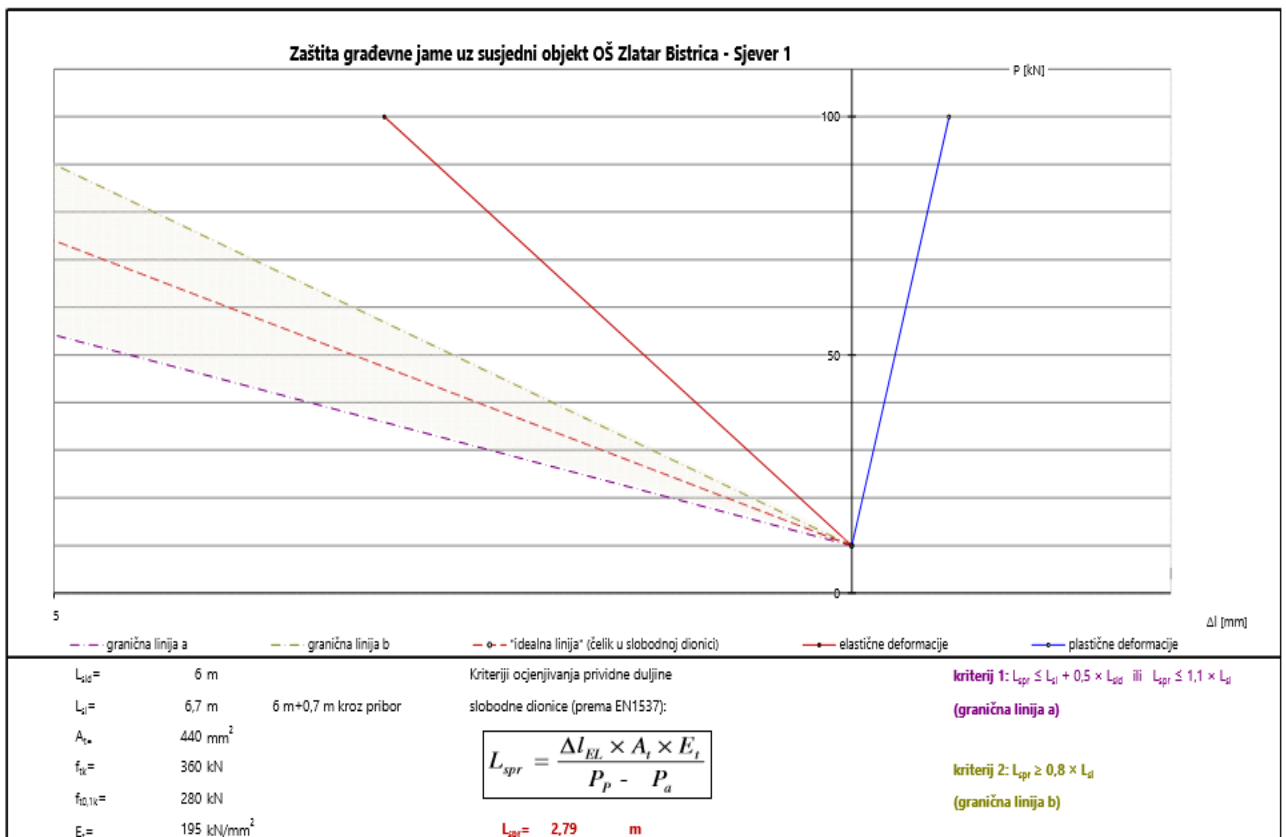
## 2. Radni dijagram sidra



### 3. Puzanje



### 4. Elastične i trajne deformacije / Prividna duljina slobodne dionice



[3]

Ispitni rezultati: Pri maksimalnoj ispitnoj sili ukupni pomak sidra nakon 15 minuta iznosi 3,70 mm, a zabilježena plastična deformacija sidrišnog tijela, u zadnjem koraku ispitivanja pri  $P_0$ , iznosi 0,61 mm.

Iz navedenih rezultata i radnog dijagrama sidra jasno je vidljivo da prilikom održavanja sile u svim koracima ispitivanja ne dolazi do većih puzanja i deformacija, što je potvrđeno u zadnjem koraku ispitivanja prilikom spuštanja na nultu silu  $P_0$ .

Puzanje pri ispitnoj sili je 0,06 mm te se na dijagramu puzanja jasno vidi da je puzanje minimalno i u dozvoljenim granicama.

Prilikom određivanja elastičnih i plastičnih deformacija odnosno prividne duljine slobodne dionice sidra dobivena duljina iznosi 2,79 m.

Nakon provedene analize ispitnih rezultata sidra Sjever 1 može se zaključiti kako je sidro sposobno preuzeti ispitnu silu uz minimalno puzanje i deformacije sidrišnog tijela, uz napomenu da je slobodna dionica sidra manja od projektirane što pogoduje nosivosti ali ne i karakteristikama elastičnosti cjelokupne konstrukcije.



### 8.5.3. Oznaka sidra : Sjever 2

Naručitelj:	Geobim d.o.o. , Livadska ulica 11, Beletinec
Gradilište/Objekt:	Zaštita građevne jame uz susjedni objekt OŠ Zlatar Bistrica
Izvoditelj:	Geobim d.o.o. , Livadska ulica 11, Beletinec
Svrha ispitivanja:	Provjera uvjetovane nosivosti sidra
Datum ispitivanja:	25.4.2019.
Korištena oprema:	Mjerilo pomaka GL-148, indikator sile GL-144, GL-145
Ispitna metoda:	Metoda 1 – ispitivanje prihvatljivosti
Odstupanja od metode:	Nema

#### Podaci o sidru:

Datum izrade: -

Vrsta sidra: IBO R32S

Slobodna dionica [m]: 6

Sidrišna dionica [m]: 6

Duljina van bušotine  $L_e$  [m]: 0,7

Nagib sidra  $\beta$  [°]: -

Starost injekcijske smjese [dan]: -

Tlačna čvrstoća injekcijske smjese [MPa]: -

#### Čelik:

Ukupna površina presjeka [mm<sup>2</sup>]: 440

Granica elastičnosti [N/mm<sup>2</sup>]: 640

Vlačna čvrstoća čelika [N/mm<sup>2</sup>]: 820

Modul elastičnosti čelika [kN/mm<sup>2</sup>]: 195

Sila na granici elastičnosti [kN]: 280

Prekidna sila [kN]: 360

Ispitna sila  $P_p$  [kN]: 100

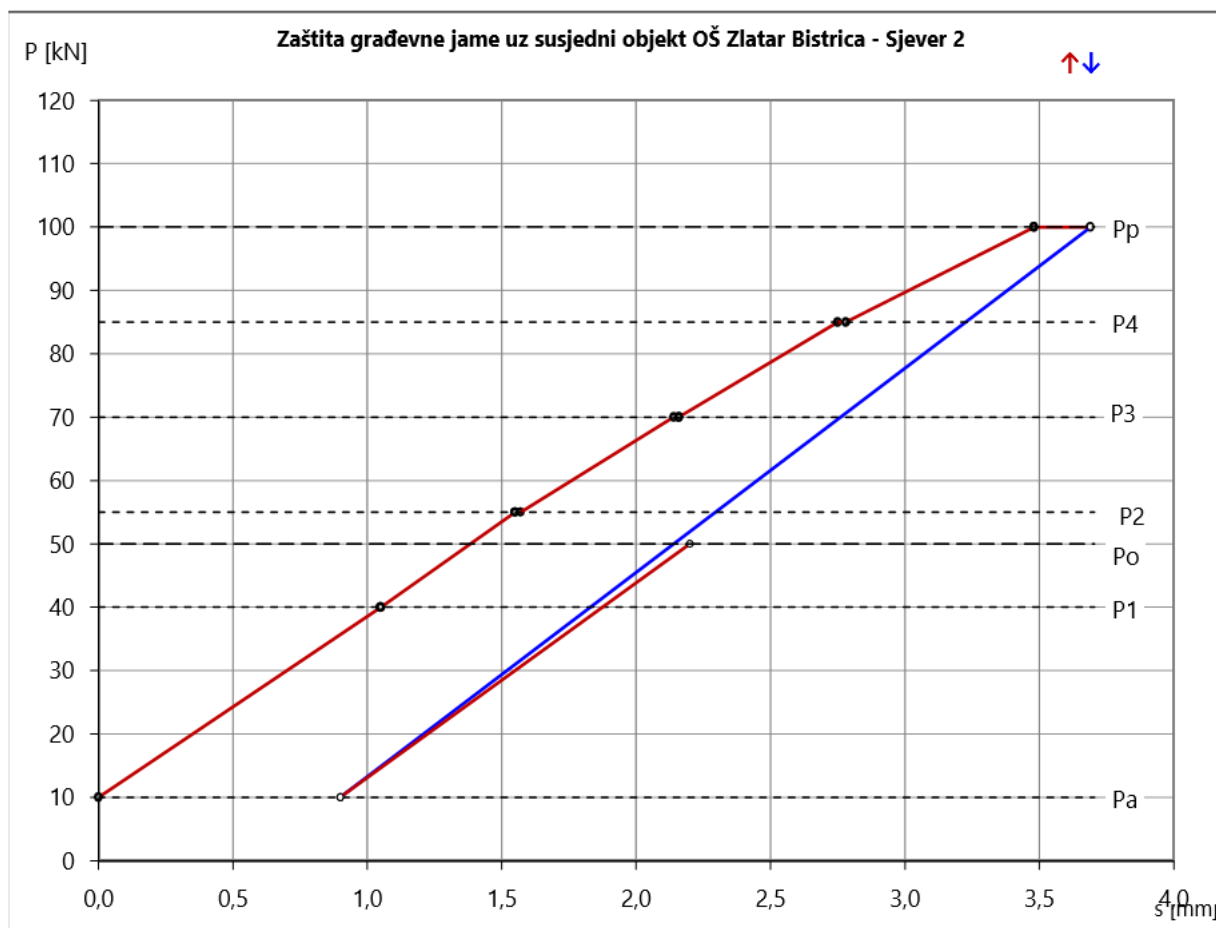
Sila klinjenja [kN]: 50

Projektna nosivost [kN]: 100

## 1. Izmjerene vrijednosti

sila po protokolu %P <sub>p</sub>	sila [kN]	održavanje sile t [min]	izmjerena sila P [kN]	pomaci vrha sidra nakon ... t [min]																Δs <sub>i</sub> =		
				s [mm]		t <sub>a</sub>														t <sub>b</sub>		s <sub>b</sub> -s <sub>a</sub>
0	1	2	3	5	7	10	15	25	30	35	40	45	50									
10	10	1	10	0,00	0,00																	
40	40	1	40	1,05	1,05															0,00	0,00	
55	55	1	55	1,55	1,57																0,00	0,00
70	70	1	70	2,14	2,16																0,00	0,00
85	85	1	85	2,75	2,78																0,00	0,00
<b>100</b>	<b>100</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>3,48</b>	<b>3,50</b>	<b>3,58</b>	<b>3,60</b>	<b>3,62</b>	<b>3,65</b>	<b>3,67</b>	<b>3,69</b>										<b>0,07</b>	<b>0,15</b>
10	10	1	10	0,90	0,90																	
<b>50</b>	<b>50</b>	<b>1</b>	<b>50</b>	<b>2,20</b>	<b>2,20</b>																	

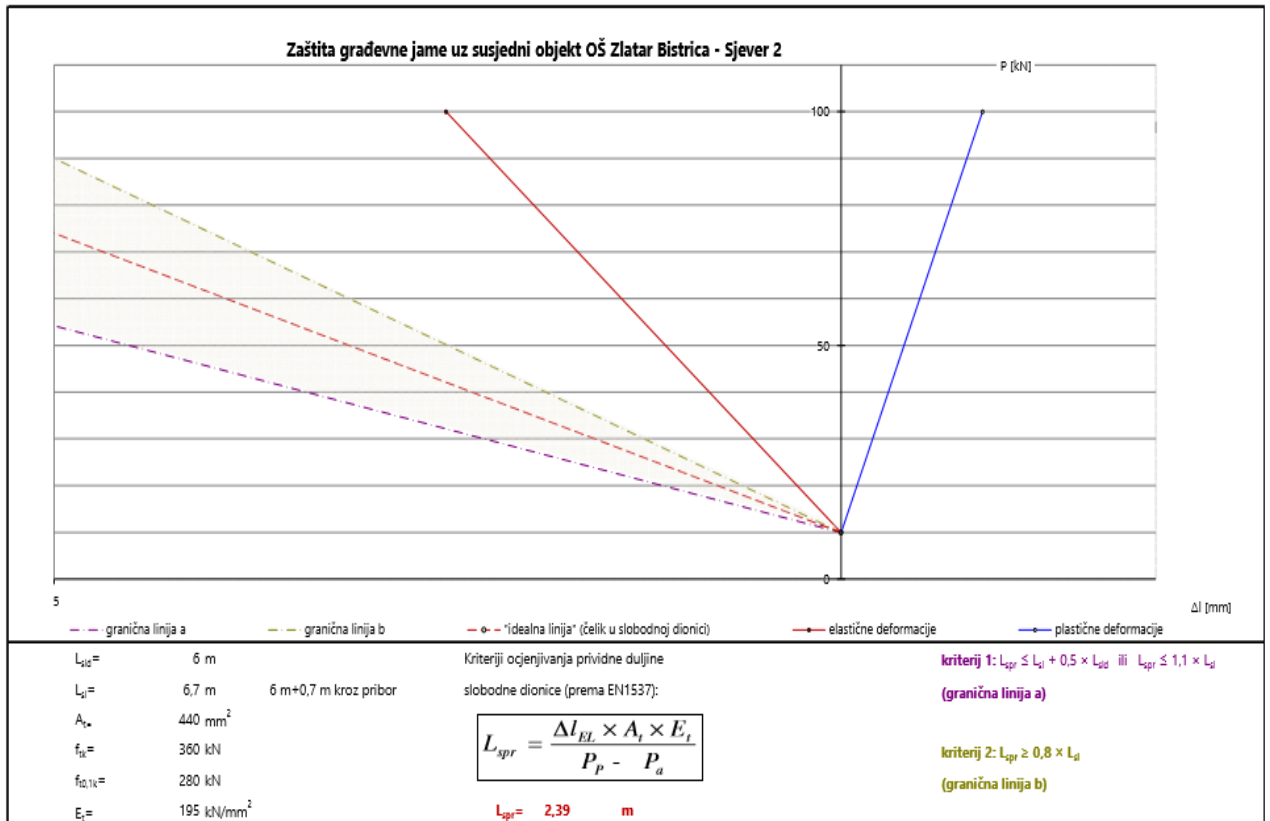
## 2. Radni dijagram sidra



### 3. Puzanje



### 4. Elastčne i trajne deformacije / Prividna duljina slobodne dionice



[3]

Ispitni rezultati: Pri maksimalnoj ispitnoj sili ukupni pomak sidra nakon 15 minuta iznosi 3,69 mm, a zabilježena plastična deformacija sidrišnog tijela, u zadnjem koraku ispitivanja pri  $P_0$ , iznosi 0,90 mm.

Iz navedenih rezultata i radnog dijagrama sidra jasno je vidljivo da prilikom održavanja sile u svim koracima ispitivanja ne dolazi do većih puzanja i deformacija, što je potvrđeno u zadnjem koraku ispitivanja prilikom spuštanja na nultu silu  $P_0$ .

Puzanje pri ispitnoj sili je 0,03 mm te se na dijagramu puzanja jasno vidi da je puzanje minimalno i u dozvoljenim granicama.

Prilikom određivanja elastičnih i plastičnih deformacija odnosno prividne duljine slobodne dionice sidra dobivena duljina iznosi 2,39 m.

Nakon provedene analize ispitnih rezultata sidra Sjever 2 može se zaključiti kako je sidro sposobno preuzeti ispitnu silu uz minimalno puzanje i deformacije sidrišnog tijela, uz napomenu da je slobodna dionica sidra manja od projektirane što pogoduje nosivosti ali ne i karakteristikama elastičnosti cjelokupne konstrukcije.

#### 8.5.4. Oznaka sidra : Istok 1

Naručitelj:	Geobim d.o.o. , Livadska ulica 11, Beletinec
Gradilište/Objekt:	Zaštita građevne jame uz susjedni objekt OŠ Zlatar Bistrica
Izvoditelj:	Geobim d.o.o. , Livadska ulica 11, Beletinec
Svrha ispitivanja:	Provjera uvjetovane nosivosti sidra
Datum ispitivanja:	25.4.2019.
Korištena oprema:	Mjerilo pomaka GL-148, indikator sile GL-144, GL-145
Ispitna metoda:	Metoda 1 – ispitivanje prihvatljivosti
Odstupanja od metode:	Nema

##### Podaci o sidru:

Datum izrade:

Vrsta sidra: IBO R32S

Slobodna dionica [m]: 6

Sidrišna dionica [m]: 6

Duljina van bušotine  $L_e$  [m]: 0,7

Nagib sidra  $\beta$  [°]: -

Starost injekcijske smjese [dan]: -

Tlačna čvrstoća injekcijske smjese [MPa]: -

##### Čelik:

Ukupna površina presjeka [mm<sup>2</sup>]: 440

Granica elastičnosti [N/mm<sup>2</sup>]: 640

Vlačna čvrstoća čelika [N/mm<sup>2</sup>]: 820

Modul elastičnosti čelika [kN/mm<sup>2</sup>]: 195

Sila na granici elastičnosti [kN]: 280

Prekidna sila [kN]: 360

Ispitna sila  $P_p$  [kN]: 100

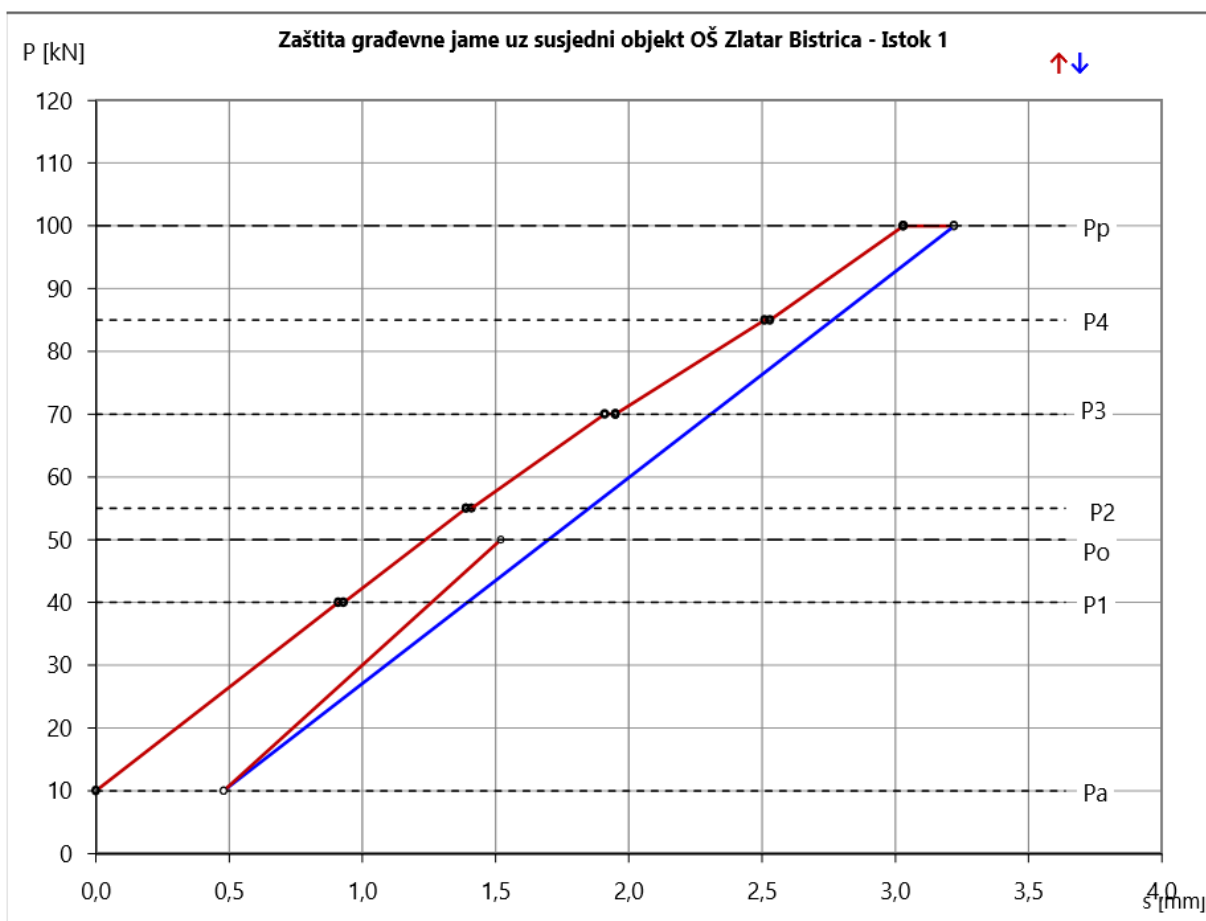
Sila klinjenja [kN]: 50

Projektna nosivost [kN]: 100

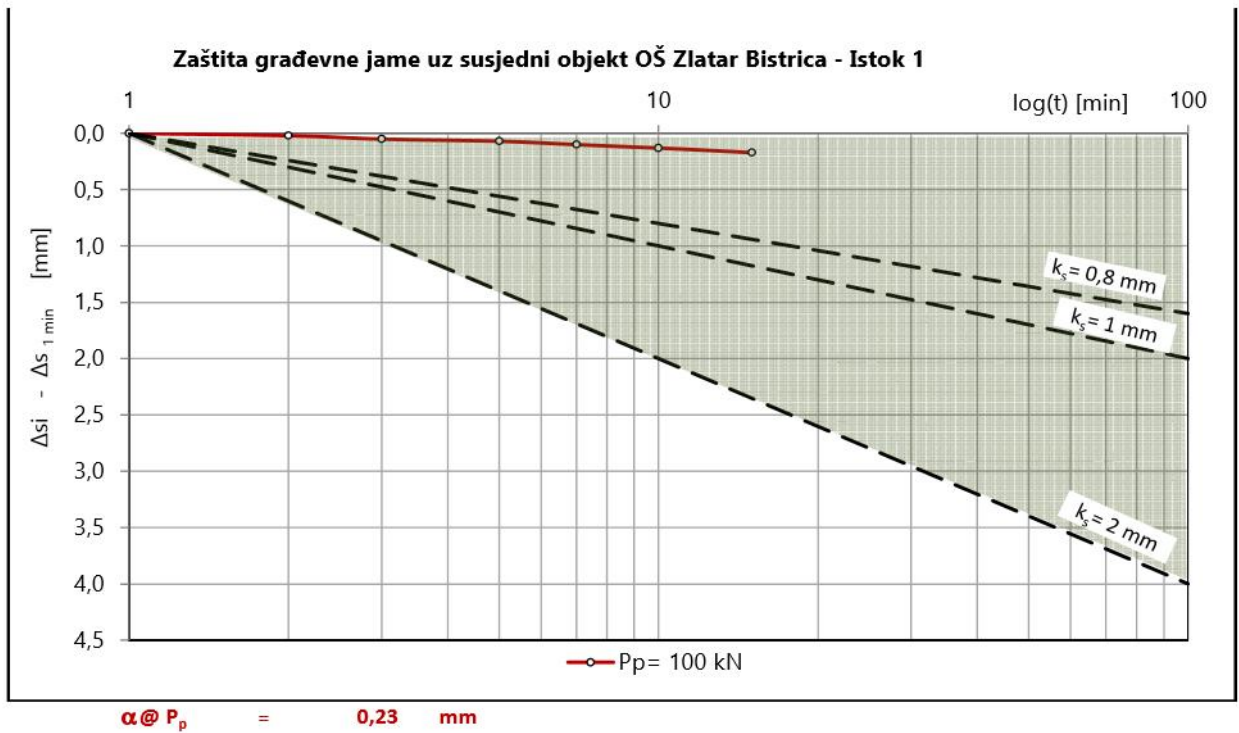
## 1. Izmjerene vrijednosti

sila po protokolu %P <sub>a</sub>	[kN]	održavanje sile t [min]	izmjerena sila P [kN]	pomaci vrha sidra nakon ... t [min]																Δs <sub>i</sub> =	
				s [mm]		t <sub>a</sub>				t <sub>b</sub>										S <sub>b</sub> -S <sub>a</sub>	α <sub>a-b</sub>
				0	1	2	3	5	7	10	15	25	30	35	40	45	50				
10	10	1	10	0,00	0,00																
40	40	1	40	0,91	0,93														0,00	0,00	
55	55	1	55	1,39	1,41														0,00	0,00	
70	70	1	70	1,91	1,95														0,00	0,00	
85	85	1	85	2,51	2,53														0,00	0,00	
<b>100</b>	<b>100</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>3,03</b>	<b>3,05</b>	<b>3,07</b>	<b>3,10</b>	<b>3,12</b>	<b>3,15</b>	<b>3,18</b>	<b>3,22</b>								<b>0,10</b>	<b>0,21</b>	
10	10	1	10	0,48	0,48																
<b>50</b>	<b>50</b>	<b>1</b>	<b>50</b>	<b>1,52</b>	<b>1,52</b>																

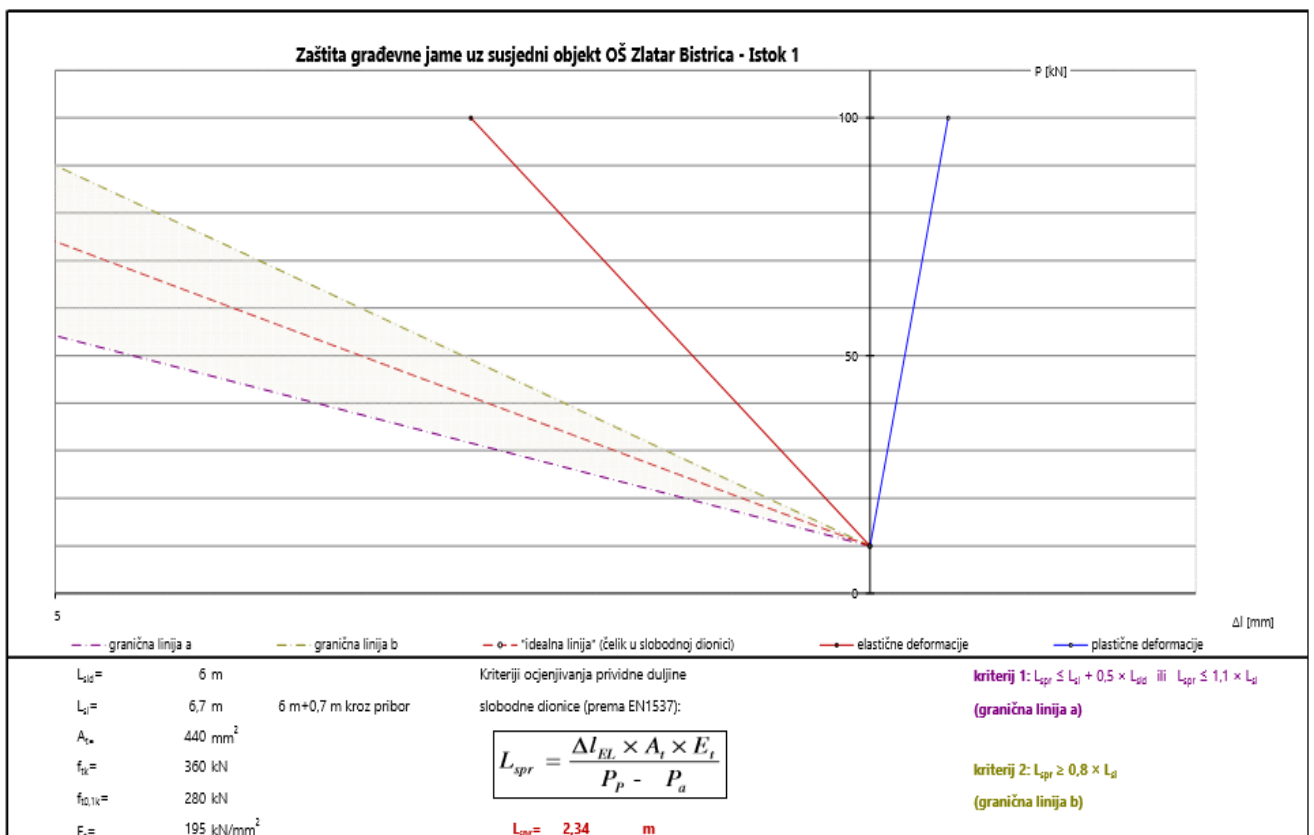
## 2. Radni dijagram sidra



### 3. Puzanje



### 4. Elastične i trajne deformacije / Pravidna duljina slobodne dionice



[3]

Ispitni rezultati: Pri maksimalnoj ispitnoj sili ukupni pomak sidra nakon 15 minuta iznosi 3,22 mm, a zabilježena plastična deformacija sidrišnog tijela, u zadnjem koraku ispitivanja pri  $P_0$ , iznosi 0,48 mm.

Iz navedenih rezultata i radnog dijagrama sidra jasno je vidljivo da prilikom održavanja sile u svim koracima ispitivanja ne dolazi do većih puzanja i deformacija, što je potvrđeno u zadnjem koraku ispitivanja prilikom spuštanja na nultu silu  $P_0$ .

Puzanje pri ispitnoj sili je 0,03 mm te se na dijagramu puzanja jasno vidi da je puzanje minimalno i u dozvoljenim granicama.

Prilikom određivanja elastičnih i plastičnih deformacija odnosno prividne duljine slobodne dionice sidra dobivena duljina iznosi 2,34 m.

Nakon provedene analize ispitnih rezultata sidra Istok 1 može se zaključiti kako je sidro sposobno preuzeti ispitnu silu uz minimalno puzanje i deformacije sidrišnog tijela, uz napomenu da je slobodna dionica sidra manja od projektirane što pogoduje nosivosti ali ne i karakteristikama elastičnosti cjelokupne konstrukcije.



### 8.5.5. Oznaka sidra : Istok 2

Naručitelj:	Geobim d.o.o. , Livadska ulica 11, Beletinec
Gradilište/Objekt:	Zaštita građevne jame uz susjedni objekt OŠ Zlatar Bistrica
Izvoditelj:	Geobim d.o.o. , Livadska ulica 11, Beletinec
Svrha ispitivanja:	Provjera uvjetovane nosivosti sidra
Datum ispitivanja:	25.4.2019.
Korištena oprema:	Mjerilo pomaka GL-148, indikator sile GL-144, GL-145
Ispitna metoda:	Metoda 1 – Ispitivanje prihvatljivosti
Napomena:	<b>Prilikom ispitivanja nije bilo moguće postići silu od 80 kN</b>
Odstupanja od metode:	Nema

#### Podaci o sidru:

Datum izrade: -

Vrsta sidra: IBO R32S

Slobodna dionica [m]: 6

Sidrišna dionica [m]: 6

Duljina van bušotine Le [m]: 0,7

Nagib sidra  $\beta$  [°]: -

Starost injekcijske smjese [dan]: -

Tlačna čvrstoća injekcijske smjese [MPa]: -

Čelik: Ukupna površina presjeka [mm<sup>2</sup>]: 440

Granica elastičnosti [N/mm<sup>2</sup>]: 640

Vlačna čvrstoća čelika [N/mm<sup>2</sup>]: 820

Modul elastičnosti čelika [kN/mm<sup>2</sup>]: 195

Sila na granici elastičnosti [kN]: 280

Prekidna sila [kN]: 360

Ispitna sila  $P_p$  [kN]: 200

Sila klinjenja [kN]: 100

Projektna nosivost [kN]: 100

[3]

## 9. Zaključak

Geotehnika kao grana graditeljstva mi je osobno vrlo zanimljiva zbog svoje nepredvidivosti, čak i u slučaju velikih istraga i povećanog opreza, kontrola pri radovima nikada nije potpuna i potrebno je konstantno pratiti ponašanje tla u kojem se gradi.

Sidra kao geotehničke konstrukcije je vrlo dobro rješenje za ekonomičnost radova, brzu izvedbu i prilagodbu uvjetima na gradilištu, gotovo uvijek je potrebno koristiti više od jednog sidra u svrhu sidrenja na jednom gradilištu da bi se postigla potrebna nosivost u ovom slučaju zaštite građevinske jame.

Projektiranju prema Eurokodu 7 smjernice daje dodatak na normu EN 1537 koji se nadograđuje svakih nekoliko godina zbog rastućeg iskustva inženjera i preporučljivo je da se na osnovi prijašnjih ugrađenih sidara projektiraju nova.

Faze izvedbe radnog sidra su bušenje, injektiranje, naprezanje i ispitivanje.

Bušenje je proces koji se radi u više postupaka, unutar i između kojih se dodatno provjeravaju već ranije istražena svojstva tla koja su definirana u projektu kako bi se mogle na vrijeme vidjeti nove, ranije nepoznate važne informacije.

Injektiranje se može vršiti za više funkcija osim za sidrišnu dionicu poput učvršćivanja tla oko bušotine ili općenito, ako je potrebno. Treba se pratiti količine smjese koje se injektiraju iz tehničkih, praktičkih i ekonomskih razloga, pogotovo ako injektiranje ne ide kako je predviđeno.

Ugrađeno sidro se napreže kako bi se zasigurno znalo da će dostići svoju potencijalnu svrhu nakon aktivacije. Naprezanje se vrši nakon što je injektirana smjesa postigla potrebnu čvrstoću, pri čemu ne bi bilo moguće nanijeti opterećenje na sidro bez nepoželjnih pomaka tetive u sidrišnoj dionici.

Ispitivanja sa probnim sidrom se provode ne samo za konstrukciju geotehničkog sidra, nego nakon ugradnje probnog sidra i za dublju istragu tla u kojoj je bušotina, utjecaja na gradilište i na okolinu kao cjelinu, zapravo sa tim ispitivanjem dobivamo odgovor na pitanje hoće li radno sidro nositi bez velikih posljedica kao što su slom tla ili klizanje velike plohe. Zbog veće ekonomičnosti radova, u slučaju korištenja skupih injekcijskih smjesa, potrebno je simulirati radove prije njihove izrade. Za točnost izmjera potrebna je često kalibrirana i provjeravana oprema jer sustavi sidrenja imaju relativno vrlo malu toleranciju na pogrešku i krive procjene. U slučajevima i radovima gdje se nanosi opterećenje na glavu sidra, ono se ne smije izlagati velikim skokovima u vrijednosti, impulsima između 2 uzastopnih povećanja sile zbog efekta dinamičkog opterećivanja. Ispitivanje sa probnim sidrom se izvodi radi dokazivanja uspješnosti projekta i kao preduvjet za ugradnju radnog sidra u svakom segmentu unutar domene prijenosa sila i rezultata istrage okolnoga tla, pogotovo tla oko bušotine, te dodirne plohe u sidrišnoj dionici između tetive i injekcijske smjese.

Vrlo često, zbog rigoroznijeg opterećivanja, pogotovo ako se sidra u ovom ispitivanju opterećuju do sloma, takva se ne mogu koristiti kao trajna radna sidra zbog mogućeg rizika od neispravnosti, naravno i ako su neispravnosti očigledne. Rezultati ovakvih ispitivanja će biti kao simulacija radnog sidra u graničnom stanju nosivosti. Ispitivanje prikladnosti u slučajevima gdje se već provelo ispitivanje sa probnim sidrom potvrđuje uspješnost, dok u slučajevima gdje se to nije provelo, daje referencu i postavlja granice unutar kojih se trajno radno sidro nakon ugradnje treba nalaziti. Proces ugradnje i svaki dio tog procesa mora biti obavljen stručno i precizno, zato se mora provesti ispitivanje prihvatljivosti na svakom od sidara. Ako je dokazano da se sidro ponaša kako je predviđeno tijekom ispitivanja, okarakterizirano je kao prihvatljivo. Pri maksimalnom nultom opterećenju granice puzanja i gubitka opterećenja se mogu doseći ili ne, u oba slučaja nulta sila se po potrebi ograničava i nanosi tako da se te granice puzanja i gubitka opterećenja ne prijeđu i da sustav bude na strani sigurnosti. Prividna duljina slobodne dionice sidra se mjeri između dviju fiksnih referentnih točaka na sidru uz mjerenje pomaka nakon ispitivanja. Nadzor ugradnje i ispitivanja sidara vrši ovlaštena osoba koja mora biti sigurna da je sve ugrađeno i izvedeno pravilno, ako postoji nesigurnost mogu se provesti dodatne istrage prije aktiviranja. Može se postaviti oprema za praćenje ponašanja na izvedena radna sidra koja bi dala uvid u potencijalne nepravilnosti ili neočekivane reakcije u tlu. Cijeli taj proces i iskustva treba zapisivati u dnevnik iz više razloga, ali najvažniji je radi proširenja iskustva u svrhu bržeg i prikladnijeg budućeg izvođenja sustava za sidrenje.

Detaljnijim analiziranjem, pa prisustvovanju ispitivanjima zaključujem kako je tvrtka Geotest d.o.o. dobro organizirana tvrtka sa velikim iskustvom u ovom području rada, bez obzira na jedno neprihvatljivo sidro, ispitivanje je teklo rutinski i brzo.

## 10. Literatura i popis korištenih kartica

Sva literatura i svi izvori su nađeni na internetu, pa sam tako postavio prema rednim brojevima poveznice umjesto knjiga i časopisa. Poveznice su nađene upisivanjem ključnih riječi na „Google“ tražilicu, nakon čega sam probrao poveznice najsrodnije temi ovog Završnog rada.

Literatura bez poveznice je izvještaj o ispitivanju sidara sa ranije navedenog gradilišta poslanog na moju osobnu e-mail adresu od inženjera ovlaštenog za ispitivanje geotehničkih sidara na gradilištima tvrtke Geotest d.o.o.

Poglavljja od 2 do 6 nisu označena iz koje je literature, pa ovdje navodim da je sve (tekst i slike) nađeno u označenom pod brojem [7], a cijelo poglavlje 7 je iz izvještaja pod brojem [3] i vlastitog iskustva i promatranja.

Literatura i internetske poveznice:

- [1] Upisivanje ključnih riječi u tražilicu Google-a (nabrojane su u Uvodu):  
[https://hr.wikipedia.org/wiki/Glavna\\_stranica](https://hr.wikipedia.org/wiki/Glavna_stranica)
- [2] Predavanja iz kolegija „Geotehnika“ ; naslov: Karl von Terzaghi ; autor: Matija Orešković, doc. dr. sc. ; Varaždin, godina: 2018; poveznica: [https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/2069446/mod\\_resource/content/1/Karl\\_von\\_Terzaghi.pdf](https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/2069446/mod_resource/content/1/Karl_von_Terzaghi.pdf)
- [3] Izvještaj o rezultatima ispitivanja: poslano 18. kolovoza 2019. ; autor: Emil Kirš, mag. ing. aedif.
- [4] Predavanja iz kolegija „Geotehnika“ ; naslov: Geotehnička sidra ; Autor: Matija Orešković, doc. dr. sc. ; Varaždin, godina: 2018. ; poveznica: [https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/2069450/mod\\_resource/content/1/GEOTEHN.SIDRA-1.pdf](https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/2069450/mod_resource/content/1/GEOTEHN.SIDRA-1.pdf)
- [5] Javno objavljeni diplomski rad s pristupom na internetu ; naslov: Primjer analize i izrade geotehničkih sidara kod zaštite građevinske jame ; autorica: Kristina Srnec; Varaždin, godina: 2011. ; poveznica: [http://www.gfv.unizg.hr/modules/m\\_gfv/zavrzni\\_diplomski\\_radovi/srnec\\_kristina.pdf](http://www.gfv.unizg.hr/modules/m_gfv/zavrzni_diplomski_radovi/srnec_kristina.pdf)
- [6] Predavanja sa Graditeljskog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu ; autor: nepoznat ; naslov: Ojačanje stijenske mase štapnim sidrima ; Zagreb, godina: 2014. ; poveznica: [https://www.grad.unizg.hr/download/repository/GI\\_12\\_predavanje\\_Ojacanje\\_stijenske\\_mase\\_stapnim\\_sidrima\\_2014.pdf](https://www.grad.unizg.hr/download/repository/GI_12_predavanje_Ojacanje_stijenske_mase_stapnim_sidrima_2014.pdf)
- [7] Javno objavljeni dodatak Eurokodu 7 (britanska verzija), EN 1537 s naslovom: Sidra u tlu, s pristupom na internetu ; godina: 2000. ; poveznica: <https://geotechnicaldesign.info/download/bs-en1537-2000.pdf>

# Popis slika, dijagrama i tablica

## Slike

- 1.1 Elementi kabelskog prednapregnutog geotehničkog sidra
- 1.2 Elementi glave sidra
- 1.3 Dijagram raspodjele sila
- 2.1 Dijelovi geotehničkog sidra sa označenim karakterističnim duljinama

## Dijagrami

- 4.1 Bez ponovljenih ciklusa opterećivanja
- 4.2 Sa ponovljenim ciklusima opterećivanja
- 4.3 Procjena elastične krutosti gdje se pojavljuje značajno trenje
- 6.1 Proces opterećivanja za Ispitnu Metodu 1

## Tablica

- 1 Ciklusi opterećivanja i minimalni periodi praćenja za Ispitivanja sa probnim sidrom i Ispitivanja primjerenosti

## Dijagrami i tablice iz izvještaja o rezultatima ispitivanja

### Oznaka sidra: Istok 3

1. Tablica izmjerenih vrijednosti
2. Radni dijagram sidra
3. Dijagram sile u vremenu
4. Deformacije u vremenu po stupnjevima opterećenja
5. Stopa puzanja  $k_s$
6. Elastične i plastične deformacije

### Oznaka sidra: Sjever 1

1. Tablica izmjerenih vrijednosti
2. Radni dijagram sidra
3. Puzanje
4. Elastične i trajne deformacije / Prividna duljina slobodne dionice

### Oznaka sidra: Sjever 2

1. Tablica izmjerenih vrijednosti
2. Radni dijagram sidra
3. Puzanje
4. Elastične i trajne deformacije / Prividna duljina slobodne dionice

### Oznaka sidra: Istok 1

1. Tablica izmjerenih vrijednosti
2. Radni dijagram sidra
3. Puzanje
4. Elastične i trajne deformacije / Prividna duljina slobodne dionice