

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Konjar, G., 2013. Uporaba pasivnih sider v geotehničnih konstrukcijah. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Logar, J.): 60 str.

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Konjar, G., 2013. Uporaba pasivnih sider v geotehničnih konstrukcijah. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Logar, J.): 60 pp.

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJ  
PRVE STOPNJE  
OPERATIVNEGA  
GRADBENIŠTVA**

Kandidat:

**GREGOR KONJAR**

**UPORABA PASIVNIH SIDER V GEOTEHNIČNIH  
KONSTRUKCIJAH**

Diplomska naloga št.: 48/OG-MP

**USE OF SOIL NAILING IN GEOTECHNICAL  
CONSTRUCTIONS**

Graduation thesis No.: 48/OG-MP

**Mentor:**  
izr. prof. dr. Janko Logar

**Predsednik komisije:**  
izr. prof. dr. Janko Logar

Ljubljana, 19. 12. 2013

## **POPRAVKI**

Stran z napako

Vrstica napake

Namesto

Naj bo

## IZJAVE

Podpisani Gregor Konjar izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Uporaba pasivnih sider v geotehničnih konstrukcijah«.

Izjavljam, da je elektronska različica diplomskega dela enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 04.12.2013

Gregor Konjar

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 624.13(497.4)(034.2)  
**Avtor:** Gregor Konjar  
**Mentor:** Izr. prof. dr. Janko Logar  
**Naslov:** Uporaba pasivnih sider v geotehničnih konstrukcijah  
**Tip dokumenta:** Dipl. nal. - VSŠ  
**Obseg in oprema:** 60 str., 31 sl., 11 preg., 8 en.  
**Ključne besede:** pasivna sidra, geotehnične konstrukcije, SIST EN 14490:2010

### **Izvleček**

V diplomskem delu je opisana tehnologija sidranja s pasivnimi sidri, opis preskušanja sider ter izvedena globalna stabilnostna analiza za primer brežine sidrane s pasivnimi sidri. Pasivna sidra so poceni alternativa prednapetim vrvnim sidrom, s katero lahko dosegamo dobre rezultate pri sidranju brežin, gradbenih jam in geotehničnih objektov, vendar je potrebno premišljeno pristopiti k izvedbi sider ter korektno izvesti in analizirati rezultate preskusov nosilnosti. Namen diplomske naloge je bil opisati nekatere bistvene zahteve standarda SIST EN 14490, vključiti nekatera lastna spoznanja pridobljena pri kontroli vgrajevanja, preskušanju nosilnosti pasivnih sider in pripravi slovenskih tehničnih soglasij ter ta spoznanja podkrepiti oz. razložiti s pomočjo dostopne literature s področja pasivnega sidranja.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 624.13(497.4)(034.2)  
**Author:** Gregor Konjar  
**Supervisor:** Assoc. Prof. Janko Logar, Ph.D.  
**Title:** Use of soil nails in geotechnical constructions  
**Document type:** Dipl. nal. - Higher professional studies  
**Scope and tools:** 60 p., 31 fig., 11 tab., 8 eq.  
**Keywords:** Soil nails, geotechnical constructions, SIST EN 14490:2010

**Abstract**

The diploma thesis describes the technology of soil nailing, soil nail testing and global stability analysis of slope, reinforced with soil nails. Soil nailing is an affordable alternative to prestressed ground anchoring and provides good results in stabilizing slopes and geotechnical constructions. It is important that installation, testing and analysis of the results of soil nail tests are done correctly. Thesis describes standard SIST EN 14490:2010 and some personal experience regarding installation, testing and preparation of Slovenian technical approvals for soil nails. Personal experience is backed and explained with a help of a scientific literature with reference to soil nailing.

## ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Janku Logarju za pomoč in nasvete pri nastajanju diplomske naloge.

Zahvaljujem se sodelavcu dr. Iztoku Klemencu za mentorstvo v svetu geotehničnih sider ter sodelavcem Andreju Kranjcu, Slavku Pandži in Branetu Tovorniku za pomoč pri nastajanju diplomskega dela.

Posebna zahvala gre dr. Gregorju Vilharju, ki mi je nesebično priskočil na pomoč pri razumevanju uporabe računalniških programov s področja geotehnike.

Tega diplomskega dela ne bi bilo brez velikega razumevanja soproge Mateje, ki me je v času izrednega študija gradbeništva vedno brezpogojno podpirala, za kar se ji iskreno in iz srca zahvaljujem.

»Ta stran je namenoma prazna«



## KAZALO VSEBINE

|  |     |
|--|-----|
| Popravki.....  | I   |
| Izjave .....   | II  |
| Bibliografsko – dokumentacijska stran in izvleček.....                   | III |
| Bibliographic – documentalistic information and abstract.....            | IV  |
| Zahvala.....   | V   |
| Kazalo vsebine .....   | VII |
| <br>   |     |
| 1 UVOD .....   | 1   |
| 2 OPIS SIDRANJA S PASIVNIMI SIDRI .....                                  | 5   |
| 2.1 Regulativa s področja pasivnega sidranja.....                        | 5   |
| 2.2 Pristop k projektiranju pasivnih sider.....                          | 6   |
| 2.3 Zahteve standarda EN 14490 .....                                     | 6   |
| 2.4 Princip delovanja pasivnega sidranja .....                           | 8   |
| 2.5 Odpoved sistemov za pasivno sidranje.....                            | 10  |
| 2.6 Notranji mehanizmi porušitve.....                                    | 11  |
| 2.6.1 Izvlek sidra iz zemljine .....                                     | 11  |
| 2.6.2 Natezna porušitev palice sidra .....                               | 14  |
| 2.6.3 Upogib in strig.....   | 15  |
| 2.7 Zunanji mehanizmi porušitve .....                                    | 16  |
| 2.8 Omejitve pri uporabi sistemov za pasivno sidranje.....               | 17  |
| 2.9 Vgradnja pasivnih sider .....  | 19  |
| 2.10 Izvedba testnega polja.....   | 22  |
| 2.11 Tipi oblog, ki se uporabljajo pri pasivnem sidranju .....           | 24  |
| 2.11.1 Toge obloge .....   | 24  |
| 2.11.2 Gibke in mehke obloge .....                                       | 25  |
| 3 PRESKUŠANJE PASIVNIH SIDER .....                                       | 26  |
| 3.1 Zahteve standarda – pogostnost in namen preskušanja .....            | 26  |
| 3.2 Priporočila standarda SIST EN 14490 v zvezi s preskusno opremo.....  | 27  |
| 3.3 Priporočila standarda SIST EN 14490 v zvezi z izvedbo preskusov..... | 29  |
| 3.4 Izvedba izvlečnih preskusov .....                                    | 31  |
| 3.4.1 Statičen obremenjevalni preskus .....                              | 31  |
| 3.4.2 Presojanje rezultatov preskušanj .....                             | 32  |
| 4 TRAJNOST IN PROTIKOROZIJSKA ZAŠČITA .....                              | 36  |

---

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.1   | Ocena agresivnosti temeljnih tal in okolja .....  | 36 |
| 4.2   | Tipi protikorozijske zaščite .....  | 38 |
| 4.2.1 | Žrtvena debelina .....  | 39 |
| 4.2.2 | Zaščita s cementno injekcijsko maso oz. betonom.....  | 40 |
| 4.2.3 | Površinske prevleke.....  | 41 |
| 4.2.4 | Drugi načini zaščite pred korozijo .....  | 41 |
| 5     | ANALIZA PRIMERA.....  | 42 |
| 5.1   | Vhodni podatki .....  | 43 |
| 5.2   | Izračun faktorja varnosti globalne stabilnosti za tri tipe sider vgrajene v različnih horizontalnih in vertikalnih razmikih ..... | 44 |
| 5.3   | Vpliv zasičenosti tal z vodo na faktor varnosti za globalno stabilnost .....  | 48 |
| 6     | ZAKLJUČEK.....  | 51 |
| VIRI  | .....   | 52 |

## KAZALO SLIK

|   |    |
|---|----|
| Slika 1: Komponente začasnega samouvrtalnega pasivnega sidra .....  | 1  |
| Slika 2: Sidranje brežine pri gradnji pretočnih polj ob jezcu .....   | 2  |
| Slika 3: Klasičen način izvedbe predora z masivnim obokom - levo in izvedba s pasivnimi sidri po t.i. novi avstrijski metodi (NATM) – desno ..... | 3  |
| Slika 4: Razlika med mehanizmom delovanja .....   | 9  |
| Slika 5: Slika pasivne cone .....   | 9  |
| Slika 6: Slika aktivne cone .....   | 10 |
| Slika 7: Mehanizem prenosa natezne napetosti v strižno napetost .....   | 12 |
| Slika 8: Mehanizem delovanja pasivnega sidra .....  | 14 |
| Slika 9: Razpored osnih sil v sidrih .....  | 15 |
| Slika 10: Pojav upogiba in striga v sidrni palici zaradi velikih pomikov .....  | 16 |
| Slika 11: Pomiki na površju .....   | 18 |
| Slika 12: Običajen potek gradnje v primeru sidranja brežine .....   | 20 |
| Slika 13: Sočasna vgradnja in injektiranje sidra .....  | 20 |
| Slika 14: Diagram [pomik-sila] sidra, pri katerem je bila pri vgradnji uporabljena voda .....   | 21 |
| Slika 15: Diagram [pomik-sila] sidra, pri katerem je bila pri vgradnji uporabljena injekcijska masa .....   | 21 |
| Slika 16: Izkop sider .....   | 22 |
| Slika 17: Neuspešna vgradnja sider na testnem polju .....   | 23 |
| Slika 18: Tipični elementi napenjalnega sistema .....   | 27 |
| Slika 19: Primer sistema za izvedbo izvlečnih preskusov .....   | 29 |
| Slika 20: Potencialni vzroki za nezanesljivost in neuporabnost izvedenih izvlečnih preskusov sider .....  | 32 |
| Slika 21: Rezultat izvlečnega preskusa pasivnega sidra .....  | 33 |
| Slika 22: Rezultat izvlečnega preskusa pasivnega sidra .....  | 34 |
| Slika 23: Izvrednoteni rezultati 1 m dolge podaljševalne palice .....   | 34 |
| Slika 24: Korozija sidra .....  | 36 |
| Slika 25: Primer nastanka korozijskih poškodb na palici samouvrtalnega sidra .....  | 40 |
| Slika 26: Shematski prikaz preskusa .....   | 42 |
| Slika 27: Globalna stabilnostna analiza ne-sidranega izkopa .....   | 43 |
| Slika 28: Nastavitve za vertikalni razmik ( $S_v$ ) med nosilnimi elementi – pasivnimi sidri .....  | 44 |
| Slika 29: Nastavitve za horizontalni razmik ( $S_h$ ) med nosilnimi elementi .....  | 45 |
| Slika 30: Rezultati izvlečnega preskusa pasivnega sidra R32 .....   | 46 |
| Slika 31: Rezultat globalne stabilnostne analize izkopa sidranega s pasivnimi sidri R32 .....   | 47 |
| Slika 32: Rezultat globalne stabilnostne analize izkopa sidranega s pasivnimi sidri R32 .....   | 49 |

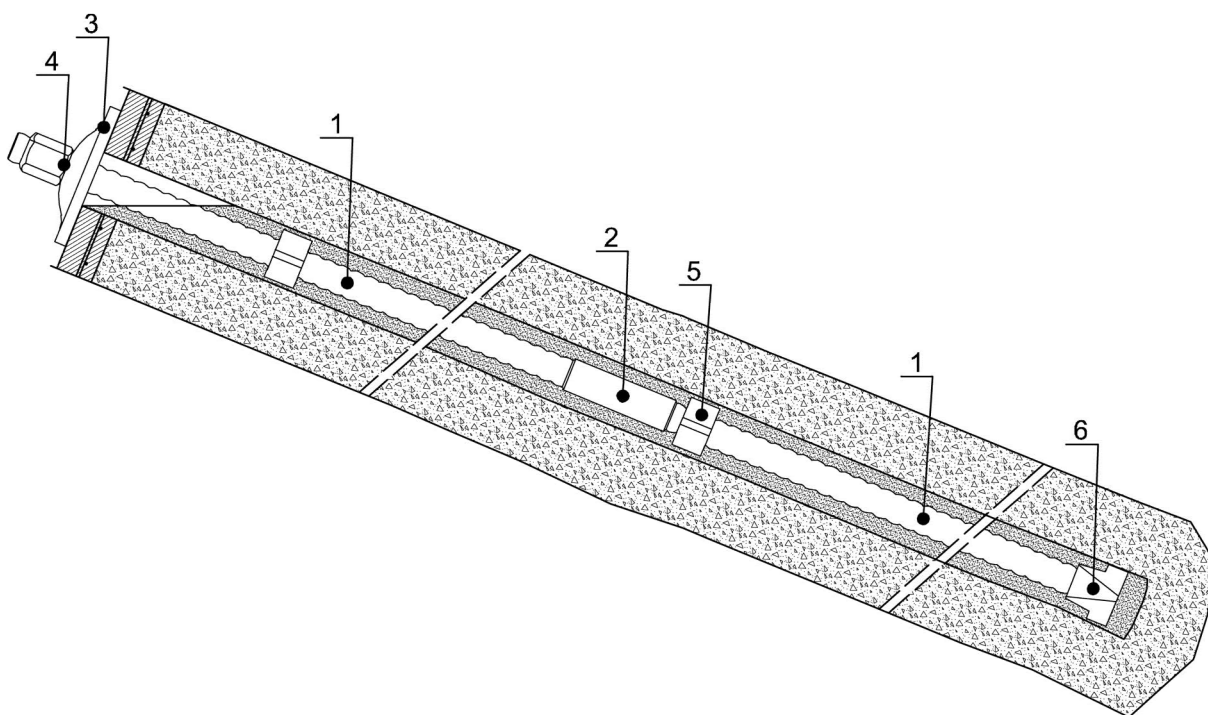
## KAZALO PREGLEDNIC

|  |    |
|--|----|
| Preglednica 1: Koeficienti za določitev vplivnega območja pomikov in velikosti pomikov ..... | 18 |
| Preglednica 2: Pogostnost preskušanja pasivnih sider, glede na tip preskusa .....            | 26 |
| Preglednica 3: Smernice za izvedbo in namen izvedbe posameznega preskusa .....               | 27 |
| Preglednica 4: Predlagani kriteriji za statični obremenjevalni preskus pasivnega sidra ..... | 30 |
| Preglednica 5: Uporabljeni tipi sider in lastnosti upoštevane pri izračunih .....            | 45 |
| Preglednica 6: Globalni varnostni faktorji v odvisnosti od rastra vgrajenih sider R32.....   | 47 |
| Preglednica 7: Globalni varnostni faktorji v odvisnosti od rastra vgrajenih sider R38.....   | 48 |
| Preglednica 8: Globalni varnostni faktorji v odvisnosti od rastra vgrajenih sider R51.....   | 48 |
| Preglednica 9: Globalni varnostni faktorji v odvisnosti od rastra vgrajenih sider R32.....   | 49 |
| Preglednica 10: Globalni varnostni faktorji v odvisnosti od rastra vgrajenih sider R38.....  | 49 |
| Preglednica 11: Globalni varnostni faktorji v odvisnosti od rastra vgrajenih sider R51.....  | 49 |

## 1 UVOD

Pasivno sidranje je tehnologija s katero intaktno zemljino oz. hribino ali umetne nasipe, armiramo z vstavitvijo elementov, ki primarno prenašajo natezno osno silo, pri čemer se lahko v sidrnih elementih pojavijo tudi upogibne ali strižne napetosti. Osnovni mehanizem delovanja armiranja zemljine je vnos nateznih osnih sil v elemente pasivnega sidra in s tem razbremenitev nateznih in strižnih napetosti, ki se pojavijo v zemljini. Pasivna sidra so nosilni elementi, ki vzdolž celotne svoje dolžine zagotavljajo vnos sile v temeljna tla v pretežni meri preko mehanizma trenja.

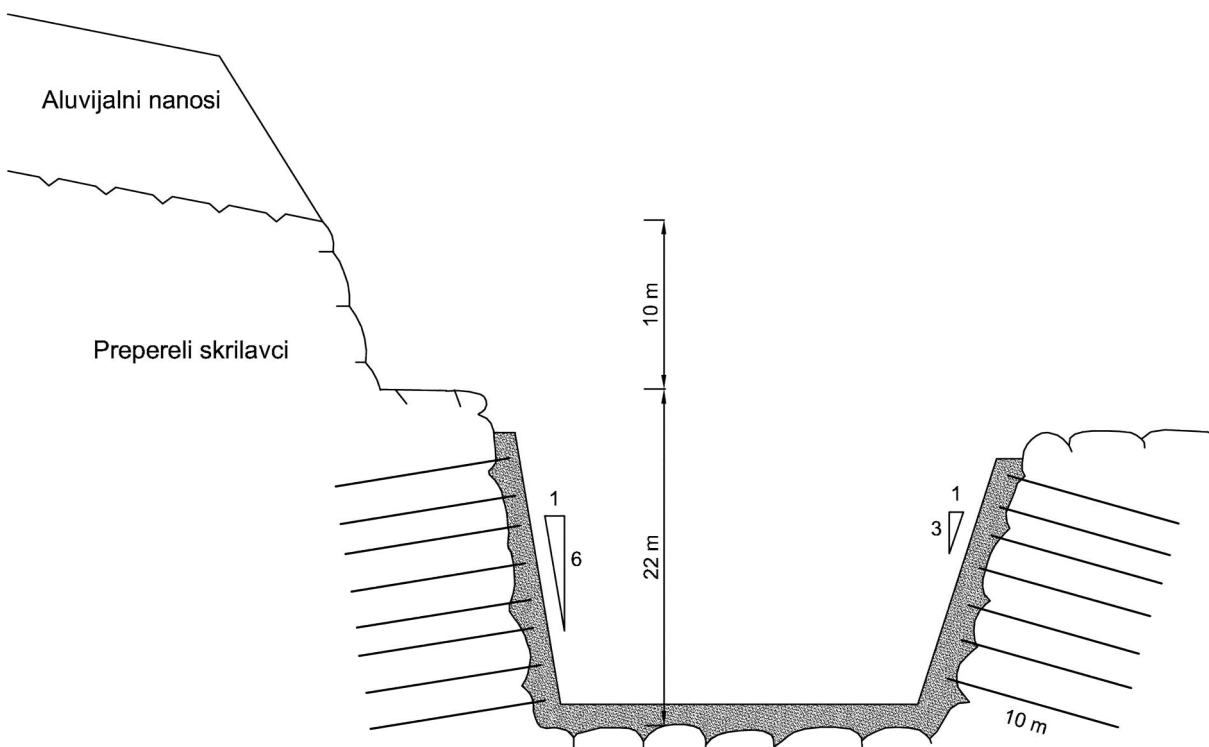
Izraz pasivno sidranje se nanaša na vgradnjo jeklenih elementov sider, pri čemer v sidrne elemente takoj po vgradnji ni vnesena natezna osna sila (sidra niso prednapeta), pač pa natezno silo v sidrih povzročijo relativno majhne deformacije v zemljini oz. hribini v katero je pasivno sidro vgrajeno. Dodaten pogoj, da je vnos natezne sile v pasivno sidro mogoč, je zadostna trdnost oz. zveznost sidrane obloge. Tehnologija pasivnega sidranja je zaradi začetnih pomikov, ki nastanejo pred vnosom natezne sile pogojno uporabna pri sidranju geotehničnih objektov, oz. je omejena na objekte, ki se pri začetnih pomikih konstrukcijsko ne poškodujejo.



Slika 1: Komponente začasnega samouvrtalnega pasivnega sidra, 1...palica sidra, 2...spojka, 3...podložna plošča, 4...matica, 5...distančnik, 6...vrtalna krona

Elementi pasivnega sidra so običajno jekleni in sicer iz jekla različnih kvalitiet, uporabljajo pa se tudi elementi iz plastičnih mas in drugih zmesi. Na trgu se najpogosteje pojavljajo sistemi za pasivno sidranje sestavljeni iz vseh potrebnih komponent (palice, spojke, distančniki, sidrne plošče, matice, cementna injekcijska masa), katerih osrednjo nosilno komponento predstavljajo polne jeklene palice, narejene iz jekla za armiranje betona ali brezšivne votle jeklene palice z oblimi ali trapeznimi navoji (različni tipi samouvrtalnih sider). Na sliki 1. so prikazani tipični elementi začasnega samouvrtalnega pasivnega sidra.

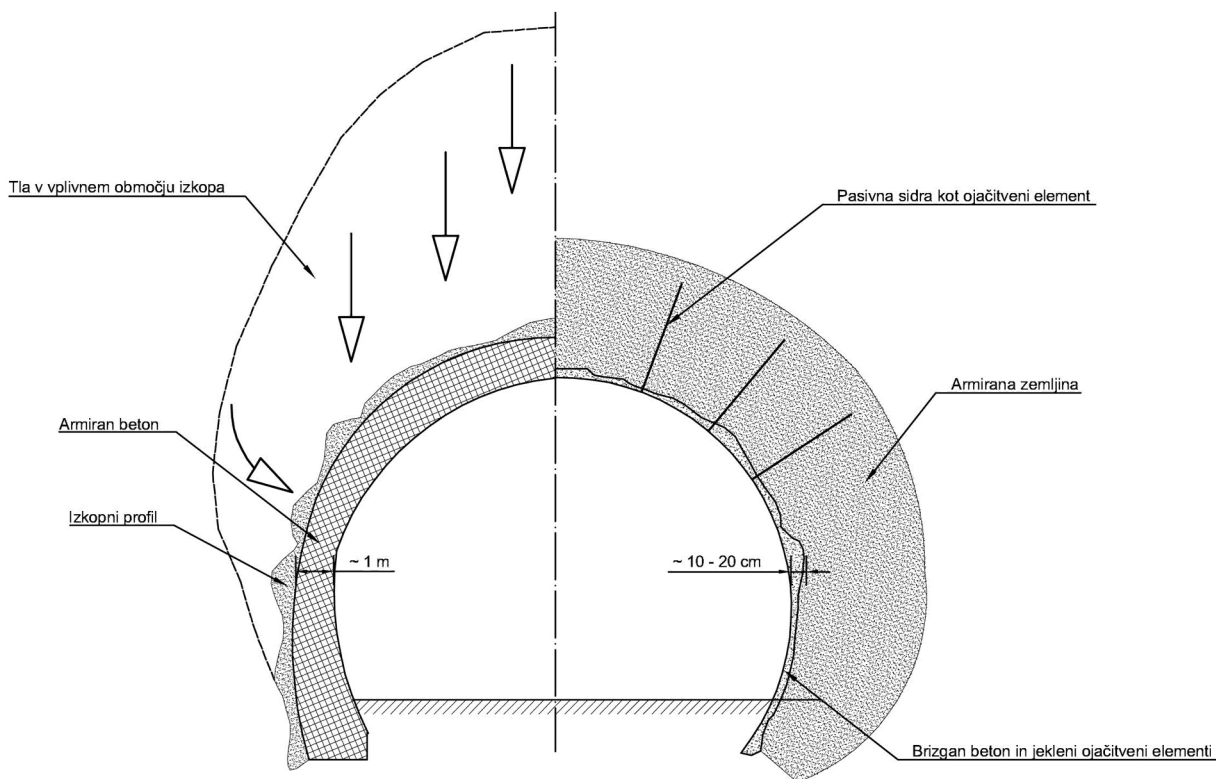
V splošnem lahko pasivna sidra ločimo na trajna in začasna. Glede na željeno oz. pričakovano življenjsko dobo vgrajenega pasivnega sidra lahko komplet pasivnega sidra vsebuje različne elemente. Pasivna sidra so lahko glede na tehnologijo vgradnje, vgrajena na način, da se elementi vstavijo v predhodno izvrtane luknje in poinjektirajo, nekatere izvedbe pasivnih sider omogočajo sočasno vrtanje in injektiranje, redkeje pa se uporablja metoda vgradnje sider z vtiskanjem. Običajno so vgrajena sidra odklonjena navzdol glede na horizontalno ravnino.



Slika 2: Sidranje brežine pri gradnji pretočnih polj ob jezcu Notre Dame de Commier v Franciji  
(Schlosser in sod., 1993: str 5)

Prvi primeri uporabe segajo v 60. leta prejšnjega stoletja. V zgodnjih 60. so bila za potrebe stabiliziranja brežine pri gradnji pretočnih polj ob jezcu Notre Dame de Commier v Franciji prvič uporabljena pasivna sidra - slika 2, v sredini 60. pa je bila razvita t.i. nova avstrijska

metoda (NATM) gradnje predorov - slika 3, po kateri se pasivna sidra uporabljajo za podporo podzemnih objektov (galerij in predorov).



Slika 3: Klasičen način izvedbe predora z masivnim obokom - levo in izvedba s pasivnimi sidri po t.i. novi avstrijski metodi (NATM) – desno (Schlosser in sod., 1993: str 6)

Tehnika pasivnega sidranja izhaja iz tehnik prednapenjanja in armiranja zemljine, zato ima z vsako od teh tehnik nekaj skupnih točk. Uporaba pasivnega sidranja ima določene prednosti pred sidranjem s prednapetimi sidri, predvsem so to:

- manj potrebne opreme za vgradnjo sider in izgradnjo konstrukcije,
- manjša poraba materiala,
- hitra gradnja,
- način vgradnje in tip pasivnih sider je mogoče hitro prilagoditi razmeram v tleh,
- nižji stroški gradnje,

pri čemer pa je potrebno poznati nekatere omejitve sidranja s pasivnimi sidri:

- pasivna sidra niso primerna za vgradnjo v primerih, ko niso dopustni pomiki objektov za sidrano konstrukcijo,
- v primeru večjih dotokov vode v območju izvedbe obloge, izvedba obloge z armaturno mrežo in brizganim betonom ni mogoča,

- v nekaterih vrstah zemljin izvedba pasivnih sider ni mogoča oz. je izredno zahtevna (sipki peski, peski s kavernami...).
- izvedba opornih zidov s pasivnimi sidri zahteva izkušenega izvajalca, ki natančno pozna delovanje pasivnih sider in omejitve pri pasivnem sidranju.



## 2 OPIS SIDRANJA S PASIVNIMI SIDRI

### 2.1 Regulatoriva s področja pasivnega sidranja

V Republiki Sloveniji smo evropski standard EN 14490:2010 Izvedba posebnih geotehničnih del – pasivno sidranje s 01.11.2010 po metodi platnice privzeli kot SIST EN 14490:2010 (v nadaljevanju: EN 14490). Pod isto oznako sta v preteklosti področje izvedbe pasivnega sidranja pokrivala dva osnutka standarda (prEN 14490:2002 in prEN 14490:2007), pri čemer so bile pri presojanju sistemov za pasivno sidranje in ustreznosti izvedbe pasivnih sider v preteklosti v uporabi smernice ISRM (1974) kasneje pa tudi smernice CIRIA (2005) in druge. Zadnja verzija standarda EN 14490 glede na predhodna osnutka prinaša nekatere novosti, predvsem v smislu določanja agresivnosti temeljnih tal ter izbiro ustrezne protikorozijske zaščite in izvedbe preskusov nosilnosti.

Standard EN 14490 ni naveden v seznamu standardov katerih uporaba ustvari domnevo o skladnosti gradbenih proizvodov (v tem primeru sistemov za pasivno sidranje) z zahtevami Zakona o gradbenih proizvodih. V primeru sistemov za pasivno sidranje se tako v skladu s 5. členom Zakona o gradbenih proizvodih v promet smejo dati sistemi za pasivno sidranje, za katere je bilo podeljeno tehnično soglasje (bodisi slovensko STS bodisi evropsko ETA) ali druga javno dostopna tehnična specifikacija, ki predstavlja stanje tehnike in tehnologije. Podeljeno tehnično soglasje je pozitivna tehnična ocena ustreznosti gradbenega proizvoda za predvideno uporabo, ki temelji na izpolnjevanju bistvenih zahtev za gradbene objekte, za katere se namerava proizvod uporabiti. Tehnično soglasje se podeljuje za določen proizvod, izdelan v določenem obratu.

Na področju držav članic CEN je standard EN 14490 najnovejši dokument, ki celovito obravnava in predpisuje splošna določila o izdelavi, projektiranju, izvedbi, preskušanju in nadziranju vgradnje, zato se pri izdelavi tehničnih soglasij sistemov za pasivno sidranje EN 14490 uporablja kot referenčni standard, kar v praksi pomeni, da je njegova uporaba preko podeljenih tehničnih soglasij obvezna.

V preteklosti sem pri preskušanju nosilnosti pasivnih sider naletel na nekatere primere slabe prakse (tako pri projektiranju in vgrajevanju, kot tudi kontroli vgrajevanja pasivnih sider), ki niso v celoti usklajene s predmetnim standardom oz. podeljenimi soglasji in priporočili omenjene literature. Nekatere dvome, ki so se pojavili in opažanja bom zato opisal v nadaljevanju.

## 2.2 Pristop k projektiranju pasivnih sider

Podobno kot pri ostalih gradbenih projektih, se tudi projektiranje objektov sidranih s pasivnimi sidri prične z osnovnim konceptualnim modelom, ki se nadaljuje s preračunom posameznih detajlov. Projektiranje geotehničnih objektov je proces, ki se prične s študijo različnih variant opiranja.

Geotehnični objekti, odvisno od svoje zasnove, namena in izvedbe, zahtevajo različno stopnjo monitoringa in prilaganja med samo izvedbo objekta. Bolj je geotehnični objekt dovršen in več vhodnih podatkov imamo pri izdelavi projektov, manj je kasneje različnih presenečenj. Ne glede na to pa za konstrukcije sidrane s pasivnim sidri še posebej velja, da jih je potrebno med gradnjo skrbno spremljati in v primeru neustreznih rešitev podanih v projektu hitro ukrepati.

Ob pričetku projektiranja geotehničnih objektov se je potrebno zavedati omejitev, ki nastanejo z uporabo pasivnega sidranja. V fazi izdelave konceptualnega modela izvedbe pasivnega sidranja je bistveno, da se upoštevajo naslednje karakteristike območja gradnje in geotehničnega objekta (Phear in sod., 2005):

- lastnosti temeljnih tal z natančnim poznavanjem karakteristik zemljine,
- morfologija terena in plastovitost temeljnih tal,
- talna voda, predvsem v smislu, nihanja nivoja talne vode, stalne prisotnosti talne vode, izvora in intenzitete pritoka različnih vodnih izvirov,
- zaporedje izvajanja zemeljskih del,
- geometrija objekta,
- omejitev na lokaciji gradbišča – otežen dostop, dovoljenja okoliških prebivalcev,
- stopnje vegetacije na lokaciji gradbišča, pred in po izvedbi geotehničnega objekta in
- največja dopustna vrednost deformacij po izvedenem sidranju.

## 2.3 Zahteve standarda EN 14490

Standard EN 14490 v poglavju 5 podaja zahteve v zvezi z geotehničnimi raziskavami. V fazi projektiranja je treba upoštevati poročilo o preiskavah tal oz. rezultate geoloških in geotehničnih preiskav, pri čemer so še posebej pomembne naslednje lastnosti temeljnih tal:

- mehanske in fizikalne lastnosti,
- nivo talne vode in spreminjanje nivoja talne vode,
- kemične, elektrokemične in biološke lastnosti temeljnih tal in talne vode,

- morebitna vsebnost skalnih osamelcev, oz. plasti z izrazito drugačnimi mehanskimi lastnostmi.

Navedene lastnosti so pomembne za izbiro samega tipa kot tudi tehnologije vgradnje pasivnega sidra. Poznavanje teh lastnosti pa je hkrati ključno za oceno agresivnosti temeljnih tal in verjetnosti pojava ter intenzivnosti poteka korozijskih procesov. Glede na ugotovljene lastnosti temeljnih tal, naj bi projekt sidranja vseboval vsaj naslednje bistvene podatke:

- podroben opis sistema sidranja,
- izbrani tip sider in navodila za vgradnjo žrtvenih sider in sider objekta,
- potrebno nosilnost sider oz. največji dopustni pomik pri izvedbi preskusov nosilnosti,
- predvideno življenjsko dobo sidrane konstrukcije v navezavi na sistem protikorozijske zaščite sider,
- zahtevane lastnosti cementne injekcijske mase.

V poglavju 7 in prilogi B standard EN 14490 pokriva vidike projektiranja, pri čemer jasno opredeljuje katere elemente je treba v sklopu projektiranja opredeliti. Med drugimi bi izpostavil, da mora projekt konstrukcije, sidrane s pasivnimi sidri, vključevati:

- projektno življenjsko dobo konstrukcije,
- geotehnično kategorijo objekta v skladu s SIST EN 1997-1:2005,
- vse faze gradnje (s sidri je treba zagotoviti zadostno nosilnost v različnih fazah izkopa – upoštevanje vseh relevantnih začasnih/vmesnih izvedbenih faz, kot v daljšem časovnem obdobju – t.j. celo predvideno življenjsko dobo objekta),
- navodila za preskušanje žrtvenih sider in sider objekta (natančna lokacija in število izvlečnih preskusov, preskusna sila  $P_p$ , navodilo za pripravo sider in sidrišč pred izvedbo izvlečnih preskusov, navodila za izvedbo izvlečnih preskusov),
- detajle izvedbe glave sidra, usklajene s tehničnim soglasjem za posamezen tip sidra in predvideno življenjsko dobo konstrukcije,
- zahteve uporabnosti: npr. dopustni odkloni in/ali pomiki gradnje in podpiranih tal,
- relevantne specifikacije za materiale ali proizvode privzete v projektu.

V praksi se pogosto pokaže, da pomanjkljivo izdelana projektna dokumentacija pogosto povzroča težave na relaciji projektant – izvajalec – nadzornik. Opažam, da do tega pride zaradi dveh najpogostejših razlogov: prvi od razlogov je ta, da s tem, ko projektant določi potrebno sidrno silo, dolžino sider itd. delo ni končano – pogosto je glede na zatečeno stanje na terenu treba sidrne sile korigirati, popraviti dolžine sider ali izvedbo sidrišč, potrditi novo tehnologijo vgradnje (predvsem potrditev ustreznosti v smislu zagotavljanja zadostne protikorozijske zaščite), zgostiti število sider; pri čemer v posameznih primerih projektant

smatra, da to ni več njegova naloga, drugi, najpogostejši pa ta, da pri pripravi projektov niso upoštevane zahteve podeljenih tehničnih soglasij in standarda EN 14490. Posledično izvajalec sidrskih del vse »dodatne« ukrepe protikorozijske zaščite, priprave ustreznih sidrišč za testiranje sider, izvedbo izvlečnih preskusov itd. (torej ukrepe, ki so zahtevani v podeljenem tehničnem soglasju, a niso upoštevani oz. zajeti v projektu) smatra kot nepotrebne dodatne stroške, ker ti niso bili zajeti v popis del in tako upoštevani pri oddaji ponudbe za izvedbo sidrskih del.

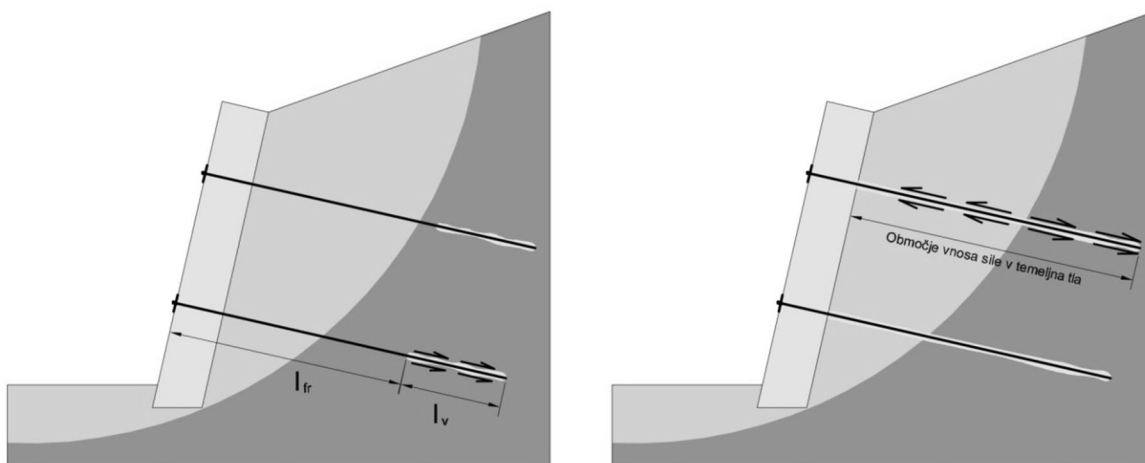
Tovrstne težave so v praksi najpogostejše pri vgradnji in preskušanju žrtvenih sider. Tolmačenja, da so preskusi, kot jih opredeljuje EN 14490, le nepotrebna zamuda časa in strošek, se kažejo kot nerazumevanje priložnosti, da se na podlagi in-situ dobljenih rezultatov odpornosti pasivnih sider na izvlek verificira in predvsem optimizira projektna rešitev v smislu števila, dolžin in razporeditve sider ter dosega zahtevan nivo protikorozijske zaščite.

Še posebej pereča pa je v praksi težava, ko se v projektu ali tehničnem poročilu o sidranju pojavijo nedefinirani pojmi kot je npr.: vgradijo se sidra nosilnosti 200 kN, pri čemer ni natančno navedeno ali se to nanaša na sidra, ki imajo natezno nosilnost jekla - 200 kN ali gre za zahtevo, da mora biti odpornost vgrajenih sider na izvlek 200 kN. Običajno v takšnih primerih o tem ni mogoče sklepati niti iz oznak sil, saj se namesto npr.  $P_0$  in  $P_p$  uporabljajo drugačne oznake.

## 2.4 Princip delovanja pasivnega sidranja

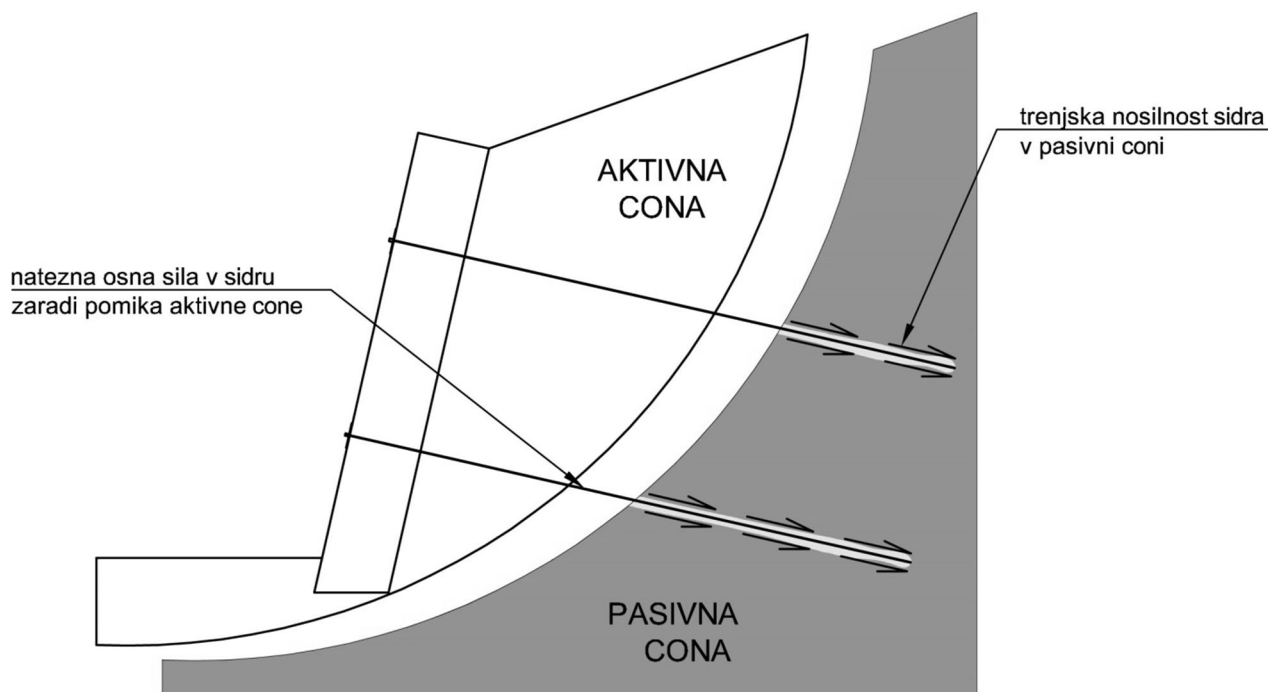
Razumevanje delovanja sistemov za pasivno sidranje je ključno za poznavanje omejitev pri uporabi pasivnega sidranja in pri izvedbi preskusov nosilnosti pasivnih sider. Idealizirano gledano gre pri pasivnem sidranju za povezovanje dveh območij, ki ju loči manjše območje v katerem pride do strižne porušitve zemljine, območji pa sta povezani s pasivnimi sidri. Za razliko od prednapetih sider, pasivna sidra nimajo prostega dela, pač pa je palica sidra trenjsko (strižno) vpeta v zemljino po svoji celotni dolžini. Princip delovanja in razlika med prednapetimi in pasivnimi sidri sta prikazana na sliki 4.

Princip ene porušne ravnine oz. drsine v območju med t.i. aktivno in pasivno cono je idealiziran model. V splošnem gre za porušno območje, ki nujno v celoti ne sovпада s t.i. drsino izračunano pri globalni stabilnostni analizi (Phear in sod., 2005). Na sliki 5 in 6 sta prikazani pasivna in aktivna cona ter njuna interakcija po vgradnji pasivnih sider.



Slika 4: Razlika med mehanizmom delovanja prednapetega sidera (levo, pri čemer je  $l_{fr}$  prosti del sidera in  $l_v$  vezni del sidera) in pasivnega sidera (desno)

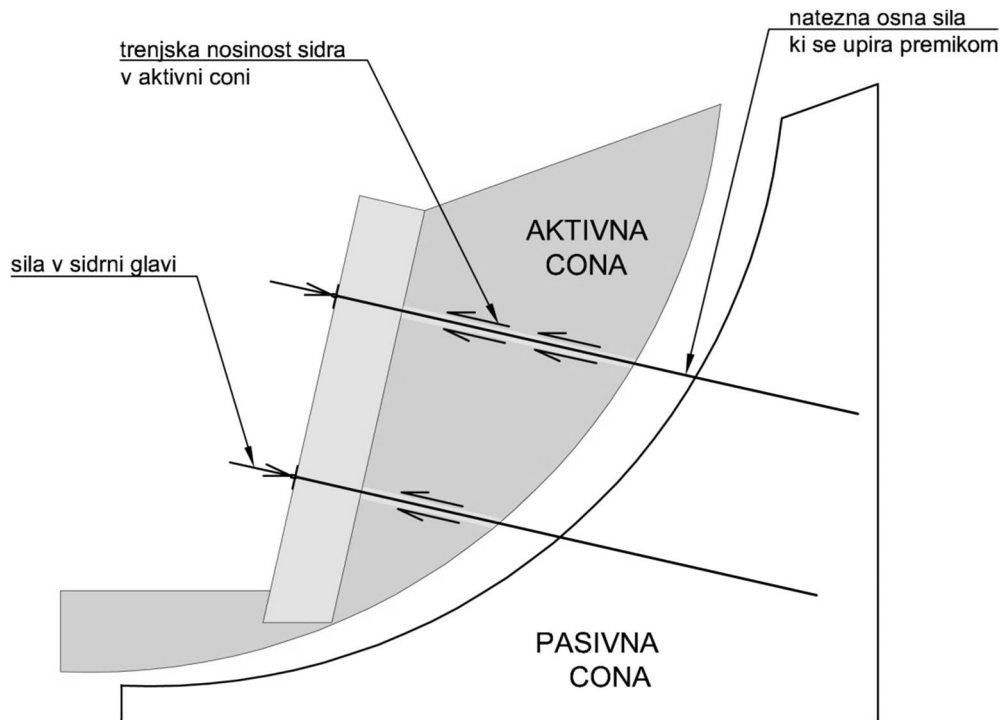
Pasivna cona (tudi cona odpora - Phear in sod., 2005) se nahaja za potencialno kritično drsino. Pri gradnji sider je potrebno zagotoviti, da je vpetost sider v to cono dovolj velika. Preskušanje zadostne nosilnosti sider v pasivni coni predstavlja velik izziv pri preskušanju sider, kar bom opisal v nadaljevanju.



Slika 5: Slika pasivne cone prikazuje vnos strižnih napetosti in nastanek natezne sile v palici sidera (Phear in sod., 2005: str 94)

Aktivna cona se nahaja pred potencialno kritično drsino. V aktivni coni se lahko palica sidera premakne kot del koherentne mase lahko pa se zemljina premakne ob palici sidera v kolikor

sidrna palica ni zadosti trenjsko (strižno) vpeta v zemljino in če sistem obloge in sidrne glave ne zagotavljata zadostne nosilnosti.



Slika 6: Slika aktivne cone prikazuje vnos strižnih napetosti in nastanek natezne sile v palici sidra zaradi pomika (Phear in sod., 2005: str 94)

## 2.5 Odpoved sistemov za pasivno sidranje

V literaturi niso dostopni strokovni opisi primerov, ko je prišlo do odpovedi pasivnega sidranja, v splošnem pa lahko do odpovedi sistemov za pasivno sidranje privedejo naslednji razlogi (Phear in sod., 2005):

- pomanjkljivo poznavanje geologije zaledja, predvsem stratigrafije hribin,
- pomanjkljivo poznavanje hidrogeoloških razmer, predvsem režimov spreminjanja nivoja talne vode,
- slabo izvedene obloge, predvsem se lahko pojavijo težave pri gibkih oblogah,
- neupoštevanje dejstva, da je potrebno gibkosti obloge prilagoditi raster sider,
- slabo izvedeni detajli, npr. premajhne sidrne plošče,
- slaba izvedba sider ter slaba kontrola izvedbe in nosilnosti in
- slaba koordinacija in posledično zastoji med fazami gradnje (izkop, brizganje betona, odvodnjavanje, sidranje).

## 2.6 Notranji mehanizmi porušitve

Izraz se nanaša na mehanizem prenosa nateznih osnih napetosti v palici sidra v strižno napetost med palico sidra in injekcijsko maso ter injekcijsko maso in zemljino. Palice sider so običajno narejene iz rebrastega armaturnega železa ali pa kot votla palica, ki imajo na zunanji strani leve oble navoje. Glede na to, da zunanja struktura površine palice sider zagotavlja izredno dober oprijem z injekcijsko maso in ob upoštevanju dejstva, da se pri vgradnji pasivnih sider uporablja injekcijska masa, ki praviloma v roku 7 dni po vgradnji dosega tlačne trdnosti 30 MPa ali več, je ob predpostavki, da je bilo sidro ustrezno vgrajeno (zadostna oblitost z injekcijsko maso), smiselno upoštevati, da je kritični strižni porušni mehanizem na stiku med injekcijsko maso in zemljino. V primeru, da bi želeli preveriti ali bi lahko bila kritična strižna porušitev po stiku jekla in injekcijske mase, se upoštevajo naslednje vrednosti strižne trdnosti stika:

- največ 1 MPa za gladke jeklene palice,
- največ 2 MPa za vrvi ali rebraste palice.

Ne glede na to je v odvisnosti od natezne trdnosti palice sidra in njene dolžine ter strižne odpornosti na stikih med palico sidra in injekcijsko maso ter injekcijsko maso in zemljino, mogoče prepoznati naslednje notranje porušne mehanizme (Carlos in sod., 2003):

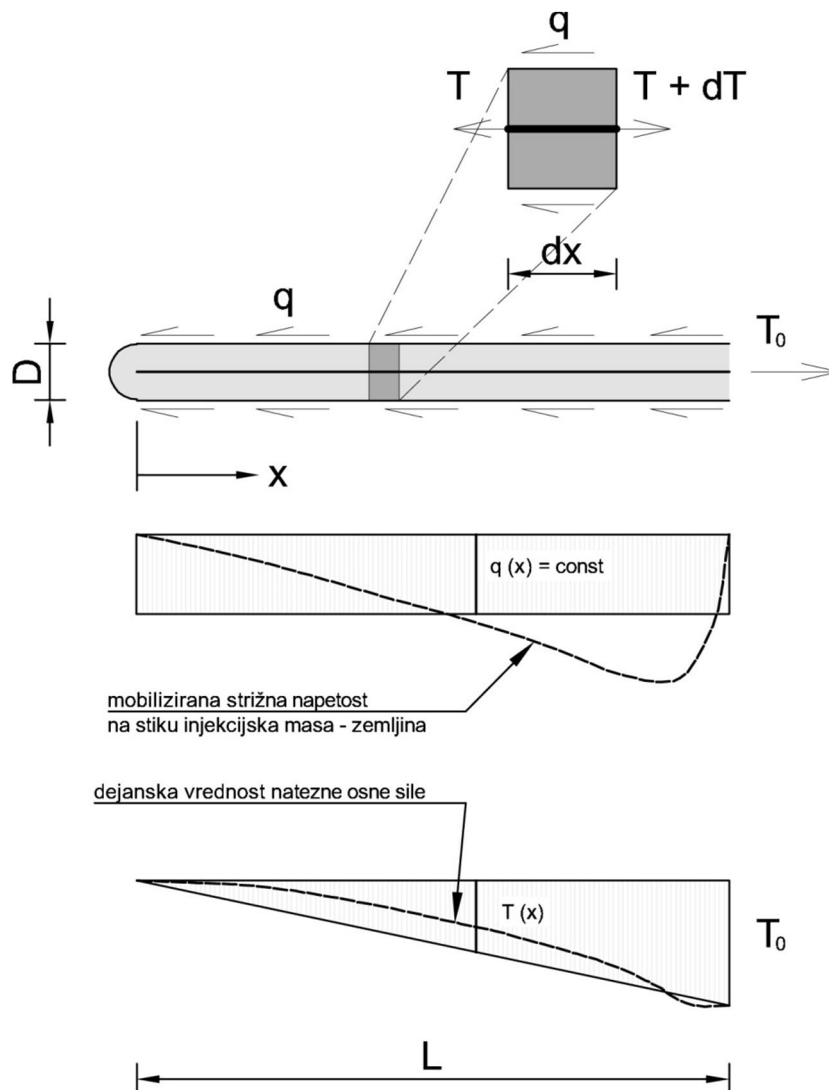
- izvlek sidra: je posledica strižne porušitve med injekcijsko maso in zemljino,
- zdrs palice iz injekcijske mase: je posledica uporabe palic sider, ki so površinsko gladke,
- natezna porušitev palice sidra: je posledica vgradnje sidra z neustrezno natezno trdnostjo,
- upogib in prestrig sidrnih palic: sidrne palice so običajno obremenjene natezno, vendar lahko ob porušnici nastanejo upogibne in strižne napetosti.

Najpogostejša notranja porušna mehanizma sta glede na dostopno literaturo in prakso, izvlek sidra iz zemljine in natezna porušitev palice sidra.

### 2.6.1 Izvlek sidra iz zemljine

Izvlek sidra iz zemljine je primarni notranji porušni mehanizem. Do izvleka sidra pride, ko je trenjska (strižna) nosilnost sidra  $Q$ , izražena v kN/m, premajhna ali pa je prekratka dolžina sidra  $L$ . Kot že prikazano, lahko pride zaradi enega ali drugega razloga do izpulitve sidra v

aktivni ali pasivni coni. Razporeditev strižnih napetosti in osnih sil v sidru je prikazana na slikah 7 in 8.



Slika 7: Mehanizem prenosa natezne napetosti v strižno napetost (Carlos in sod., 2003: str 85)

Mobilizirano strižno nosilnost sidra ob stiku injekcijske mase in zemljine  $Q$  zapišemo z enačbo 1:

$$Q = \pi q D, \text{ pri čemer je:} \quad (1)$$

$Q$ ...mobilizirana natezna sila v sidru podana na enoto dolžine veznega dela [kN/m],

$q$ ...mobilizirana strižna napetost na stiku injekcijska masa – zemljina in deluje po obodu injekcijske mase,

$D$ ...povprečni ali efektivni premer vrtine oz. injekcijske mase.



Če obravnavamo delec sidra v katerem se nahaja natezna osna sila  $T$ , ki se po dolžini spreminja, ter za strižne napetosti po obodu injekcijske mase s katero je palica sidra v togem stiku (slika 7) privzamemo, da so konstantne, lahko zapišemo enačbo 2:

$$dT = \pi Dq dx \quad (2)$$

Zgornji izraz integriramo po dolžini  $x$  vzdolž palice sidra (enačba 3) in dobimo izraz za odpornost sidra na izvlek (enačba 4).

$$T(x) = \int_0^x \pi Dq dx = \int_0^x Q dx \quad (3)$$

$$T(L) = T_0 = QL \quad (4)$$

Odpornost sidra na izvlek  $R_p$  je mobilizirana, ko je dosežena maksimalna strižna odpornost stika med injekcijsko maso in zemljino, vzdolž celotnega sidra.

$$R_p = T_{\max} = Q_{\max} L, \text{ kjer je:} \quad (5)$$

$$Q_{\max} = \pi q_{\max} D \quad (6)$$

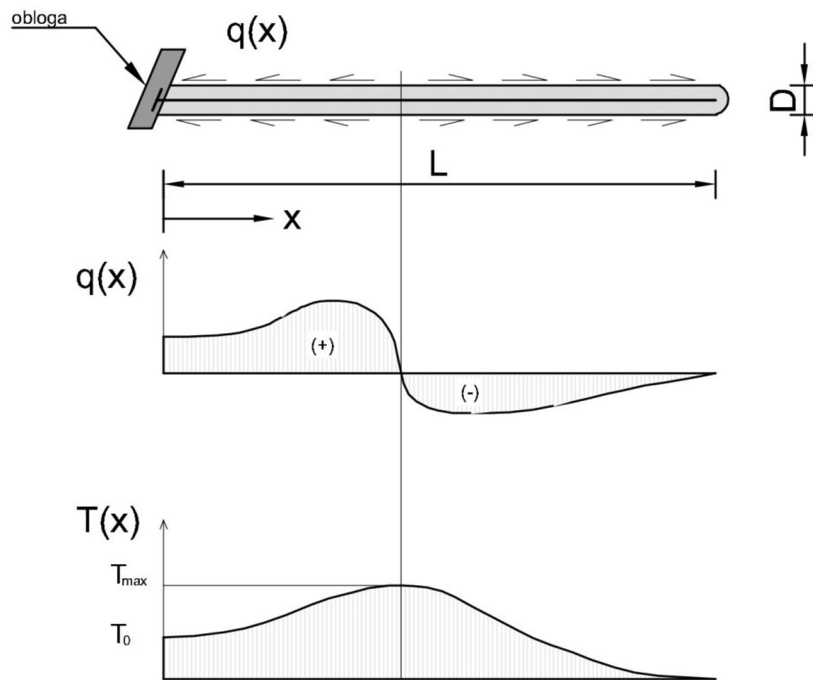
Namen zgornjih enačb je prikazati, da je izvlek sidra iz zemljine odvisen od treh ključnih parametrov in sicer:

- $q$ ...strižne trdnosti po stiku injekcijske mase in zemljine,
- $L$ ...dolžine sidra in
- $D$ ...premra vrtine.

Parameter  $q$  je zelo kompleksen pojem za katerega obstaja teoretični postopek za izpeljavo ter vrsta lažjih empiričnih izrazov, ki temeljijo na podlagi izkušenj. Na maksimalno doseženo strižno trdnost v stiku injekcijske mase in zemljine vpliva vrsta parametrov, predvsem pa so to:

- tip zemljine (zrnavost, strižna trdnost itd),
- stanje zemljine (razmočenost, zaglinjenost itd),
- način vgradnje sider in
- kakovost injekcijske mase.

Za sidranje v kamnine se priporoča kot mejno strižno trdnost upoštevati 10% enosne tlačne trdnosti vzorca kamnine, a največ 4 MPa.



Slika 8: Mehanizem delovanja pasivnega sidra (Carlos in sod., 2003: str 86)

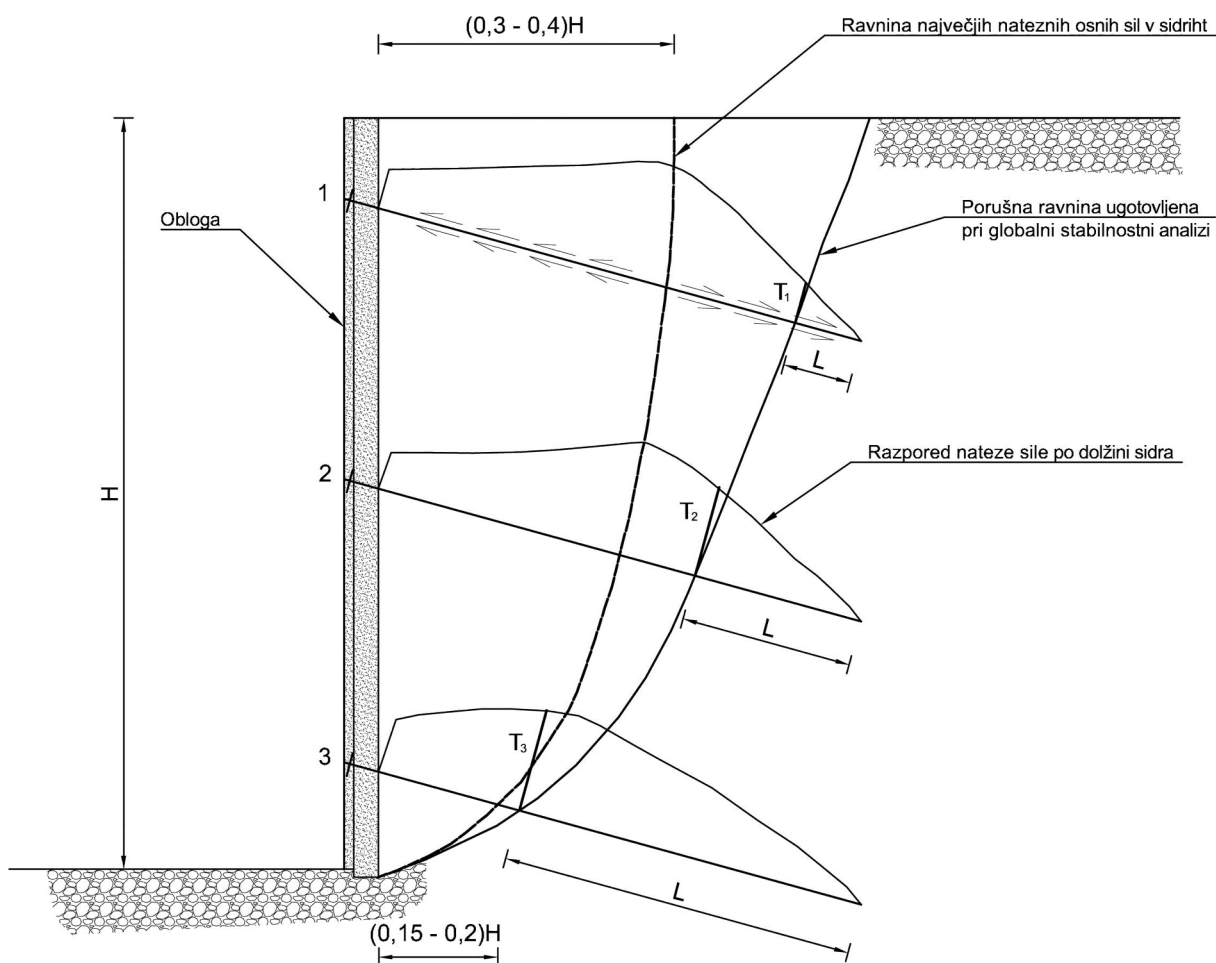
$T_0$  je natezna sila, ki jo prenaša sidrna glava. Velikost natezne sile, ki jo je sposobna prenesti sidrna glava, je odvisna od tipa sidrne obloge in izvedbe sidrne glave je  $T_0 \sim 0,60-1,0 T_{max}$  (Carlos in sod., 2003).

Dejansko strižno nosilnost sidra v aktivni ali pasivni coni najbolj zanesljivo ugotovimo s korektno izvedbo preskusa nosilnosti.

### 2.6.2 Natezna porušitev palice sidra

Zagotoviti ustrezno natezno nosilnost sidrne palice ne predstavlja večjega izziva, saj je mogoče največje natezne osne sile v palici sidra dokaj enostavno oceniti, komponente sistemov za pasivno sidranje in sestavljeni sistemi, ki so dani na trg, pa so v celoti preskušeni, tako da nam je njihova natezna nosilnost poznana.

Mesto največje osne sile v palici sidra je zamaknjeno od kritične drsine (Carlos in sod., 2003). Meritve osnih sil v sidrih so pokazale, da so v primeru sidranja opornega zidu višine  $H$ , v zgornjem delu najvišje osne sile v sidru dosežene v globini  $0,3$  do  $0,4H$ , v spodnjem delu pa v globini med  $0,15$  in  $0,2H$ . Razpored osnih sil v sidrih je prikazan na sliki 9.



Slika 9: Razpored osnih sil v sidrih (Carlos in sod., 2003: str 88)

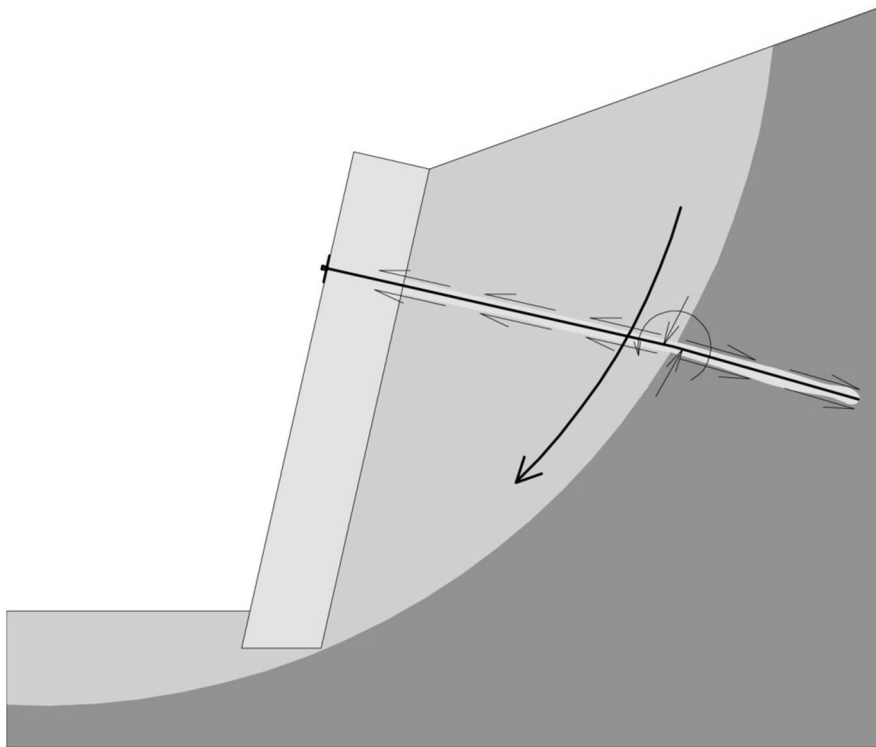
Natezne sile v sidru se pojavijo postopoma, ko se izvaja sidrana konstrukcija od zgoraj navzdol. Te sidrne sile zagotovijo začasno zadostno stabilnost zidu ali pobočja. V času po izvedenih delih, sidrne sile naraščajo do neke stalne obremenitve, ki je lahko do 15% večja od prvotne sile vnesene v sidra (Carlos in sod., 2003). Takšno naraščanje sile je povezano z lezenjem in relaksacijo zemljine (soil creep and stress relaxation). Čeprav ta dodatna sila ni direktno upoštevana pri izračunu stabilnosti pa se upošteva skozi faktorje varnosti pri izračunu stabilnostnih analiz.

### 2.6.3 Upogib in strig

Nevarnost porušitve sidrne palice zaradi upogiba in striga v območju drsine ni velika, saj so za nastanek pasivnega pritiska zemljine, ki generira strižne in upogibne napetosti potrebni večji premiki (slika 10). Večji premiki pa naj bi bili v fazi projektiranja sidrane konstrukcije preprečeni saj so v splošnem neugodni.

Po navedbah (Phear in sod., 2005), do pojava upogiba in striga običajno pride pri pomikih večjih od 0,3 – 0,4% višine sidranega zidu oz. pobočja. Dejanska velikost upogibnega momenta in strižne sile verjetno ni velika, saj je površina oboda injekcijske mase v zemljini majhna. Iz praktičnih razlogov vpliv upogiba in striga lahko zanemarimo pri sidrih ki so vgrajena z odklonom navzdol pod kotom  $5^{\circ}$ - $20^{\circ}$ . Upogib in strig k skupni nosilnosti sistema po nekaterih ocenah ne prinašata več kot 10%. Iz navedenih razlogov natančnega raziskovanje dejanskega vpliva upogiba in striga na palico sidra do sedaj ni bilo.

Potencialni problem, ki bi se lahko pojavil je več osno napetostno stanje v palici sidra (nateg, upogib in strig) v kombinaciji z napadom korozije na mestu pojava več osnega napetostnega stanja. Protikorozijska zaščita v obliki injekcijske mase bi po vnosu napetosti razpokala, pri čemer bi lahko sidrna palica prišla v stik z zemljino oz. vodo.



Slika 10: Pojav upogiba in striga v sidrni palici zaradi velikih pomikov

## 2.7 Zunanji mehanizmi porušitve

Zunanji mehanizmi porušitve se nanašajo na poškodbe v območju sidrne glave in obloge. Najpogostejše poškodbe v tem območju so naslednje (Carlos in sod., 2003):

- odpoved obloge: zaradi prevelikega razmaka med sidri se lahko obloga upogne in v primeru, da je preveč toga oz. neustrezno dimenzionirana, pride do porušitve,
- preboj obloge: točkovne sile, ki jih sidro vnese v območje obloge na eni strani in aktivni zemeljski pritiski na drugi strani obloge, povzročijo strižno porušitev obloge in
- porušitev sidrne glave: elementi sidrne glave niso ustrezno dimenzionirani glede na natezno nosilnost palice sidra oz. na pritisk obloge.

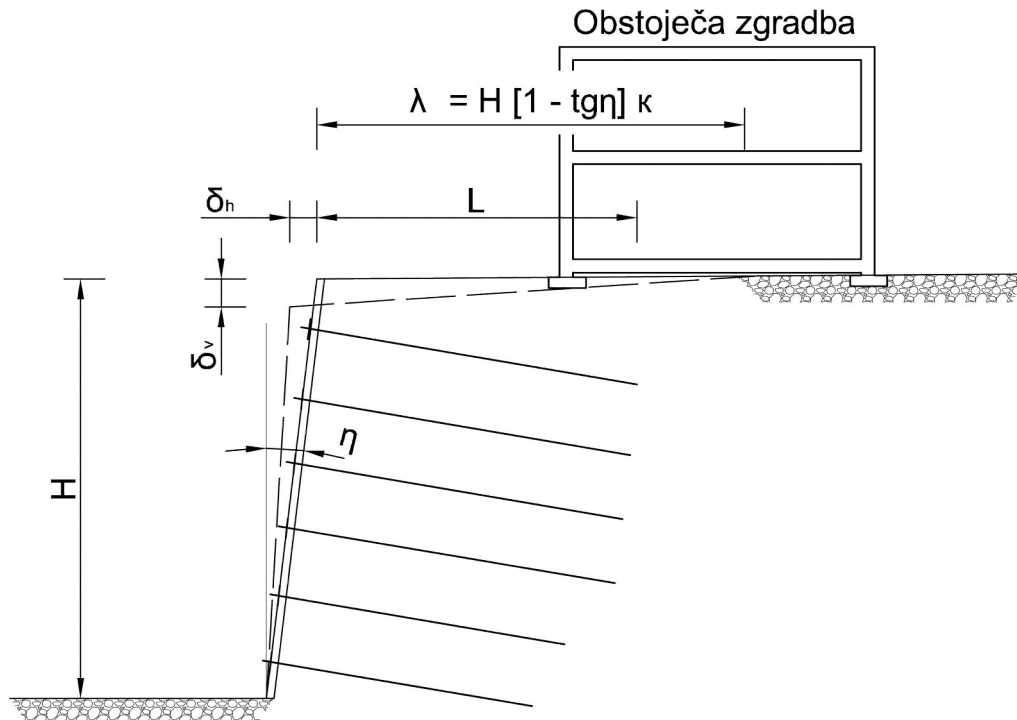
## 2.8 Omejitve pri uporabi sistemov za pasivno sidranje

V praksi je uporaba pasivnih sider omejena na primere, kjer so po izvedenem sidranju dopustni določeni manjši pomiki. Najpogosteje so to gibke obloge v predorih izvedene z armaturno mrežo in brizganim betonom, zaščita brežin ob izkopih ter oporni zidovi. Horizontalni in vertikalni pomiki, ki se pojavijo po vgradnji pasivnih sider, predstavljajo omejitev predvsem v urbanih okoljih zaradi prisotnosti različnih objektov v okolici vgradnje. Kot je prikazano na sliki 10, se zgornji del sidrane konstrukcije po izvedbi konstrukcije premakne horizontalno in vertikalno. Ti pomiki znašajo od 1 do 4 tisočinke višine sidrane konstrukcije (Carlos in sod., 2003). Pomiki so vidni na površini ob sidrani konstrukciji in se manjšajo z oddaljenostjo od sidrane konstrukcije. V primeru uporabe pasivnih sider v urbanem okolju je potrebno zagotoviti zadostne odmike od obstoječih objektov, oz. oceniti velikost pomikov in sprejemljivost teh pomikov za bližnje objekte.

Pomiki obloge pa so odvisni še od naslednjih parametrov (Schlosser in sod., 1993):

- hitrosti izgradnje konstrukcije oz. posameznih faz,
- višine posamezne faze izkopa in razdalje med sidri,
- podajnosti pasivnih sider,
- globalnega faktorja varnosti za sidrano konstrukcijo (bližje kot je faktor varnosti vrednosti 1 ( $F = 1$ ), bolj so vrednosti pomikov enake podanim v preglednici 1),
- razmerja  $L/H$  (razmerje  $\geq 1$  je ugodno za sidrano konstrukcijo),
- naklona sider in njihove odpornosti na upogib,
- nosilnosti temeljnih tal pod konstrukcijo in bližnjimi objekti.

Povečanje pomikov v horizontalni smeri povzroča dodatne natezne napetosti v pasivnih sidrih, medtem ko se povečanje pomikov v vertikalni smeri povezuje s povečanjem strižne in upogibne obremenitve pasivnih sider (Schlosser in sod., 1993).



Slika 11: Pomiki na površju (Schlosser in sod., 1993: str 12)

Preglednica 1: Koeficienti za določitev vplivnega območja pomikov in velikosti pomikov

|                       | Tip zemljine                           |           |           |
|-----------------------|--|-----------|-----------|
|                       | Pretrte hribine, bolj nosilne zemljine | Peski     | Gline     |
| $\delta_h = \delta_v$ | $H/1000$                               | $2H/1000$ | $3H/1000$ |
| $\kappa$              | 0,80                                   | 1,25      | 1,50      |

Koeficient  $\kappa$  sta definirala Schlosser in Unterreiner (1992) na podlagi izkustev pridobljenih z opazovanjem zidov sidranih s pasivnimi sidri (Phear in sod., 2005).

Pogosto se v praksi pojavi problem, da uporabniki sistemov za pasivno sidranje niso v celoti ali zadostno seznanjeni z zahtevami evropskih oz. slovenskih tehničnih soglasij, čeprav so v skladu z zahtevami podeljenih tehničnih soglasij nosilci soglasij dolžni uporabnikom (investitor, projektant, izvajalec, nadzornik in vzdrževalec) sistemov za pasivno sidranje posredovati vse podatke, ki se kakorkoli navezujejo na nameravano uporabo proizvoda med življenjsko dobo.

Občasno je namreč mogoče zaslediti, da se omenjeni tipi sider tudi po navodilu projektantov »deloma prednapenjajo« zato je potrebno opozoriti, da ti tipi pasivnih sider niso primerni za

prednapenjanje. To izhaja že iz nizkega trdnostnega razreda jekla, iz katerega so narejene njihove komponente, kot tudi dejstva, da pasivnega sidra dejansko ni mogoče prednapeti, saj nima prostega dela, zato ne moremo doseči učinka prednapetja in s tem zmanjšati vpliva morebitnih začetnih premikov konstrukcije oz. obloge brežine. Določeno raven »prednapetja« je sicer v praksi mogoče izvesti vendar le v omejenem obsegu v območju neposredno pod sidrno ploščo (toliko, da se doseže dobro naleganje sidrne plošče na površino zaledja oz. sidranega elementa), so pa taki učinki vnosa sile močno omejeni na območje pod sidrno ploščo in v splošnem pripomorejo le k manjši deformaciji oblog (Phear in sod., 2005). V primeru izbire komponent iz jekla višjega trdnostnega razreda in oblikovanja vsaj minimalne proste dolžine sidra je za vse vidike zasnove, oblikovanja, koncepta protikorozijske zaščite in vgradnje teh tipov sider ustreznejša uporaba standarda SIST EN 1537:2002: Izvedba posebnih geotehničnih del - Geotehnična sidra, oz. upoštevanje zahtev tehničnih soglasij za posamezen tip sider za prednapenjanje.

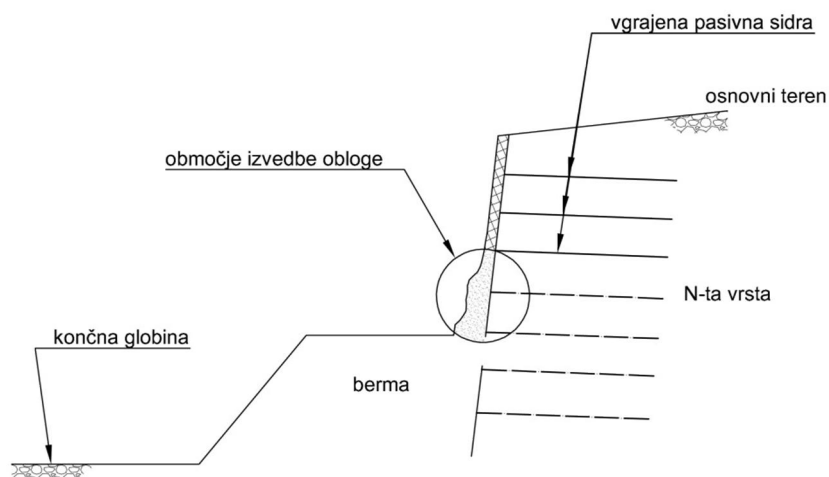
Pasivno sidranje je treba obravnavati kot kolektivni ukrep podpiranja pobočij oz. opornih zidov, pri čemer je v literaturi zaslediti priporočilo, da zgolj ena vrsta vgrajenih pasivnih sider običajno ni zadostna, ter da naj bi se že pri zidovih višine 2 – 3 m uporabljali najmanj dve vrsti pasivnih sider, za stabilizacijo brežin pa vsaj 3 – 4 ali več vrst (Phear in sod., 2005).

## **2.9 Vgradnja pasivnih sider**

Zahteve v zvezi z vgradnjo pasivnih sider so podane v poglavju 8.4 standarda EN 14490. Obstajata dve metodi vgradnje: po prvi metodi se sidro vtisne v temeljna tla, po drugi pa se izvede vrtina. V naši praksi se sidra pretežno uvtavajo, metoda vtiskanja pasivnih sider se v gradbeni praksi po razpoložljivih podatkih zelo redko uporablja.

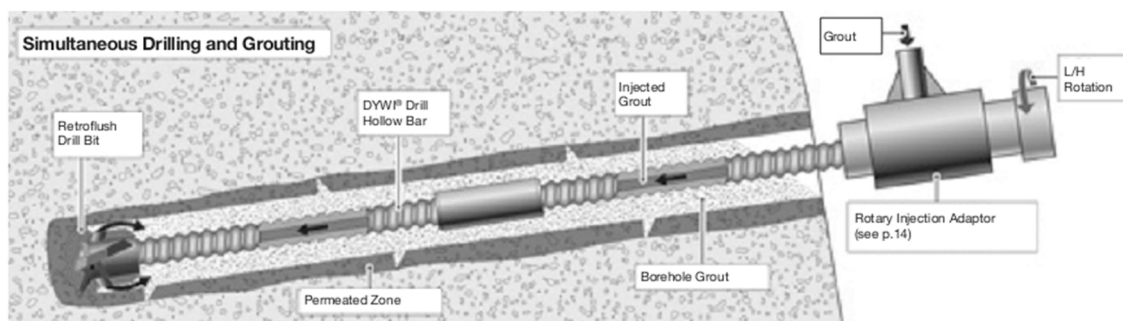
Vgradnja pasivnih sider običajno poteka v več zaporednih stopnjah, ki naj bi si časovno čim hitreje sledile. Tipični izkopni koraki, povzeti po SIST EN 14490 so prikazani na sliki 12.

Za vgradnjo sider z vrtanjem se običajno uporabljajo trije možni načini vgradnje. V primeru, da imamo pri vrtanju stabilno vrtino, se po izvedeni vrtini sidro vstavi v vrtino in poinjektira. V primeru, da vrtina ni stabilna, lahko uporabimo eno od dveh možnosti: vrtino lahko bodisi cevimo, po izvedeni vrtini vstavimo sidro ter ga zainjektiramo, oz. poinjektiramo ob odstranitvi obložnih cevi, bodisi uporabimo samouvrtalno sidro z žrtveno krono.



Slika 12: Običajen potek gradnje v primeru sidranja brežine – izkop, izvedba obloge in sidranje (EN 14490:2010)

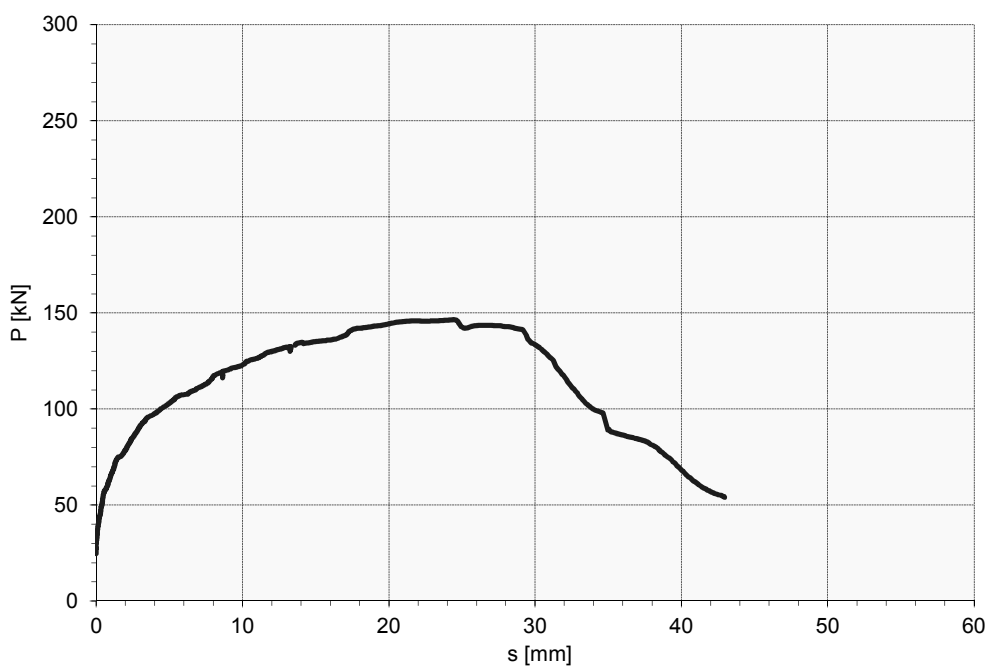
V zemljinah se najboljše rezultate dosega z uporabo sočasnega vrtanja in injektiranja (slika 13), metoda namreč omogoča zadostno oblitost sidra s cementno injekcijsko maso, kar je ugodno s stališča protikorozijske zaščite, izkaže pa se, da je v splošnem izboljšana tudi nosilnost sidra. Uporaba vode, kot medija za izpiranje povečuje tveganje za nestabilnost zemljine in lahko občutno zmanjša nosilnost vezi med pasivnim sidrom in tlemi.



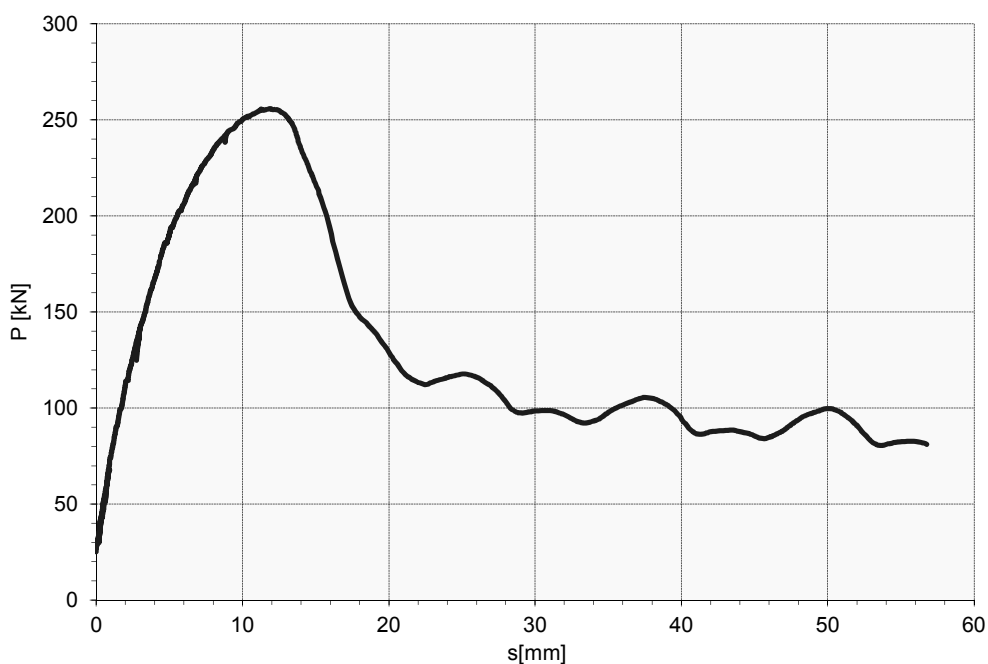
Slika 13: Sočasna vgradnja in injektiranje sidra – podpiranje vrtine z injekcijsko maso – priporočena metoda vgradnje v nestabilnih zemljinah, peskih itd. – (<http://www.dywidag-systems.com/>)

Za primerjavo sta na sliki 14 in 15 diagrama izvedenih izvlečnih preskusov samouvrtalnih pasivnih sider, zunanje premera R32 in dolžine 5 metrov vgrajenih v glinasti skrilavec s primesmi peščenjaka. Sidro, vgrajeno z metodo opiranja vrtine in izpiranje izvrtanine z vodo, je izkazalo bistveno manjšo nosilnost (slika 14) kot sidro, pri katerem je bila vrtina opirana in izvrtanina izpirana z injekcijsko maso (slika 15).





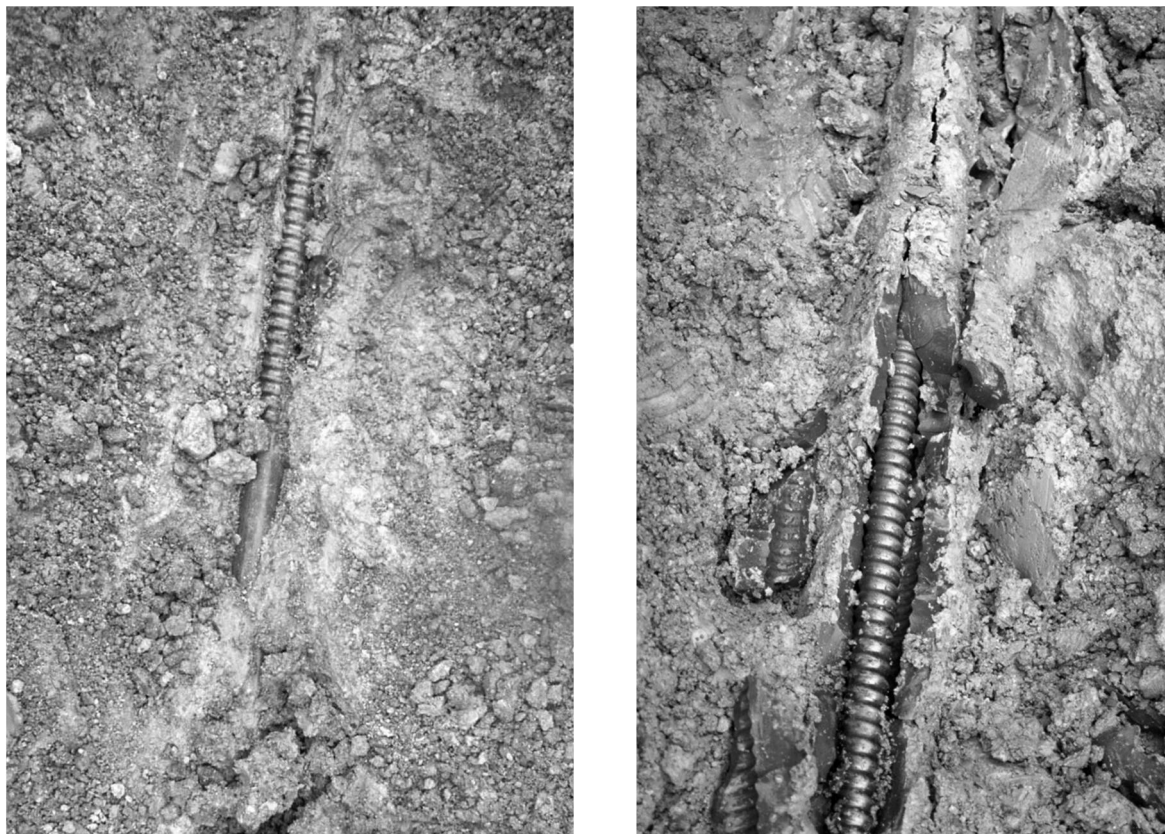
Sika 14: Diagram [pomik-sila] sidra, pri katerem je bila pri vgradnji uporabljena voda  
(Zavod za gradbeništvo Slovenije)



Sika 15: Diagram [pomik-sila] sidra, pri katerem je bila pri vgradnji uporabljena injekcijska masa  
(Zavod za gradbeništvo Slovenije)

Na sliki 16 sta preskušeni sidri po izvedenem izkopu sider. Na sliki levo je vidno, da injekcijska masa ki je bila vgrajena po uvrtnanju sidra, ni enakomerno oblila palice sidra, na nekaterih mestih pa injekcijske mase celo ni, kar je neugodno tako s stališča protikorozijske

kot tudi nosilnosti. Na sliki desno je vidno izkopano sidro, ki je bilo vgrajeno s pomočjo injekcijske mase. Pri takšnem načinu vgradnje naknadno injektiranje sidra ni potrebno, dosežena debelina injekcijske mase pa je zvezna in zagotavlja tako dobro nosilnosti kot tudi določen nivo protikorozijske zaščite.



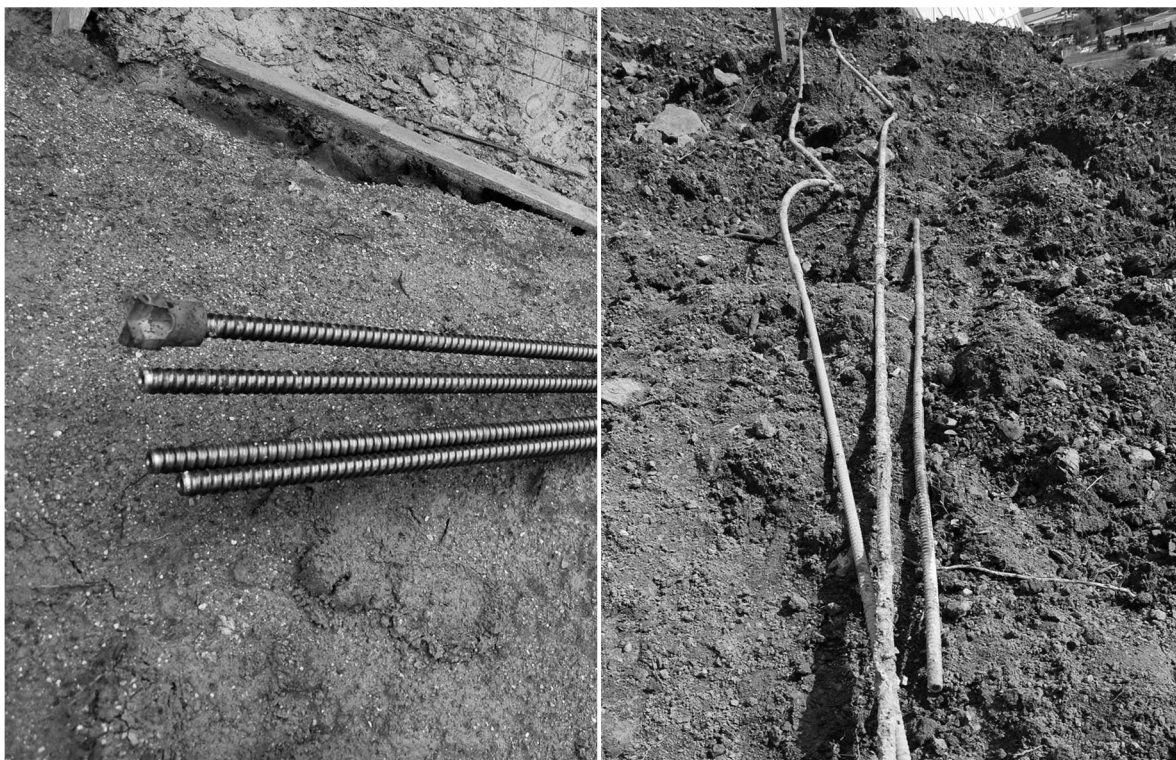
Slika 16: Izkop sider: levo - sidro vgrajeno s spiranjem vrtine z vodo in naknadno poinjektirano in desno - sidro vgrajeno s spiranjem z injekcijsko maso (Zavod za gradbeništvo Slovenije)

## 2.10 Izvedba testnega polja

Standard EN 14490 kot možnost, priporoča izvedbo testnega polja, kjer se izvedejo izvlečni preskusi pasivnih sider in s tem potrdijo oz. ovržejo predpostavke o nosilnosti sider, ki so bile upoštevane pri izvedbi izračunov stabilnosti.

Izkazalo se je, da je izvedba testnega polja pomembno področje, ki je v praksi pogosto prezrto, oz. se smatra kot nek nepotreben strošek, ne prepoznavajo pa se pozitivne strani izvedbe testnega polja. Predvsem je to tudi ugotovitev najprimernejše tehnologije vgradnje, ki lahko potrdi nabavo večjega števila posameznih potrebnih komponent in dobavo opreme za vrtanje. Na sliki 17 je prikazan poskus vgradnje samouvrtalnega sidra z žrtveno krono za mehkejšo hribino in sočasnim injektiranjem, ki zaradi izredno trdih vložkov tufa ni bil uspešen. Za uspešno vgradnjo sider je bila vrtina kasneje izvedena s pomočjo globinskega

kladiva, sidro pa naknadno vstavljeno v vrtino in poinjektirano. Izvedba testnega polja je tako lahko zelo pomembna za potrditev tehnologije vgradnje, saj poleg kontrole nosilnosti omogoča preverjanje doseganja zahtevane stopnje protikorozijske zaščite (oblitosti z injekcijsko maso) ter nudi dodaten vpogled v dejansko geološko sestavo tal na mestu vgradnje.



Slika 17: Neuspešna vgradnja sider na testnem polju: levo - sidro opremljeno s krono za mehkejše hribine in desno – sidro ni bilo mogoče vgraditi z žrtveno krono, saj so bili vložki tufa v hribini pretrdi, pri poizkusu vgradnje s povečano vtisno silo med vrtanjem, pa so bila sidra trajno poškodovana  
(Zavod za gradbeništvo Slovenije)

V Republiki Sloveniji ni visoke kulture vodenja zapisov o vgrajenih pasivnih sidrih, čeprav je to v poglavju 10. standarda EN 14490 nedvoumno zahtevano. Na splošno je pri vseh sidrih, še posebej pa pri trajno vgrajenih pasivnih sidrih, kjer je sidrna glava običajno obbetonirana in ni vidna, potrebno voditi zapise naslednjih podatkov:

- datum vgradnje in natančno mesto vgradnje,
- tip sidra, dolžino, smer,
- metoda vgradnje (ali je bila vrtina cevljena, ali je bilo izvedeno sočasno injektiranje, metoda izpiranja in druge posebnosti vgradnje),
- hidrogeološke posebnosti pri vrtanju,
- popis geologije,

- rezultati izvlečnih preskusov,
- poraba cementne injekcijske mase.

Zahteve za injekcijsko maso standard EN 14490 podaja dokaj skopo, karakteristična tlačna trdnost injekcijske mase po 28 dneh naj bo 28 MPa, preden pa se v sidro vnese sila pa naj bo dosežena minimalna tlačna trdnost 5 MPa. Vodocementni (v/c) faktor ter dodatke injekcijski masi je potrebno prilagoditi načinu vgradnje, razmeram v temeljnih tleh ter zahtevam po trajnosti in nosilnosti. Za pripravo injekcijske mase je treba uporabiti opremo, ki zagotavlja ustrezne lastnosti cementne injekcijske mase med izvajanjem injektiranja.

## **2.11 Tipi oblog, ki se uporabljajo pri pasivnem sidranju**

V splošnem lahko po EN 14490, glede na njihovo togost, sisteme oblog razdelimo v 3 različne skupine:

- toge obloge,
- gibke obloge in
- mehke obloge,

pri čemer se namen uporabe gibkih in mehkih oblog bistveno ne razlikuje.

### **2.11.1 Toge obloge**

Pri sistemu togih oblog gre za sidranje novih ali že obstoječih kamnitih zložb oz. togih armirano betonskih oblog. Pri izvedbi togih oblog je te potrebno dimenzionirati na način, da te prenesejo obtežbo brez večjih deformacij.

Najbolj pogoste toge obloge so izvedene z armaturno mrežo in brizganim betonom. Pri izbiri armaturne mreže je potrebno izbrati takšno, da pri brizganju ne prihaja do praznin za izvedeno oblogo, ter zagotoviti zadostno togost obloge tudi v območju stikov med posameznimi fazami izvedbe in v območju sidrnih glav. V območju naleganja glave sidra na sidrano oblogo lahko prihaja do točkovnega vnosa sorazmerno velikih sil, zato se lahko v tem območju uporabljajo posebni prefabricirani elementi, izvede se zgostitev armature, oz. uporabijo ustrezno velike sidrne plošče.

Vsi elementi obloge morajo biti izvedeni na način, da je predvidena trajnost obloge vsaj enaka predvideni življenjski dobi vgrajenih sider. Slednje je še posebej pomembno pri

sidranju oblog ob cestah, kjer so lahko nosilni in krovni betoni ter armatura obremenjeni s kloridi. Za zagotovitev zadostne trajnosti betona v oblogah je smiselno upoštevati zahteve standarda SIST EN 206-1:2003.

Toge obloge se običajno vodo nepropustne, zato je potrebno biti pri sistemu togih oblog pozoren na korektno izvedbo drenaže oz. lukenj za odvajanje zaledne vode.

### **2.11.2 Gibke in mehke obloge**

Gibke in mehke obloge se v splošnem uporabljajo v primerih, ko bi s takšnimi oblogami želeli zaščitili pobočja pred erozijo. Izbira vrste obloge je odvisna predvsem od naklona in višine brežine, ter lastnosti vrhnjega sloja zemljine. Mehkejše obloge, ki so običajno namenjene stabilizaciji vegetacije v začetku rasti, nimajo vloge na samo stabilnost pobočja pač pa le zadržujejo vegetacijo. Na trgu se pojavljajo različne sintetične in kovinske mreže, ki so namenjene različnim področjem uporabe – od stabilizacije vegetacije do preprečevanja erozije vrhnjih slojev zemljine.

### 3 PRESKUŠANJE PASIVNIH SIDER

#### 3.1 Zahteve standarda – pogostnost in namen preskušanja

V prejšnjih verzijah standarda EN 14490 (predstandardih) je bilo preskušanje pasivnih sider urejeno dokaj podrobno, tipi preskusov so bili razdeljeni na projektno-raziskovalni, ustreznostni in odobritveni preskus, pri čemer je bila za posamezen preskus podana zahtevana pogostnost preskusa, različni delni faktorji, standard sam pa je navajal dve različni metodi izvedbe preskusa: metodo s konstantno silo in metodo s konstantnim pomikom.

V zadnji verziji standarda EN 14490 sta predvidena dva tipa preskusov in sicer: izvedba preskusa na t.i. žrtvenem sidru ter izvedba preskusa na rednem sidru objekta. Namen prvega je ugotoviti nosilnost sidra v aktivni in pasivni coni ter se običajno izvede pred pričetkom del. V kolikor se pri izgradnji objektov pojavi drug tip temeljnih tal, je priporočljivo izvesti dodatne izvlečne preskuse na žrtvenih sidrih. Zahteve po pogostnosti izvedenih preskusov so podane v preglednici 2, v preglednici 3 pa so podane smernice za izvedbo in namen izvedbe posameznega preskusa.

Preglednica 2: Pogostnost preskušanja pasivnih sider, glede na tip preskusa (EN 14490)

| Tip preskusa   | Predlagana minimalna pogostnost preskusov nosilnosti  |                                       |
|--|---|---------------------------------------|
|  | Preskus žrtvenega sidra   | Preskus sidra objekta                 |
| Geotehnična kategorija 1:<br>Zanemarljivo tveganje za ljudi in premoženje  | Neobvezno   | Neobvezno                             |
| Geotehnična kategorija 2:<br>Brez izjemnega tveganja za ljudi in premoženje  | Če ni primerljive izkušnje v posameznih temeljnih tleh:<br><b>najmanj 3 žrtvena sidra z najmanj 1 žrtvenim sidrom v posameznem tipu temeljnih tal.</b><br><br>Če obstaja primerljiva izkušnja, potem je preskus žrtvenih sider neobvezen. | <b>2%, vendar najmanj 3 preskusi</b>  |
| Geotehnična kategorija 3:<br>Vse konstrukcije, ki ne spadajo v kategorijo 1 ali 2  | <b>Najmanj 5 žrtvenih sider z najmanj 2 žrtvenima sidroma v posameznem tipu temeljnih tal</b>   | <b>3%, vendar najmanj 5 preskusov</b> |
| Opomba 1: Geotehnična kategorija objekta se določi v skladu s standardom SIST EN 1997.<br>Opomba 2: Preskusna sidra morajo biti enakomerno razporejena po objektu<br>Opomba 3: Podana pogostnost preskušanja je minimalna.<br>Opomba 4: Kjer se izvajajo preskusi žrtvenih sider, se število preskusov na sidrih objekta lahko sorazmerno zmanjša.<br>Opomba 5: Pri razmikih sider, manjših od 0,8 m, je priporočljivo preskusiti skupino 4 sider. |   |                                       |

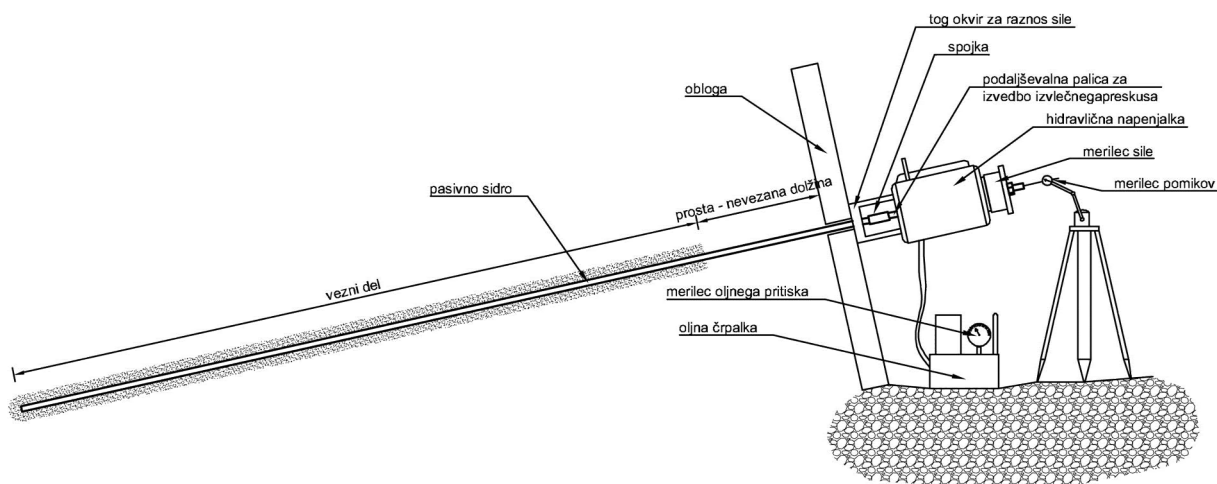
Predhodno vgrajena žrtvena sidra, preskušena do porušitve, so najzanesljivejši pokazatelj dejanske dosegljive nosilnosti sider v danih pogojih tal ob izbranih komponentah sider in

uporabljeni tehnologiji vgradnje. V kombinaciji s prekinitvijo povezave med injekcijsko maso v vrtini in palico, lahko preskusimo nosilnost sider v različnih plasteh oz. materialih, ter izničimo druge vplive, npr. vpetost v sidrano konstrukcijo. Vpetost v različnih plasteh oz. v sidrano konstrukcijo je mogoče neposredno po injektiranju sidra prekiniti z vstavitvijo gladke PE cevi.

Preglednica 3: Smernice za izvedbo in namen izvedbe posameznega preskusa (EN 14490)

| Namen preskusa                                      | Tip preskusa   |  |
|---|--|--|
|   | Preskus žrvenega sidra   | Preskus sidra objekta  |
|   | Dokaz mejne strižne odpornosti stika sidra in zemljine:<br>1.) vez v pasivni coni,<br>2.) vez v aktivni coni,<br>3.) vez vzdolž celotne dolžine pasivnega sidra. | Prikaz zadovoljivega obnašanja pasivnega sidra, t.j. doseganje zahtev iz projekta.<br>Preskus se izvede po celotni dolžni sidra.   |
| Čas preskusa  | Pred, med ali po vgradnji sidra  | Med ali po zaključku gradnje objekta   |
| Tip pasivnega sidra                                 | Žrtven sidro   | Sidro objekta, ki ostane v funkciji  |
| Ukrepi v primeru nezadovoljivih rezultatov preskusa | Pregled metode vgradnje in/ali razmislek o alternativni dolžini sider in njihovi razporeditvi.   | Konzultacija s projektantom glede potrebnih ukrepov in odobritev nadaljevanja del.   |
| Komentarji  | V kolikor je to potrebno, se preskusi žrtvenih sider izvedejo v vsakem tipu temeljnih tal.   | Pri preskušanju sider je potrebna previdnost, da ne pride do preobremenitve vezi med sidrom in injekcijsko maso, oz. da ne pride do poškodb protikorozijske zaščite.<br>V primeru, da je sidro preskušeno po izvedbi obloge, je potrebno pasivno sidro v vplivnem območju obloge ločiti od obloge. |

### 3.2 Priporočila standarda SIST EN 14490 v zvezi s preskusno opremo



Slika 18: Tipični elementi napenjalnega sistema (prirejeno) po EN 14490

Tipični elementi sistema za preskušanje pasivnih sider so prikazani na sliki 18. Standard EN 14490 podaja nekatera opozorila oz. priporočila v zvezi z uporabo opreme za preskušanje sider.

Preskuševalni sistem mora na nivoju maksimalne sile zagotavljati varno delovanje brez prekomernih deformacij. Okvir za raznos sile mora biti sprojektiran na način, da vzdrži sile, ki so enake najmanj preskusni sili  $P_p$ . Togost okvirja za raznos sile mora zagotavljati, da deformacije okvirja (npr. rotacije okrog ene osi) ne vplivajo na rezultate izmerjenega izvleka, zagotovljeno pa mora biti tudi, da v oblogo ne vnaša tlačnih napetosti, ki bi lahko oblogo porušile oz. trajno deformirale, pri čemer je slednje še posebej pomembno pri mehkejših oblogah oz. v primerih, ko je okvir postavljen direktno na zemljino.

Pred namestitvijo sistema za merjenje pomikov je priporočen vnos začetne sile, za zmanjševanje začetnih pomikov celotnega sistema, vendar je ta predobremenitev navzgor omejena z največ 10% preskusne sile  $P_p$ .

Naprava za vnos sile – hidravlični bat mora imeti nominalno kapaciteto najmanj enako maksimalni preskusni sili. Hod bata naj bo zadosten, tako da med preskusom preprijemanje pasivnega sidra ni potrebno. Meritev sile se lahko izvaja z manometri ali dinamometri, pri čemer slednji zagotavljajo bistveno večjo natančnost, so pa lahko v neugodnih gradbiščnih razmerah nezanesljivi. Standard EN 14490 zahteva, da je minimalna natančnost sistema za merjenje sile  $\pm 2\%$  maksimalne preskusne sile. Meritev pomikov mora biti izvedena z napravo, ki ima točnost odčitkov  $\pm 0,1$  mm. Merilniki pomikov morajo biti oprti tako, da so ločeni od naprav za vnos sile in od sistema za raznos sile. Opora merilnikov mora biti izvedena na način, sta izničena vpliv atmosferskih pojavov in morebitnih tresljajev v okolici.

Standard zahteva, da ima sistem za merjenje časa natančnost manjšo ali enako 1 s, sistem za merjenje temperature pa manjšo ali enako  $1^\circ\text{C}$ .

Sistem za izvedbo izvlečnih preskusov pasivnih sider na sliki 19 je opremljen s hidravličnim batom, okvirjem za raznos sile (okvir omogoča prilaganje različno ukrivljenim podlagam), preciznim dinamometrom natančnosti 1 kN, merilcem pomika natančnosti 0,01 mm in računalnikom za zajem podatkov. Ustrezna programska oprema omogoča izrisovanje diagrama pomik sila na gradbišču samem in tako izkušenemu preskuševalcu omogoča takojšen vpogled v dejanske rezultate nosilnosti in pojav morebitnih škodljivih vplivov kot je npr. prevelika vpetost sidra v oblogo.





Slika 19: Primer sistema za izvedbo izvlečnih preskusov (Zavod za gradbeništvo Slovenije)

### 3.3 Priporočila standarda SIST EN 14490 v zvezi z izvedbo preskusov

Priporočena metoda izvajanja izvlečnih preskusov po EN 14490 je metoda s konstantno silo – statičen obremenjevalni preskus, pri čemer se lahko za opazovanje lezenja v odvisnosti od tipa preskusa uporabi mero lezenja  $k$  v odvisnosti od logaritma časa (kot jo poznamo pri prednapetih sidrih) ali pa se opazuje izvleček na posamezni stopnji preskusa. Glede na tip preskusa se lahko uporabi različno število ciklov in stopenj vnosa sile. Predlagani kriteriji za statični obremenjevalni preskus so podani v preglednici 4.

Izvedba preskusa z opazovanjem lezenja omogoča zajem izredno natančnih rezultatov o dejanski nosilnosti sider, vendar je potrebno pri tem opozoriti, da morajo biti za merjenje mere lezenja izpolnjeni nekateri dodatni pogoji, ki jih standard izrecno ne poudarja. Mera lezenja je definirana kot:

$$k = (s_2 - s_1) / \log_{10}(t_2 / t_1), \text{ kjer sta:} \quad (7)$$

$s_1$  in  $s_2$  izmerjena pomika v času  $t_1$  in  $t_2$ .

V kolikor bi želeli spremljati mero lezenja  $k$ , bi bilo bolj primerno uporabiti opremo, ki omogoča zajem pomikov z natančnostjo 0,01 mm, saj obstaja verjetnost, da z manj natančnimi sistemi (npr. natančnost 0,1 mm) med posameznimi intervali, lezenja nebi zaznali, oz. bi zaznali, da se je lezenje trajno umirilo. V primeru opazovanja mere lezenje je potrebno uporabiti napravo za vnos sile, ki je zmožna na posamezni stopnji sile zagotoviti, da sila v sidru ne niha, ustrezno togo pa mora biti pripravljeno tudi sidrišče za preskus.

Preglednica 4: Predlagani kriteriji za statični obremenjevalni preskus pasivnega sidra (EN 14490)

| Tip preskusa                    | Preskus žrtvenega sidra   | Preskus sidra objekta  |
|---------------------------------|---|--|
| Ocena maksimalne preskusne sile | Vrednost $P_p$ mora biti določena v projektu, pri čemer je potrebno upoštevati relevantni projektni pristop po SIST EN 1997 in primerne delne faktorje varnosti.  | Vrednost $P_p$ mora biti določena v projektu, pri čemer je treba upoštevati relevantni projektni pristop po SIST EN 1997 in primerne delna faktorje varnosti.  |
| Število ciklov                  | V kolikor se uporabi več kot en cikel, potem naj sila v prvem ciklu ne preseže karakteristične sile privzete v projektu.  | Običajno je zadosten en cikel.   |
| Število stopenj sile            | Maksimalna velikost stopnje naj bo zadostna za določitev diagrama sila-pomik in naj običajno ne preseže 20% maksimalne sile cikla.  | Minimalno število stopenj sile je 5.   |
| Interpretacija rezultatov       | Rezultati preskusa na žrtvenem sidru so sprejemljivi pod pogojem, da je mera lezenja pri maksimalni sili $P_p$ manjša od 2 mm, razen v kolikor je s projektom določena manjša mera lezenja.<br>Izmerjeni izvleček na glavi sidra ni manjši od pričakovanega elastičnega raztezka proste dolžine $L_{db}$ preskusnega sidra. | Rezultati preskusa na sidru objekta so sprejemljivi pod pogojem, da je mera lezenja pri maksimalni sili $P_p$ manjša od 2 mm, razen v kolikor je s projektom določena manjša mera lezenja.<br>Izmerjeni izvleček na glavi sidra ni manjši od pričakovanega elastičnega raztezka proste dolžine $L_{db}$ preskusnega sidra. |

Kot izhaja iz preglednica 4, standard SIST EN 14490 izrecno navaja, da preskusno silo  $P_p$  določi projektant (in sicer glede na projektni pristop po SIST EN 1997), pri čemer mora biti raven preskusne sile izbrana tako, da velja:

$$P_p < 0,80 R_{t,k} \text{ in } P_p < 0,95 R_{t0,1,k}, \quad (8)$$

pri čemer sta:

$R_{t,k}$ ...karakteristična natezna nosilnost jeklenega prereza palice sidra,

$R_{t0,1,k}$  ...karakteristična natezna nosilnost jeklene prereza palice sidra pri deformaciji 0,1%,

$P_p$  ...maksimalna preskusna sila.

### 3.4 Izvedba izvlečnih preskusov

#### 3.4.1 Statičen obremenilni preskus

Preskus žrtvenega sidra je preskus pri katerem osno silo v pasivno sidro vnašamo v korakih do preskusne sile  $P_p$  z namenom potrditve, da vgrajeno sidro ustrezno nosilnost za posamezen tip tal na dani lokaciji. Običajno sidro obremenjujemo do porušitve ali do karakteristične vrednosti odpornosti predvidene v projektu. Preskus žrtvenega sidra mora biti izveden na žrtvenih sidrih, ki niso del dejanske konstrukcije, sidra pa morajo biti vgrajena in preskušena pred vgradnjo sider objekta na tistem območju. Pogoji tal, v katera je žrtveno sidro vgrajeno, morajo biti reprezentativni za pogoje tal celotnega objekta, oz. dela objekta.

Predlagan postopek izvedbe preskusa na žrtvenem sidru je naslednji (povzeto po EN 14490);

- po vnosu začetne sile  $P_0$  se zabeleži začetni pomik  $s_0$ ,
- sila se enakomerno povečuje do maksimalne sile cikla oz. do preskusne sile, oz. dokler ne pride do porušitve,
- po vnosu sile je potrebno na vsakem koraku silo vzdrževati konstantno, dokler se pomiki pasivnega sidra ne umirijo, t.j. dokler izmerjeni pomik med dvema zaporednima odčitkoma ( $s_2-s_1$ ) ni manjši od 0,5 mm, pri čemer se odčitki izvajajo v času  $t = 0', 1', 2', 5', 10', 15'$  in  $20'$ ,
- če na kateremkoli koraku sile pasivno sidro ne more ohranjati vnesene sile in ni možno izpolniti kriterija 0,5 mm, oz. kriterija mere lezenja, potem se sile ne sme povečevati in se zabeleži rezidualna sila v sidru (v splošnem to predstavlja mejno izvlečno odpornost  $R_t$ ),
- po doseženi maksimalni sili cikla  $R_t$  ali  $P_p$  in opazovalnem obdobju vzdrževanja sile se preskusno sidro razbremeni na začetno silo  $P_0$  in izmeri rezidualni pomik  $s_r$  in če je potrebno, se izvedejo nadaljnji cikli sile.

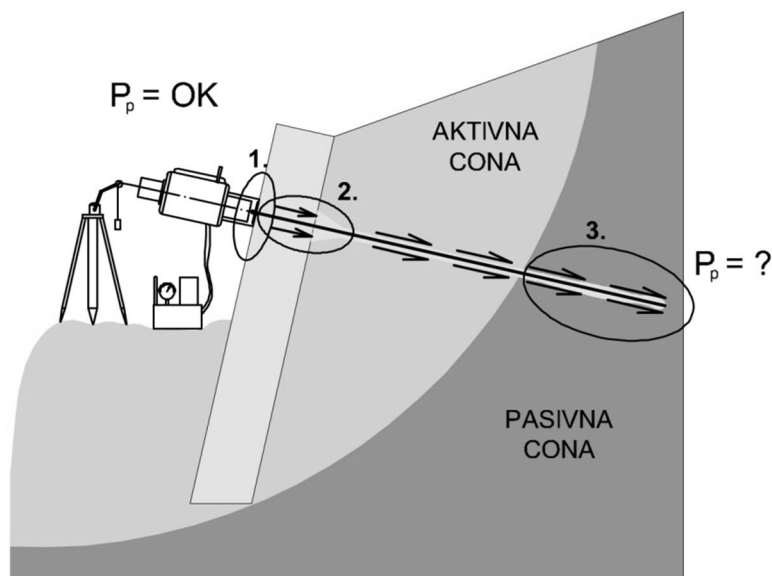
Izvedba preskusa sidra objekta ne odstopa bistveno od zahtev za izvedbo preskusa žrtvenega sidra.

V zvezi s podajanjem rezultatov izvlečnih preskusov EN 14490 navaja več različnih možnosti, pri čemer se v praksi kot dobra in primerna metoda izkazuje metoda sočasnega zajemanja pomika in sile (Sl. 21, 22, 23), z ločenim spremljanjem časa.

### 3.4.2 Presojanje rezultatov preskušanj

Zelo pomembno je, da se v fazi projektiranja in izvedbe nameni posebno pozornost pripravi sidrišč in sider. Korektno pripravljena sidrišča (predvsem pri višjih preskusnih silah) in sidra so namreč bistvena za korektno izvedbo izvlečnih preskusov in oceno nosilnostnih karakteristik sider, predvsem imajo velik vpliv na zanesljivost in uporabnost rezultatov. Neustrezno pripravljena sidrišča zaradi možnega premikanja (bočno izmikanje, vtiskanje itd.) sistema za raznos sile otežijo zajem izvlečkov sider, neustrezno pripravljena sidra pa onemogočajo določitev dejanske nosilnosti sidra v pasivni coni zaledja (slika 20).

Kljub temu, da standard izrecno navaja, da je potrebno pri izvedbi žrtvenih sider preveriti nosilnost sidra v pasivni coni, se to običajno ne izvaja. Prepogosto so v praksi uporabniki pasivnih sider prehitro zadovoljni z izvedbo in rezultati izvlečnih preskusov, redko pa se opravi analiza dobljenih rezultatov.



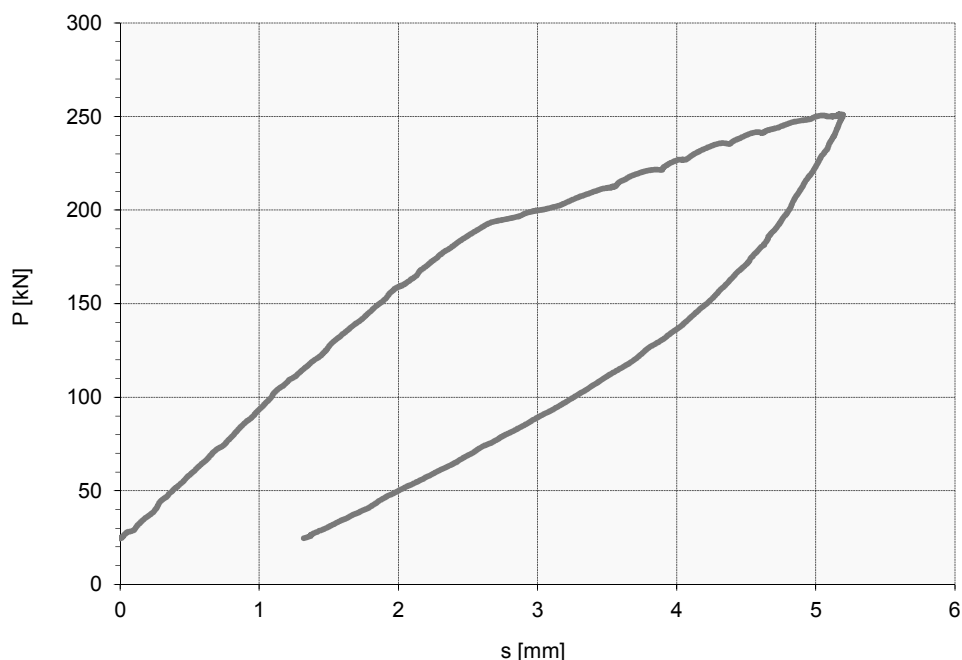
Slika 20: Potencialni vzroki za nezanesljivost in neuporabnost izvedenih izvlečnih preskusov sider: 1. neprimerno pripravljena sidrišča oz. neprimeren raznos sile nosilnega okvirja napenjalnega sistema, 2. vpetost sidrne palice v sidrano konstrukcijo ali vpetost sidra v vrtini v območju aktivne cone, ne prikaže dejanske nosilnosti sidra v pasivni coni, 3. čeprav je preskusna sila pri preskusu uspešno dosežena ne vemo ali je ta enaka nosilnosti sidra v pasivni coni

Standard EN 14490 pri preskušanju rednih sider objekta dopušča možnost, da se preskusi nosilnost sidra po njegovi celotni dolžini, vendar je pri tem potrebno vedeti in standard na to izrecno opozarja, da je potrebno sidro v območju sidrane konstrukcije ločiti od obloge in tako poskrbeti, da sidro ni preveč vpeto v območju obloge, ker nam to lahko da lažne rezultate o zadostni nosilnosti sidra. Zgodi se, da je med oblogo in zemljino prazen prostor, ki se pri

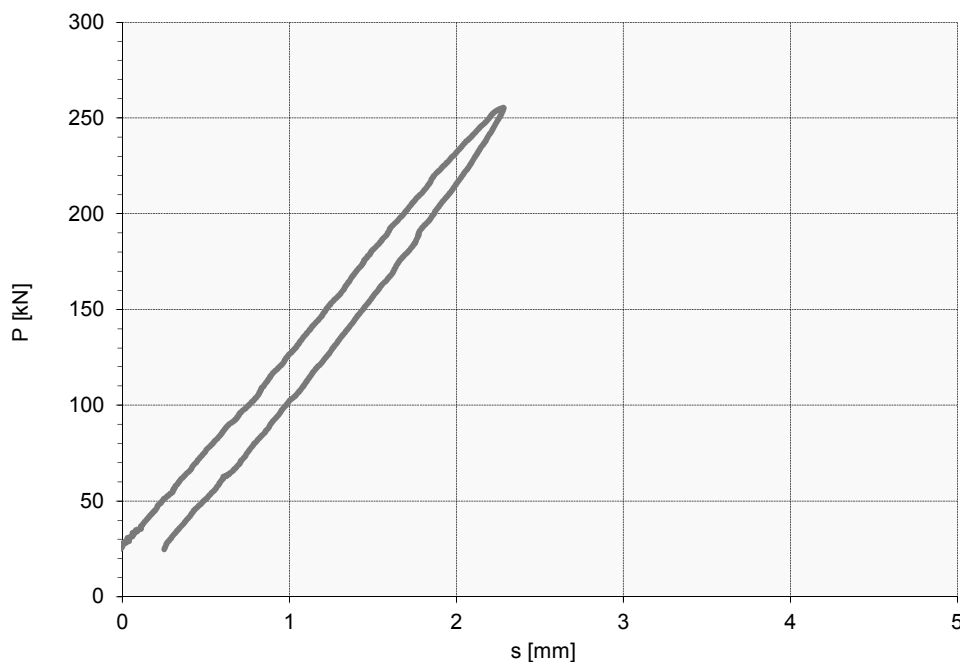
injektiranju sidra napolni z ostankom injekcijske mase, ki izteče oz. se pri vtiskanju sidra izrine iz vrtine. V takšnem slučaju je vpetje sidra v območju obloge še posebej močno.

Na sliki 21 in 22 so na diagramih [pomik-sila] prikazani rezultati izvlečnega preskusa istega tipa pasivnega sidra v enakih temeljnih tleh ter vgrajenih z enako tehnologijo vgradnje; na sliki 21 je pri sili 200 kN na diagramu vidna sprememba v krivulji, ki lahko nakazuje na aktivacijo trenjske nosilnosti sidra v izvedeni vrtini. Naklon krivulje na sliki 22 je enak naklonu krivulje, dobljene pri klasičnem nateznem preskusu jeklene palice sidra v laboratoriju in je lahko indikator prevelike vpetosti palice sidra v sidrano konstrukcijo. Na sliki 23 je prikazan diagram nateznega preskusa jeklene palice dolžine 0,70 m, ki je bila preskušena na trgalnem stroju, rezultati preskusa palice pa so obdelani tako, da so izvlečki izrednoteni na dolžino 1 m, kolikor znaša podaljševalna palica pri izvedbi izvlečnega preskusa. Podaljševalna palica za izvedbo preskusa je razvidna na sliki 18.

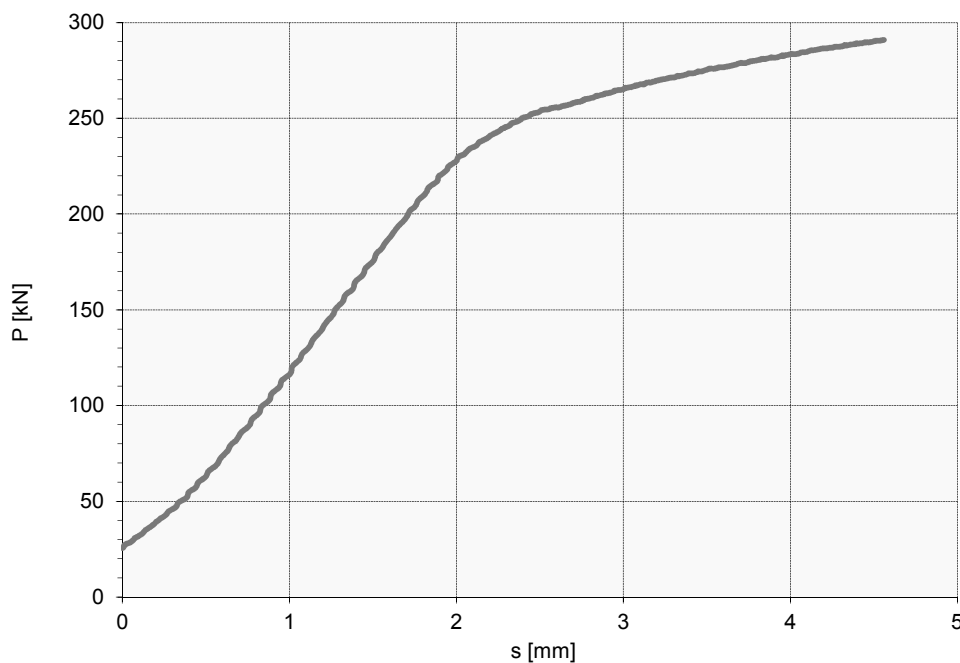
Glede na dobljeni rezultat lahko sklepamo, da je bilo sidro, katerega rezultat izvlečnega preskusa je na sliki 22, pri preskusu preveč vpeto v podlogo in tako ni bila preskušena dejanska nosilnost veznega dela.



Slika 21: Rezultat izvlečnega preskusa pasivnega sidra. Pri sili 200 kN je vidna sprememba v naklonu krivulji, kar lahko nakazuje na aktivacijo trenjske nosilnosti sidra v izvedeni vrtini  
(Zavod za gradbeništvo Slovenije)



Slika 22: Rezultat izvlečnega preskusa pasivnega sidra. Naklon je podoben naklonu krivulje dobljene pri klasičnem nateznem preskusu jeklene palice sidra v laboratoriju in je lahko indikator prevelike vpetosti palice sidra v sidrano konstrukcijo (Zavod za gradbeništvo Slovenije)



Slika 23: Izvrednoteni rezultati 1 m dolge podaljševalne palice uporabljene pri izvlečnem preskusu. Rezultati so izvrednoteni na podlagi nateznega preskusa 0,70 m dolgega vzorca (Zavod za gradbeništvo Slovenije)

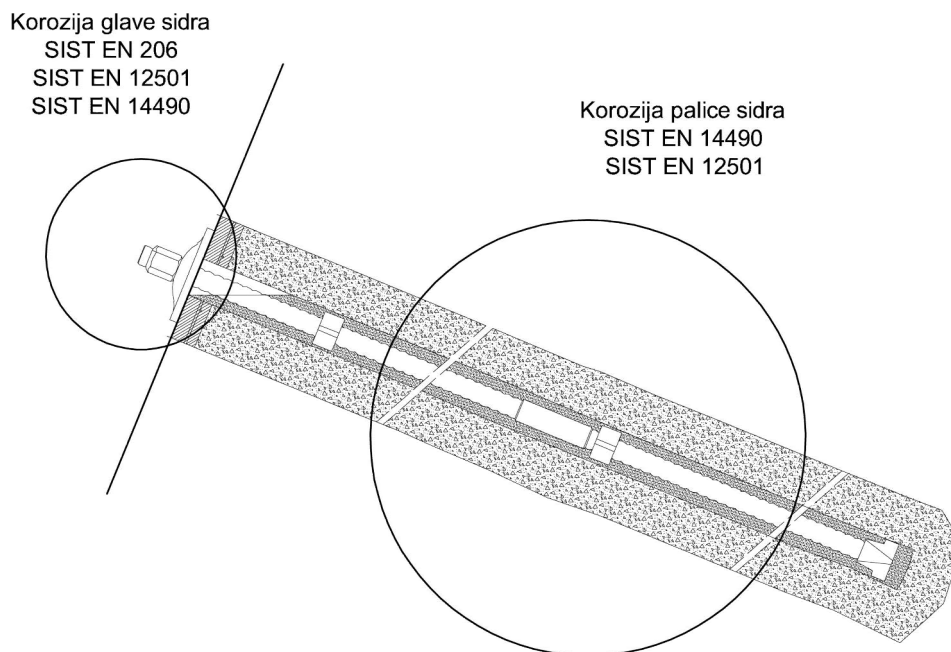
V literaturi se pojavljajo ideje o tem, da bi bilo mogoče iz rezultatov izvlečnih preskusov izrednostiti efektivne proste dolžine in tako ugotoviti, kako globoko dejansko preskušamo nosinost sidra oz. strižno odpornost veznega dela. Za izrednotenje efektivne proste dolžine bi bilo potrebno pri izvajanju izvlečnih preskusov natančno spremljate pomike in morebitne zasuke glave sidra oz. napenjalne opreme, vtiskanje obloge, različne togosti podaljševalnih palic in okvirjev za napenjanje, kar je pogosto nemogoče, zato izrednotenje efektivne proste dolžine verjetno nebi dalo uporabnih rezultatov.

## 4 TRAJNOST IN PROTIKOROZIJSKA ZAŠČITA

### 4.1 Ocena agresivnosti temeljnih tal in okolja

Po mojem mnenju je pri presoji agresivnosti temeljnih tal in okolja potrebno sidro ločiti na dva dela in jih obravnavati ločeno. Glava sidra, ki je izpostavljena zunanjim vplivom (npr. atmosferski vplivi, soljenje cest) je lahko bistveno drugače korozijsko obremenjena kot del sidra v zemljini. Razdelitev je prikazana na sliki 24.

Pri določanju agresivnosti na posamezni lokaciji moramo tako zajeti dva vidika in sicer agresivnost temeljnih tal kot takih, ki se nanaša na geološko sestavo temeljnih tal in prisotnost talne vode, z različno vsebnostjo raztopljenih agresivnih snovi, ter agresivnost okolja, ki se nanaša na vplive, ki povzročajo korozijske procese na glavi sidra in so vezani predvsem na atmosferske vplive oz. pogoje zunanjega okolja.



Slika 24: Korozija sidra

Standard EN 14490 primerne metodologije za ugotavljanje vplivov na nastanek korozije v območju sidrne glave ne navaja, vendar se v praksi v ta namen lahko uporabi standard SIST EN 206-1:2003. Ocena stopnje izpostavljenosti po SIST EN 206-1:2003 podaja zahteve za izbiro ustreznega krovnega betona oz. injekcijske mase. Poleg ustrezne odpornosti na posamezne izpostave je predvsem pri trajnih pasivnih sidrih pomembna tudi vodonepropustnost krovnih plasti betona.



Posebno pozornost je treba nameniti prehodu sidra s sidrane konstrukcije oz. obloge brežine v zemljino, saj je območje prehoda pri vgradnji sidra običajno težje zapolniti, stik med konstrukcijo in tlemi pa je idealen za pronicanje vode. Pri vgrajevanju trajnih različic pasivnih sider se prehode običajno rešuje z vstavljanjem PE cevi oz. drugih elementov, pogosto pa se v praksi pozablja na izvedbo poinjektiranja tega območja, ki ga je treba izvesti zaradi odtekanja oz. razporejanja injekcijske mase v vrtni.

V temeljnih tleh se lahko nahajajo različni agresivni elementi, zato lahko predstavljajo kompleksno kemično okolje, njihova prisotnost pa se lahko tudi znotraj posamezne lokacije gradnje lahko bistveno spreminja. Oceno agresivnosti temeljnih tal je treba izvesti s posebno skrbnostjo, saj odločilno vpliva na določitev načinov protikorozijske zaščite palice in glave sidra, s tem pa posledično neposredno vpliva na življenjsko dobo sidra in sidranega objekta. Pri ocenjevanju agresivnosti temeljnih tal in okolja velja opozoriti na standard SIST EN 12501-2:2003, ki podaja lastnosti posebej agresivnih zemljin, poleg tega pa podaja primere okolij, kjer je velika možnost prisotnosti blodečih tokov. V takšnih okoljih vgradnja električno neizoliranih pasivnih sider brez dodatnega preverjanja morebitne prisotnosti blodečih tokov ni dovoljena.

V dodatku B standarda EN 14490 so podani kriteriji za oceno stopnje agresivnosti temeljnih tal, pri čemer standard pri klasifikaciji stanja temeljnih tal predvideva štiri različne kategorije tal. V sklopu ocene korozivnosti se upoštevajo naslednji bistveni parametri agresivnosti temeljnih tal:

- tip zemljine (glede na strukturo, vsebnost odpadkov ali kontaminiranih voda itd.),
- specifična električna upornost zemljine,
- vlažnost zemljine,
- vrednost pH (merilo za kislost in bazičnost).

Na podlagi izmerjenih oz. ocenjenih parametrov se za obravnavana temeljna tla določi število točk, pri čemer večje število točk pomeni bolj agresivna temeljna tla. Primarni vzrok nastanka korozije na jeklenih sestavnih delih sidra so elektrokemični procesi, zato poleg zgoraj naštetih parametrov na degradacijo jekla in injekcijske mase dodatno vpliva vsebnost kloridnih ionov, vsebnost sulfatov in v vodi raztopljenega kisika (Phear in sod., 2005). Poleg določitve agresivnosti temeljnih tal, ki ima neposredni vpliv na korzijske procese nosilne palice sidra, je zelo pomembno določiti tudi morebitne vplive okolja, ki vplivajo na degradacijo območja sidrne glave.

Področje trajnosti in protikorozijske zaščite v standardu EN 14490 pokriva informativni dodatek B, katerega namen je seznanitev vseh, vključenih v izvedbo sidranja, s koncepti projektiranja pasivnih sider. Po navedbah standarda EN 14490 ugotovljeni zaključki in priporočila izhajajo iz obsežne raziskave Clouterre (1991), v kateri so se ciljno osredotočili na delovanje korozijskih procesov v temeljnih tleh, in predstavljajo primerne smernice, na podlagi katerih lahko presojamo o ustreznosti protikorozijskih ukrepov.

Določitev pričakovane projektne življenjske dobe vgrajenih pasivnih sider je ključnega pomena pri zasnovi protikorozijske zaščite. Predhodni verziji standarda EN 14490 (predstandarda) sta razlikovali predvideno življenjsko dobo do 2 leti (začasna sidra) in nad 2 leti (trajna sidra), medtem ko zadnja verzija standarda predvideva, da se na podlagi pričakovane projektne življenjske dobe izbere primerna protikorozijska zaščita sistema pasivnega sidranja. Določitev posameznih s korozijo bolj obremenjenih mikrolokacij na posameznem geotehničnem objektu je vodilo za pripravo obsega protikorozijske zaščite in ključna za trajnost objekta.

## 4.2 Tipi protikorozijske zaščite

Ustrezno protikorozijsko zaščito v času pričakovane projektne življenjske dobe sistemov pasivnega sidranja je mogoče zagotoviti na več različnih načinov:

- dopustitev žrtvene debeline jeklene nosilne palice sidra,
- oblitost s cementno injekcijsko maso,
- površinske prevleke jekla (galvansko pocinkanje, epoksi premazi),
- plastična zaščitna cev z notranjim poinjektiranjem,
- nerjavno jeklo,
- kombinacija zgoraj naštetih zaščitnih ukrepov.

Vsaka od naštetih metod ima svoje posebnosti in slabosti, ki jih je treba pri projektiranju oz. izvajanju sidrnih del upoštevati. Ob tem velja omeniti, da se določene metode protikorozijske zaščite jeklene sidrne palice za izvedbo trajnih pasivnih sider v nekaterih evropskih državah štejejo kot neustrezne.

V primeru resnega utemeljenega dvoma v zvezi z ustreznostjo predlagane tehnologije vgradnje v močno agresivnih tleh oz. na področjih s prisotnimi blodečimi tokovi bi bilo najprimerneje vgraditi trajna električno izolirana sidra, pri katerih lahko z meritvijo električne upornosti dokažemo, da so jekleni deli sider v brezhibnem zaščitnem ovoju in so tako ločeni od agresivnega okolja.

#### 4.2.1 Žrtvena debelina

Sistem protikorozijske zaščite z žrtveno debelino temelji na principu, da se zahtevana projektna življenjska doba sidrne palice pasivnega sidra zagotavlja s predimenzioniranjem preseka palice sidra. Predvidena izguba preseka tekom življenjske dobe je povzeta po različnih izkopanih jeklenih gradbenih elementih in oceni stopnje korozije (Phear in sod., 2005).

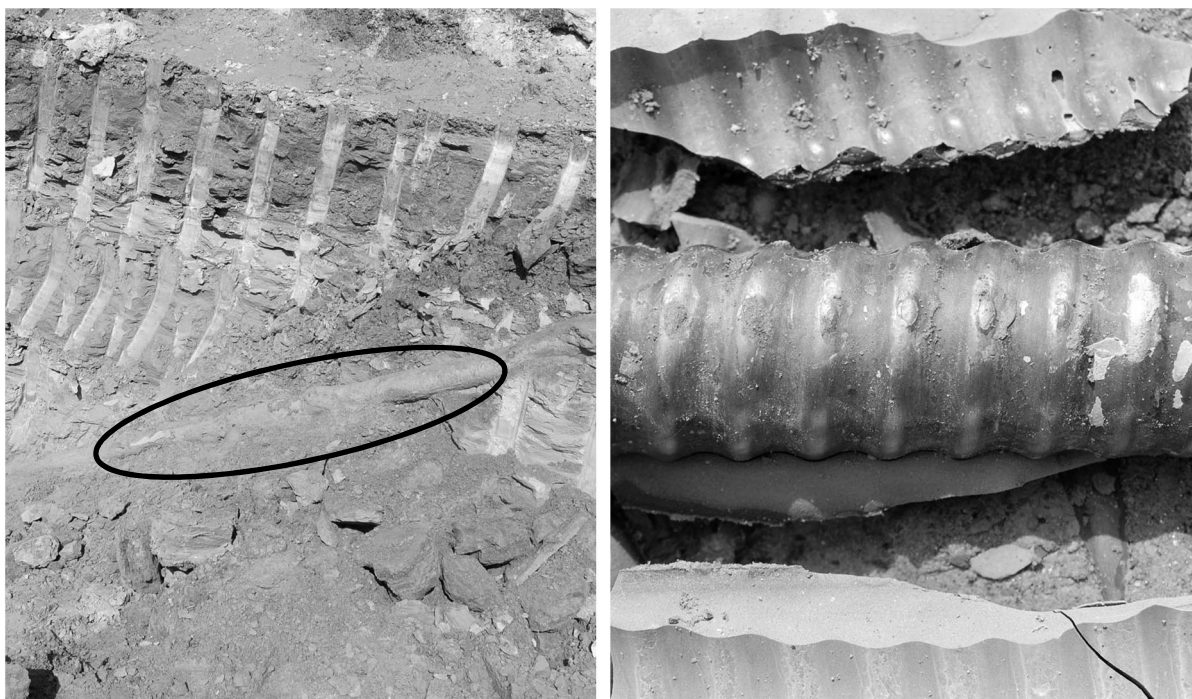
Zaščita sidrne palice z žrtveno debelino ima dve omejitvi; prva je ta, da ni primerna pri uporabi sidrnih palic z majhnimi prečnimi preseki, standard EN 14490 namreč priporoča, da žrtvena debelina ne povzroči izgube preseka palice za več kot 50 %, dodatno pa je potrebno pri izgubi prečnega preseka biti pozoren na prekoračitev strižnih napetosti na palico sidra v območje drsine. Zaradi površinske korozije jeklene palice lahko pride do oslabitve stika med jekleno palico in cementno injekcijsko maso, kot posledica pokanja ali delaminacije injekcijske mase, pri čemer ti vplivi in morebitne posledice v praksi še niso bile podrobno raziskane (Phear in sod., 2005).

V splošnem zaradi nepredvidljive hitrosti odvijanja procesov korozije zagotavljanje zadostne življenjske dobe sider zgolj z žrtveno debelino ni najbolj primerno. Še posebej je potrebno biti previden v primerih, ko niso izvedene natančne analize agresivnosti temeljnih tal in talne vode, pri vgradnji sider v umetne nasipe, vgradnji v bližini virov vode različni korozivnih potencialov itd.

V primeru, da se v projektu upošteva žrtvena debilna sider, je potrebno upoštevati, da se z korozijo jekla manjša tudi natezna nosilnost sidrne palice in s tem faktor varnosti, ki ga upoštevamo pri izračunu nosilnosti sider po jeklu. V takšnem primeru bi bilo potrebno natezno silo v sidru projektirati na manjši presek in nosilnost sidra, čeprav lahko tak slučaj nastopi šele v daljni prihodnost.

Zanašanje na žrtveno debelino, predvsem v primeru trajnih objektov, ni najbolj zanesljivo, saj so korozijski procesi v tleh pogosto nepredvidljivi oz. se odvijajo različno hitro, sama kontrola korodiranosti elementov sidra pa je praktično nemogoča. Na sliki 25 je primer sidra vgrajenega v rahlo agresivno zemljino (po kriterijih, ki izhajajo iz EN 14490). Na mestih, kjer je bilo sidro oblitno z injekcijsko maso, korozije ni bilo, na mestih, kjer pa je bilo sidro v stiku s temeljnimi tlemi pa je v času 14 dni po vgradnji prišlo do jamičaste korozije. V tem konkretnem primeru je šlo za začasno opiranje gradbene jame, zato je bila življenjska doba vgrajenih sider zadostna. V primeru, da bi se vgrajevala sidra z daljšo življenjsko dobo, bi

bilo po mojem mnenju potrebno s primerno metodo vgradnje zagotoviti zadostno oblitost sidra po njegovi celotni dolžini in to dokazati na testnem polju.



Slika 25: Primer nastanka korozijskih poškodb na palici samouvrtalnega sidra  
(Zavod za gradbeništvo Slovenije)

#### 4.2.2 Zaščita s cementno injekcijsko maso oz. betonom

EN 14490 navaja, da je alkalno okolje vezanega cementa ugodno za preprečevanje nastanka in intenzivnost pojava korozijskih procesov na jeklenih sestavnih delih sidra. Dodatna dobra lastnost injekcijske mase, ki jo navaja EN 14490 je ta, da so raziskave pokazale, da lahko razpoke v masi velikostnega reda do 0,1 mm smatramo zadostno tesne in ne predstavljajo nevarnosti za korozijo jekla. Pri izbiri cementa za injekcijsko maso oz. krovni beton je potrebno biti pozoren, da glede na pogoje in agresivnost tal izberemo primeren tip cementa (npr. sulfatno odporni cement). Pri zaščiti jeklenih komponent sidra s cementno injekcijsko maso je glede na tip temeljnih tal oz. usmerjenost vrtin sider treba izbrati primerno metodo vgradnje. V praksi se izkaže, da je v nestabilnih vrtinah edina ekonomsko upravičena možnost za izvajanje protikorozijske zaščite s cimento injekcijsko maso ta, da se izvaja sočasno vrtanje in injektiranje. Pri izvedbi protikorozijske zaščite s cementno injekcijsko maso je treba zagotovi, da sloj injekcijske mase med palico sidra in vrtino po celotni dolžini dosega minimalno predvideno debelino. Zahtevo je možno izpolniti z uporabo ustreznih distančnikov oz. primerno tehnologije vgradnje.

Predvsem v primeru vgradnje trajnih pasivnih sider in izvedbi protikorozijske zaščite jeklenih delov sidra s cementno injekcijsko maso je priporočljivo, da se v sklopu izvedbe testnega polja izvedbe odkop sidra in ugotovi dejansko minimalno oblitost s cementno injekcijsko maso.

#### **4.2.3 Površinske prevleke**

Najpogostejši površinski prevleki jekla sta pocinkanje oz. epoksi premazi. Kakovost protikorozijske zaščite je odvisna od kakovosti same izvedbe kot tudi debeline nanosa. V splošnem izvedba protikorozijske zaščite s takimi površinskimi prevlekami niso najboljša izbira, saj pri rokovanju s sidri na gradbišču pride do poškodbe prevlek. Izvedba protikorozijske zaščite s površinskimi prevlekami pri samouvrtalnih sidrih ni primerna, saj se pri manipulaciji na gradbišču, predvsem pa med vrtanjem vrtine in iznašanjem izvrtanine, nanosi trajno in v veliki meri poškodujejo, tako da ne morejo opravljati svoje funkcije.

#### **4.2.4 Drugi načini zaščite pred korozijo**

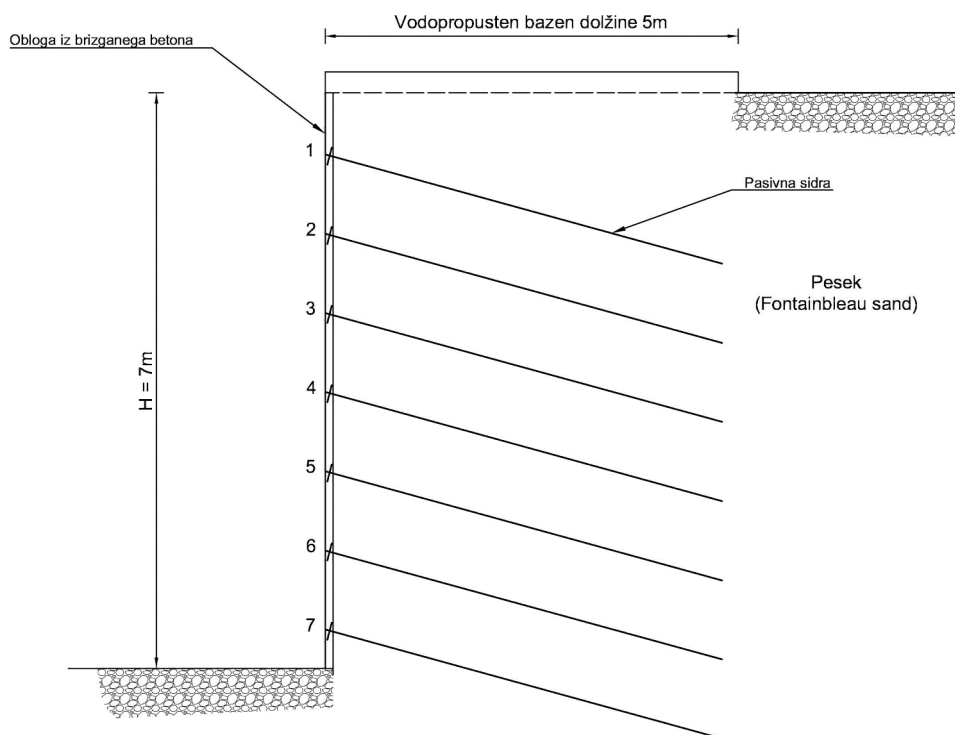
Na evropskem tržišču se pojavljajo palična sidra v PE ovoju, pri katerih se izvaja injektiranje tako notranjosti PE ovoja sidra kot tudi praznega prostora med PE ovojem in steno vrtine, s čimer lahko dosežemo visoko stopnjo protikorozijske zaščite. Pri tej metodi je potrebna pozornost, da se uporabijo PE cevi ustrezne kakovosti, da ne pride do poškodb PE cevi med transporti in vgradnjo v vrtino, ter da se postopek injektiranja izvede korektno.

Dodatna možnost izvedbe korozijsko odpornih sidrnih elementov je uporaba nerjavnega jekla. Ker je kvalitetno nerjavno jeklo drago, se v praksi ne uporablja. V primeru uporabe nerjavnih jekel, velja opozorilo, da je nerjavnih jekel več različnih tipov, pri čemer je potrebna velika previdnost pri izbiri takšnih tipov jekel, saj nekateri tipi nerjavnih jekel, kljub svojemu poimenovanju ne ponujajo ustrezne zaščite v okoljih s povečano prisotnostjo kloridov (Phear in sod., 2005). Dodaten problem, ki lahko nastane pri uporabi nerjavnih jekel, je morebiten stik med običajnim in nerjavnim jeklom zaradi katerega lahko pride do nastanka t.i. galvanske korozije.

## 5 ANALIZA PRIMERA

Vgradnja paličnih sider se običajno izvede ko je potrebno začasno ali trajno stabilizirati izkop ali posamezno fazo izkopa pri izvedbi različnih geotehničnih konstrukcij. Kakšen je vpliv gradnje sider na globalno stabilnost izvedenega izkopa bom prikazal z analiziranjem primera, ki je bil izveden v sklopu obširne raziskave Clouterre, opravljene v Franciji v 80. in 90. letih. (Schlosser in sod., 1993).

Namen raziskave Clouterre je bil ugotoviti vpliv vgradnje pasivnih sider na pomike in stabilnost sidranih geotehničnih konstrukcij, ter nastanek nateznih, upogibnih in strižnih obremenitev sider pri premiku sidrane konstrukcije. Izvedeni so bili trije ločeni preskusi v naravni velikosti.



Slika 26: Shematski prikaz preskusa (Schlosser in sod., 1993: str 16)

V prvem primeru je bil izveden vertikalni izkop do globine 7 m in vgrajenih 7 vrst pasivnih sider dolžine 6 in 8 m. Zemljina za sidrano oblogo je bila suha. Po izvedenem sidranju je bil na površju, v razdalji 5 metrov za sidrano konstrukcijo postavljen bazen s prepustnim dnom, ki je zemljino zasičil z vodo. Konstrukcija je bila izdelana na način, da je bil faktor varnosti globalne stabilnosti, pred pričetkom dodajanja vode - 1,1. Med tem ko se je zemljina polno zasičila, so opazovali nastanek in povečevanje nateznih napetosti v sidrih, pomike obloge in

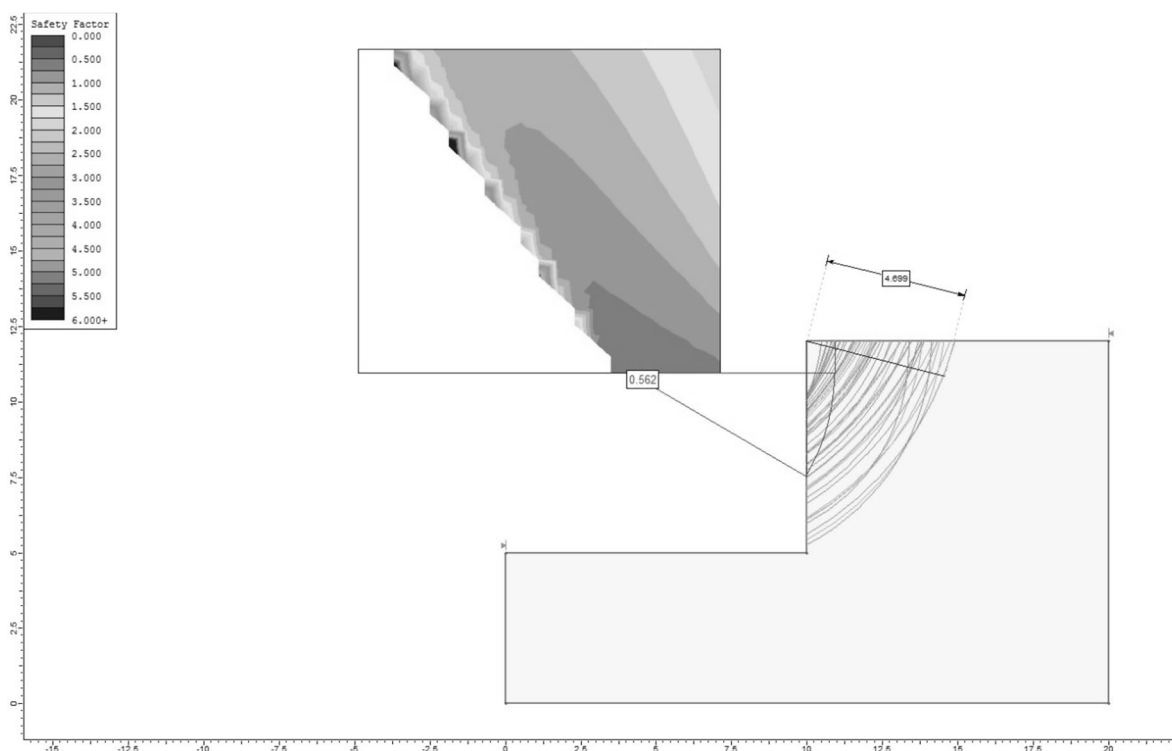
deformacijo zemljine. Pri polno zasičeni zemljini ni prišlo do porušitve, saj se je spodnji del sidrane obloge vtisnil v podlogo. Shematski prikaz izvedena preskusa je na sliki 26.

V drugem primeru je bil zveden vertikalni izkop do globine 4 metre ter vgrajene 3 vrste sider. Po vgradnji sider so nadaljevali z izkopom do globine 6 m, pri čemer dodatna sidra niso bila vgrajena. Med izkopom do končne globine je prišlo do lokalne porušitve, pri čemer so vgrajena sidra preprečila popolno porušitev konstrukcije.

V tretjem primeru so za stabilizacijo 6 m vertikalnega izkopa uporabili posebna teleskopska sidra ter s spreminjanjem njihove dolžine opazovali, kdaj pride do porušitve, ter deformacije zemljine po porušitvi.

## 5.1 Vhodni podatki

Ker ja analiza napetosti, deformacij in pomikov zelo zahtevna in ker nosilnostne karakteristike sider uporabljenih v prvem primeru preiskave niso navedene, sem se odločil, da bom za namen diplomskega dela analiziral vpliv različnih dimenzij pasivnih sider, ki se v Republiki Sloveniji najpogosteje vgrajujejo (samouvrtalna sidra R32, R38 in R51), rastrov vgradnje sider ter zasičenosti zemljine za oporno konstrukcijo na faktor varnosti globalne stabilnosti.



Slika 27: Globalna stabilnostna analiza ne-sidranega izkopa. Na sliki so prikazane kritične ravnine, ki imajo faktor varnosti nižji od 1

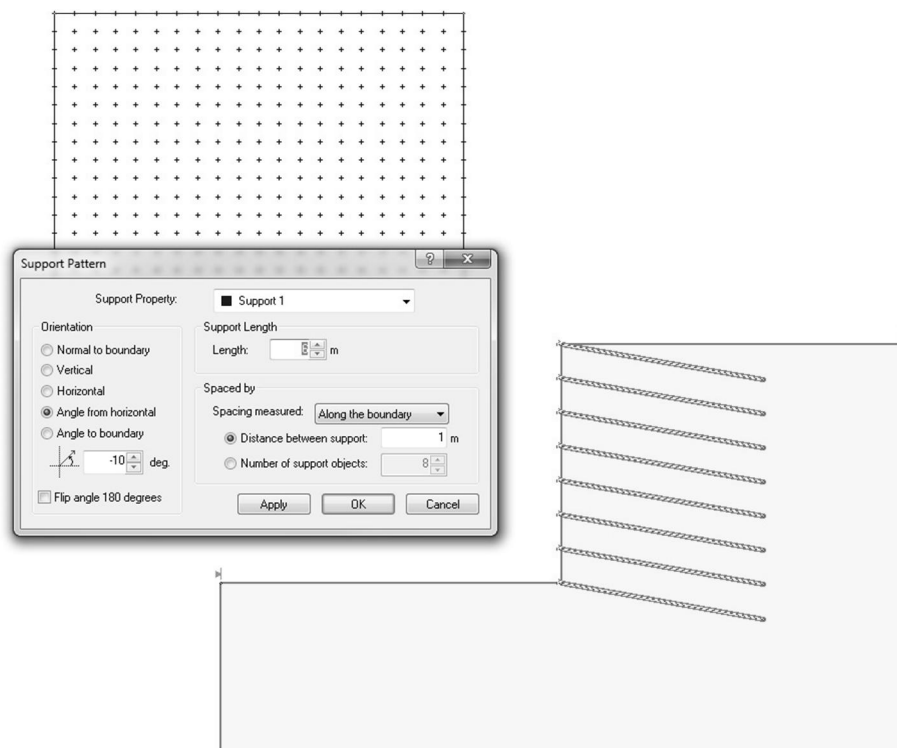
Pri raziskavi je bil izveden vertikalni izkop globine 7 metrov in sicer v pesku (Fontainebleau sand). Geomehanski podatki za lokacijo izvedene raziskave so naslednji:

- prostorninska teža suhega peska  $\gamma = 16,5 \text{ kN/m}^3$ ,
- strižni kot  $\varphi = 38^\circ$  in kohezija  $c = 4 \text{ kPa}$ .

Globalna stabilnost ne-sidranega izkopa v primeru, ko je bila zemljina suha in vse ravnine, ki imajo faktor varnosti manjši od 1 so prikazane na sliki 27.

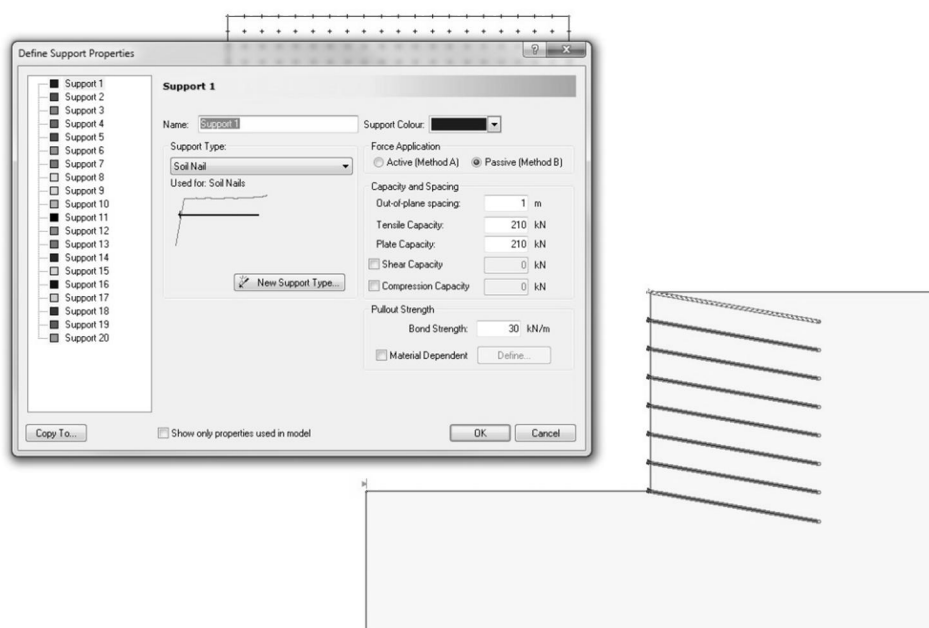
## 5.2 Izračun faktorja varnosti globalne stabilnosti za tri tipe sider vgrajene v različnih horizontalnih in vertikalnih razmikih

Globalno stabilnosti sem preračunal za primer vgradnje treh različnih tipov sider in sicer za samouvrtalna sidra premera 32 mm, vgrajena s krono premera 76 mm (sidra R32), samouvrtalna sidra premera 38 mm (sidra R38), vgrajena s krono premera 110 mm in samouvrtalna sidra premera 51 mm, vgrajena s krono premera 150 mm (sidra R51). Izračun globalne stabilnosti sem izvedel za sidra vgrajena v različnih horizontalnih ( $S_h$ ) in vertikalnih razmikih ( $S_v$ ). Vsa sidra so dolžine 6 metrov in odklonjena navzdol pod kotom  $-10^\circ$ . Nastavitve in podatki o lastnostih sider, ki sem jih med posameznimi izračuni spreminjal, so prikazani na slikah 28 in 29 ter povzeti v preglednici 5.



Slika 28: Nastavitve za vertikalni razmik ( $S_v$ ) med nosilnimi elementi – pasivnimi sidri

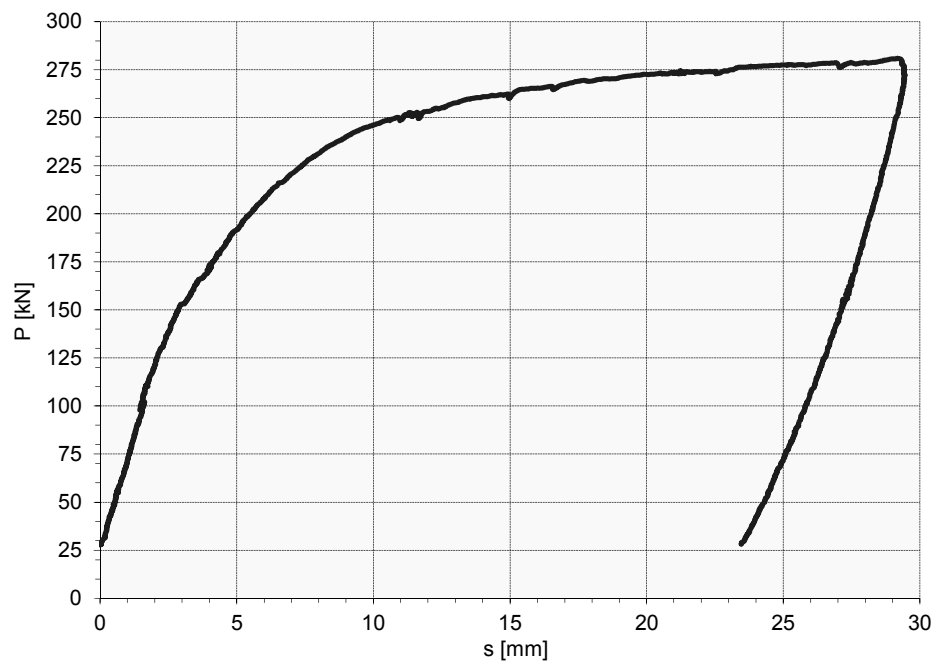




Slika 29: Nastavitve za horizontalni razmik (Sh) med nosilnimi elementi – pasivnimi sidri, izbira metode izračuna (pasivna – passive method), natezna nosilnost sidra – tensile capacity, nosilnost glave sidra/podloge sidra – plate capacity ter nosilnost sidra – bond strength

Preglednica 5: Uporabljeni tipi sider in lastnosti upoštevane pri izračunih v programu Slide

|   | <b>R32</b>    | <b>R38</b>    | <b>R51</b>    |
|---|---------------|---------------|---------------|
| <b>Zunanji premer [mm]</b>                  | 32            | 38            | 51            |
| <b>Premer krone/vrtine [mm]</b>             | 76            | 110           | 150           |
| <b>Metoda izračuna v Slide-u</b>            | Pasivno sidra | Pasivno sidro | Pasivno sidro |
| <b>Natezna nosilnost sidra [kN]</b>         | 210           | 420           | 800           |
| <b>Nosilnost podloge - glave sidra [kN]</b> | 210           | 420           | 800           |
| <b>Ocenjena nosilnost sidra [kN]</b>        | 30 kN/m       | 45kN/m        | 60kN/m        |



Slika 30: Rezultati izvlečnega preskusa pasivnega sidra R32, dolžine 9 m vgrajenega v gost, slabo granuliran pesek

Ker so rezultati izvlečnih preskusov pasivnih sider v podobnih materialih razmeroma težko dostopni, sem nosilnost prevzel po izvlečnem preskus izvedenem v podobnem tipu tal (drobnozrnati peski). Rezultat izvlečnega preskusa pasivnega sidra R32 mm, vgrajenega s krono premera 76 mm in dolžine 9 m je na sliki 30. Sidro pri preskusu ni bilo obremenjeno do porušitve stika med injekcijsko maso in zemljino, njegovo nosilnost pa je mogoče za namen te diplomske naloge oceniti na približno 30 kN/m.

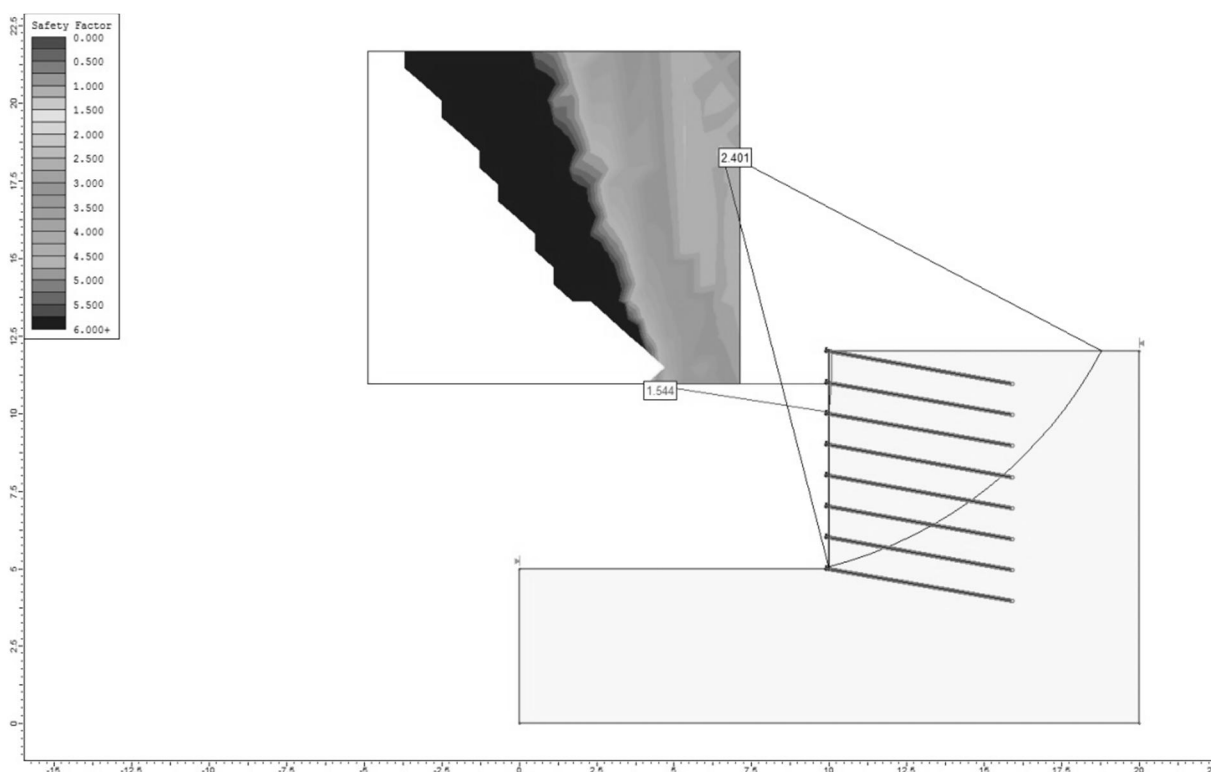
Sestava tal na lokaciji preskusa sidra je podobna sestavi tal v katerih se je izvajala preiskava Clouterre. V tem primeru gre za gost, slabo granuliran pesek, ki prehaja v slabo vezan peščenjak. Prostorninska teža peska je  $\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$ , strižni kot  $\varphi = 36^\circ$  in kohezija  $c = 0 \text{ kPa}$ .

Ocena nosilnosti sider R38 in R51 je bila narejena na podlagi razmerij med premeri vrtin. Glede na to, da ima vrtina pri sidru R38 približno 50% večji premer kot vrtina pri sidru R32, je bila nosilnost sider R38 ocenjena na 45 kN/m. Premer vrtine pri sidru R51 je 2x večji kot pri sidru R32, zato je bila nosilnost sidra R51 ocenjena na 60 kN/m.

Prevzete vrednosti sem preveril v dostopni literaturi in ugotovil, da se skladajo z ocenami nosilnosti, ki jih podajajo Carlos in sod., 2003. Po oceni avtorjev je strižna nosilnost stika med zemljino in injekcijsko maso za drobnozrnate peske približno 60 – 75 kPa. Takšen stik bi v primeru vgradnje sider R32 zagotavljal nosilnosti sidra približno 30 kN/m, kar potrjuje

prej ocenjeno vrednost. Ne glede na te ocene je potrebno na tem mestu ponovno poudariti, da je potrebno dejansko nosilnost sider preveriti na testnem polju, saj je ta poleg premera vrtine odvisna še od načina vgradnje in lastnosti tal na posamezni lokaciji.

Model za analizo globalne stabilnosti v programu Slide je na sliki 31, v preglednicah 6, 7 in 8 pa so podani rezultati izračuna globalnih varnostnih faktorjev za različne raste vgrajenih sider R32, R38 in R51.



Slika 31: Rezultat globalne stabilnostne analize izkopa sidranega s pasivnimi sidri R32, vertikalni raster 1 m, horizontalni raster 1 m

Preglednica 6: Globalni varnostni faktorji v odvisnosti od rastra vgrajenih sider R32

|                          |                     | <b>S<sub>h</sub> [m]</b> |              |              |              |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                          |                     | <b>1</b>                 | <b>2</b>     | <b>3</b>     | <b>4</b>     |
| <b>S<sub>v</sub> [m]</b> | 1 (8 vrst sider)    | <b>2,401</b>             | <b>1,891</b> | <b>1,638</b> | <b>1,433</b> |
|                          | 1,4 (7 vrst sider)  | <b>2,073</b>             | <b>1,627</b> | <b>1,355</b> | <b>1,219</b> |
|                          | 1,75 (6 vrst sider) | <b>1,855</b>             | <b>1,415</b> | <b>1,212</b> | <b>1,104</b> |

Preglednica 7: Globalni varnostni faktorji v odvisnosti od rastra vgrajenih sider R38

|                          |                     | <b>S<sub>h</sub> [m]</b> |              |              |              |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                          |                     | 1                        | 2            | 3            | 4            |
| <b>S<sub>v</sub> [m]</b> | 1 (8 vrst sider)    | <b>2,799</b>             | <b>2,197</b> | <b>1,891</b> | <b>1,712</b> |
|                          | 1,4 (7 vrst sider)  | <b>2,330</b>             | <b>1,712</b> | <b>1,672</b> | <b>1,424</b> |
|                          | 1,75 (6 vrst sider) | <b>2,166</b>             | <b>1,690</b> | <b>1,415</b> | <b>1,263</b> |

Preglednica 8: Globalni varnostni faktorji v odvisnosti od rastra vgrajenih sider R51

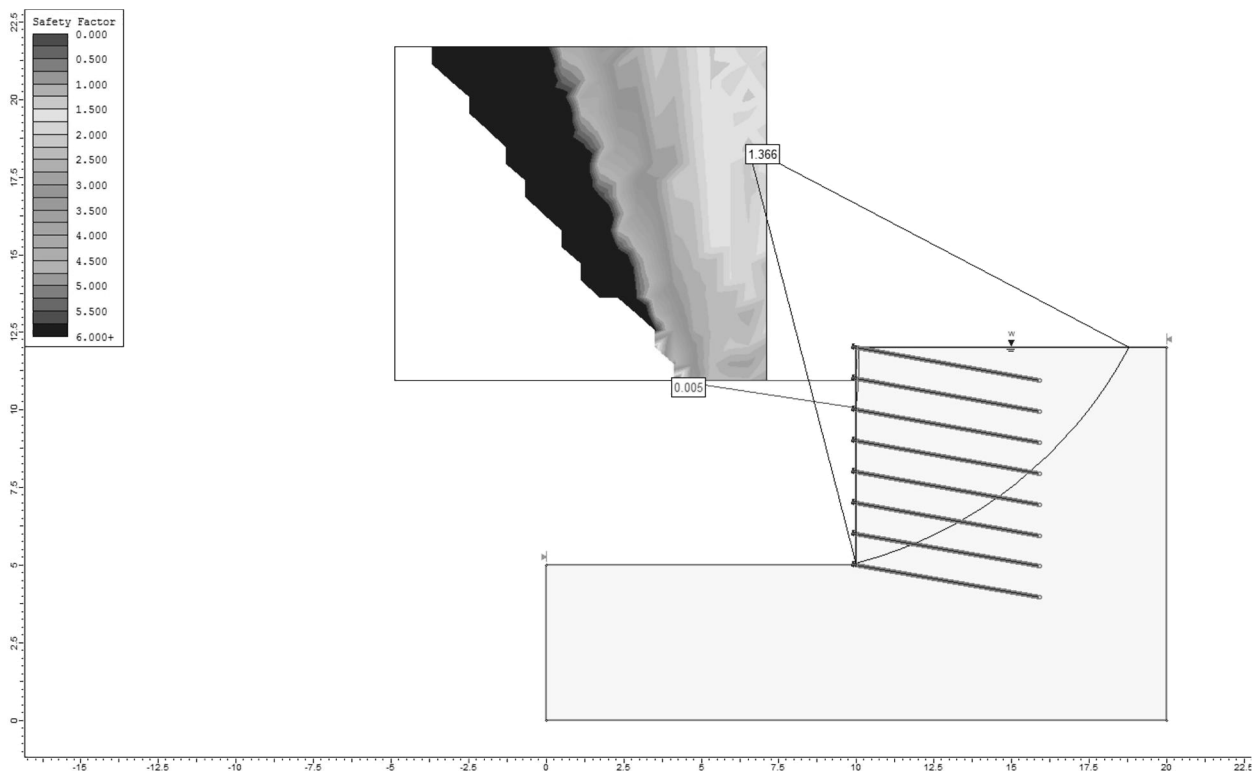
|                          |                     | <b>S<sub>h</sub> [m]</b> |              |              |              |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                          |                     | 1                        | 2            | 3            | 4            |
| <b>S<sub>v</sub> [m]</b> | 1 (8 vrst sider)    | <b>3,040</b>             | <b>2,401</b> | <b>2,107</b> | <b>1,891</b> |
|                          | 1,4 (7 vrst sider)  | <b>2,574</b>             | <b>2,073</b> | <b>1,794</b> | <b>1,627</b> |
|                          | 1,75 (6 vrst sider) | <b>2,295</b>             | <b>1,851</b> | <b>1,618</b> | <b>1,415</b> |

Rezultati preračunov faktorjev varnosti za globalno stabilnost kažejo, da ima raster sider velik vpliv na faktor varnosti, pri čemer je še posebej opazen vpliv vertikalnega rastra. Glede na to, da sidra z večjim premerom zagotavljajo ustrezen faktor varnosti tudi pri večjih horizontalnih razmikih, je smiselno, da se raster sider, še posebej pri izgradnji večjih geotehničnih konstrukcij oz. večjih stabilizacij pobočij, skrbno optimizira in opravi analiza cene vgradnje več manj nosilnih sider ali manj bolj nosilnih za enak dosežen faktor varnosti globalne stabilnosti.

V primeru, da se sidra vgrajujejo na večji medsebojni razdalji, je potrebno upoštevati, da se s tem povečajo sile, ki delujejo na oblogo. Oblogo je zato potrebno ustrezno dimenzionirati. Ker je izvedba bolj toge obloge dražja, je treba to pri optimizaciji cene sidranja upoštevati.

### 5.3 Vpliv zasičenosti tal z vodo na faktor varnosti za globalno stabilnost

V raziskavi Clouterre so po izvedenem sidranju zemljino s posebnim propustnim bazenom, ki je bil postavljen 5 m za sidrano konstrukcijo, zasičili z vodo ter opazovali kakšen vpliv ima to na konstrukcijo, zemljino in sidra. Ker je odvajanje vode za sidrano konstrukcijo v praksi zelo pomembno, sem analiziral vpliv nasičene zemljine na faktor varnosti za globalno stabilnost. Primer izračuna faktorja varnosti je prikazan na sliki 32, rezultati pa so podani v preglednicah 9, 10 in 11. Analiza je bila izvedena tako, da sem nivo talne vode v programu Slide, predpostavil na površini.



Slika 32: Rezultat globalne stabilnostne analize izkopa sidranega s pasivnimi sidri R32, vertikalni raster 1 m, horizontalni raster 1 m, v primeru nasičene zemljine

Preglednica 9: Globalni varnostni faktorji v odvisnosti od rastra vgrajenih sider R32 (zasičena tla)

|                          |                     | <b>S<sub>h</sub> [m]</b> |              |   |   |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------|---|---|
|                          |                     | 1                        | 2            | 3 | 4 |
| <b>S<sub>v</sub> [m]</b> | 1 (8 vrst sider)    | <b>1,366</b>             | <b>0,945</b> | - | - |
|                          | 1,4 (7 vrst sider)  | <b>1,039</b>             | <b>0,767</b> | - | - |
|                          | 1,75 (6 vrst sider) | <b>0,866</b>             | -            | - | - |

Preglednica 10: Globalni varnostni faktorji v odvisnosti od rastra vgrajenih sider R38 (zasičena tla)

|                          |                     | <b>S<sub>h</sub> [m]</b> |              |              |   |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------|--------------|---|
|                          |                     | 1                        | 2            | 3            | 4 |
| <b>S<sub>v</sub> [m]</b> | 1 (8 vrst sider)    | <b>1,763</b>             | <b>1,160</b> | <b>0,945</b> | - |
|                          | 1,4 (7 vrst sider)  | <b>1,294</b>             | <b>0,906</b> | -            | - |
|                          | 1,75 (6 vrst sider) | <b>1,076</b>             | <b>0,787</b> | -            | - |

Preglednica 11: Globalni varnostni faktorji v odvisnosti od rastra vgrajenih sider R51 (zasičena tla)

|                          |                     | <b>S<sub>h</sub> [m]</b> |              |              |              |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                          |                     | 1                        | 2            | 3            | 4            |
| <b>S<sub>v</sub> [m]</b> | 1 (8 vrst sider)    | <b>2,135</b>             | <b>1,366</b> | <b>1,090</b> | <b>0,945</b> |
|                          | 1,4 (7 vrst sider)  | <b>1,539</b>             | <b>1,039</b> | <b>0,860</b> | -            |
|                          | 1,75 (6 vrst sider) | <b>1,258</b>             | <b>0,886</b> | -            | -            |

Rezultati preračunov faktorjev varnosti za globalno stabilnost kažejo, da ima nasičena zemljina oz. visok nivo talne vode velik vpliv na faktor varnosti. Glede na to da je izvedba drenaž in cevi za izcejanje vode iz zaledja geotehničnih konstrukcij dokaj enostavno izvesti, je potrebno takšne drenažne sisteme dosledno izvajati in vzdrževati.

## 6 ZAKLJUČEK

Namen diplomske naloge je bil opisati nekatere bistvene zahteve standarda SIST EN 14490, vključiti nekatera lastna spoznanja pridobljena pri kontroli vgrajevanja, preskušanju nosilnosti pasivnih sider in pripravi slovenskih tehničnih soglasij ter ta spoznanja podkrepiti oz. razložiti s pomočjo dostopne literature s področja pasivnega sidranja. Pri tem sem izhajal predvsem iz obširne francoske raziskave Clouterre, ter angleškega (Phear in sod., 2005) in ameriškega (Carlos in sod., 2003) priročnika o pasivnem sidranju.

V času krize v gradbeništvo pa tudi sicer je smiselna racionalizacija pri uporabi materialov, ter uporabi cenejših in bolj enostavnih tehnologij sidranja. Pasivna sidra so poceni alternativa prednapetim vrvnim sidrom, s katero lahko dosegamo dobre rezultate pri sidranju brežin, gradbenih jam in geotehničnih objektov, vendar je potrebno premišljeno pristopiti k izvedbi sider ter korektno izvesti in analizirati rezultate preskusov nosilnosti. Pri tem velja opozoriti, da pasivno sidranje ni primerno nadomestilo sistemom za prednapenjanje, posebej v območjih, kjer pomiki konstrukcij niso dopustni.

V sklopu priprave projektne dokumentacije je potrebno podati bistvene zahteve za izvedbo pasivnega sidranja pri posameznem projektu. Posebej ključna je opredelitev v zvezi z zahtevano življenjsko dobo vgrajenih sider ter posledično izbira protikorozijskega zaščite in lokacija ter način izvedbe izvlečnih preskusov. V praksi se vse bolj kaže, da je korektna izvedba testnega polja in s tem potrditev vseh izvedbenih detajlov, ključna za nemoten potek sidrskih del in korektno izvedbo del.

## VIRI

SIST EN 206-1:2003 - Beton - 1.del: Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost.

SIST EN 1997-1:2005: Geotehnično projektiranje - 1.del: Splošna pravila.

SIST EN 12501-1:2003 Protikorozijska zaščita kovinskih materialov - Verjetnost nastanka korozije v zemlji - 1.del – splošno.

SIST EN 12501-1:2003 Protikorozijska zaščita kovinskih materialov - 2. del: Malolegirani in nelegirani železovi materiali.

SIST EN 14490:2010 Izvedba posebnih geotehničnih del – Pasivno sidranje.

Phear, A., Dew, C., Ozsoy, B., Wharmby, N. J., Judge, J., Barley, A.D. 2005. Soil nailing – best practice guidance, London, CIRIA: 286 str.

Carlos, A. L., Victor E., David E., Paul J. S. 2003. Geotechnical engineering circular No.7, Soil nail walls, Washington, Federal Highway administration: 182 str.

Schlosser, F idr. 1993, Recommendations Clouterre 1991 – english translation, Washington, Federal Highway administration: 302 str.

Konjar G., Klemenc I. 2012. Standard SIST EN 14490:2010 (Izvedba posebnih geotehničnih del - Pasivno sidranje) v praksi. V: Razprave 6. posvetovanja slovenskih geotehnikov, Lipica, 14-15. junij 2012, SloGeD, str. 123-132.

Zakon o gradbenih proizvodih. Uradni list RS, št. 82/2013, str. 9183-9187.

Dywidag-systems international, 2013, Slika samouvrtalnega sidra med vgradnjo: 20 str.  
[http://www.dywidag-systems.com/uploads/media/DSI\\_DYWI-Drill-Hollow-Bar-System\\_en.pdf](http://www.dywidag-systems.com/uploads/media/DSI_DYWI-Drill-Hollow-Bar-System_en.pdf).  
(Pridobljeno 02.11.2013)

Logar, J. 2012. Sidranje konstrukcij, učno gradivo za študente FGG. Osebna komunikacija. (marec 2012)

Slide V6.009 2011. Toronto, Rocscience Inc.