

Primjer zaštite građevinske jame sa čeličnim žmurjem

Strmečki, Dejan

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:099881>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-03**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN



ZAVRŠNI RAD

Završni rad br. 365/GR/2019

**PRIMJER ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME
SA ČELIČNIM ŽMURJEM**

Dejan Strmečki, 1589/336

VARAŽDIN, kolovoz 2019.

SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN

ZAVRŠNI RAD

**PRIMJERI ZAŠTITE GRAĐEVINSKE
JAME SA ČELIČNIM ŽMURJEM**

STUDENT:

Dejan Strmečki, 1589/336

MENTOR:

dr.sc. Božo Soldo, red.prof.

VARAŽDIN, kolovoz 2019.

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Dejan Strmečki

MATIČNI BROJ 0336018079

DATUM 2.8.2019.

KOLEGIJ Temeljenje

NASLOV RADA Primjer zaštite građevinske jame sa čeličnim žmurjem

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU An example of protecting a construction pit with a steel sheet piling

MENTOR dr. sc. Božo Soldo

ZVANJE redoviti profesor

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc. dr. sc. Matija Orešković
2. prof. dr. sc. Božo Soldo
3. doc. dr. sc. Aleksej Aniskin
4. doc. dr. sc. Danko Markovinović
5. Predrag Presečki, pred.

Zadatak završnog rada

BROJ 365/GR/2019

OPIS

Pod temom Završnog rada: Primjer zaštite građevinske jame sa čeličnim žmurjem pristupnik će u radu obraditi ponuđene primjere geotehničkih projekata zaštite građevinske jame hotela Bernarda u Varaždinskim Toplicima, te tijekom izvedbe građevinske jame:

1. Uvod
 2. Općenito o zaštiti građevinskih jama
 3. Općenito o geotehničkim značajkama predmetne lokacije
 4. Rješenja zaštite građevinske jame
 5. Izvedba zaštite građevinske jame
 6. Zaključak
- Literatura

ZADATAK URUČEN

23.08.2019



Soldo

Predgovor

Zahvaljujem se svojem mentoru prof. dr. sc. Boži Soldi na velikoj pomoći i zalaganju oko izrade ovog završnog rada. Hvala Vam na svim savjetima i preporukama, kako na predavanjima tako i na svim konzultacijama, za izradu završnog rada, buduće školovanje i rada u struci.

Također, zahvaljujem se svim profesorima koji su mi predavali tijekom preddiplomskog studija, te pokušali prijenjeti svoje znanje u što većoj mjeri. Zahvaljujem se i svojoj obitelji na potpori i pomoći tijekom studiranja, te imala strpljenja za sve moje hireve i izljeve nervoze.

Sažetak

U ovom završnom radu biti će prikazan način zaštite građevinske jame hotela Bernarda u Varaždinskim Toplicama sa čeličnim žmurjem. Rad je podjeljen u 6 glavnih poglavlja u kojim se detaljnije obrađuje tema.

U drugom poglavlju opisuje se zaštita građevinske jame, Opisuju se tipovi potpornih konstrukcija, te je poseban naglasak stavljen na žmurje, jer je u našem slučaju za zaštitu bokova građevinske jame korišteno upravo žmurje. Naglasak je stavljen i na vodu u građevinskoj jami, jer u inženjerskoj praksi problem ne stvara tlo kao tlo, već voda koja se nalazi u njemu, te njoj treba posvetiti posebnu pažnju jer može biti uzročnik nekih nepovoljnih situacija koje uvelike utječu na daljnju gradnju.

U trećem poglavlju opisani su istražni radovi koji su provedeni na predmetnoj lokaciji u svrhu prikupljanja podataka o značajkama tla za glavne projekt zaštite građevinske jame te rezultati istih.

U četvrtom poglavlju prikazani su proračuni iz dvaju glavnih projekata koji su napravljeni za zaštitu predmetne građevinske jame hotela Bernarda u Varaždinskim toplicama. Prikazani su proračuni dijelova zaštite jame te proračun dotoka vode i hidrauličke stabilnosti dna građevinske jame.

U petom poglavlju prikazani su način i tijek izvedbe zaštite građevinske jame.

Ključne riječi: Građevinska jama, čelično žmurje, geotehnička sidra

Abstract

In this final paper will be shown to protection the construction pit with the steel sheet pile of the Bernarda Hotel located in Varaždinske Toplice. The final paper is divided in six main chapters with more details.

Protection of the construction pit is described in chapter two. Types of retaining structure are also described in there special emphasis is placed on a sheet pile which is used for construction pit protection in our case. The special emphasis is also placed on water in construction pit because of the engineering knowledge the problem is not soil as soil but water in it and it could be a cause of adverse situations for further constructions.

In third chapter are described investigate works which are conducted on subject location for the purpose of data collection about soil characteristics for main project of construction pit protection and their results.

In chapter four are shown calculations of the two main projects which are designed for construction pit protection of Bernarda Hotel located in Varaždinske Toplice. There are also shown calculations of the construction pit protection parts and the calculations of water flow and soil hydraulic stability.

In chapter five are shown manner and course of construction pit protection.

Key words: construction pit, steel sheet pile, geotechnical anchor

Popis korištenih kratica

m	metar
m.n.m.	metar nad morem
k.č.	katastarska čestica
k.o.	katastarska općina
kNm	kilonjutn metar
M	moment
V	poprečna sila
N	uzdužna sila
kN	kilonjutn
kPa	kilopaskal
W	moment otpora
F_s	faktor sigurnosti
D_k	kritična dubina
c	kohezija
γ	obujamska težina
K_A	koeficijent aktivnog tlaka
φ	kut unutarnjeg trenja
ρ	gustoća
L_a	sidrišna dionica
L_f	slobodna dionica
v	brzina
h	hidraulički potencijal
z	geodetska visina
i	hidraulički gradijent
i_{cr}	kritični hidraulični gradijent

DMT	dilatometar
Q	protok
u	pomak
M_{Ed}	računski moment savijanja
V_{Ed}	računska poprečna sila
N_{Ed}	računska uzdužna sila
N_{cr}	kritično elastično opterećenje
V_{Rd}	posmična otpornost
N_{Rd}	uzdužna otpornost
M_{Rd}	otpornost na savijanje
S_{fc}	nosivost sidra po plaštu
τ	prionjivost
σ_n	normalno naprazanje
r	promjer sidrišnog tijela
α	koeficijent prionjivosti
R_{a,d}	računska nosivost sidra
A_w	površina žmurja

SADRŽAJ:

Predgovor	4
Popis korištenih kratica	7
1. Uvod	1
2. Općenito o zaštiti građevinskih jama	2
2.1. Općenito	2
2.2. Plitke građevinske jame	3
2.3. Berlinsko zide	6
2.4. Žmurje (talpe)	8
2.4.1. Drveno žmurje	9
2.4.2. Čelično žmurje	9
2.4.3. Armiranobetonsko žmurje	12
2.5. Armiranobetonska dijafragma	13
2.6. Top-down metoda	15
2.7. Mlazno injektirani stupljaci („jet grouting“)	16
2.8. Geotehnička sidra	17
2.9. Zaštita građevinske jame od vode	20
3. Općenito o geotehničkim značajkama predmetne lokacije	22
3.1. Općenito	22
3.2. Istražni radovi	22
3.3. Rezultati ispitivanja	23
4. Rješenja zaštite građevinske jame	26
4.1. Glavni projekt	26
4.1.1. Geostatički proračun	26
4.1.2. Dimenzioniranje konstruktivnih elemenata potporne konstrukcije	29
4.2. Novo rješenje – Racionalizacija	41
4.2.1. Proračun stabilnosti bokova građevinske jame – do dna građevinske jame (- 4,50 m)	41
4.2.2. Proračun stabilnosti bokova građevinske jame – do dna drenova (-5,0 m)	45
4.2.3. Proračun dotoka podzemne vode u građevinsku jamu	47
5. Izvedba zaštite građevinske jame	51
6. Zaključak	56
Literatura	58
Popis slika	59
Popis tablica	62

1. Uvod

Za izradu građevina često je potreban iskop građevinske jame. Građevinska jama je privremena građevina koja mora omogućiti izvedbu temelja i/ili dijela podzemnih etaža građevina za koju je projektirana. Taj prostor mora biti siguran za rad i dostupan ljudima i strojevima. Izbor najboljeg rješenja izvedbe građevinske jame ovisi o građevini, karakteristikama terena, prisutnosti vode u tlu ili podzemne vode i o drugim ambijentalnim okolnostima. Svaka građevinska jama koja se radi u složenijim uvjetima okoline, s utjecajem podzemne vode, u urbanima sredinama ili zahtjevnijim tlima, geotehnička je građevina za koju je potrebno izraditi projekt, kao i za svaku drugu građevinu. Projekt zaštite građevinske jame je dokument u kojem se definira geotehnički model s rješenjem za prethodno definirani projektni zadatak.

Ovisno o dubini i raspoloživosti okolnog prostora, često je u urbanim područjima, ali i izvan njih, potrebno pokos građevinske jame zaštititi. Pri izboru tipa zaštite građevinske jame vodi se računa o vrsti tla, prisutnosti i razini podzemnih voda, blizini okolnih građevina, cesta, dubini iskopa, fazama iskopa, dopuštenim deformacijama i sl. Izbor zaštite radnog prostora građevinske jame redovito je rezultat kompromisa u procjeni tehničkih prednosti i nedostataka raspoloživih rješenja, ali i cijene.

Dubina građevinske jame od 4.5 metara do dna jame, odnosno 5 metara do dna drenova jedan je od glavnih razlog zbog kojeg dolazi do pretpostavke korištenja čeličnog žmurja jer izrada armiranobetonske dijafragme ili dubokih pilota kod malih građevinskih jama jednostavno nije optimalno rješenje, što zbog same brzine izvođenja što zbog ekonomičnosti radova.

Prije samog odabira i izvedbe određene zaštitne konstrukcije, bilo je potrebno provesti geotehničke istražne radove u tlu koji se sastoje od terenskih i laboratorijskih istražnih radova. Pomoću ovih radova saznajemo u kakvom se tlu planira raditi određena građevina. Nizom pokusa i ispitivanja dobiju se svi potrebni parametri tla preko kojih dobijemo profil tla u kojem se izvodi građevina.

Nakon provjere stabilnosti zaštitnog zida te određivanja klase žmurja koja mora odolijevati u uvjetima djelovanja maksimalnih momenata te maksimalnih poprečnih sila, potrebno je i odrediti veličinu protoka vode, koja ulazi u prostor građevinske jame. Te na temelju izračunatih protoka ulaska podzemne i oborinske vode u prostor jame dati rješenja koja će na pravilan način omogućiti skupljanje te vode i odvesti je do mjesta gdje se ona može sva prihvatiti te transportirati sa prostora građevinske jame tj. potrebno je osigurati dotok sve podzemne i oborinske vode do prihvatnih bunara, gdje ulogu crpljenja vode do obližnje kanalizacije preuzimaju pumpe. Rješenja položaja bunara, broj bunara, drenova, drenažnih cijevi unutar njih te vrstu ispune drena potrebno je prikazati u grafičkom obliku, gdje se jasno vide pozicija svih bunara, svih drenova sa svojim pripadajućim dubinama.

Za potrebe zaštite građevinske jame izgradnje Hotela Bernarda u Varaždinskim Toplicama izvedena su dva glavna projekta. Prvi se sastajao od zaštite sa čeličnim žmurjem koje bi se pričvršćivalo sa geotehničkim sidrima, a drugi projekat se sastajao od zaštite sa čeličnim žmurjem bez usidrenja. Detaljniji opisi tih projekata biti će prikazani u nastavku.

2. Općenito o zaštiti građevinskih jama

2.1. Općenito

Kako bi građevinsku jamu zaštitili od urušavanja najbolje bi bilo izvesti kosi pokos građevinske jame. U urbanim sredinama nemoguće je izvesti kosi pokos zbog manjka prostora nego se mora izvesti vertikalni pokos, stoga se vertikalni pokos često mora zaštititi kako nebi došlo do zatrpavanja građevinske jame te ljudi i strojeva unutar nje. Građevinsku jamu ne štitimo samo od urušavanja, odnosno zatrpavanja, nego i od prodora vode u nju, bilo to kroz bočne stijenke ili kroz dno.

Zaštitom ili osiguranjem iskopa jame mora se spriječiti prodiranje vode u slobodni prostor njezina iskopa i osigurati stabilnost iskopanih stranica. Građevinsku jamu štitimo ovisno o tlu i vodi u tlu, pa tako onda izabiremo najpovoljnije rješenje zaštite građevinske jame. Kod izbora tipa zaštite građevinske jame, vodi se računa o vrsti tla, prisutnosti i razini podzemnih voda, blizini okolnih građevina, cesta, dubini iskopa, fazama iskopa, dopuštenim deformacijama i sl.

Građevinske jame su iskopi u sraslom tlu jamastog oblika koji služe za izradu temelja građevina.

Izvode se :

- u stabilnim nagibima, osiguranje erozije stabilnosti pokosa i, eventualno, privremeno crpljenje podzemne vode bunarima ili iglofiltrima radi osiguranja rada u suhom
- razine podzemne vode u okolnom tlu. Pri tom se stabilnost stjenki i njihova vododrživost osigurava tankim potpornim stijenama (ukopane, uložene, zagatne stijene) koje se ugrađuju u tlo s površine terena prije iskopa građevinske jame.

Metode izrade građevinske jame ovise o (Nonveiller, 1979.):

- osobinama materijala u kojem se gradi
- dubini temelja ispod površine terena
- položaju temeljne plohe prema najvišoj razini podzemne vode
- hidroloških i hidrauličkih uvjeta na gradilištu
- dostupnih metoda, pazeći na ekonomičnost, trajanje i sigurnost izvedbe

U praksi se najčešće koriste sljedeći tipovi zaštite:

- zabijeni čelični profili (talpe, žmurje)
- AB dijafragme
- zaštita berlinskim zidom
- bušeni piloti na međusobnom razmaku ili bez njega
- mlazno injektiranje

2.2. Plitke građevinske jame

Plitki iskopi (do 2,0 m dubine) mogu se izvoditi bez zaštite. Oni su uvijek privremene građevine te se ta činjenica koristi pri njihovom izvođenju. One se ne smatraju građevinama za koje bi trebalo izraditi projekt, te se izvode iskustveno. U literaturi se mogu naći prijedlozi za nagibe pokosa koji ovise o vrsti materijala. Weissenbach, (1975.) navodi nagibe prema DIN 4124 kako slijedi u tabeli.

Vrsta tla	Kut nagiba pokosa β [°]	Pokos 1/n
Nevezano i vrlo slabo vezano tlo	45	1 : 1
Čvrsto i polučvrsto koherentno tlo	60	1 : 0,58
Meka stijena	80	1 : 0,18
Čvrsta stijena	90	uspravno

Tablica 1. Kut nagiba pokosa prema DIN 4124.

U Koherentnim tlima se svojstvo kohezije koje omogućava izvedbu uspravnih zasjeka bez podgrade. Kritična dubina, D_k , zasjeka može se proračunati iz jednadžbe koja glasi:

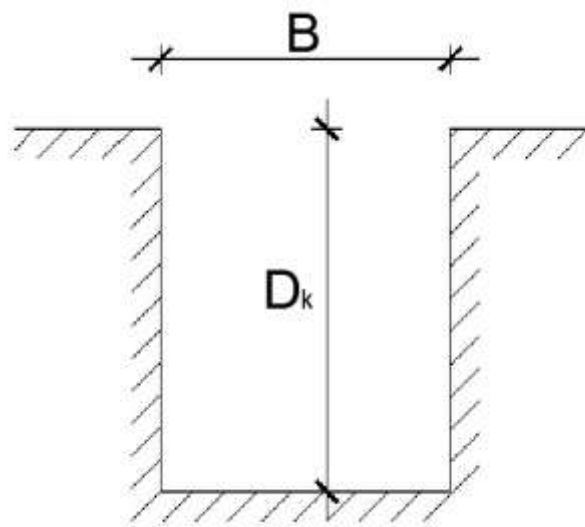
$$D_k = \frac{2 \cdot c}{\gamma \cdot \sqrt{K_A}},$$

gdje je:

c – kohezija,

γ – obujamska težina tla

K_A – koeficijent aktivnog tlaka



Slika 2.1. Iskop do dubine D_k , do koje nema pritiska na podgradu.

Teoretski pritiska na podgradu nema do dubine, $2 \cdot D_k$, sve dok se ne javi vlačna pukotina. To znači da se u nekim slučajevima, kao što je na primjer izvedba kanala za instalacije koji se mogu brzo zatrpati, može iskop bez podgrade izvoditi i dublje od kritične dubine D_k , uz uvjet da iskop ostane otvoren vrlo kratko.

U nekoherentnim tlima nije moguće izvesti iskop uspravnih stijenki bez podgrađivanja. Nekoherentno tlo nema nikakvu vlačnu čvrstoću i može stabilno stajati samo uz odgovarajući pokos koji je ovisan o kutu unutarnjeg trenja tla i o visini kosine. Najmanji mogući kut unutarnjeg trenja tla je kut prirodnog pokosa. On se javlja kod rahlo nasutog materijala. U prirodi se ovaj kut javlja rijetko zato jer je tlo u prirodi zbijenije od rahlog stanja i rijetko se javljaju čisti nekoherentni materijali. S druge strane teško je izravno (pokusom smicanja) odrediti kut trenja prirodnog nekoherentnog materijala. Za plitke iskope ovo se može odrediti iskustveno.

Kod pokosa građevinske jame mora se zadovoljiti uvjet:

$$\frac{1}{n} = \frac{tg \varphi}{F_s},$$

gdje je:

φ – kut unutarnjeg trenja,

F_s – faktor sigurnosti

Ukoliko se iskop građevinske jame vrši tako da je dio građevinske jame ispod razine podzemne vode, potrebno je ublažiti nagib pokosa koji se nalazi ispod površine vode, uz pretpostavku da se voda crpi iz građevinske jame.

Zbog djelovanja strujne sile (uz pretpostavku tečenja usporedno s nagibom kosine) na ovaj dio pokosa, nagib kosine mora zadovoljiti uvjet(Roje – Bonacci,2003.):

$$\frac{1}{n} = \frac{(\rho - \rho_w)}{\rho} \cdot \frac{tg \varphi}{F_s},$$

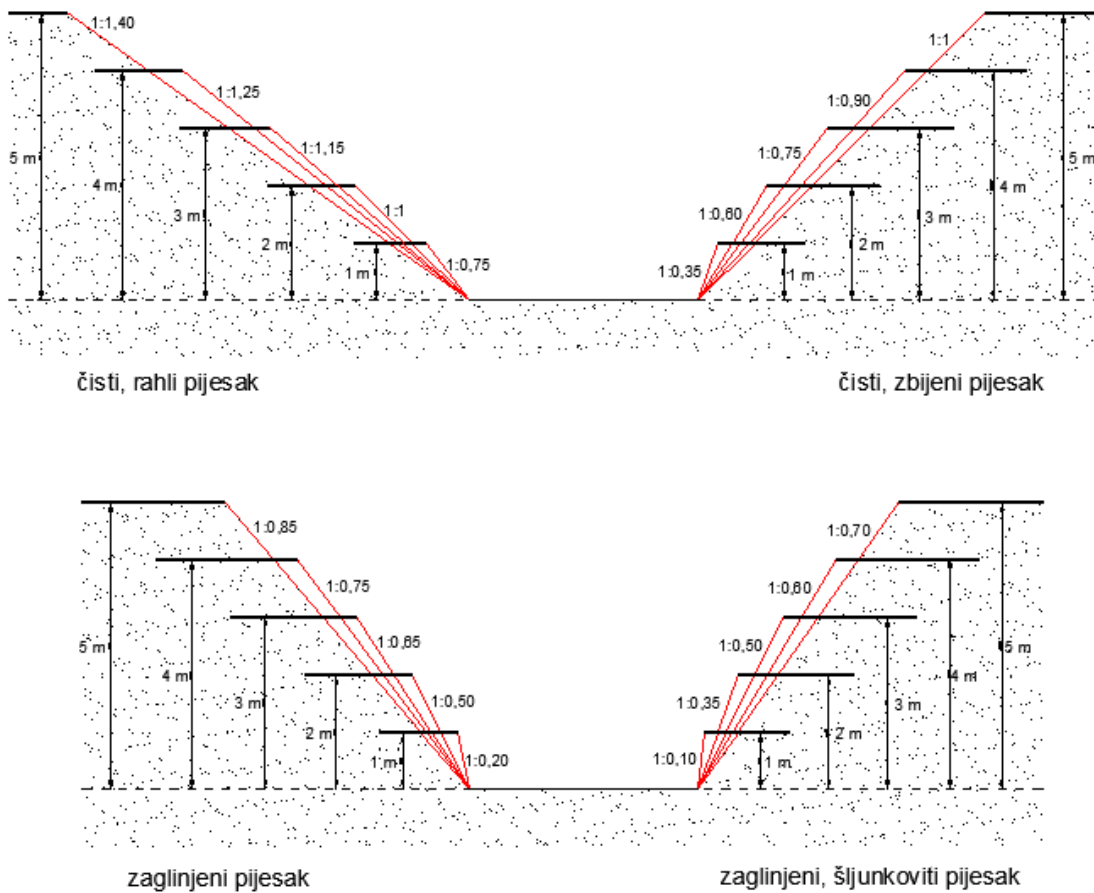
gdje je:

ρ – gustoća tla

ρ_w – gustoća vode

φ – kut unutarnjeg trenja,

F_s – faktor sigurnosti



Slika 2.2. Nagibi pokosa građevinske jame u nekoherentnim tlima.

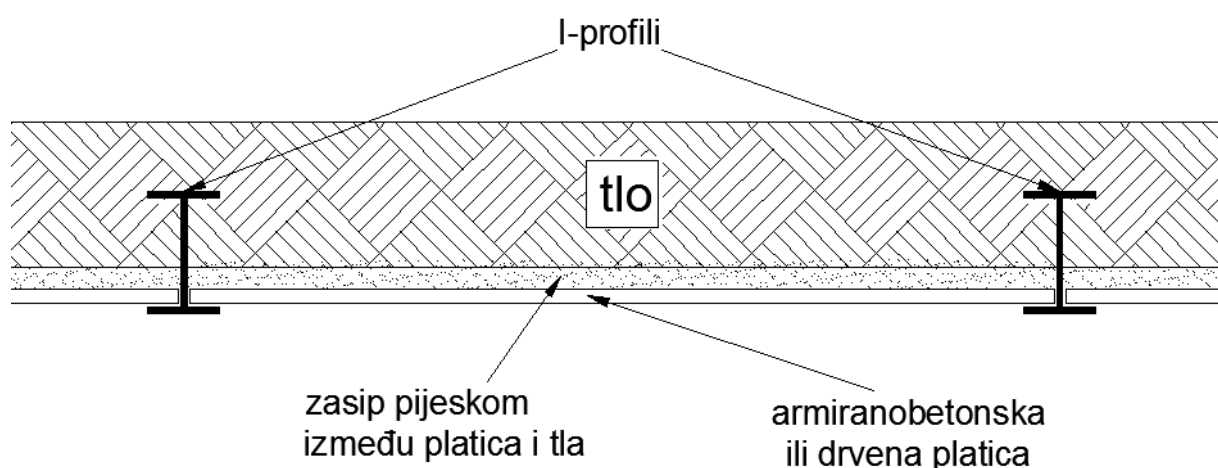
2.3. Berlinsko zide

Berlinsko zide je podgrada, koja se sastoji od stupova – vodilica zabijenih u tlo na određenom razmaku do potrebne dubine. Između vodilica se umetnu platice, koje se postepeno spuštaju, prateći napredovanje iskopa. Platice mogu biti drvene, metalne ili armiranobetske. Berlinsko zide koristi se kada je građevinska iznad razine podzemne vode, zbog toga što voda prolazi na spojevima platica, odnosno berlinsko zide nije vodonepropusno. Ove grđevine dmenzioniraju se samo na pritisak tla.



Slika 2.3. Berlinsko zida.

Najčešće se za vodilice koriste I profili, te se između njih stavljaju platice. Čelični profili se koriste kada se ne očekuju poteškoće pri zabijanju. Tamo gdje se očekuje pojava većih komada kamena odnosno samaca ili kada treba pridržati nekontrolirani stari nasip, stupove za Berlinsko zida je bolje izvoditi tehnologijom koja se primjenjuje za bušene pilote. Ove tehnologije olakšavaju prolaz kroz zapreke u tlu kroz koje zabijeni profili ili teško prolaze ili se uopće ne mogu zabiti. Stupovi za Berlinsko zida mogu se izvesti i tehnologijom mlaznog injektiranja s ugradnjom armature. Na slici 4. prikazani su detalj berlinskog zida.



Slika 2.4. Detalj Berlinskog zida.

2.4. Žmurje (talpe)

Žmurje, ili češće poznato kao talpe, je vrlo vitka vertikalna građevinska konstrukcija zabijena u tlo koja preuzima pritisak tla i osigurava stabilnost vertikalne stijene, a nerijetko služi za zaštitu od podzemne vode. Žmurje je jednostruki zagatni zid koji je sastavljen od pojedinačnih elemenata, koji su međusobno tako spojeni da kod zabijanja ne dođe do odstupanja od zamišljene ravnine zida. Žmurje možemo definirati i kao oblik prethodno izvedene zaštitne obloge kasnije iskopanih stranica građevinske jame s razmjerno uskim, duljim i vitkim talpama. One se prije iskopa zabijaju pomoću vibratora u tlo neposredno jedna uz drugu po plohi stranica iskopa građevinske jame.

Dubinu zabijanja i dimenzije žmurja potrebno je uskladiti s zahtjevima krutosti, te ocijeniti deformacije u okolini tijekom svih faza izvedbe projekta. Najčešći materijali od kojih su izgrađene su drvo, čelik i armirani beton.

Drvo danas više nije u upotrebi radi visoke cijene u odnosu na razinu efikasnosti.

Čelik je zbog svoje značajne elastičnosti i čvrstoće često upotrebljavan za izradu talpi. Vrlo vitke čelične konstrukcije mogu biti vrlo iskoristive pri izradi različitih zagata u različitim uvjetima zbog mnogih različito dizajniranih platnica ovisno o uvjetima u kojima se radi. Različite vrste ovisno o namjeni detaljnije će biti opisane u nastavku.

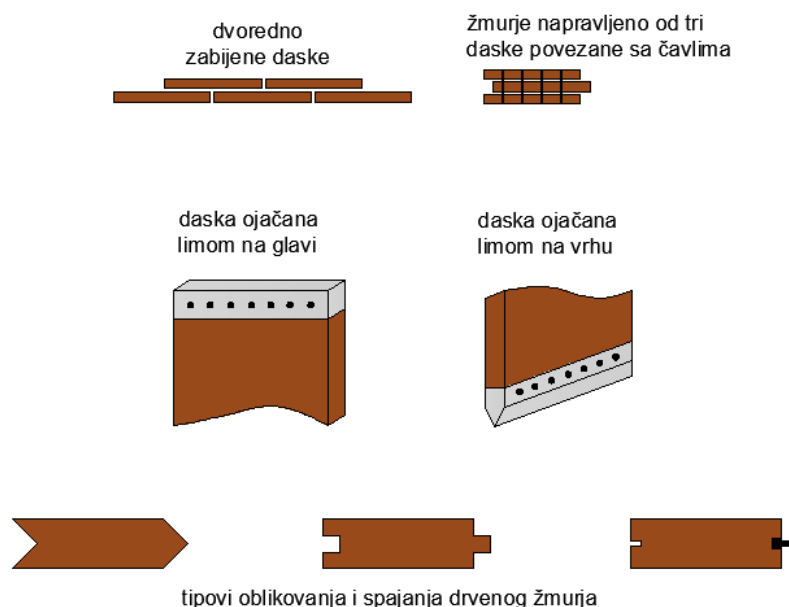
Za razliku od čeličnih platnica, prema Nonveiller (1979), armiranobetonske platnice namijenjene su samo za izradu trajnih građevina. One imaju prednost pred drugim tipovima jer su manje osjetljive na razne agresivne utjecaje, ako je beton valjano pripremljen i ugrađen. Ponekad su izvedeni zagati od armiranih betonskih talpa s čeličnim bravama koje su ugrađene u pojedine platnice. Na taj način moguće ih je besprijekorno voditi i međusobno sljubiti jednako kao i kod čeličnih platnica.



Slika 2.5. Zabijanje žmurja.

2.4.1. Drveno žmurje

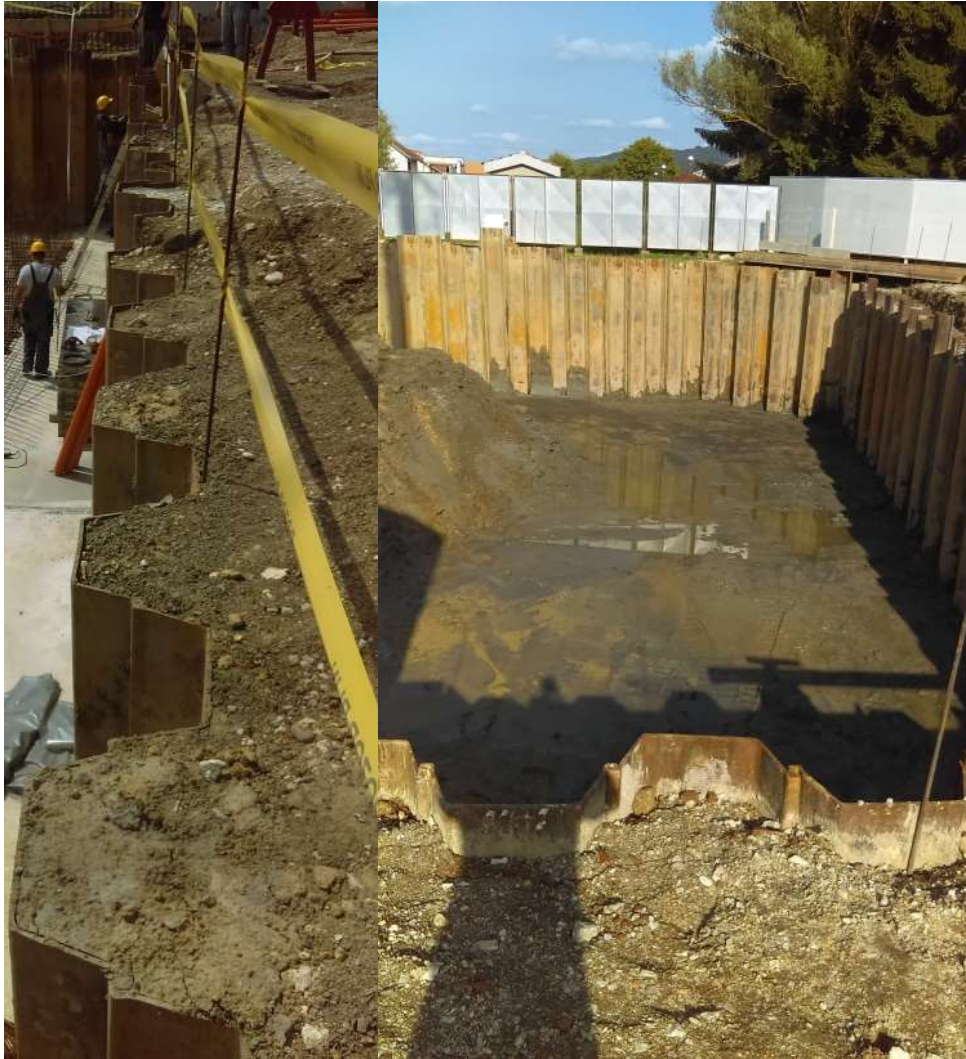
Početak uporabe drvenog žmurja seže još u 19. stoljeće. Drveno žmurje koristilo se zbog lake dostupnosti i niske cijene. Danas je rijetko u uporabi. Nabava drvenog žmurja je ograničena, stoga se primjenjuju do maksimalne dubine cca. 8,00 m.



Slika 2.6. Detalji drvenog žmurja.

2.4.2. Čelično žmurje

Čelično žmurje primjenjivo je svugdje gdje se može zabiti u tlo. Za takve su radove pogodni pijesci, meke do polučvrste gline, morski i riječni mulj i slični materijali. Čelično žmurje nije moguće koristiti ako se u tlu u koje se žmurje zabija mogu pojaviti krupniji komadi kamena ili temelji samci. Čelično žmurje sastoji se od niza čeličnih komada, debljine do 10 mm, raznih oblika i profila, međusobno spojeni spojnicama. Profili se međusobno spajaju tako što se svaka sljedeća platica koja se zabija u tlo najprije namjesti u žlijeb koji služi kao vodilica. Za zabijanje platica potrebna je određena energija koja se postiže moćnim strojevima za zabijanje. Čelično žmurje ima mogućnost nastavljanja jedno na drugo, stoga se mogu potrebljavati do dubine 20 m i više. Zagati od čeličnog žmurja mogu biti privremene i trajne građevine. Za veće dubine građevinskih jama (više od 5 m) platice se zbog ekonomičnosti najčešće osiguravaju geotehničkim sidrima. Ako su privremene građevine, nakon završetka radova platice se ponovno vade, a rupe i oštećenja repariraju. Višestruka upotreba istih platica snižavaju cijenu radova, jer se isti materijal koristi nekoliko puta. Primjer dimenzioniranja i izrade zaštite građevinske jame sa čeličnim žmurjem bit će prikazan u nastavku.

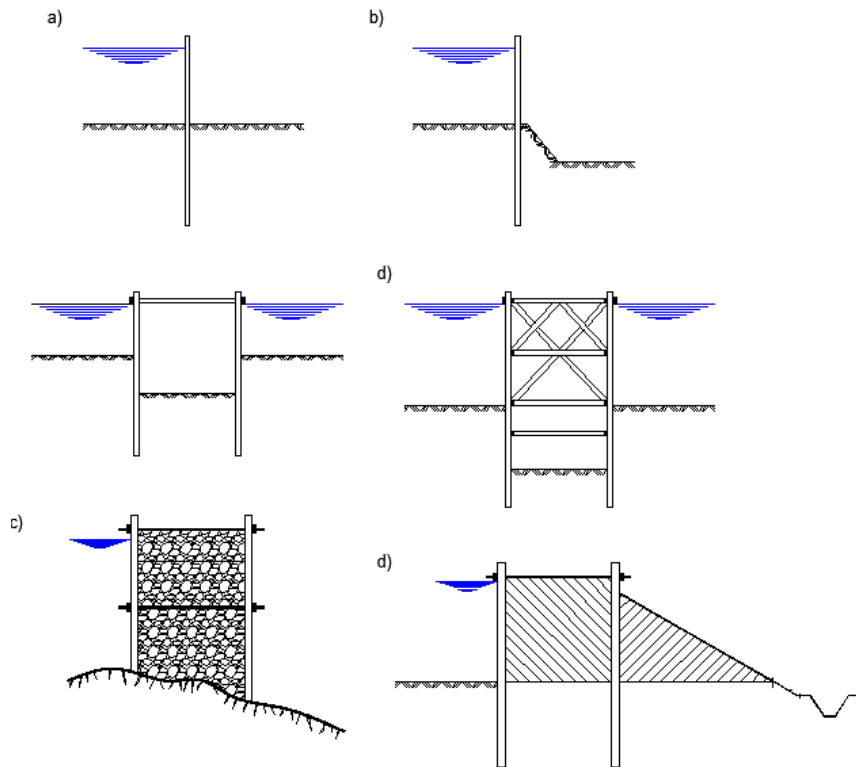


Slika 2.7. Zabijeno čelično žmurje

Čelična žmurja mogu biti zabijena jednoreдно ili dvoreдно, a mogu se zabijati i čelijasta žmurja.

Jednoreдно čelično žmurje - koristi se kod manjih dubina vode, kao slobodno stojeća zagatna stjenka, (slika 2.8., primjer a) i b)). Primjer sa slike 2.8. b), na strani gradilišta ima zemljanu bermu za povećanje stabilnosti. Za veće dubine koristi se razuprto žmurje (primjeri na slici 2.8. c) i d) ,ako je njihov međusoban razmak relativno malen.

Dvoreдно žmurje koristi se kada nije moguće žmurje razupirati. Koristi se uglavnom za zaštitu gradilišta smještenih u dubokoj vodi. Sastoje se od dva reda čeličnog žmurja. Ova su dva reda međusobno povezana zategama i privremenim razuporama. Žmurje može biti zabijeno u tlo, ali i samo oslonjeno na stijensku podlogu. Između ova dva reda žmurja nasipa se materijal te tako nastaje gravitacijska građevina koja mora biti vododrživa, (slika 2.8. e) i f)).



Slika 2.8. Primjeri zabijanja čeličnog žmurja.

Čelijasti zagati se koriste za veće zahvate, kada nema prostora za nasip ili kada bi nasip zbog dubine vode bio ekonomski neopravdan. Ima ih raznih vrsta, prema tlocrtnom izgledu, poprečnim presjecima, dodatnim nasipima i tako dalje. Svi se izvode tako da se zabije čelično žmurje u zatvorene oblike i zatim puni materijalom. Na slici 6. prikazan je jedan čelijasti zagat.



Slika 2.9. Čelijasti zagat.

2.4.3. Armiranobetonsko žmurje

Armiranobetonska žmurja nisu često u upotrebi. Po završetku građenja građevinske jame ostaje u tlu kao zaštita temelja od erozije ili kao zaštita za sprečavanje prolaza vodi. Loša strana armiranobetonskog žmurja je da često puca. Armiranobetonsko žmurje odnosno platice zamijenile su čelične u onim zemljama koje su imale jaču industriju cementa od čelika. Prilikom ugradnje između nabijača i platica se postavljaju nastavci za nabijanje. Oni osiguravaju pravilno vođenje platice. Izvedeni su tako da na vrhu imaju nastavak od drveta koji umanjuj buku od udarca bata o nastavak za nabijanje. Armiranobetonske platice namijenjene su samo za izradu trajnih građevina. One imaju prednost pred drugim tipovima jer su manje osjetljive na razne agresivne utjecaje, ako je beton valjano pripremljen i ugrađen.



Slika 2.10. Armiranobetonsko žmurje.

2.5. Armiranobetonska dijafragma

Armiranobetonske dijafragme (*slika 11.*) su betonski zidovi koji okružuju građevinsku jamu sa svih strana i uvijek ostaju kao trajni dijelovi građevine. Te mogu služiti kao daljnja veza za povezivanje s međukatnom konstrukcijom objekta. Armirano betonske dijafragme često se rade kao sidrene armiranobetonske dijafragme koje mogu biti projektirane tako da stijenka ostaje trajna, a sidra privremena. Opterećenje koje u početku nose sidra, kasnije na sebe preuzima sama međukatna konstrukcija zgrade.

Dijafragme izvedene u tlu trebaju biti tako izvedene da sigurno preuzmu aktivne tlakove tla, dok se Horizontalne sile nastale djelovanjem tla preuzimaju putem injektiranih zatega ili vodoravnih elementa koji se izvode u unutar prostora dijafragme.



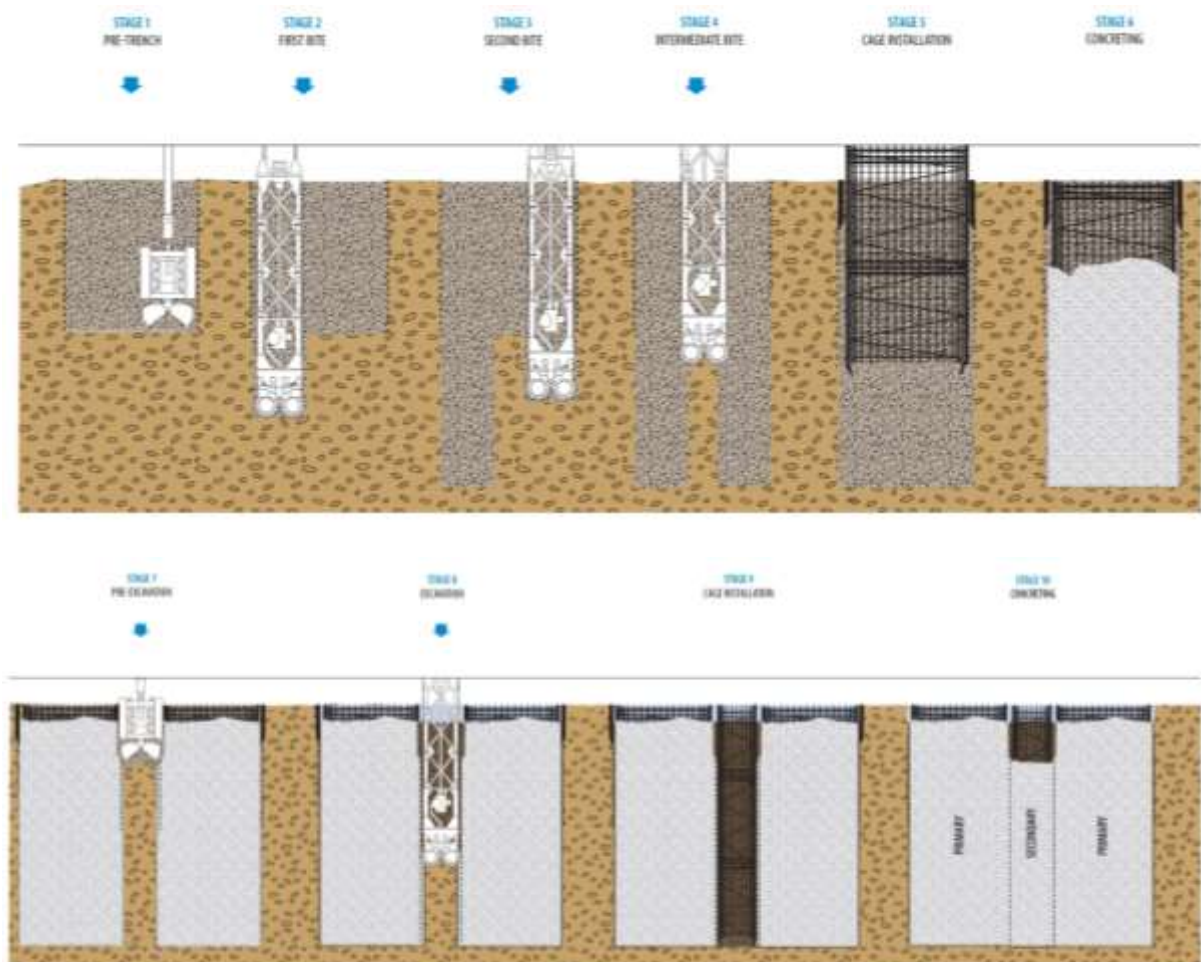
Slika 2.11. Armiranobetonska dijafragma.

Armiranobetonske dijafragme se koriste u dubokim jamama jer mogu sezati i do dubine veće od 30 metara, što je zabijanjem klasičnih talpi i zagata teško ostvarivo.

Izvođenje dijafragmi započinje kopanjem žlijebnog kanala, u kojem se kasnije izvode rovovi za betoniranje stijena dijafragme. Iskop zida se radi isprekidano, u parnim segmentima, prilikom čega se neparni segmenti kopaju tek nakon što su parni segmenti u potpunosti izvedeni.

Nakon izvedbe iskopa pristupa se montaži armature. Armatura se najčešće postavlja kod onih dijafragmi koje će kasnije biti sastavni dio objekta.

Nakon postave armature počinje betoniranje pomoću kontraktor postupka. Uz same rubove segmenta stijenke stavljaju se cijevi dimenzija jednakim ukupnoj debljini same dijafragme. Što osigurava kvalitetan i „čist“ spoj kasnije s neparnim segmentom koji se kopa i betonira nakon izvođenja parnog segmenta. Nakon izvođenja armiranobetonske dijafragme žlijebni kanal se može ispuniti betonom i imati ulogu armirano betonske grede koja povezuje zidove dijafragme te preuzimati na sebe momente savijanja tla.



Slika 2.12. Proces izvođenja armiranobetonske dijafragme.

2.6. Top-down metoda

Top-down metoda u Hrvatskoj još u velikoj primjeni. Spomenuta metoda zaštite iskopa ne koristi geotehnička sidra, već se napreduje prema dolje s razupiranjem pomoću stropnih ploča.

Prednosti ovog tipa građenje podzemnih dijelova građevine su slijedeći:

- sigurnost rješenja tj. eliminiranje utjecaja na susjedne zgrade
- ušteda na vremenu jer se eliminira vrijeme potrebno za izvedbu velikog broja geotehničkih sidara. U vezi s tim dobiva se na vremenu ishoda suglasnosti vlasnika okolnih zgrada za izvedbu sidara.
- dijafragma predstavlja obodni nosivi zid ukopanog dijela zgrade, tj. otpada potreba izvedbe horizontalne izolacije i novog podrumskog zida
- ušteda u vremenu i troškovima izvedbe monolitnih stropnih ploča na razinama razupiranja

Kod izvedbe građevine top-down metodom prvo se izvodi armiranobetonska dijafragma, zatim se kreće sa iskopom prve etaže građevine. Kada se izvrši iskop buši se tlo i postavljaju se piloti. Nakon ugradnje svih pilota postavlja se oplata stropne ploče, zatim armatura i betoniranje stropne ploče. Prilikom betoniranja važno je ostaviti otvore u stropnoj konstrukciji kako bi se prilikom kopanja donje etaže mogao odvoziti iskopani materijal. Nakon betoniranja prve stopne ploče može se krenuti sa iskopom donje etaže, ali i izradom gornje etaže tako se štedi na vremenu. Za svaku podzemnu etažu ponavlja se proces izvedbe.

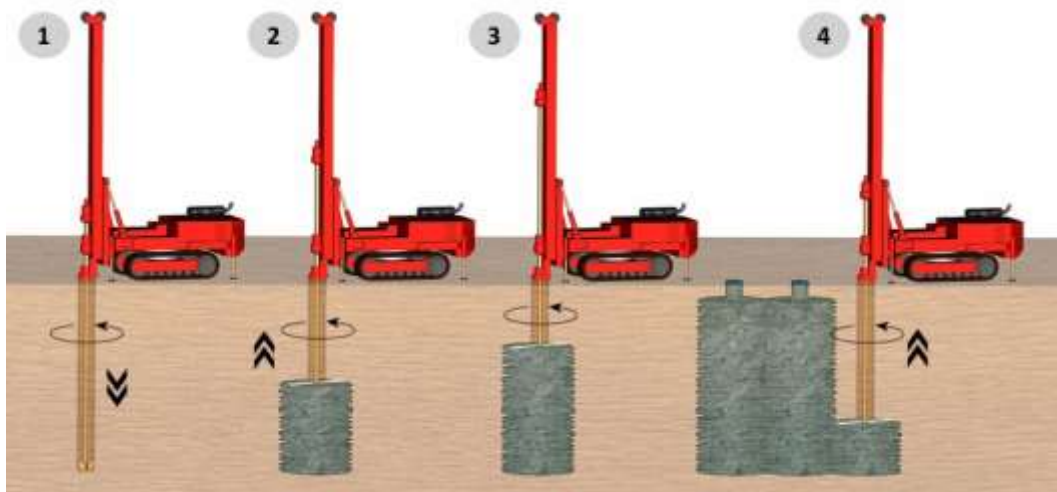


Slika 2.13. Izvedba podzemne garaže top-down metodom , „Cvjetni trg“, Zagreb.

2.7. Mlazno injektirani stupljaci („jet grouting“)

Mlazno injektiranje, više poznato kao „jet grouting“, je metoda poboljšanja tla kojom se određeni volumen tla pretvara u zemljani mort pri čemu se razbija struktura tla pomoću visoko energetske mlazne tekućine. Normalna veličine tlaka koja se koristi je mlazno injektiranje je između 450 i 500 bara, a pritom se može doseći brzina injekcijskog mlaza oko 300 m/s ili 1080 km/h.

Mlazno injektiranje se može koristiti kao zaštita stijenske građevinske jame, a može služiti kao vodonepropusna zavjesa u tlu i služiti kao zaštita od podzemne vode.



Slika 2.14. Proces mlaznog injektiranja (jet grouting).

Za mlazno injektiranje postoje četiri vrste postupka:

- jednofluidni sustav (injekcijska smjesa)
- dvofluidni sustav (injekcijska smjesa + zrak ili voda)
- trofluidni sustav (injekcijska smjesa + zrak + voda)
- super injektiranje (bazira se na dvofluidnom sustavu)

Odabir najpogodnijeg ovisi o tipu tla, vrsti primjene te fizičkim karakteristikama mlaznog injektiranog tijela koje je potrebno za određenu primjenu.

Kada se mlazno injektiranje izvodi jednofluidnim postupkom, injekcijska smjesa se pod velikim brzinama upumpava u okolno tlo. Na taj način nastaju stupovi promjera 0,6 – 1,2 m. Postupak se može uspješno primijeniti u šljuncima, pijescima i prahovima, dok je u glinama manje efikasan.

Dvofluidnim postupkom istovremeno se injektira i injekcijska smjesa i zrak koji povećava efikasnost injektiranja. Mogu se postići promjeri do 1 m u zbijenim tlima i do 1,8 m u rahlim.

Kod trofluidnog postupka injekcijska smjesa, zrak i voda se istovremeno pumpaju u tlo. Na ovaj način mogu se postići kvalitetniji stupovi većeg promjera (0,9 – 1,5 m).

Trofluidno injektiranje je najefikasniji sustav za koherentna tla.

Super injektiranjem se, slično kao i kod dvofluidnog postupka, istovremeno pumpaju injekcijska smjesa i zrak. Kako se alat rotira vrlo sporo postižu se stupovi promjera 3 – 5 m.

Mlazno injektiranje se izvodi po sljedećim fazama:

- 1) Bušenje – vrši se bušaćim šipkama s nosačem mlaznica i bušačom krunom. Mlaz od smjese podupire sam postupak i održava stijenke bušotine oko šipki radi lakšeg povrata suspenzije za bušenje.
- 2) Rezanje – razaranje strukture tla započinje na najdubljem dijelu predviđenog mlazno injektiranog stupa pod kutem od 90° u odnosu na bušaču os, pomoću visoko energetskog tekućeg mlaza. Višak smjese, tj. zemljanog morta (voda – tlo – cement) teče uz prstenasti otvor bušotine na površinu.
- 3) Mlazno injektiranje – kod svih postupaka, istovremeno s razaranjem tla, dodaje se cementna suspenzija pod pritiskom koja se u području rada (in situ) optimalno miješa, uslijed turbulencija stvorenih samim postupkom. Tako izvedeni mlazno injektirani stupnjaci svojom visokom gustoćom podupiru zapunjeni prostor, do vlastitog učvršćenja te imaju statički povoljnija svojstva.

2.8. Geotehnička sidra

Kod zagatnih stijena (žmurje, AB dijafragma) velikih dubina česta je potreba dodatnog usidrenja, za usidrenje koriste se geotehnička sidra. Geotehnička sidra predstavljaju poseban element u grupi geotehničkih konstrukcija koje na poseban način učvršćuju prirodni teren iza profila tla ili zaštitne konstrukcije. Sidrima se vlačna sila s konstrukcije prenosi u tlo. Za prenošenje vlačne sile koristi se posmična čvrstoća okolnog tla. Sidra su razmjerno tanke ali dugačke željezne šipke, ili na neki način povezani dugački snopovi čeličnih žica, koji se ugrađuju i na razne načine učvršćuju u bušotinama manjeg promjera.

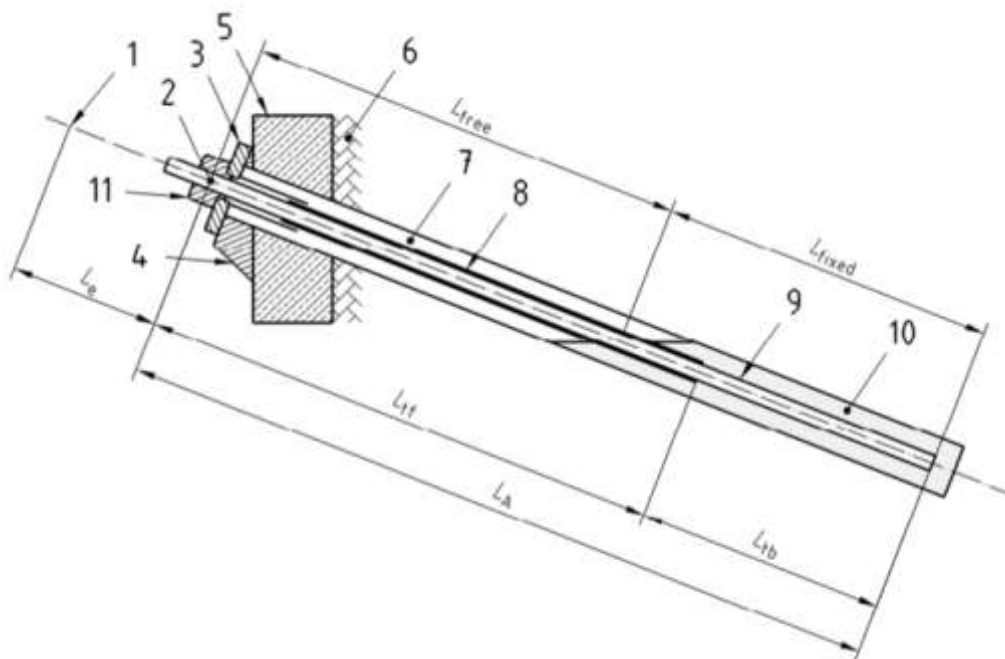
Geotehničko sidro sastoji se od 3 glavna elementa:

- Sidrišu dionicu, duljine L_a
- Slobodu dionicu duljine L_f
- Glavu sidra

Detaljnije podjela dijelova sidra :

Oznaka:

- 1 - os sidra
- 2 - os sidra na glavi sidra
- 3 - nosiva pločica
- 4 - ploča za prijenos opterećenja
- 5 - strukturni element
- 6 - tlo/stijena
- 7 - bušotina
- 8 - zaštitna cijev
- 9 - čelično tijelo sidra
- 10 - sidrišna dionica
- 11 - matica sidra



Slika 2.15. Geotehničko sidro.

Sidrišna dionica L_a ima uloga da se sila sa sidra prenese u tlo.

Uloga slobodne dionice sidra, duljine L_f , je višestruka pa je ponekad potrebno više vremena za određivanje slobodne dionice nego sidrišne dionice L_a .

Postoje dva osnovna faktora koji upućuju na izbor većih duljina slobodnih dionica sidra L_f , a to su:

1. Potreba prijenosa sile u duboko zaleđe objekta da bi se ušlo u stabilne formacije stijene ili tla i da bi se umanjio povratni refleks opterećenja iz sidrišne zone u usidreni objekt.
2. Ostvarivanje fleksibilnosti geotehničkog sistema radi ostvarivanja što većeg elastičnog produženja sidra, kako bi:

- pad sile prednaprezanja bio što manji
- se omogućilo geotehničkom sidru da se u što većoj mjeri adaptira deformacijama, tj. pomacima do kojih dolazi unutar sidrene konstrukcije

Tehnika izrade geotehničkih sidara:

1. Na mjestu sidra (zatege) izbuši se rupa odgovarajućeg promjera i dubine, koja se zacijevi- stavlja se cijev kako se bušotina ne bi urušila (začepila).
2. U bušotinu se ugradi zatega koja se može sastijati od jedne šipke, ako je riječ o maloj sili, ili od snopa čeličnih kabela (žica), ako je riječ o većoj sili.
3. Prikladnom konstrukcijom brtvimo donji kraj bušotine na dijelu potrebnom za usidrenje zatege u tlo, koji se zapunjuje injektiranim betonom istodobno izvlačeći obložnu cijev.

2.9. Zaštita građevinske jame od vode

Građevinska jama je prostor koji mora biti suh. Ona je također udubina u tlu iz koje voda ne može gravitacijski isteći. Iz tog razloga potrebno je građevinskim zahvatima osigurati odvodnju građevinske jame. Vode u građevinskoj jami dijele se na oborinske i podzemne vode. Za odvodnju tih voda izvode se odvodni jarci, drenaže, izgradnja dna građevinske jame u padovima prema bunarima. Drenažni jarci u padu, koji odvedu vodu do bunara, su izgrađeni tako da je njihovo dno niže od dna građevinske jame, na taj način se razina podzemne vode nalazi ispod razine dna građevinske jame i dno ostaje suho. Ukoliko se štitimo samo od oborinske vode u građevinskoj jami crpne stanice, koje ispumpavaju vodu iz bunara, se uključuju prilikom oborina, a kada se štitimo od podzemne vode crpne stanice rade cijelodnevno.

Veliki problem u građevinskoj jami stvara podzemna voda, te se njoj treba posvetiti posebna pažnja jer može uzrokovati nepovoljne događaje, poput hidrauličkog sloma tla, koji uvelike utječu na daljnju gradnju. Zbog toga posebnu pažnju dajemo hidrauličkoj stabilnosti dna građevinske jame. Strujanje vode u jamu kroz tlo može izazvati hidraulički slom tla, pa je potrebno preko strujne mreže provjeriti stvarne gradijente u izlazu vode u jamu i osigurati se od hidrauličkog sloma. Ukoliko postoji razlika potencijala vode u različitim točkama u tlu, voda će teći iz mjesta višeg prema mjestu nižeg visinskog potencijala.

Ukupni potencijal definiran je Bernullijevom jednadžbom, koja prikazuje zbroj triju visina:

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + z$$

gdje je:

u – porni tlak

γ_w – zapreminska težina vode u/γ_w – tlačna (piezometarska visina)

v – brzina

g – ubrzanje sile teže

$\frac{v^2}{2g}$ – brzinska visina

z – geodetska visina

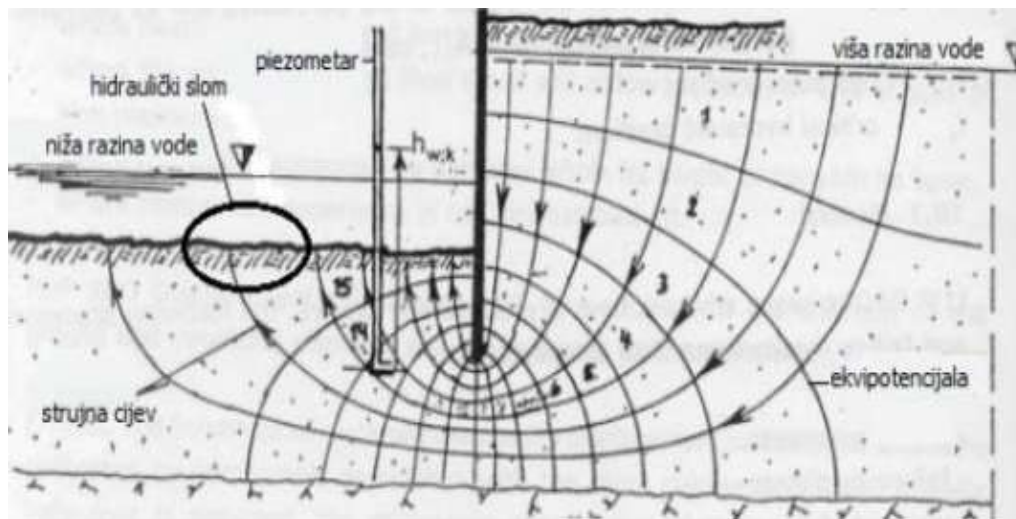
h – hidraulički potencijal

Pošto je brzina kretanja vode u tlu mala, zanemaruje se udio kinetičke energije, pa je ukupni potencijal jednak zbroju geodetskog H_g i piezometarskog potencijala H_p .

$$\frac{v^2}{2g} \approx 0$$

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + z$$

Postupak provjere nastupanja hidrauličkog sloma tla sastoji se od određivanja hidrauličkog gradijenta i kritičnog hidrauličkog gradijenta. Na slici 16. vidljive su strujnice i ekvipotencijale koje se međusobno sijeku pod pravim kutom. Strujnice opisuju smjer tečenja vode, a ekvipotencijale povezuju sve točke koje imaju isti ukupni potencijal. Kada voda struji iz jedne strane na drugu, tlakovi iza stijene se smanjuju, a ispred stijene se povećavaju.



Slika 2. 16. Tok vode kroz tlo oko zagatne stijene.

Hidraulički gradijent:

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

Kritični hidraulički gradijent:

$$i_{cr} = \frac{\gamma}{\gamma'}$$

gdje je:

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w$$

γ' – uronjena jedinična težina tla

γ_w – obujamska težina vode

γ – specifična težina tla

Da bi ocijenili je li nastupio hidraulički slom tla ili ne potrebno je usporediti hidraulički gradijent s kritičnim hidrauličkim gradijentom.

$i < i_{cr}$ – nije nastupio hidraulički slom

$i > i_{cr}$ – nastupio je hidraulički slom

3. Općenito o geotehničkim značajkama predmetne lokacije

3.1. Općenito

Na predmetnoj lokaciji k.č. 3821, k.o. Varaždinske toplice, za potrebe izgradnje Hotela (luksuzni zdravstveni i termalni centar Bernarda****) bilo je potrebno izvesti projekt zaštitne konstrukcije za izvedbu iskopa građevinske jame.



Slika 3.1. Predmetna lokacija.

3.2. Istražni radovi

Za potrebe izrade elaborata: “ SPP d.o.o. Trstenjakova 3, 42 000 Varaždin, TEHNIČKOG DNEVNIKA: SPP/2016/0088. Geotehnički elaborat za potrebe temeljenja HOTELa (luksuzni zdravstveni i termalni centar Bernarda****) u Varaždinskim Toplicama, Varaždin, 2016. godine.“ , izvedeni su geotehnički istražni radovi kroz istražno bušenje, dilatometarsko ispitivanje i geofizičko ispitivanje tla. Svrha istražnih radova bila je dobivanje uvida u sastav i geotehničke značajke tla, te na osnovu tih podataka određivanje računске otpornosti tla i veličinu slijeganja temeljne konstrukcije . Programom istraživanja izvedene su dvije (2) istražne bušotine (B-3, B-4), dva (2) dilatometarska ispitivanja (DMT-1, DMT2) i jedna (1) geoelektrična tomografija (ERT-1). Položaj istražnih radova u odnosu na tlocrtnu situaciju prikazan je na situacijskom planu (slika 3.1.)

Na predmetnoj lokaciji izvedeni su preeliminarni istražni radovi koji su detaljno opisani u dokumentu :“Preeliminarni geotehnički elaborat o sastavu temeljnog tla na prostoru novog hotela u Varaždinskim Toplicama „, studeni 2015, br. teh. dn. : SPP/2015/129, SPP d.o.o.,

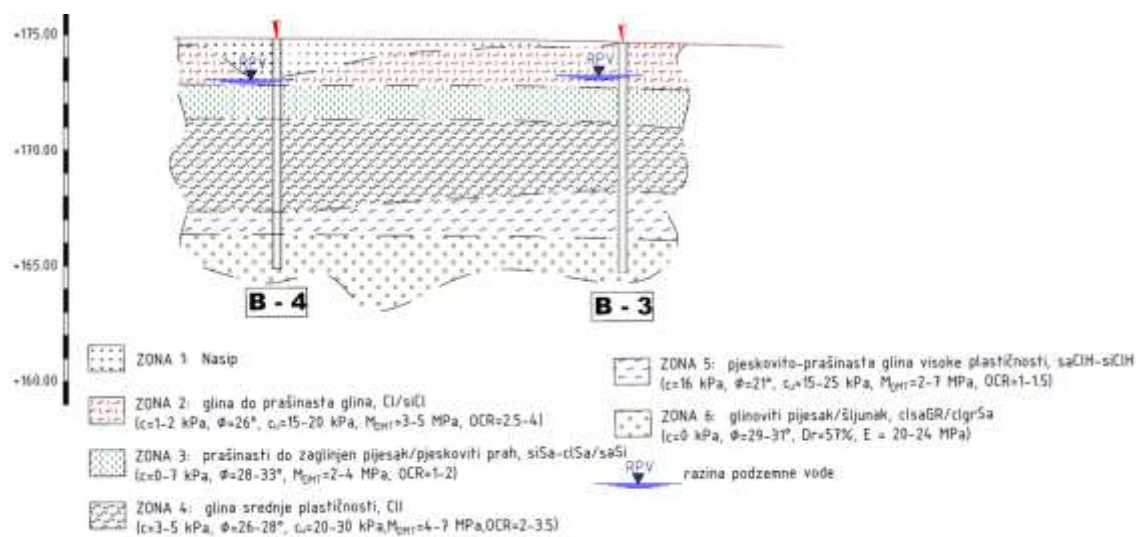
Trstenjakova 3, Varaždin. U sklopu tih radova izvedene su dvije istražne bušotine (B-1 i B2) u koje je ujedno ugrađen i piezometar.



Slika 3.2. Dio situacijskog plana.

3.3. Rezultati ispitivanja

GEOLOŠKI PROFIL TLA



Slika 3.3. Profil tla.

Bušenjem je utvrđeno šest karakterističnih geotehničkih zona:

ZONA 1 : NASIP (dubina 0 – 2.0 m): Debljina sloja od 0.5 do maksimalno 2.0 m.

ZONA 2 : PRAŠINASTA GLINA SREDNJE PLASTIČNOSTI (siClI, dubina 0.5 – 2.0 m):

sloj se pojavljuje neposredno ispod površine terena, debljina sloja do 1.50 m.

Jedinična težina materijala (γ) iznosi 15-16 kN/m³.

Parametri čvrstoće tla: - kohezija (c) iznosi 1-2 kPa,
- kut trenja tla (φ) iznosi 26 °.

Stupanj prekonsolidacije (OCR) iznosi 2.5-4.

Nedrenirana posmična čvrstoća (c_v) iznosi 15-20 kPa.

Statička krutost sloja tla: Parametri krutosti tla dobiveni iz dilatometarskog ispitivanja:

- $M_{DMT} = 6-7$ MPa,
- $E_{DMT} = 2 - 2.5$ Mpa

ZONA 3 : PRAŠINAST DO ZAGLINJEN PIJESAK/PIJESKOVITI PRAH (siSa-clSa/saSi, dubina 2.0 – 3.5 m):

sloj se pojavljuje neposredno ispod zone 2, debljina sloja 1.5 m.

Jedinična težina materijala (γ) iznosi 16-17 kN/m³.

Parametri čvrstoće tla: - kohezija (c) iznosi 0-7 kPa,
- kut trenja tla (φ) iznosi 28-33°.

Stupanj prekonsolidacije (OCR) iznosi 1-2.

Koeficijent vodopropusnosti (k) iznosi $4.0 \cdot 10^{-5}$ cm/s – $8.1 \cdot 10^{-5}$ cm/s.

Statička krutost sloja tla: Parametri krutosti tla dobiveni iz dilatometarskog ispitivanja:

- $M_{DMT} = 2-4$ MPa,
- $E_{DMT} = 2.5-5$ Mpa.

ZONA 4: GLINA SREDNJE PLASTIČNOSTI (ClI, dubina 3.5 - 6.5 (7.5) m):

sloj se pojavljuje neposredno ispod zone 3, debljina sloja 3-4 m.

Jedinična težina materijala (γ) iznosi 16-17 kN/m³.

Parametri čvrstoće tla: - kohezija (c) iznosi 3-5 kPa,
- kut trenja tla (φ) iznosi 26-28°.

Stupanj prekonsolidacije (OCR) iznosi 2-3.5.

Nedrenirana posmična čvrstoća (c_v) iznosi 20-30 kPa.

Statička krutost sloja tla: Parametri krutosti tla dobiveni iz dilatometarskog ispitivanja:

- $M_{DMT} = 4 - 7$ MPa,
- $E_{DMT} = 3.5 - 4.5$ Mpa

ZONA 5: PJESKOVITO-PRAŠINASTA GLINA VISOKE PLASTIČNOSTI (saClIH/siClIH, dubina 6.5(7.5) - 8.5m):

sloj se pojavljuje neposredno ispod zone 4 , debljina sloja 1 - 2 m.

Jedinična težina materijala (γ) iznosi 15.5-16 kN/m³.

Parametri čvrstoće tla: - kohezija (c) iznosi 16 kPa,
- kut trenja tla (φ) iznosi 21°.

Stupanj prekonsolidacije (OCR) iznosi 1.0-1.5.

Nedrenirana posmična čvrstoća (c_v) iznosi 15-25 kPa.

Statička krutost sloja tla: Parametri krutosti tla dobiveni iz dilatometarskog ispitivanja:

- $M_{DMT} = 2 - 7 \text{ MPa}$,
- $E_{DMT} = 3.5 - 7 \text{ Mpa}$

ZONA 6: GLINOVIT PIJESAK/GLINOVITO-PJESKOVITI ŠLJUNAK (clSa/clgrSa, dubina 8.5 – 10 m):

sloj se pojavljuje neposredno ispod zone 5, debljina sloja $>1.5 \text{ m}$.

Jedinična težina materijala (γ) iznosi 17.5 kN/m^3 .

Parametri čvrstoće tla: - kohezija (c) iznosi 0 kPa ,

- kut trenja tla (φ) iznosi $29-37^\circ$.

Koeficijent vodopropusnosti (k) iznosi $2.25 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s} - 9.6 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$.

Statička krutost sloja tla: Parametri krutosti tla dobiveni iz dilatometarskog ispitivanja:

- $M_{DMT} = 20 \text{ MPa}$,
- $E_{DMT} = 21 \text{ MPa}$



Slika 3.4. Nabušena jezgra bušotine.

4. Rješenja zaštite građevinske jame

Za izvedbu zaštite građevinske jame hotela izvedena su dva glavna projekta:

- 1) Pažur I. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME - IZMJENA I DOPUNA SPP.d.o.o. Varaždin
- 2) Soldo B. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME - BOČNA ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME I SNIŽENJA PODZEMNE VODE -HOTEL (luksuzni zdravstveni i termalni centar „Bernarda“****)Varaždinske Toplice, Zagrebačka ulica, k.č. 3821, k.o. Varaždinske Toplice

4.1. Glavni projekt

Prvi projekt zaštite građevinske jame zasnivao se na zaštiti jame sa čeličnim žmurjem (talpma) koje su ojačane sa čeličnim sidrima. Načini izvedbe i opis elemenata opisani su u poglavljima 2.3.2. i 2.7.

4.1.1. Geostatički proračun

Parametri koji su se koristili za izradu glavnog projekta zadani su u tablicama 2, 3 i 4.

Parametar	Oznaka	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	
Model tla		MC	MC	MC	MC	MC	
Ponašanja materijala	-	Drenirano	Drenirano	Drenirano	Drenirano	Drenirano	
Jedinična težina tla	γ	16	16,5	16,5	16	17,5	kN/m ³
Kohezija	c	2	1	3	16	1	kPa
Kut unutarnjeg trenja	φ	26	26	26	21	30	[°]
Modul stišljivosti	M_{UR}	20 000	12 000	21 000	21 000	63 000	kPa
Poissonov koeficijent	ν	0,4	0,4	0,4	0,4	0,35	kPa

Tablica 2. Ulazni parametri za tlo .

Oznake u tablici 2:

MC – Mohr-Coulomb model tla,

$M_{UR} = 3 \cdot M_{DMT}$ – modul uvećan za 3 puta zbog rasterećenje-opterećenja tla usljed iskopa

Parametar	Oznaka	Čelična talpa LARSEN 605	
Modela materijala	-	Linearan	
Aksijalna krutost	EA	3 546 000	kN/m
Krutost na savijanje	EI	84 840	kPa/m
Težina	W	1,39	kN/m/m
Poissonov koeficijent	ν	0,0	-

Tablica 3 . Ulazni parametri za žmurje.

Parametar	Oznaka	Sidro	
Model materijala	-	Linearan	
Debljina	D	0,0265 (0,30)	m
Jedinična težina	γ		kN/m ³
Youngov modul	E	$2 \cdot 10^8$ ($110 \cdot 10^7$)	kPa
Aksijalna krutost	EA	160 100	kN/m
Krutost na savijanje	EI	-	kNm ² /m
Razmak	Δ	2,5	M

Tablica 4. Ulazni parametri za sidro.

Analiza opterećenja na konstrukciju :

- Djelovanje od tla (aktivni tlak, pasivni otpor)
- Djelovanje mehanizacija 20 kPa

Kontrola hidrauličkog loma tla :

Kritični hidraulički gradijent, i_c :

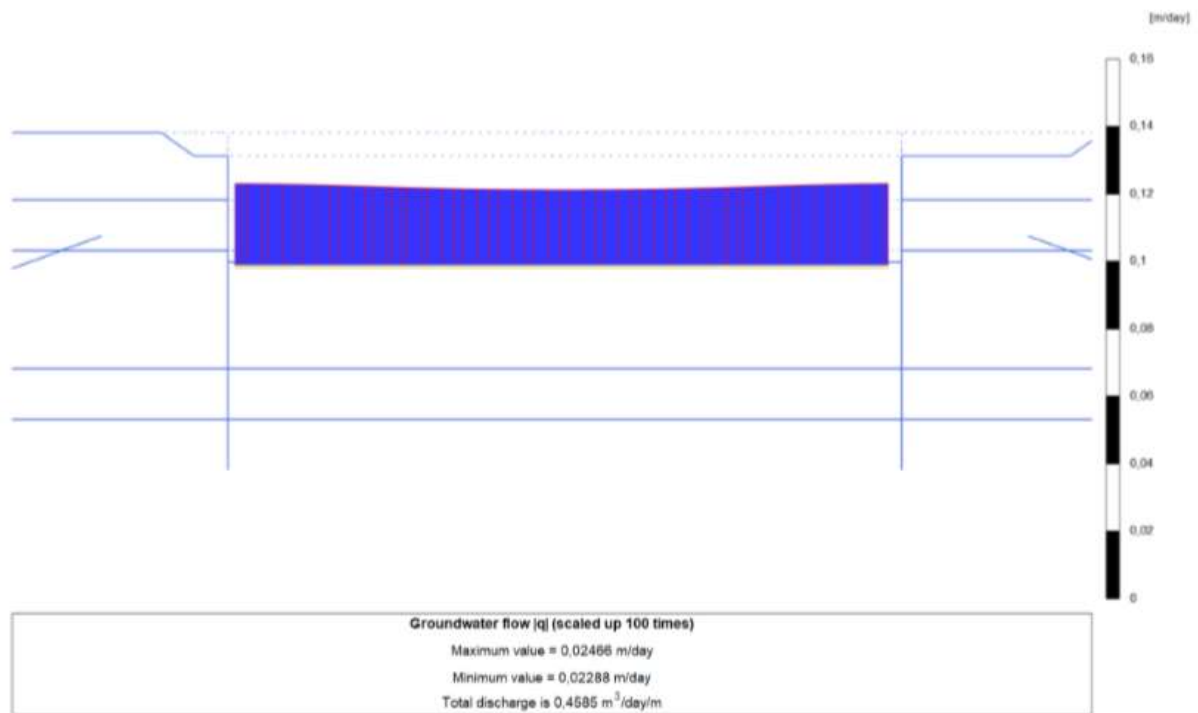
$$i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{16 - 10}{10} = 0,6$$

Hidraulički gradijent u građevinskoj jami, i :

$$i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{2,35}{2,35 + 2 \cdot 5} = 0,19$$

Faktor sigurnosti na slom tla:

$$F_s = \frac{i_c}{i} = \frac{0,6}{0,19} = 3,16 > 2,0 \leftarrow \text{zadovoljava}$$

Dotok vode u građevinsku jamu :

Slika 4.1. Dotok vode u građevinsku jamu.

$$Q = 0.5 \text{ m}^3/\text{dan}/\text{m}' = 0.5 \cdot 27 = 14 \text{ m}^3/\text{dan} = 0.2 \text{ l/s}$$

Pretpostvaka je bila da će u građevinsku jamu ulaziti cca 0.5 l/s.

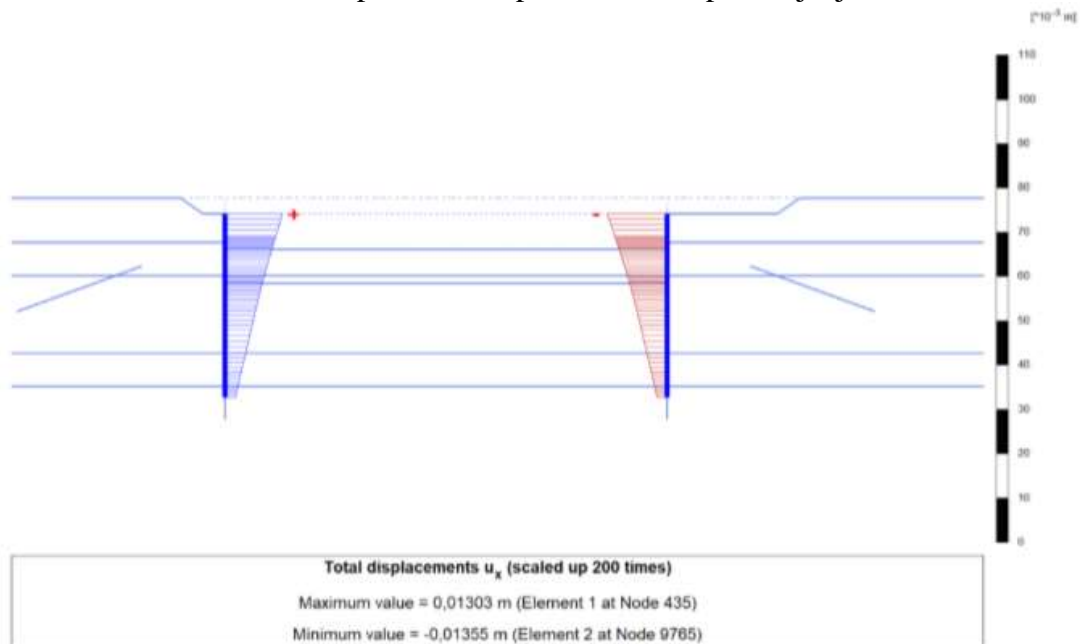
Zbog mogućnosti pojave neočekivanih pojava ekstremnih količina vode predviđeni kapacitet pumpi za crpljenje vode bio je minimalno 5-10 l/s.

4.1.2. Dimenzioniranje konstruktivnih elemenata potporne konstrukcije

Čelično žmurje Larssen 605: Kontrola nosivosti po m čeličnog žmurja

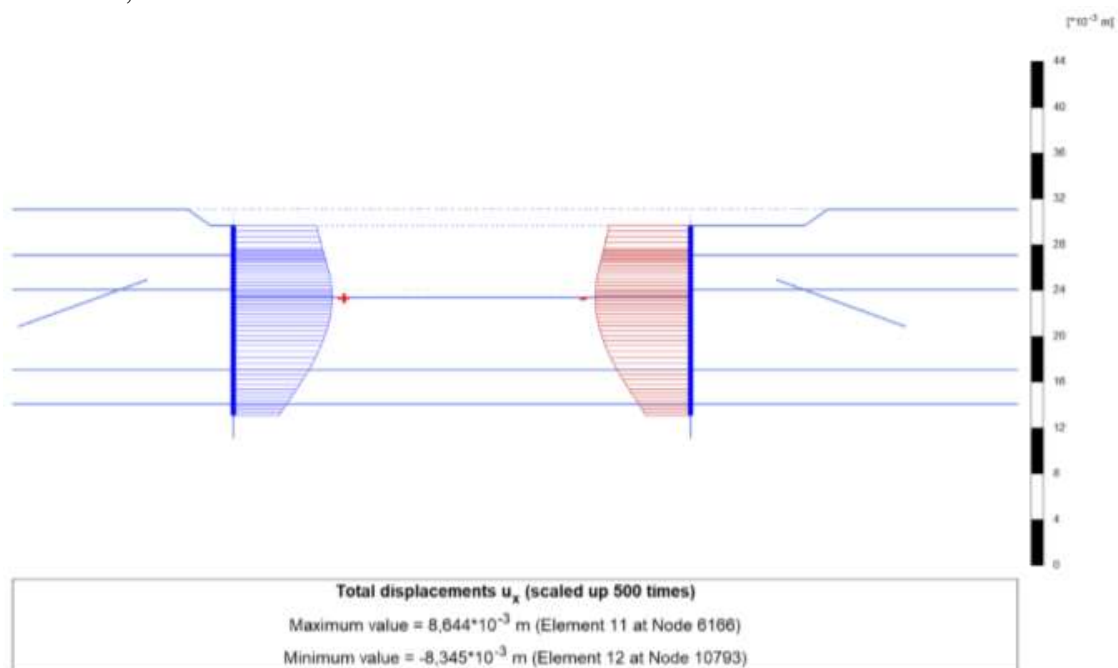
Rezultati dobiveni modeliranjem programom Plaxis 2D:

- maksimalni horizontalni pomak- iskop tla do razine postavljanja sidara: $u = 1,36 \text{ cm}$



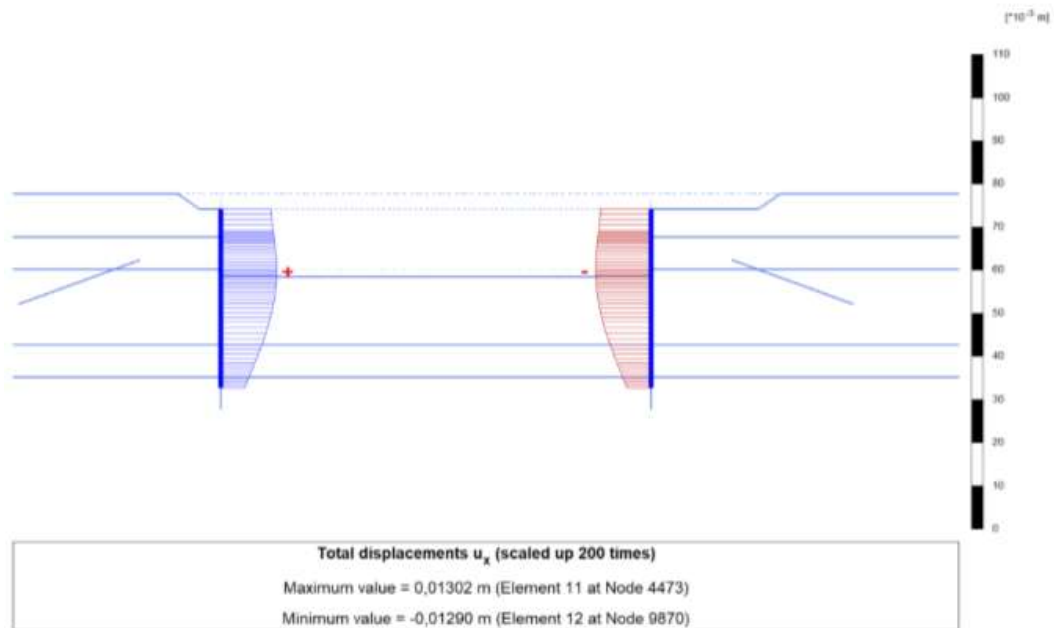
Slika 4.2. Maksimalni horizontalni pomak potporne konstrukcije- iskop tla za ugradnju sidara.

- maksimalni horizontalni pomak – konačan iskop tla (voda u građevinskoj jami):
 $u = 8,6 \text{ mm}$



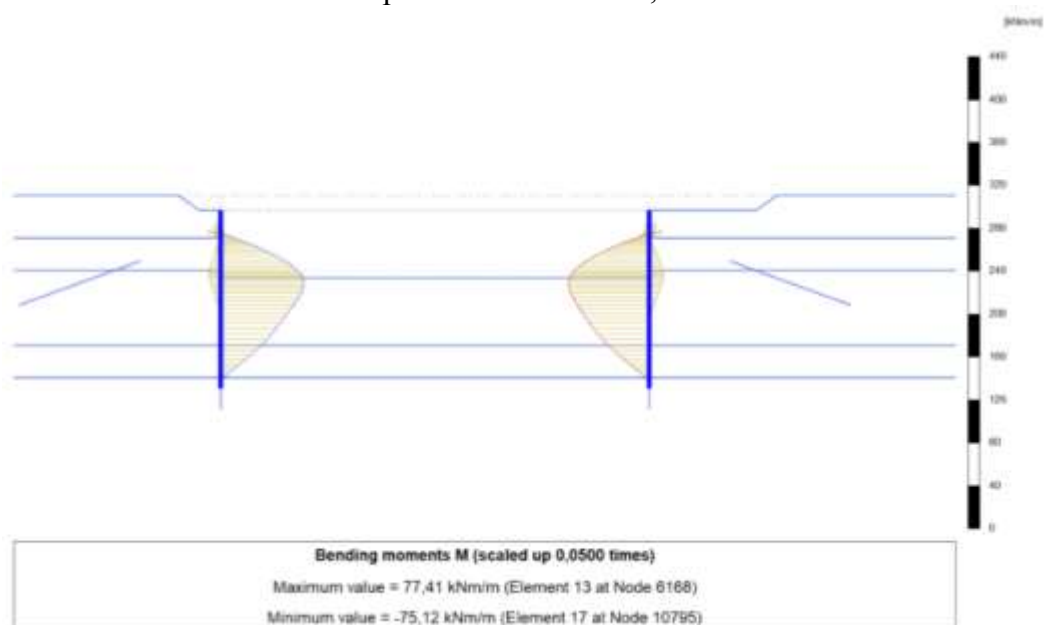
Slika 4.3. Maksimalni horizontalni pomak – konačan iskop tla (voda u građevinskoj jami)

- maksimalni horizontalni pomak potporne konstrukcije – konačan iskop tla (ispumpavanje vode): $u = 1,3 \text{ cm}$



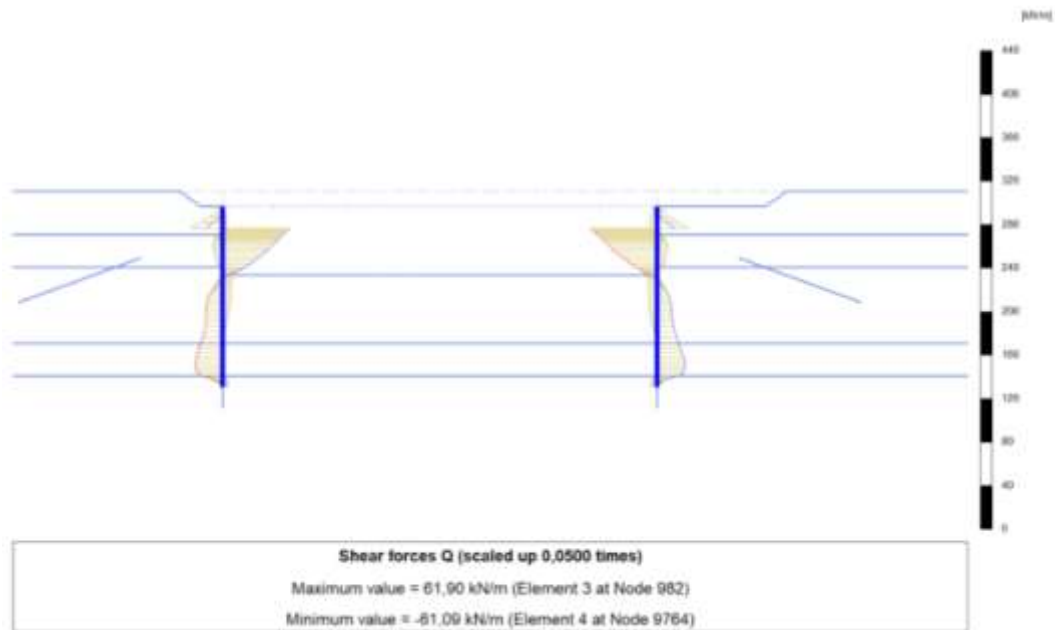
Slika 4.4. Maksimalni horizontalni pomak potporne konstrukcije – konačan iskop tla (ispumpavanje vode)

- maksimalni moment dobiven proračunom: $M = 77,4 \text{ kNm/m}$



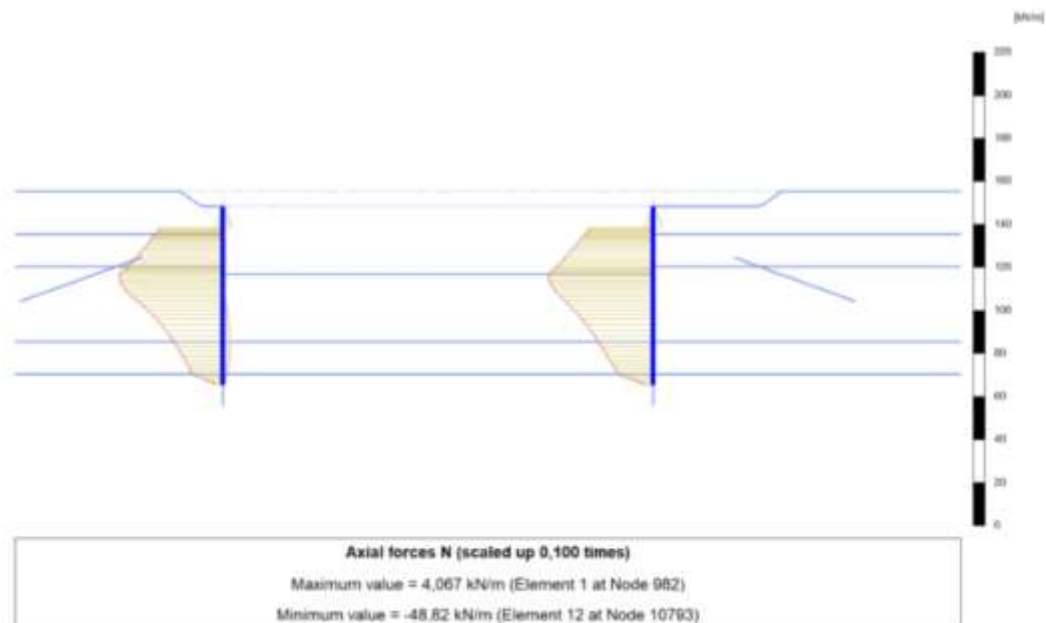
Slika 4.5. Momenti savijanja.

- maksimalna poprečna sila dobivena proračunom: $V = 61,9 \text{ kN/m}$



Slika 4.6. Poprečne sile.

- maksimalna uzdužna sila dobivena proračunom: $N = 48,8 \text{ kN/m}$



Slika 4.7. Uzdužne sile.

- računski moment savijanja: $M_{Ed} = \gamma_G \cdot M = 1,0 \cdot 77,4 = 77,4 \text{ kNm}$
- računska poprečna sila: $V_{Ed} = \gamma_G \cdot V = 1,0 \cdot 61,9 = 61,9 \text{ kN/m}$
- računska uzdužna sila: $N_{Ed} = \gamma_G \cdot N = 1,0 \cdot 48,8 = 48,8 \text{ kNm}$

Za kombinaciju savijanja i tlačnog djelovanja izvijanje žmurja ne treba uzeti u obzir ako je zadovoljen uvjet:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0,04$$

Elastično kritično opterećenje talpe, N_{cr} :

$$N_{cr} = EI \cdot \beta_D \cdot \frac{\pi^2}{l^2} = 84\,840 \cdot 1 \cdot \frac{\pi^2}{10^2} = 8365 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} = \frac{110,5}{8365} = 0,013 \leq 0,04 \rightarrow \text{Ne treba uzeti u obzir izvijanje žmurja}$$

Posmična otpornost talpe:

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{t_w \cdot (h - t_f) \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{Mo}} = \frac{9 \cdot (420 - 12,5) \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 751 \text{ kN}$$

Dokaz nosivosti na posmičnu silu:

$$\Delta_{GEO} = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{61,9}{751} = 0,08 < 1,0 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Udužna otpornost talpe:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{177,3 \cdot 35,5}{1,0} = 6294 \text{ kN}$$

Dokaz nosivosti na tlačnu silu:

$$\Delta_{GEO} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{48,8}{6294} = 0,08 < 1,0 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Računska otpornost čeličnog talpe:

$$M_{Rd} = \beta_B \cdot W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{Mo}} = 1 \cdot 2340 \cdot \frac{35,5}{1,0} = 831 \text{ kNm}$$

Dokaz nosivosti na moment savijanja:

$$\Delta_{\text{GEO}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{M_{\text{Rd}}} = \frac{77,4}{831} = 0,09 < 1,0 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Dokaz nosivosti na izvijanje talpi:

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{\chi \cdot N_{\text{Rd}} \cdot \left(\frac{\gamma_{\text{Mo}}}{\gamma_{\text{M1}}}\right)} + 1,15 \cdot \frac{M_{\text{Ed}}}{M_{\text{Rd}} \cdot \left(\frac{\gamma_{\text{Mo}}}{\gamma_{\text{M1}}}\right)} \leq 1,0$$

$$\frac{48,8}{0,6 \cdot 6294 \cdot \left(\frac{1}{1,1}\right)} + 1,15 \cdot \frac{77,4}{831 \cdot \left(\frac{1}{1,1}\right)} = 0,13 \leq 1,0 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Čelično žmurje Larsen 605: Kontrola nosivosti za samo jednu talpu (širina talpe: 0,6m)

- maksimalni moment dobiven proračunom : $M=77.4 \text{ kNm/m}$
- maksimalna poprečna sila dobivena proračunom: $V=61.9 \text{ kN/m}$
- maksimalna uzdužna sila dobivena proračunom: $N=48.8 \text{ kN/m}$

- Računski moment savijanja: $M_{\text{Ed}} = \gamma_G \cdot M \cdot 0.6 = 1.0 \cdot 77.4 \cdot 0.6 = 46.4 \text{ kNm}$
- Računska poprečna sila: $V_{\text{Ed}} = \gamma_G \cdot V \cdot 0.6 = 1.0 \cdot 61.9 \cdot 0.6 = 37.1 \text{ kN}$
- Računska uzdužna sila: $N_{\text{Ed}} = \gamma_G \cdot N \cdot 0.6 = 1.0 \cdot 48.8 \cdot 0.6 = 29.3 \text{ kN}$

Posmična otpornost talpe:

$$V_{\text{Rd}} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{\text{Mo}}} = \frac{t_w \cdot (h - t_f) \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{\text{Mo}}} = \frac{9 \cdot (210 - 12,5) \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 364 \text{ kN}$$

Dokaz nosivosti na posmičnu silu:

$$\Delta_{\text{GEO}} = \frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{Rd}}} = \frac{37,1}{364} = 0,10 < 1,0 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Udužna otpornost talpe:

$$N_{\text{Rd}} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{\text{Mo}}} = \frac{106,4 \cdot 35,5}{1,0} = 3777 \text{ kN}$$

Dokaz nosivosti na tlačnu silu:

$$\Delta_{\text{GEO}} = \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{Rd}}} = \frac{29,3}{3777} = 0,08 < 1,0 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Računska otpornost čeličnog talpe:

$$M_{Rd} = \beta_B \cdot W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{Mo}} = 1 \cdot 520 \cdot \frac{35,5}{1,0} = 184,6 \text{ kNm}$$

Dokaz nosivosti na moment savijanja:

$$\Delta_{GEO} = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{46,4}{184,6} = 0,25 < 1,0 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Dokaz nosivosti na izvijanje talpi:

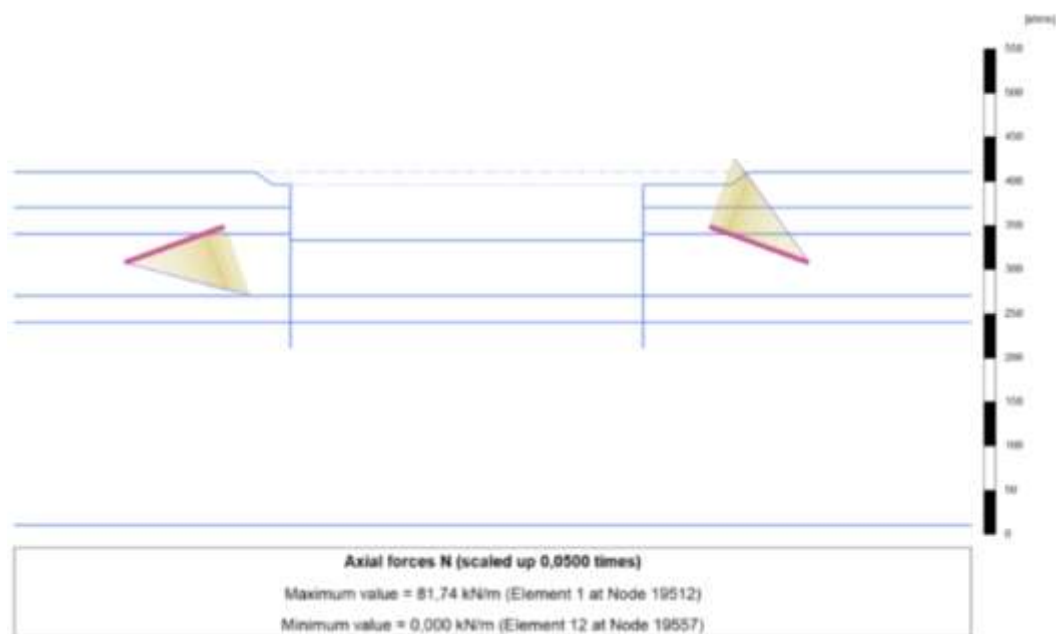
$$\frac{N_{Ed}}{\chi \cdot N_{Rd} \cdot \left(\frac{\gamma_{Mo}}{\gamma_{M1}}\right)} + 1,15 \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{Rd} \cdot \left(\frac{\gamma_{Mo}}{\gamma_{M1}}\right)} \leq 1,0$$

$$\frac{29,3}{0,6 \cdot 3777 \cdot \left(\frac{1}{1,1}\right)} + 1,15 \cdot \frac{46,4}{184,6 \cdot \left(\frac{1}{1,1}\right)} = 0,33 \leq 1,0 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Dokaz nosivosti sidra:

Rezultati dobiveni modeliranjem programom Plaxis 2D:

- maksimalna sila u sidru dobivena numeričkim modeliranjem: $T = 82 \text{ kN/m}$
- maksimalna sila u sidru na razmaku od 2.5 m: $T_{Ed} = T \cdot \Delta = 82 \cdot 2.5 = 205 \text{ kN}$



Slika 4.8. Uzdužna u sidrima.

Nosivost sidra po plaštu sidrišnog tijela sidra:

$$S_{fc} = \tau \cdot (2 \cdot r \cdot \pi) \cdot L_s$$

gdje su:

τ – prionjivost, $\tau = \alpha \cdot c + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi$

c – kohezija tla

σ_n – geostatičko normalno naprezanje na površini sidrišnog tijela

r – polumjer presjeka sidrišnog tijela, $r_{\min} = 150 \text{ mm}$

L_s – duljina sidrišnog tijela, $L_s = 10.5 \text{ m}$

α – koeficijent prionjivosti, uzeto $\alpha = 1.0$

Sidra prolaze kroz geotehničku zonu 2

- Duljina slobodne dionice: 4.0 m
- Duljina sidrene dionice : 6.0 m
- Ukupna duljina sidara: $L = 10.0$

Proračun:

$$c_d = 3 \text{ kPa}$$

$$\varphi_d = 21,3^\circ$$

$$\sigma_n = 90 \text{ kPa}$$

$$\tau = \alpha \cdot c + \sigma_n \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = 1,0 \cdot 3 + 90 \cdot \operatorname{tg}(21,3^\circ) = 38 \text{ kPa}$$

$$S_{fc} = \tau \cdot (2 \cdot r \cdot \pi) \cdot L_s = 38 \cdot (2 \cdot 0.15 \cdot \pi) = 36 \text{ kN/m}$$

Dokaz nosivosti sidra:

Promjer bušotine $D_B = 100 \text{ mm}$

Promjer injektiranog tijela sidrišne dionice $D_{\min} = 300 \text{ mm}$

Sidro promjera 36 mm:

- Karakteristična vlačna nosivost šipke sidra: $P_{tk} = 580 \text{ kN}$
- Karakteristična nosivost šipke kod 0,1% deformacije: $P_{t0.1,k} = 525 \text{ kN}$
- Karakteristična unutarnja otpornost sidra: $R_{i,k} = P_{tk} = 580 \text{ kN}$
- Karakteristična eksterna otpornost sidra(interakcija tla i sidraene dionice):

$$R_{e,k} = L \cdot \tau \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \cdot \frac{D}{D_{\text{ref}}} = 10,5 \cdot 36 \cdot \operatorname{tg}(21,3^\circ) \cdot \frac{300}{100} = 442 \text{ kN}$$

- Karakteristična nosivst sidra

$$R_{a,k} = \min\{R_{e,k}, R_{i,k}\} = 442 \text{ kN}$$

- Računska nosivost sidra:

$$R_{a,d} = \frac{R_{a,k}}{\gamma_a} = \frac{442}{1,0} = 442 \text{ kN}$$

- Dokaz nosivosti:

$$\Delta_{\text{GEO}} = \frac{T_{\text{Ed}}}{R_{a,d}} = \frac{205}{442} = 0,46 < 1,0 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Obodna greda 2xHE 160A

Obodna greda ima oslonac na svakih 2.5 m, tj. na razmaku sidara. Na nju djeluje opterećenje od 82 kN/m' (dobiveno programom Plaxis 2D).

Maksimalni računski moment u obodnoj gredi :

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot l^2}{10} = \frac{82 \cdot 2,5^2}{10} = 51,3 \text{ kN}$$

Predviđena je ugradnja čeličnog profila 2xHE160A na razmaku a= 20 cm, čvrstoće S355.

Moment otpora 2xHE 160 A na razmaku a = 20 cm iznosi (preuzeto iz tablica) :

$$W=2 \cdot 220,1= 440,2 \text{ cm}^3.$$

Dokaz otpornosti presjeka na moment savijanja:

- otpornost presjeka na moment savijanja:

$$M_{c,Rd} = \frac{W \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{440,2 \cdot 35,5}{1,0} = 156,3 \text{ kNm}$$

- dokaz nosivosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{51,3}{156,3} = 0,33 < 1,0 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Naglavna pločica za sidro:

- na naglavnu pločicu djeluje sila od sidra, F=205 kN
- oslonac naglavne pločice (300x300mm) je razmak 2xHE160A profila: a=20 cm
- računski momen savijanja :

$$M_{Ed} = \frac{F \cdot a}{4} = \frac{205 \cdot 20}{4} = 1025 \text{ kNcm}$$

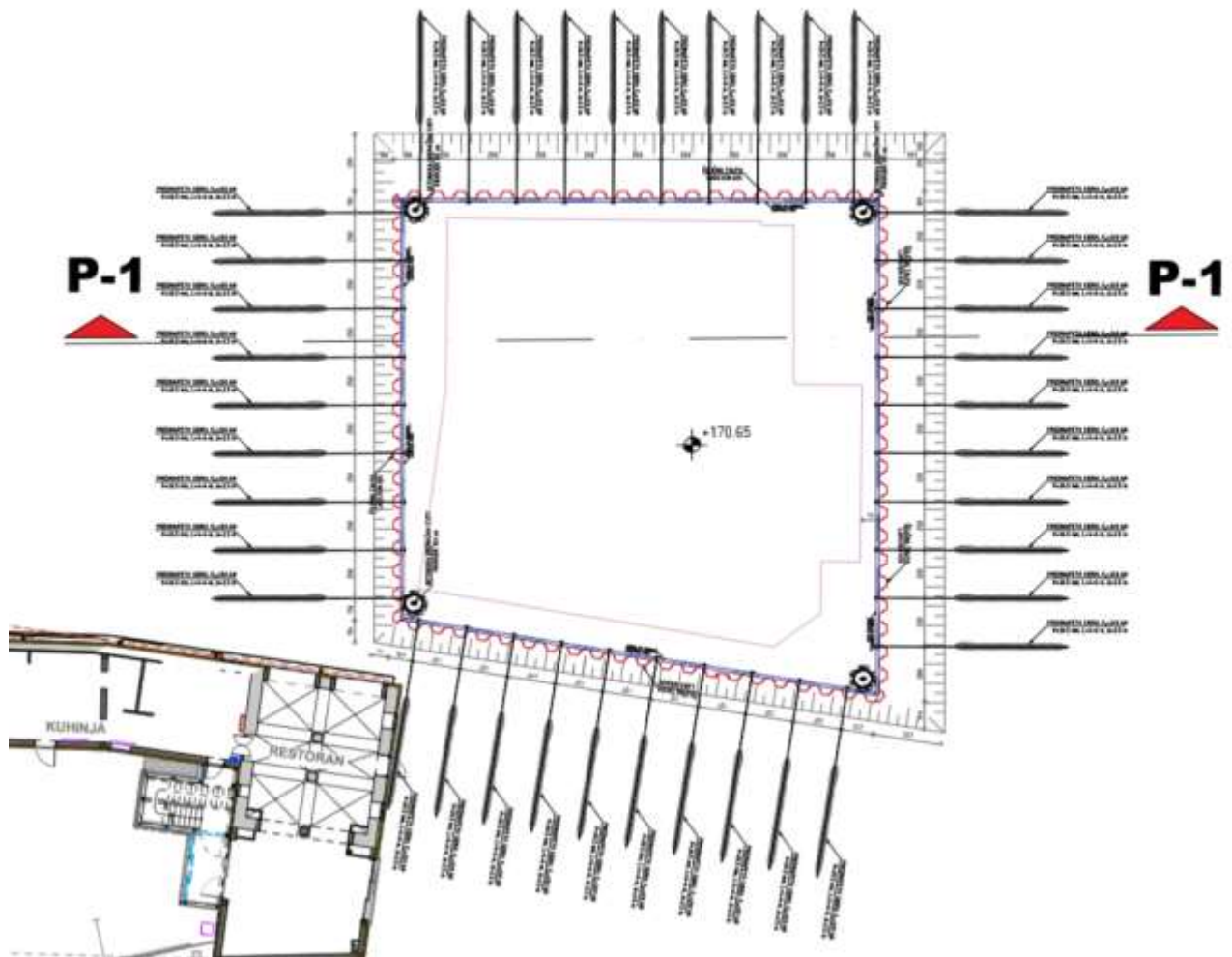
- Potrebna moment otpora pločice:

$$W = \frac{M_{Ed}}{f_s} = \frac{1025}{35,5} = 28,9 \text{ cm}^2$$

- Potrebna debljina pločice:

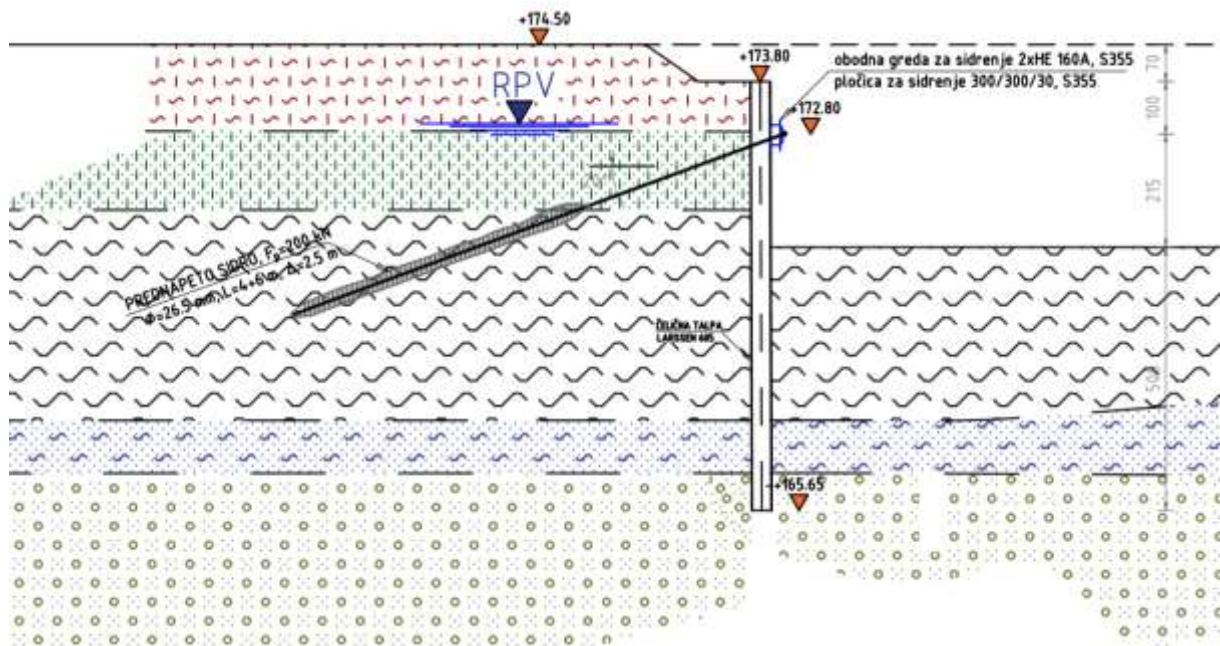
$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot W}{b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 28,9}{30}} = 2,4 \text{ cm}$$

odabrana pločica za sidro: 300/300/30 mm, čvrstoća S355

Tlocrtna situacija

Slika 4.9. Tlocrtna situacija.

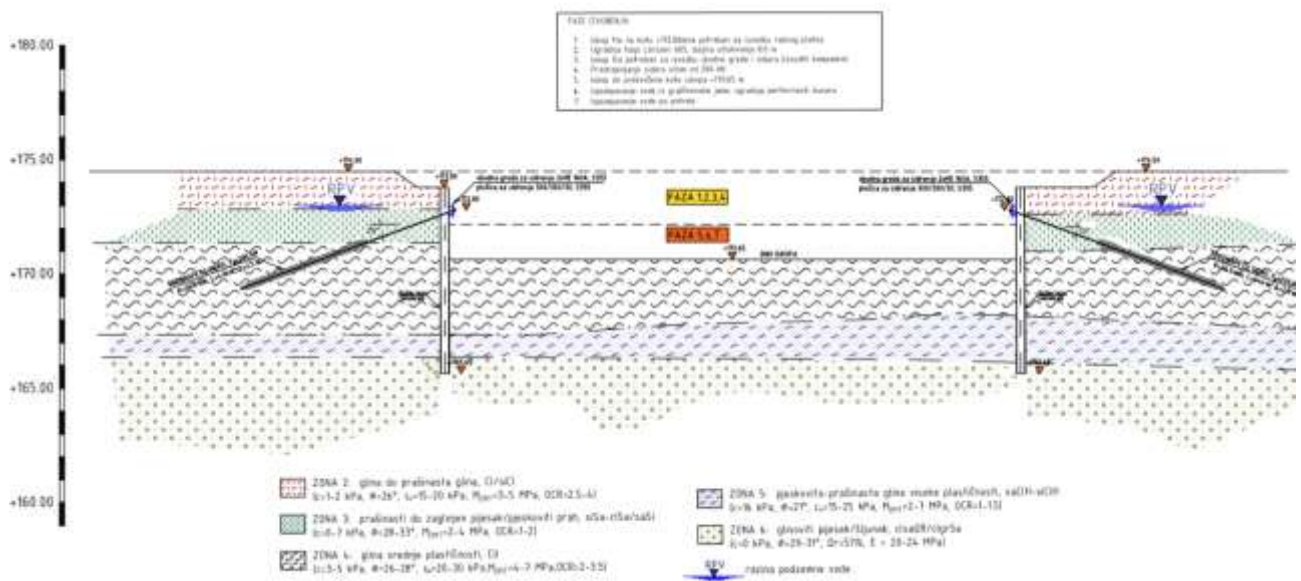
Na slici 26. vidi se tlocrtna situacija. Na njoj je prikazan područje građevinske jame i njezine granice, odnosno mjesta zabijanja žmurja (talpi). Za usidrenje žmurja predviđeno je 39 sidara na razmaku od 2.5 metara. Za ispumpavanje vode iz građevinske jame predviđena su 4 bunara koji su napravljeni od betonske cijevi promjera 100 cm.

Karakterističan presjek P-1

Slika 4.10. Karakterističan presjek P-1.

Iz karakterističnog presjeka može se iščitati kako bi se dno žmurja trebalo nalaziti na 165.65 m.n.m, odnosno 8.15 m od platoa za zabijanja žmurja. Predviđeno bušenje sidara trebalo bi biti na 172.80 m.n.m, odnosno 1.7 m ispod razine okolnog tla. Sidra bi se trebala postavljati pod kutom od 20°.

Faze izvođenja



Slika 4.11. Faze izvođenja.

Prema projektu predviđeno je 7 faza izvođenja:

- 1) iskop tla na kotu +173.8 m.n.m potreban za izvedbu radnog platoa
- 2) ugradnja talpi Larssen 605, duljina utiskivanja 8.0 m
- 3) iskop tla potreban za izvedbu obodne grede i sidara
- 4) prednapinjanje sidara silom od 200 kN
- 5) iskop do predviđene kote terena +170.65 m.n.m.
- 6) ispumpavanje vode iz građevinske jame, ugradnje perforiranih bunara
- 7) ispumpavanje vode po potrebi

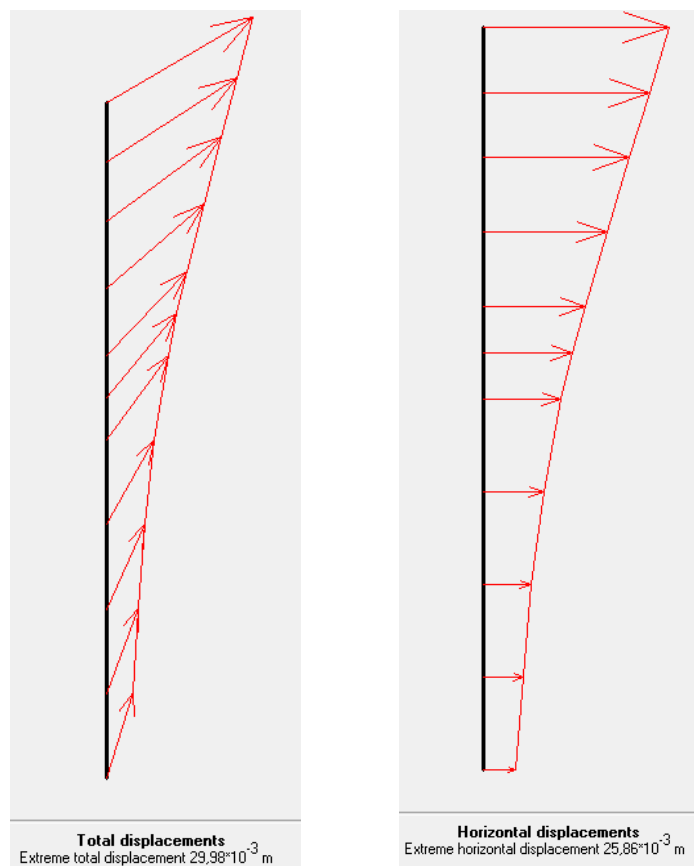
4.2. Novo rješenje – Racionalizacija

Drugi projekat za zaštitu građevinske jame Hotela Bernarada u Varaždinskim toplicama zasnivao se na zaštiti sa čeličnim žmurjem tipa Larssen 605.

4.2.1. Proračun stabilnosti bokova građevinske jame – do dna građevinske jame (-4,50 m)

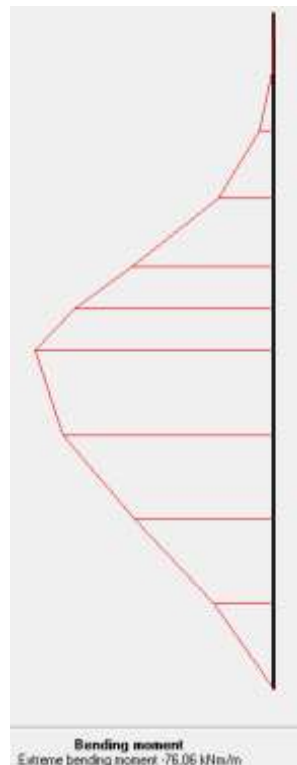
Rezultati pomaka i unutarnjih sila dobivenih modeliranjem u programu Plaxis 2D:

- maksimalni horizontalni pomak: $u = 2,6$ cm



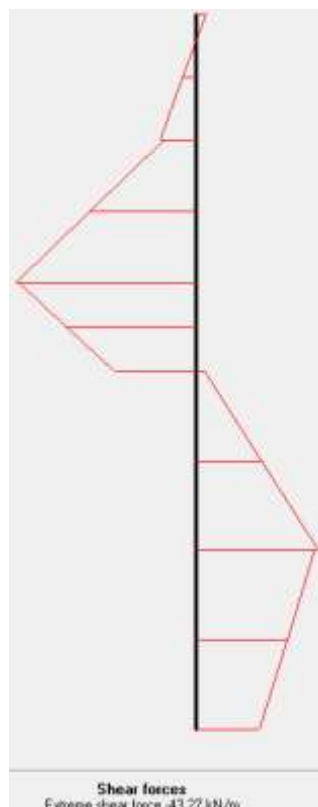
Slika 4.12 . Pomaci zaštite nakon konačnog iskopa(-4,50m)

- maksimalni moment savijanja u žmurju: $M_{\max} \approx 80 \text{ kNm/m}$



Slika 4.13. Maksimalni moment u žmurju nakon konačnog iskopa

- maksimalna poprečna sila u žmurju nakon iskopa: $Q_{\max} \approx 45 \text{ kN/m}$



Slika 4.14. Maksimalna poprečna sila u žmurju nakon konačnog iskopa.

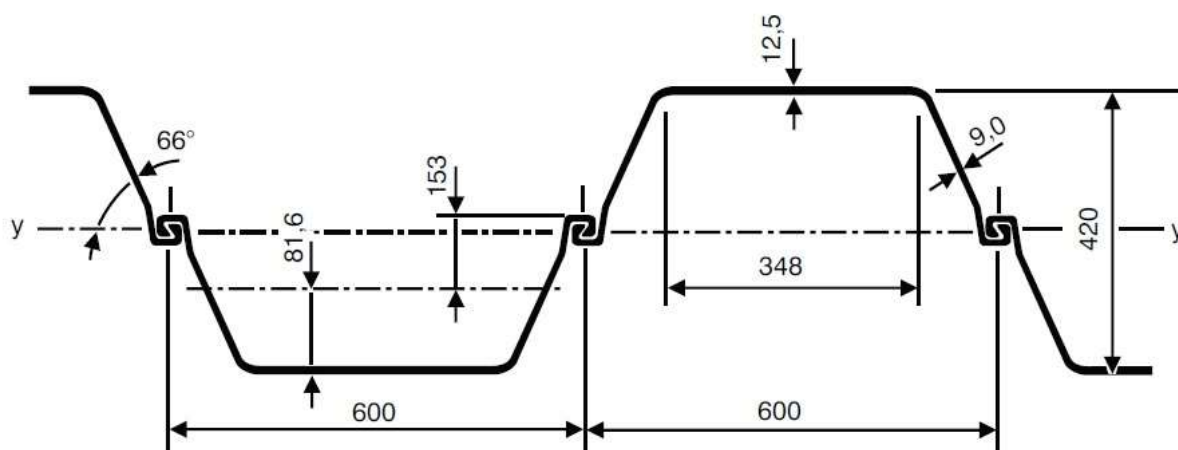
Za izvedbu zaštite građevinske jame predviđeno je bilo žmurje tipa Larssen 605.

	Otporni moment		Vastita težina		Površinski moment 2. stepena	Debljina leda t	Debljina pregrade s	Visina pregrade h	Širina profila b
	W_y								
	cm ³ /m	cm ³	kg/m ³	kg/m	cm ³ /m	mm	mm	mm	mm
	Pregrada	Pojed. talpe	Pregrada	Pojed. talpe	Pregrada				
LARSEN – Profili									
LARSEN 755	2000	560	127,5	95,6	45000	11,7	10,0	450	750
LARSEN 703	1210	414	96,4	67,5	24200	9,5	8,0	400	700
LARSEN 703 K	1300	426	103,0	72,1	25950	10,0	9,0	400	700
LARSEN 703 10/10 [®]	1340	437	108,0	75,6	26800	10,0	10,0	400	700
LARSEN 704	1600	529	115,0	80,5	35200	10,2	9,5	440	700
LARSEN 600	510	130	94,0	56,4	3825	9,5	9,5	150	600
LARSEN 600 K	540	133	99,0	59,4	4050	10,0	10,0	150	600
LARSEN 601	745	251	78,0	46,8	11520	7,5	6,4	310	600
LARSEN 602	830	266	89,0	53,4	12870	8,2	8,0	310	600
LARSEN 603	1200	330	108,0	64,8	18600	9,7	8,2	310	600
LARSEN 603 K	1240	340	113,5	68,3	19220	10,0	9,0	310	600
LARSEN 603 10/10 [®]	1280	350	116,0	69,6	19530	10,0	10,0	310	600
LARSEN 604 n	1600	415	123,0	73,8	30400	10,0	9,0	380	600
LARSEN 605	2020	520	139,2	83,5	42420	12,5	9,0	420	600
LARSEN 605 K	2030	537	144,5	86,7	42630	12,2	10,0	420	600

Tablica 5. Tipovi Larssen žmurja.

Parametar	Oznaka	Čelična talpa LARSEN 605	
Moment inercije	I_y	42 420	cm ⁴
Moment otpora	W_y	2020	cm ³
Površina žmurja	A_w	177	cm ²
Krutost na savijanje	EI	$8,9 \cdot 10^4$	kNm ²
Aksijalna krutost	EA	$31,17 \cdot 10^5$	kN

Tablica 6. Parametri žmurja.



Slika 4.15. Žmurje tipa Larssen-dimenzije.

Kontrola naprezanja:

Normalna naprezanja:

$$\sigma_{\max,x} = \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{\text{dop}}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_y} = \frac{100}{0,00202} = 39,60 \text{ MPa} < \sigma_{\text{dop}} = 160 \text{ MPa}$$

Posmična naprezanja:

$$\tau_{\max,xz} = \frac{T \cdot S}{I_y \cdot t_w} \approx \frac{T}{A_w} \leq \tau_{\text{dop}}$$

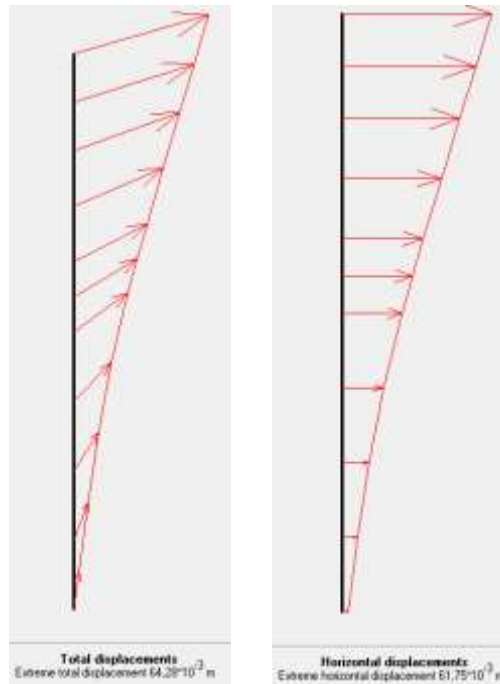
$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max}}{A_w} = \frac{45}{0,0177} = 2,45 \text{ MPa} < \tau_{\text{dop}} = 90 \text{ MPa}$$

Čelično žmurje LARSEN 605 zadovoljava za zaštitu građevinske jame.

4.2.2. Proračun stabilnosti bokova građevinske jame – do dna drenova (-5,0 m)

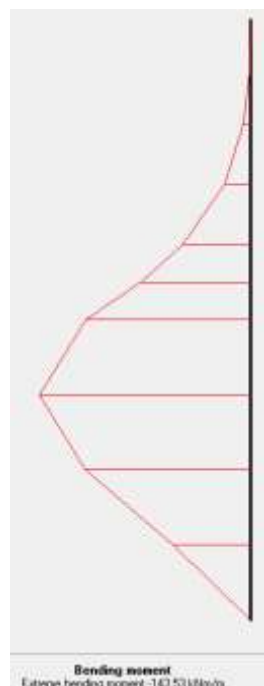
Rezultati pomaka i unutarnjih sila dobivenih modeliranjem u programu Plaxis 2D:

- maksimalni horizontalni pomak: $u = 6.2 \text{ cm}$



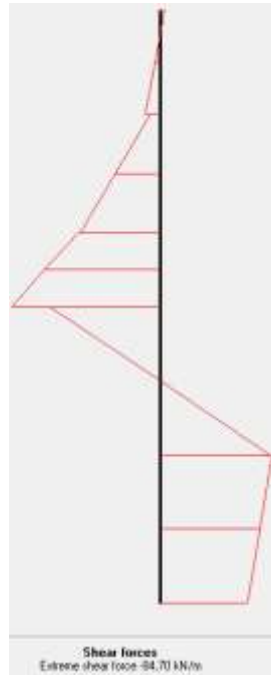
Slika 4.16. Pomaci zaštitne nakon konačnog iskopa (-5,00m)

- Maksimalni moment savijanja u žmurju: $M_{\max} \approx 145 \text{ kNm/m}$



Slika 4.17. Maksimalni moment u žmurju nakon konačnog iskopa

- Maksimalna poprečna sila u žmurju: $Q_{\max} \approx 85 \text{ kN/m}$



Slika 4.18. Maksimalna poprečna sila u žmurju nakon konačnog iskopa.

Kontrola naprezanja:

Normalna naprezanja:

$$\sigma_{\max,x} = \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{\text{dop}}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_y} = \frac{145}{0,00202} = 72 \text{ MPa} < \sigma_{\text{dop}} = 160 \text{ MPa}$$

Posmična naprezanja:

$$\tau_{\max,xz} = \frac{T \cdot S}{I_y \cdot t_w} \approx \frac{T}{A_w} \leq \tau_{\text{dop}}$$

$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max}}{A_w} = \frac{85}{0,0177} = 4,8 \text{ MPa} < \tau_{\text{dop}} = 90 \text{ MPa}$$

Čelično žmurje LARSENEN 605 zadovoljava za zaštitu građevinske jame.

4.2.3. Proračun dotoka podzemne vode u građevinsku jamu

Površina građevinske jame koja se štiti žmurjem $A = 573 \text{ m}^2$.

Napomena : vodopropusnost sloja gline u koji se zabija žmurje je zanemarive vodopropusnosti koeficijent vodopropusnosti za ovakvo tlo je $k < 10^{-7} \text{ cm/s}$.

U proračun će se uzeti sloj najveće vodopropusnosti u ovom slučaju pjeskoviti prah gdje se koeficijent vodopropusnosti tla procjenjuje $k < 5 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$.

Hidraulički gradijent, i :
$$i = \frac{\Delta H}{L} = \frac{4}{16} = 0,25$$

Brzina procjeđivanja vode, $v = k \cdot i$

$$v = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,25 = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

količina dotoka vode u građevinsku jamu, $Q = v \cdot A$

$$Q = 1,25 \cdot 10^{-6} \cdot 573 = 0,0007 \text{ m}^3/\text{s} = 0,7 \text{ l/s}$$

Količine crpljenja vode:

Procjena dotoka vode iz dna građevinske jame $Q = 0,7 \text{ l/s}$.

S obzirom da se žmurje zabija u sloj gline zanemarive vodopropusnosti $k < 10^{-7} \text{ cm/s}$ u tom slučaju voda ne bi trebala dotjecati u građevinsku jamu iz dna građevinske jame.

Treba planirati da će biti i cijedenja vode kroz žmurje pa se procjenjuje 5 litara/sekundi.

Stabilnost dna građevinske jame

Hidraulični gradijent maksimalni odnosno koji može biti (dopušteni) s obzirom na materijal predstavlja odnos između kritičkog hidrauličkog gradijenta i faktora sigurnosti.

$$i_{\max} = \frac{i_{\text{cr}}}{F_s}$$

gdje je prema Šulkeju F_s – faktor sigurnosti koji ovisi o materijalu i to: za grubi šljunak s kamenjem $F_s = 2,5$; za sitni šljunak $F_s > 4$; za srednji pijesak $F_s = 6$; za veoma sitni pijesak i prah $F_s \leq 8,5$.

Kritični hidraulični gradijent predstavlja odnos uronjene obujamske težine i obujamske težine vode:

$$i_{\text{cr}} = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$

Koji je za predmetnu lokaciju 0,9. Faktor sigurnosti za slučaj izvedbe drenova (krupni šljunčani materijal) je $F_s = 2,5$.

$$i_{\max} = \frac{0,9}{2,5} = 0,36$$

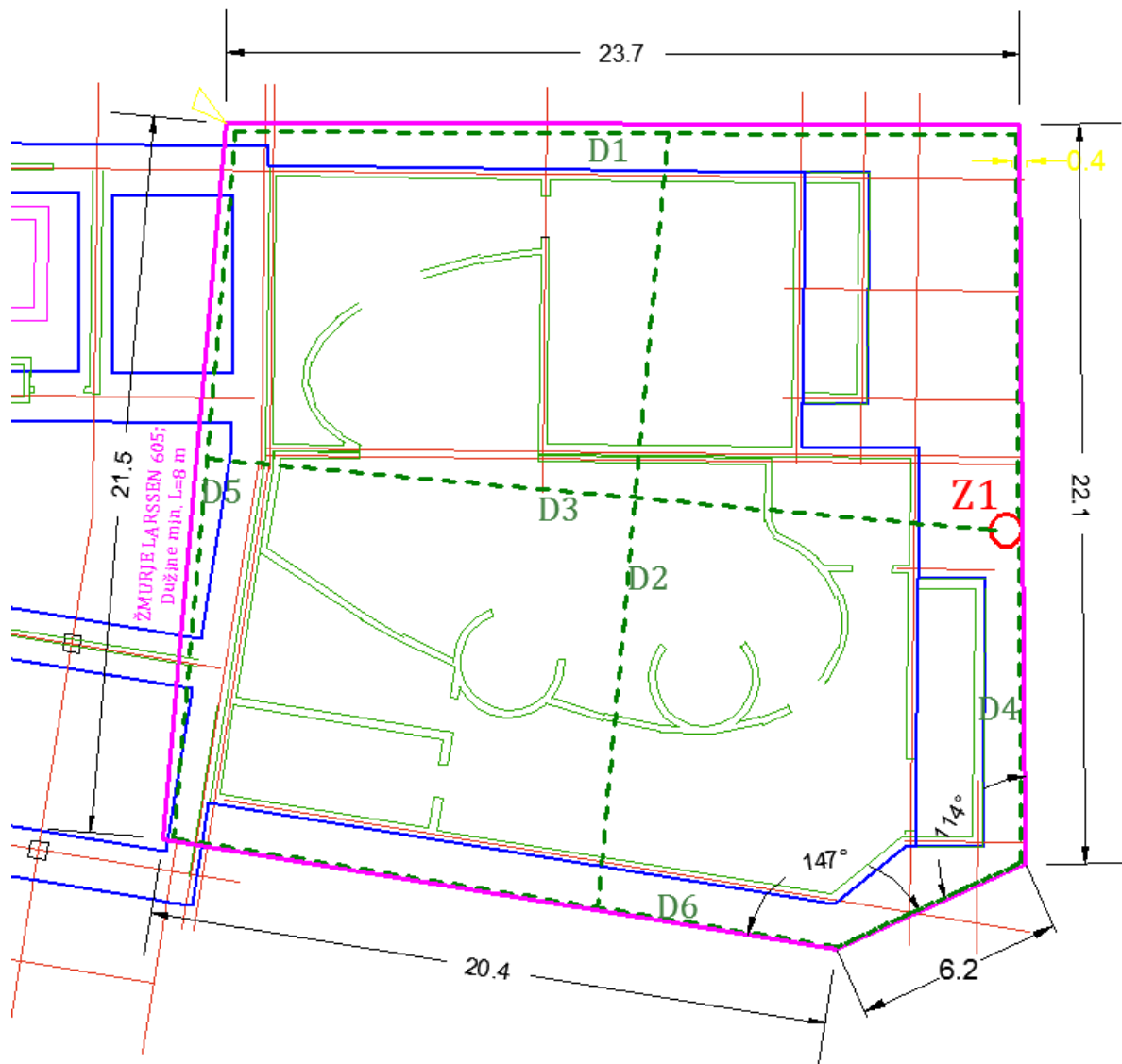
Hidraulički gradijent građevinske jame mora biti manji od maksimalnog hidrauličkog gradijenta:

$$i < i_{\max}$$

$$0,25 < 0,36$$

Ovo je pokazatelj da je građevinska jama s obzirom na gradijente stabilna i u ekstremno slučaju procjeđivanja vode (pjeskoviti prah).

S obzirom da se žmurje zabija u vodonepropusnu glinu dno građevinske jame potpuno je stabilno.

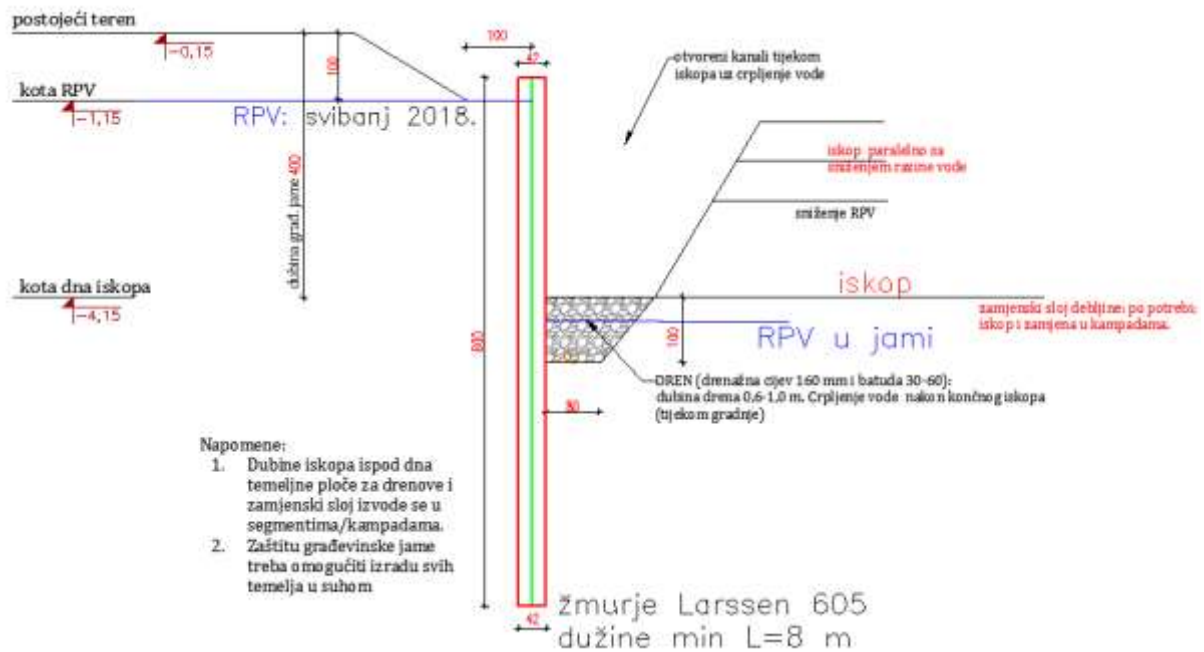


Slika 4.19. Tloctni položaj zaštite građevinske jame.

Na slici 34. prikazan je položaj i opseg zaštite građevinske jame sa žmurjem.

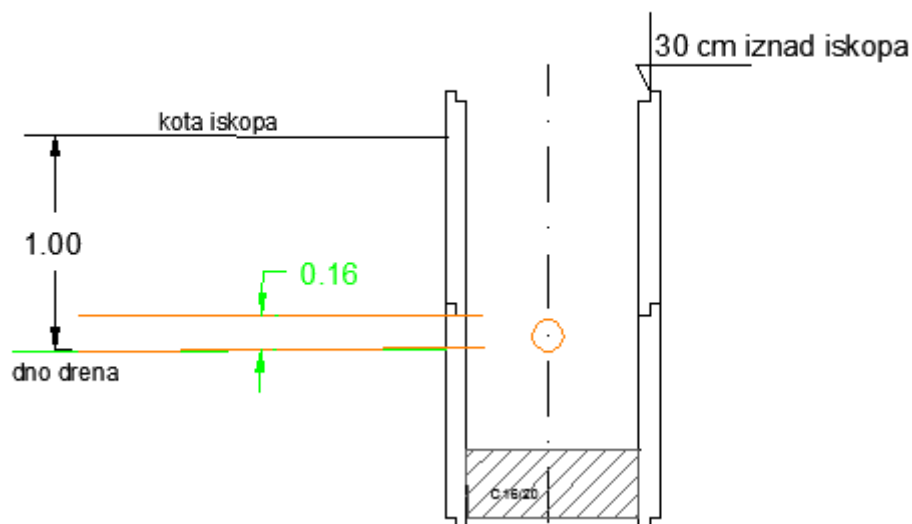
Opseg građevinske jame je 93,9 m, dok je površina građevinske jame 573 m².

Oznakama D1 – D6 označeni su drenovi koji vode vodu do bunara koji je na slici 34. označen sa Z1.



Slika 4.20. Presjek zaštite građevinske jame.

Na slici 35. Nalazi se presjek kroz zaštitu građevinske jame. Prikazana je dubina zbijanja žmurja od 8.00 m, prikazan je i opisan sastav drenova te opisne faze iskopa.



Slika 4.21. Presjek kroz bunar.

5. Izvedba zaštite građevinske jame

Zaštita građevinske jame izvođena je prema projektu :

Soldo B. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME

- BOČNA ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME I SNIŽENJA PODZEMNE VODE -HOTEL (luksuzni zdravstveni i termalni centar „Bernarda“****)Varaždinske Toplice, Zagrebačka ulica, k.č. 3821, k.o. Varaždinske Toplice, Varaždin.

Kao što je navedeno u predhodnom poglavlju, zaštita građevinske jame temelji se na zabijenom čeličnom žmurju LARSEN 605. Prije zabijanja žmurja, odstranio se površinski sloj tla, kako bi se napravio plato za zabijanje žmurja, zatim se pristupilo zabijanju čeličnog žmurja.



Slika 5.1. Zabijanje čeličnog žmurja.



Slika 5.2. Zabijanje čeličnog žmurja.

Žmurje se zabijalo pomoću posebnog nastavka (glave) koji se montirao na bager gusjeničar. Glava uklješti žmurje pod pritiskom ga utiskuje u tlo.



Slika 5.3. Nastavak za zabijanje žmurja.

Kada se zabilo svo žmurje krenulo se sa iskopom građevinske jame. Prvo su se kopali i spajali drenažni jarci koji su naknadno spojeni na bunar. Drenovi su iskopani u padu prema bunaru. U drenove su se postavljale cijevi za prikupljanje vode, te su nagnadno zatrpavane šljunkom, takozvanom batudom.



Slika 5.4. Iskop drenažnih kanala



Slika 5.5. Bunar za crplje vode

Bunar se izveo od betonskih cijevi promjera 1 metar. Iz bunara se crpila voda kako bi prilikom daljnog iskopa prostor unutar građevinske jame ostao suh.

Nakon postave drenova i bunara krenulo se sa iskopom ostatka tla iz građevinske jame. Iskop se vršio postepeno kako nebi došlo do velikih deformacija, ali i zbog lakšeg odvoza materijala iz građevinske jame.



Slika 5.6. Iskop u građevinskoj jami.

Iskop se vršio tako da se prvo iskopao rubni pojas oko triju strana građevinske jame do kote dna građevinske jame, zatim se postepeno iskapalo prema rubu četvrte strane građevinske jame. Na taj način se bez problema mogao odvoziti materijal iz građevinske jame.



Slika 5.7. Iskop u građevinskoj jami.

Po završetku iskopa građevinske jame krenulo se sa gradnjom podzemnih prostorija hotela. Tijekom izvedbe radova voda se iz građevinske jame crpila prema potrebi. Tijekom radova nije primijećeno naviranje vode iz dna građevinske jame što je bilo i pretpostavljeno u projektu, tako da je voda u građevinsku jamu dolazila preko cijedenja kroz žmurje i prilikom oborina.



Slika 5.8. Radovi u građevinskoj jami.

Nakon betoniranja vanjskih zidova podrumnih prostorija zatrpavao se međuprostor između građevine i žmurja. Prostor se zatrpavao kako bi se žmurje moglo sigurno izvaditi iz tla, odnosno kako nebi dolazilo do pomaka okolnog tla prilikom vađenja žmurja te oštećenja na okolnim građevinama.



Slika 5.9. Vađenje žmurja iz tla.

6. Zaključak

Danas se građevine u urbanim sredinama se sve češće grade u visinu i dubinu nego u širinu. S obzirom na gradnju u blizini postojećih građevina, ozbiljnost pristupa pri izradi građevinskih jama od neizmjerne je važnosti. Gradnja građevina u dubinu jedan je od razloga zbog kojeg dolazi do potrebe zaštite iskopa. U takvim okolnostima često se nailazi na niz nepovoljnih situacija kao što su visoka razina podzemnih voda, tla visoke koherentnosti tj. propusnosti, tla manje čvrstoće i slični problemi. Zahvaljujući današnjem razvoju tehnologije sve te probleme moguće je riješiti. Od svih navedenih problema najgorim se može smatrati visoka razina podzemne vode, zahvaljujući raznim građevinskim zahvatima omogućeno je smanjenje stupnja saturacije tla odnosno pornog tlaka, te omogućeno izvođenje radova u „suhom“. U odnosu na te i slične probleme odabiremo najadekvatniju metodu zaštite građevinske jame.

Dubina građevinske jame od 4.5 metara do dna jame, odnosno 5 metara do dna drenova jedan je od glavnih razlog zbog kojeg dolazi do pretpostavke korištenja čeličnog žmurja jer izrada armiranobetonske dijafragme ili dubokih pilota kod malih građevinskih jama jednostavno nije optimalno rješenje, što zbog same brzine izvođenja što zbog ekonomičnosti radova.

U ovom završnom radu prikazana u dva projekta zaštite građevinske jame. U prvom projektu osmišljena je zaštita građevinske jame sa čeličnim žmurjem tipa Larssen 605 koje je trebalo biti usirdeno sa geotekničkim sidrima. Drugim projektom dokazano je da čelično žmurje tipa Larsen 605 može podnijeti normalna i posmična naprezanja i bez geotekničkih sidara. Takav način zaštite građevinske jame znatno je snizilo cijenu radova.

Projektom je procijenjeno da će kroz dno građevinske jame površine 573 m² dotjecati 0,7 litara vode svake sekunde, ali zbog velike vodonepropusnosti tla ispod dna građevinske jame dotoka vode u jamu nije bilo. Voda koja se crpila iz građevinske jame uglavnom je nastajala zbog cijeđenja kroz žmurje i oborinska voda.

Kako bih se radovi izveli što kvalitetnije potrebna je stalna nazočnost projektanta jer često dolazi do potrebe da se neka projektna rješenja mijenjaju, odnosno prilagođavaju situaciji na terenu. Stalna nazočnost projektanta i sposobna radna snaga jedina su garancija da će kompletni radovi biti izvedeni svrsishodno.

U Varaždinu, _____

(vlastoručni potpis)

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

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

Ja, Dejan Strmečki (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica- završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Primjer zaštite građevinske jame sa čeličnim žmurjem (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Dejan Strmečki
(vlastoručni potpis)

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

Ja, Dejan Strmečki (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Primjer zaštite građevinske jame sa čeličnim žmurjem (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Dejan Strmečki

Literatura

- [1] Noveiler, E. (1981): Mehanika tla i temeljenje građevina., Školska knjiga, Zagreb.
- [2] Roje – Bonacci, T.(2005) : Potporne građevne i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split.
- [3] Špiranec M. (2016): Geotehnički elaborat za potrebe temeljenja HOTELa (luksuzni zdravstveni i termalni centar Bernarda****) u Varaždinskim Toplicama, SPP d.o.o. , Varaždin.
- [4] Pažur I. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME - IZMJENA I DOPUNA, SPP.d.o.o., Varaždin.
- [5] Obadić I. (2012): Zaštita dubokih građevinskih jama u urbanim sredinama, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu-Geotehnički fakultet, Varaždin.
- [6] Perić Lj. (2008) : Zaštita građevnih jama zidom od mlaznog betona i štapnih sidara, članak, časopis Građevinar.
- [7] Soldo B. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME- BOČNA ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME I SNIŽENJA PODZEMNE VODE -HOTEL (luksuzni zdravstveni i termalni centar „Bernarda“****)Varaždinske Toplice, Zagrebačka ulica, k.č. 3821, k.o. Varaždinske Toplice, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva, Varaždin.
- [8] Soldo B. (2014): Geotehničko inženjerstvo, skripta, Sveučilište Sjever, Varaždin.

Popis slika

Slika 2.1. Iskop do dubine D_k , do koje nema pritiska na podgradu; vlatiti rad.

Slika 2.2. Nagibi pokosa građevinske jame u nekoherentnim tlima; vlatiti rad.

Slika 2.3. Berlinsko ziđe; http://tbhdrill.com/wp-content/uploads/2017/07/couer-d-alene-wwtp_8-4.jpg

Slika 2.4. Detalj Berlinskog ziđa; vlatiti rad.

Slika 2.5. Zabijanje žmurja; <https://i.ytimg.com/vi/A47OAosNnG4/maxresdefault.jpg>

Slika 2.6. Detalji drvenog žmurja; vlatiti rad.

Slika 2.7. Zabijeno čelično žmurje; slika sa gradilišta.

Slika 2.8. Primjeri zabijanja čeličnog žmurja; vlatiti rad.

Slika 2.9. Čelijasti zagat;
<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQweAzizEGOL1u5cW9obY-XCbYdFNtHwO6NUTq628bvcX2vNKGc>

Slika 2.10. Armiranobetonsko žmurje; <https://www.loupiote.com/photos/6567820015.shtml>

Slika 2.11. Armiranobetonska dijafragma;
<https://rabotayouth.ru/hr/technology-of-wall-construction-in-the-ground.html>

Slika 2.12. Proces izvođenja armiranobeonske dijafragme;
<https://www.trevispa.com/es/Tecnolog%C3%ADas/muros-pantalla-hidrofresa>

Slika 2.13. Izvedba podzemne garaže top-down metodom, „Cvjetni trg“, Zagreb;
http://www.hoto.hr/images/modules/tn_homepage-slide_1349991202-cvjetni_crtice1.jpg

Slika 2.14. Proces mlaznog injektiranja (jet grouting); <http://www.railsystem.net/jet-grouting/>

Slika 2.15. Geotehničko sidro; Pažur I. (2018.): PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME - IZMJENA I DOPUNA, SPP.d.o.o., Varaždin.

Slika 2.16. Tok vode kroz tlo oko zagatne stijene; Roje –Bonacci T. (2005): Potporne građevne i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split.

Slika 3.1. Predmetna lokacija; <https://geoportal.dgu.hr/>

Slika 3.2. Dio situacijskog plana; Špiranec M. (2016): Geotehnički elaborat za potrebe temeljenja HOTELa (luksuzni zdravstveni i termalni centar Bernarda****) u Varaždinskim Toplicama, SPP d.o.o., Varaždin.

Slika 3.3. Profil tla; Špiranec M. (2016): Geotehnički elaborat za potrebe temeljenja HOTELa (luksuzni zdravstveni i termalni centar Bernarda****) u Varaždinskim Toplicama, SPP d.o.o., Varaždin.

Slika 3.4. Nabušena jezgra bušotine; Špiranec M. (2016): Geotehnički elaborat za potrebe temeljenja HOTELa (luksuzni zdravstveni i termalni centar Bernarda****) u Varaždinskim Toplicama, SPP d.o.o., Varaždin.

Slika 4.1. Dotok vode u građevinsku jamu; Pažur I. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME - IZMJENA I DOPUNA, SPP.d.o.o., Varaždin.

Slika 4.2. Maksimalni horizontalni pomak potporne konstrukcije- iskop tla za ugradnju sidara; Pažur I. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME - IZMJENA I DOPUNA, SPP.d.o.o., Varaždin.

Slika 4.3. Maksimalni horizontalni pomak – konačan iskop tla (voda u građevinskoj jami); Pažur I. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME - IZMJENA I DOPUNA, SPP.d.o.o., Varaždin.

Slika 4.4. Maksimalni horizontalni pomak potporne konstrukcije – konačan iskop tla (ispumpavanje vode); Pažur I. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME - IZMJENA I DOPUNA, SPP.d.o.o., Varaždin.

Slika 4.5. Momenti savijanja; Pažur I. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME - IZMJENA I DOPUNA, SPP.d.o.o., Varaždin.

Slika 4.6. Poprečne sile; Pažur I. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME - IZMJENA I DOPUNA, SPP.d.o.o., Varaždin.

Slika 4.7. Uzdužne sile; Pažur I. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME - IZMJENA I DOPUNA, SPP.d.o.o., Varaždin.

Slika 4.8. Uzdužna sila u sidrima; Pažur I. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME - IZMJENA I DOPUNA, SPP.d.o.o., Varaždin.

Slika 4.9. Tlocrtna situacija; Pažur I. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME - IZMJENA I DOPUNA, SPP.d.o.o., Varaždin.

Slika 4.10. Karakterističan presjek P-1; Pažur I. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME - IZMJENA I DOPUNA, SPP.d.o.o., Varaždin.

Slika 4.11. Faze izvođenja; Pažur I. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME - IZMJENA I DOPUNA, SPP.d.o.o., Varaždin.

Slika 4.12. Pomaci zaštite nakon konačnog iskopa(-4,50m); Soldo B. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME- BOČNA ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME I SNIŽENJA PODZEMNE VODE -HOTEL (luksuzni zdravstveni i termalni centar „Bernarda“****)Varaždinske Toplice, Zagrebačka ulica, k.č. 3821, k.o. Varaždinske Toplice, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva, Varaždin.

Slika 4.13. Maksimalni moment u žmurju nakon konačnog iskopa; Soldo B. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME- BOČNA ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME I SNIŽENJA PODZEMNE VODE -HOTEL (luksuzni zdravstveni i termalni centar „Bernarda“****)Varaždinske Toplice, Zagrebačka ulica, k.č. 3821, k.o. Varaždinske Toplice, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva, Varaždin.

Slika 4.14. Maksimalna poprečna sila u žmurju nakon konačnog iskopa; Soldo B. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME- BOČNA ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME I SNIŽENJA PODZEMNE VODE -HOTEL (luksuzni zdravstveni i termalni centar „Bernarda“****)Varaždinske Toplice, Zagrebačka ulica, k.č. 3821, k.o. Varaždinske Toplice, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva, Varaždin.

Slika 4.15. Žmurje tipa Larssen-dimenzije; Soldo B. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME- BOČNA ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME I SNIŽENJA PODZEMNE VODE -HOTEL (luksuzni zdravstveni i termalni centar „Bernarda“****)Varaždinske Toplice, Zagrebačka ulica, k.č. 3821, k.o. Varaždinske Toplice, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva, Varaždin.

Slika 4.16. Pomaci zaštite nakon konačnog iskopa (-5,00m); Soldo B. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME- BOČNA ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME I SNIŽENJA PODZEMNE VODE -HOTEL (luksuzni zdravstveni i termalni centar „Bernarda“****)Varaždinske Toplice, Zagrebačka ulica, k.č. 3821, k.o. Varaždinske Toplice, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva, Varaždin.

Slika 4.17. Maksimalni moment u žmurju nakon konačnog iskopa; Soldo B. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME- BOČNA ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME I SNIŽENJA PODZEMNE VODE -HOTEL (luksuzni zdravstveni i termalni centar „Bernarda“****)Varaždinske Toplice, Zagrebačka ulica, k.č. 3821, k.o. Varaždinske Toplice, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva, Varaždin.

Slika 4.18. Maksimalna poprečna sila u žmurju nakon konačnog iskopa; Soldo B. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME- BOČNA ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME I SNIŽENJA PODZEMNE VODE -HOTEL (luksuzni zdravstveni i termalni centar „Bernarda“****)Varaždinske Toplice, Zagrebačka ulica, k.č. 3821, k.o. Varaždinske Toplice, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva, Varaždin.

Slika 4.19. Tloctni položaj zaštite građevinske jame; Soldo B. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME- BOČNA ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME I SNIŽENJA PODZEMNE VODE -HOTEL (luksuzni zdravstveni i termalni centar „Bernarda“****)Varaždinske Toplice, Zagrebačka ulica, k.č. 3821, k.o. Varaždinske Toplice, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva, Varaždin.

Slika 4.20. Presjek zaštite građevinske jame; Soldo B. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME- BOČNA ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME I SNIŽENJA PODZEMNE VODE -HOTEL (luksuzni zdravstveni i termalni centar „Bernarda“****)Varaždinske Toplice, Zagrebačka ulica, k.č. 3821, k.o. Varaždinske Toplice, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva, Varaždin.

Slika 4.21. Presjek kroz bunar; Soldo B. (2018.) : Soldo B. (2018.) : PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME- BOČNA ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME I SNIŽENJA PODZEMNE VODE -HOTEL (luksuzni zdravstveni i termalni centar „Bernarda“****)Varaždinske Toplice, Zagrebačka ulica, k.č. 3821, k.o. Varaždinske Toplice, Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva, Varaždin.

Slika 5.1. Zabijanje čeličnog žmurja; slika sa gradilišta.

Slika 5.2. Zabijanje čeličnog žmurja; slika sa gradilišta.

Slika 5.3. Nastavak za zabijanje žmurja; slika sa gradilišta.

Slika 5.4. Iskop drenažnih kanala; slika sa gradilišta.

Slika 5.5. Bunar za crplje vode; slika sa gradilišta.

Slika 5.6. Iskop u građevinskoj jami; slika sa gradilišta.

Slika 5.7. Iskop u građevinskoj jami; slika sa gradilišta.

Slika 5.8. Radovi u građevinskoj jami; slika sa gradilišta.

Slika 5.9. Vađenje žmurja iz tla; slika sa gradilišta.

Popis tablica

Tablica 1. Kut nagiba pokosa prema DIN 4124.

Tablica 2. Ulazni parametri za tlo .

Tablica 3 . Ulazni parametri za žmurje.

Tablica 4. Ulazni parametri za sidro.

Tablica 5. Tipovi Larssen žmurja.

Tablica 6. Parametri žmurja.