

Glavni projekt zaštite građevne jame stambene građevine u Gornjoj Podstrani

Ivas, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:557979>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-19**



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

DIPLOMSKI RAD

Luka Ivas

Split, 2024.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Luka Ivas

**Glavni projekt zaštite građevne jame stambene
građevine u Gornjoj Podstrani**

Diplomski rad

Split, 2024.



STUDIJ: **SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT: Luka Ivas
MATIČNI BROJ (JMBAG): 0149223883
KATEDRA: **Katedra za geotehniku**
KOLEGIJ: Mehanika stijena

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Glavni projekt zaštite građevne jame stambene građevine u Gornjoj Podstrani

Opis zadatka: Svojstva slojeva tla na lokaciji su određena istražnim radovima prikazanim u geotehničkom elaboratu izrađenim za predmetnu lokaciju. Dubina temeljenja i tlocrtni položaj objekta određeni su arhitektonskim idejnim projektom predmetnog objekta. Za tako definirane uvjete, potrebno je odabrati odgovarajuće stabilne nagibe pokosa građevne jame, ukoliko zona obuhvata (rub parcele) to dozvoljava. Na djelovima gdje su potrebni strmiji nagibi pokosa jame, potrebno je odabrati i dimenzionirati zaštitnu konstrukciju za stabilizaciju pokosa građevne jame, te izraditi glavni projekt zaštite građevne jame.

Prilozi:

- Geotehnički elaborat za zadanu lokaciju.
- Idejni arhitektonski projekt predmetnog objekta.

Kandidat se upućuje u nastavnu bazu **Geotehničko projektiranje d.o.o.** u ljetnom semestru akademske godine 2023./24. za potrebe izrade diplomskog rada.

Konzultantica: Daša Salvezani, mag. ing. aedif.

U Splitu, 5. ožujka 2024.

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Goran Vlastelica

Predsjednik Povjerenstva za završne i
diplomske ispite studija Građevinarstvo:
Izv. prof. dr. sc. Ivan Balić

Zahvaljujem kolegama iz tvrtke Geotehničko projektiranje d.o.o. na pomoći i susretljivosti tijekom rada na diplomskom radu, što je uključivalo razgovore, savjetovanje, rješavanje nedoumica, te pružanje detaljnih informacija i smjernica.

Glavni projekt zaštite građevne jame stambene građevine u Gornjoj Podstrani

Sažetak: Ovaj diplomski rad se bavi projektiranjem zaštite građevne jame za stambenu zgradu u Gornjoj Podstrani. Rad uključuje geotehničke analize tla, određivanje stabilnih nagiba kosina jame, te projektiranje sustava zaštite s mlaznim betonom i geotehničkim sidrima.

Ključne riječi: građevinska jama, zaštita jame, mlazni beton, geotehnička sidra, stabilnost kosina.

The main project for the protection of the foundation pit of a residential building in the area of Gornja Podstrana

Abstract: This thesis deals with the design of excavation pit for a residential building in Gornja Podstrana. The thesis includes geotechnical analysis of the soil, determination of stable slopes of the pit, and design of a protection system with shotcrete and geotechnical anchors.

Keywords: construction pit, protection of the pit, shotcrete, geotechnical anchors, slope stability

SADRŽAJ

1	UVOD	1
1.1	Opis problema.....	1
1.2	Zaštita građevne jame	2
2	TEHNIČKI OPIS	3
2.1	Općenito.....	3
2.2	Geotehnički istražni radovi.....	5
2.2.1	Seizmičke značajke lokacije.....	7
2.2.2	Inženjerskogeološki elementi za klasifikaciju stijenske mase	9
2.3	Opis tehničkog rješenja zaštite	11
2.3.1	Iskop i odvoz iskopanog materijala.....	11
2.3.2	Sustav zaštite geotehničkim sidrima i mlaznim betonom	12
3	TEHNIČKI UVJETI IZVEDBE	13
3.1	Plan radova	13
3.2	Iskolčenje i zahtijevana geometrija	13
3.3	Tehnička oprema i priprema (uređenje) gradilišta za rad.....	13
3.4	Osiguranje gradilišta.....	13
3.5	Definiranje pozicija instalacija u zoni radova	13
3.6	Iskopi	14
3.6.1	Tehnologija iskopa	14
3.7	Zaštita kosine mlaznim betonom i sidrima.....	14
3.7.1	Mlazni beton.....	14
3.7.2	Tehnologija ugradnje mlaznog betona	15
3.7.3	Materijali	15
3.7.4	Projekt mlaznog betona.....	15

3.7.5	Ispitivanje mlaznog betona.....	16
3.7.6	Armaturne mreže.....	16
3.8	Injekcijska bušaća sidra s vanjskim navojem (ibo-sidra)	17
3.8.1	Konstrukcija IBO sidra.....	17
3.8.2	Ugradnja IBO-sidra.....	17
3.8.3	Injekcijska smjesa	18
3.8.4	Ispitivanje sidara	19
3.8.5	Nadzor nad ugradnjom i praćenje	19
3.9	Drenovi	20
4	GEOTEHNIČKI PRORAČUNI	21
4.1	Svojstva materijala	22
4.2	Seizmička djelovanja	23
4.3	Proračunska nosivost geotehničkih sidara.....	24
4.4	Stabilnost kosina.....	27
4.5	Analiza globalne stabilnosti za pokos u širokom iskopu.....	30
4.5.1	Analiza stalnog opterećenja	30
4.5.2	Potresna analiza.....	36
4.6	Analiza globalne stabilnosti za strmi pokos	42
4.6.1	Analiza stalnog opterećenja	42
4.6.2	Potresna analiza.....	47
4.7	Analiza globalne stabilnosti za strmi pokos sa sustavnom zaštitom mlaznim betonom i sidrima.....	52
4.7.1	Analiza stalnog opterećenja	52
4.7.2	Potresna analiza.....	57
5	ZAKLJUČAK.....	62

6	GRAFIČKI PRILOZI.....	63
6.1	Situacija – varijanta 1	63
6.2	Karakteristični poprečni presjek 1- 1 – varijanta 1.....	63
6.3	Karakteristični poprečni presjek 2- 2 – varijanta 1.....	63
6.4	Situacija – varijanta 2	63
6.5	Karakteristični poprečni presjek 1- 1 – varijanta 2.....	63
6.6	Karakteristični poprečni presjek 2- 2 – varijanta 2.....	63
	POPIS PRIMJENJENIH NORMI	64
	LITERATURA	66
	POPIS SLIKA.....	67
	POPIS TABLICA.....	68

1 UVOD

1.1 Opis problema

Građevinske jame predstavljaju vitalan element u procesu izgradnje raznolikih objekata, od stambenih zgrada do monumentalnih infrastrukturnih projekata. Međutim, njihovo iskopavanje i osiguranje stabilnosti predstavljaju kompleksan inženjerski zadatak. Sigurnost radnika, okolnih struktura i same građevine ovisi o temeljitom poznavanju karakteristika tla i primjeni adekvatnih mjera osiguranja.

Ovaj diplomski rad bavi se analizom stabilnosti građevinskih jama s naglaskom na određivanje optimalnih nagiba pokosa. Istraživanje će se bazirati na kombinaciji teorijskih znanja iz oblasti geomehanike i geotehnike, te praktičnih rezultata dobivenih uzoraka tla prikupljenih na terenu. Cilj rada je definiranje nagiba pokosa za konkretnu građevinsku jamu, uzimajući u obzir geološke uvjete lokacije. Analiza će se temeljiti na karakteristikama tla, dubini jame i planiranim metodama izvođenja radova.

U prvom dijelu rada bit će predstavljeni teorijski aspekti projektiranja građevinskih jama, s fokusom na analizu stabilnosti kosina. To uključuje pregled relevantnih geotehničkih parametara tla, metode analize stabilnosti i različite tipove mjera osiguranja. Drugi dio rada će se osvrnuti na provedena terenska istraživanja.

Središnji dio rada bit će posvećen određivanju stabilnih nagiba pokosa za građevinsku jamu. Na temelju prikupljenih geotehničkih podataka i primjene relevantnih geomehaničkih metoda, bit će definirani nagibi kosina koji će osigurati stabilnost jame tijekom cijelog trajanja radova.

Međutim, u nekim slučajevima, uvjeti lokacije ili zahtjevi projekta mogu nametnuti potrebu za strmijim kosinama nego što bi to omogućile geološke karakteristike tla. U takvim situacijama, potrebna je implementacija dodatnih mjera osiguranja. Kao primjer takvog pristupa, u ovom radu će biti analizirana metoda stabilizacije strmijih pokosa pomoću sidra i mlaznog betona.

Zaključni dio rada će obuhvatiti pregled svih rezultata istraživanja i analiza. Bit će dane preporuke za optimalne nagibe pokosa za proučavanu građevinsku jamu, uz obrazloženje i argumente utemeljene na geotehničkim karakteristikama tla. Također, analiza stabilnosti strmijih pokosa osiguranih sidrima i mlaznim betonom pružit će vrijedan uvid u mogućnosti primjene takve metode u specifičnim slučajevima.

1.2 Zaštita građevne jame

Osiguranje stabilnosti građevinskih jama od ključne je važnosti za zaštitu radnika, okolnih struktura i same građevine. Izbor odgovarajućeg načina osiguranja ovisi o brojnim čimbenicima, uključujući geološke karakteristike tla, dubinu jame, planirane metode izvođenja radova i specifične zahtjeve projekta.

Građevna jama je prostor unutar kojeg se izvodi temeljenje i/ili izvedba podzemnog dijela planiranog objekta te taj prostor mora biti siguran za rad i dostupan ljudima i stroje

Prema Roje-Bonacci [1] potporna građevina je svaki građevinski zahvat koji osigurava sigurno i stabilno lice tla, nagnuto pod strmijim nagibom od onog koji je moguć bez tog zahvrata. Potporne građevine mogu biti trajnog ili privremenog karaktera. Potporne konstrukcije za zaštitu i osiguranje stabilnosti građevnih jama su najčešće privremenog karaktera. Ukoliko je riječ o trajnoj konstrukciji, ona se konstruktivno uklapa u planiranu građevinu.

Manji zasjeci kratkog trajanja se štite različitim vrstama opalata koje se podupiru kosnicima ili prsdržavaju razuporama, dok se složenije i dublje građevne jame u ograničenom prostoru štite različitim vrstama zagatnih stijenki (žmurje, dijafragma, pilotske stijene, mlazno injektirani stupnjaci, i sl.) [1].

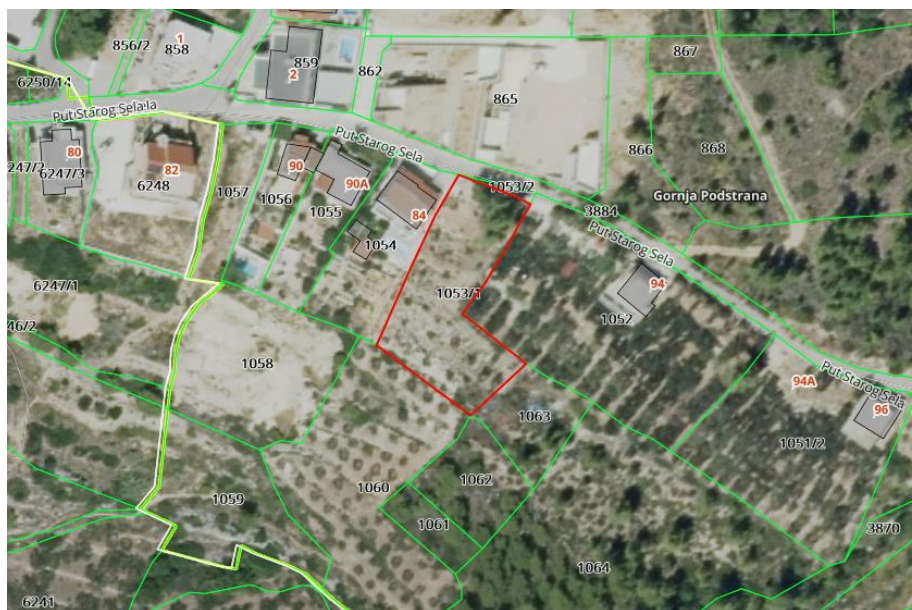
Općenito, postoje dvije osnovne vrste potpornih građevina: 1) one koje pridržavaju zasjeke u prirodnom tlu i 2) one koje pridržavaju nasipe. Ovisno o tome pridržavaju li prirodno tlo ili nasip, ovise vrste istražnih radova koje je potrebno izvesti da bi se dobili podaci potrebni za projektiranje.

Prema načinu oblikovanja i prijenosu sila u tlo razlikuje se nekoliko vrsta potpornih građevina: masivni potporni zid, zid od armiranog tla, zagatna stijenska, sidrena građevina, zagat i njihove kombinacije. Izbor optimalnog načina osiguranja građevinske jame ovisi o specifičnim karakteristikama svakog projekta i mora se izvesti na temelju stručne analize i projektiranja [1].

2 TEHNIČKI OPIS

2.1 Općenito

Planirana stambena građevina se nalazi na k.č. 1053/1, k.o. Gornja Podstrana Nova koja ima površinu 1 269 m². Parcela ima pravilan L oblik, maksimalnih dimenzija cca 51,90 x 38,00 m.



Slika 1. Lokacija planiranog objekta (<https://geoportal.dgu.hr/>)

Visina planirane stambene građevine od najniže kote okolnog terena uz pročelje do gornje kote konstrukcije ravnog krova bit će 9,80 m. Tlocrtna projekcija površine stambene građevine iznosi 156,45 m². Stambena građevina je smještena na „gornjem“, sjevernom dijelu čestice. Planirana stambena građevina će se sastojati od jedne stambene jedinice kroz tri etaže i pratećim sadržajima u podrumskoj etaži. Katnost stambene građevine je podrum, suteran, prizemlje i kat (Po+S+P+1) sa ravnim krovom. Stambena građevina je oblikovana preklapanjem kubusa i stvaranjem terasa na krovovima nižih etaža. Građevini se pristupa sa sjeverne strane te je ulazni prostor organiziran na etaži prizemlja uz stubište.

Uz stambenu građevinu, na parceli je smješten i bazen. Bazen je pravokutnog oblika, dimenzija 3,53 m x 9,90 m. Bazen je smješten s jugozapadne strane stambene građevine. Bazenska tehnika je smještena u podrumskoj etaži. Osim stambene građevine s bazenom, na parceli je smještena i pomoćna građevina – ljetna kuhinja. Ljetna kuhinja je pravokutnog oblika, dimenzija zatvorenog dijela 6,50 m x 6,10 m, a smještena je na jugoistočnom dijelu čestice.

Planirani kolni i pješački pristup predmetnoj čestici je sa sjeverne strane preko ceste na k.č. 3884 k.o. Gornja Podstrana Nova, ulicom Put Starog sela.

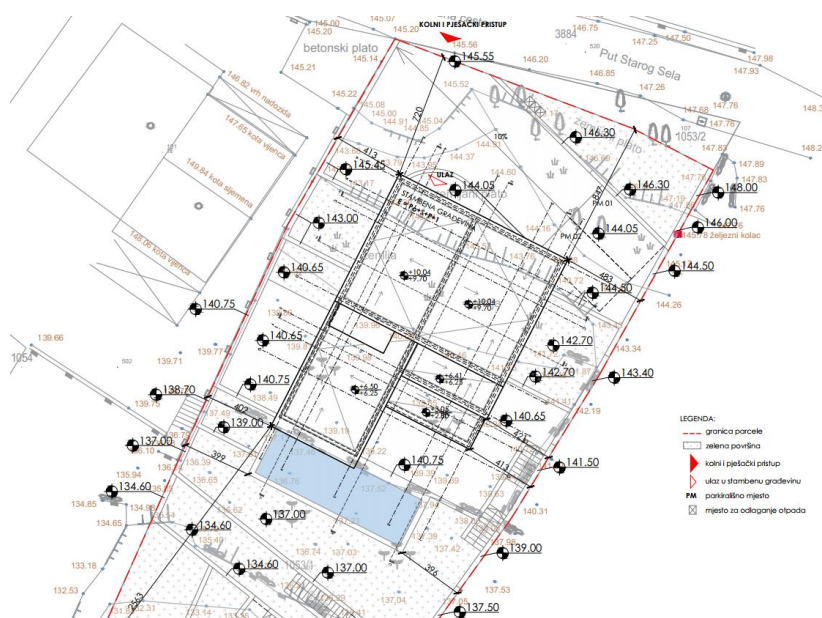
Građevina se izvodi od tradicionalnih i postojanih građevnih materijala, ugrađenih suvremenim tehnologijama građenja, na način da su zadovoljeni temeljni zahtjevi za građevinu, odredbe odgovarajućih propisa i dokumenata prostornog uređenja.

Konstruktivni sistem sastoji se od armiranobetonskih trakastih temelja te uzdužnih i poprečnih armiranobetonskih zidova na svim etažama. Međukatne ploče i krovna ploča su također armiranobetonske.

Morfološki gledano lokacija je strma padina, s denivelacijom od oko 20 metara nadmorske visine unutar 40 m zračne linije.

U trenutnom stanju lokacija je djelomično uređeni (zaravnati) plato u više kaskada te su djelomično obavljene iskopi i pripremni radovi (betoniranje ogradnih zidova i sl.). Prije uređenja površina je u cijelosti bila prirodna padina, kaskadno oblikovana suhozidima (u prošlosti za potrebe poljoprivrede) pokrivena mediteranskom makijom i borovom šumom.

Okolina lokacije je srednje izgrađenosti, s objektima visine do 4 nadzemne etaže. Na njima se ne uočavaju pukotine koje bi ukazivale na probleme u temeljenju.

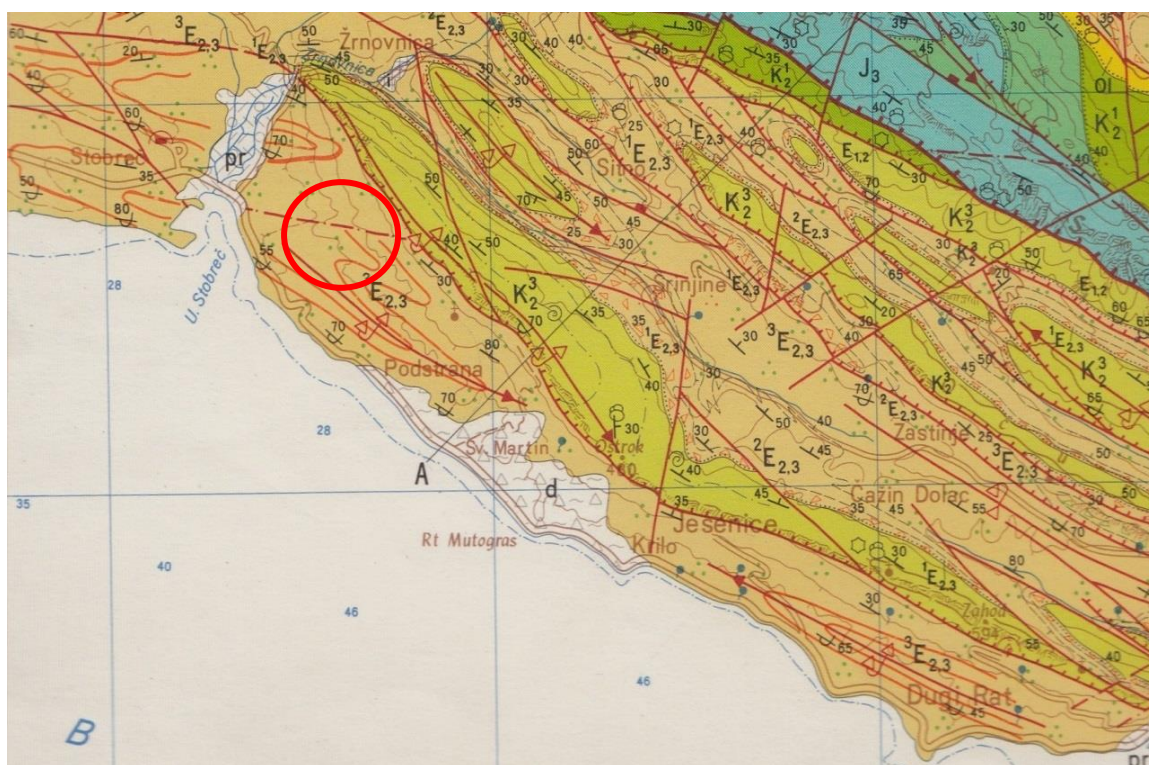


Slika 2. Smještaj predmetne stambene građevine na građevnoj čestici (tlocrt krova i zona obuhvata)

2.2 Geotehnički istražni radovi

Terenski istražni radovi izvršeni su sa svrhom utvrđivanja sastava temeljnog tla i svojstava slojeva tla na kojima će se temeljiti objekt na predmetnoj lokaciji te određivanja proračunske otpornosti temeljnog tla-stijene i drugih parametara za ispravno temeljenje, kao i formiranje pokosa građevne jame za vrijeme izgradnje objekta. U okviru istražnih radova izvršen pregled predmetne lokacije, kao i pregled iskopa i zasjeka u neposrednoj okolini i na samoj lokaciji.

Prema Osnovnoj geološkoj karti, list Omiš [2] i njezinome Tumaču [3], prema slojevima determiniranim na predmetnoj lokaciji te rezultatima inženjersko-geološke prospekcije terena u širem okolišu, teren na predmetnoj lokaciji izgrađuju na površini nasuti materijali (N), ispod kojih se nalaze kvartarne eluvijalne naslage – degradirani fliš (Q_{el}). Osnovu – stijenu podloge grade naslage eocenskog fliša (³E_{2,3}).



Slika 3. Položaj predmetne lokacije na geološkoj karti [2]

Prirodni pad terena je generalno od sjeveroistoka prema jugozapadu.

Pregledom terena određene su ove značajke naslaga:

- **Nasuti materijali – geotehnička sredina 1 (GS1)**

Na istraženoj lokaciji na površini se javlja autohtoni sloj nasipa prašinate gline, srednje plastičnosti, smeđe boje, koja je mjestimice onečišćena organski (korjenje biljaka).

Debljina ovog sloja na predmetnoj lokaciji iznosi oko 0 m na mjestima isklinjavanja stijenske mase, do oko 1,0 m. Debljina sloja može mjestimice biti i veća od one koja je detektirana na predmetnoj lokaciji, uslijed oblikovanja kaskada u prošlosti za poljoprivredne potrebe.

- **Eluvij (Q_{el}) – geotehnička sredina 1 (GS1)**

Ispod nasutog materijala, u krovini flišnih naslaga, nalazi se zona dobro zbijene, srednje plastične, prašinate, laporovite gline / laporovitog praha, svijetlo žuto smeđe do svijetlo sive boje (eluvij), s bijelim tragovima kalcitnog praha (otopljenog kalcita), nastala in situ procesima trošenja lapora kao matične stijene. Pri dnu ove zone mjestimično se pojavljuje prijelaz k trošnim glinovitim laporima. Eluvijalne naslage degradiranog fliša posjeduju međuzrnsku poroznost i slabu vodopropusnost, a s geotehničkog stajališta nisu povoljne za temeljenje.

Debljina ovog sloja na istraženoj predmetnoj lokaciji iskustveno iznosi oko 0,50 do 1,00 m na mjestima na kojima nije uočena pojavnost matične stijene na površini terena.

- **Fliš (E_{2,3}) – geotehnička sredina 2**

Osnovnu stijenu čine glinoviti lapori do lapori (površinski dio tj. gornji pojas trošenja) i lapori do vapnenački lapori (s povećanjem dubine), različitih debljina slojeva, žuto sivo smeđe boje do plavo sive boje, mjestimično s bijelim tragovima kalcita i proslojcima drugih članova flišne serije - breča, pješčenjaka i vapnenaca (pretežito pješčenjaka) promjenjive debljine. Isti su determinirani i na površini terena i zasjecima na predmetnoj lokaciji.

Generalno, prema geološkoj karti predmetne lokacije slojevi flišne naslage su nagnuti prema sjever-sjeveroistok, uglavnom pod kutom od 30° do 40°. Međutim, intenzivna tektonska aktivnost na ovom području rezultirala je razlomljenošću naslaga, njihovim povijanjem i prevrtanjem te se na cijeloj lokaciji mogu očekivati lokalne promjene nagiba slojeva.

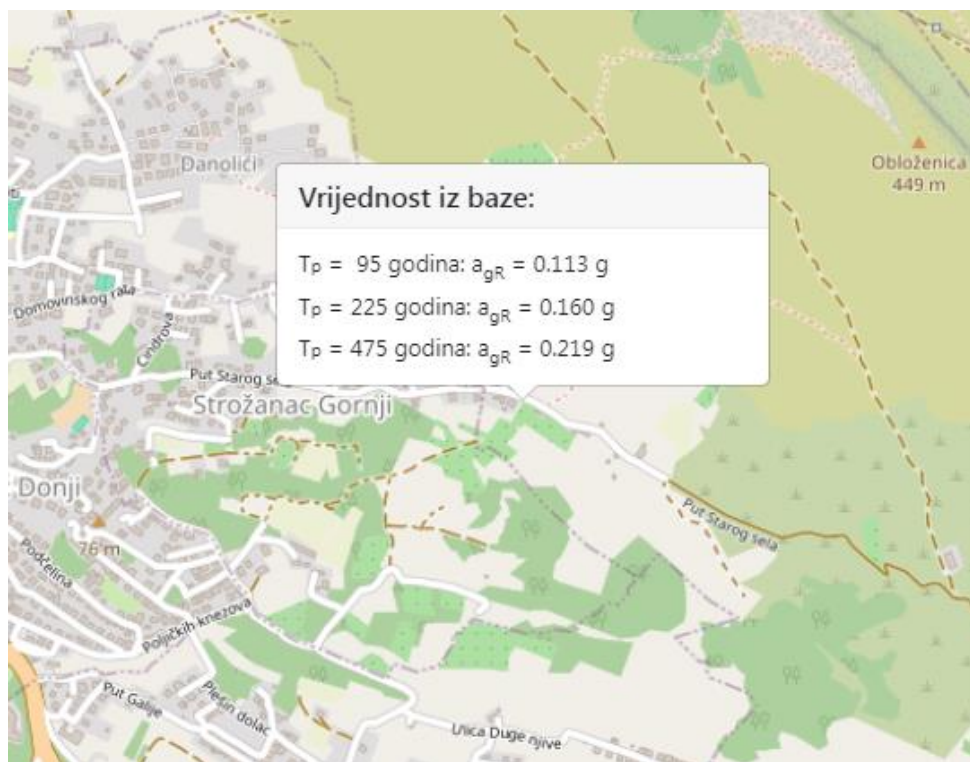
Flišne naslage su pukotinske i međuzrnske poroznosti te slabe vodopropusnosti. Prema ranijim istraživanjima, u površinskom dijelu indeks razlomljenosti stijenske mase je $RQD < 25$ i $25 - 50$ %, dok je s povećanjem dubine registrirano uglavnom $RQD > 50$ %. U zoni lapora na sjevernom uglu parcele RQD je $\ll 25\%$.

Flišne naslage općenito predstavljaju u hidrogeološkom smislu izolatore, odnosno, to su vodonepropusne naslage. Međutim, zbog učešća pješčenjaka u njima i razlomljenosti, moguće je sporo procjeđivanje površinskih voda u pliće podzemlje, što nalaže izvedbu efikasne hidroizolacije i odvodnje oko građevina, pri čemu se otvoreni široki iskop na razini temeljenja mora odmah zaštititi od degradacije atmosferilijama slojem „mršavog“ betona.

2.2.1 Seizmičke značajke lokacije

Prema Seizmološkoj karti (HRN EN 1998-1:2011/NA:2011/A1:2021, [4]), istražena se lokacija nalazi na području za koje se za povratni period od 95 godina predviđa maksimalno horizontalno ubrzanje u veličini od 0,113g te se za povratni period od 475 godina predviđa maksimalno horizontalno ubrzanje u veličini od 0,219g.

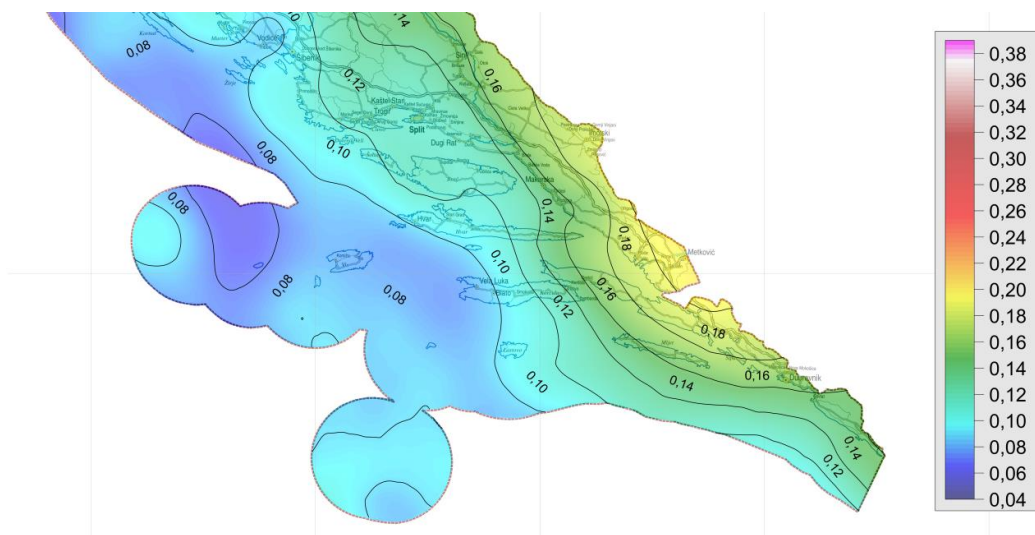
Za seizmički proračun konstrukcije, kod određivanja lokalnih uvjeta tla (prema HRN EN 1998-1:2011/NA:2011/A1/2021), računati da se radi o tlu razreda A (flišna naslaga).



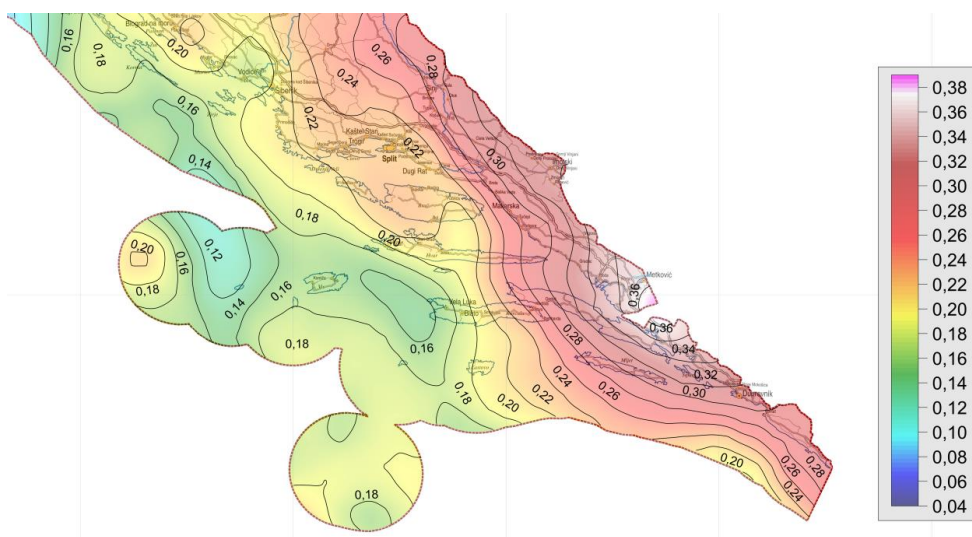
Slika 4. Maksimalno horizontalno ubrzanje [4]

Temeljno tlo se prema Eurokodu može svrstati u razred “A” po dokumentu (HRN EN 1998). Razred „A“ je definiran kao: stijena ili druga geološka formacija, uključujući i najviše 5,0 m najslabijeg materijala na površini. Brzina širenja poprečnih valova $V_{s,30} \geq 800$ m/s.

Prema karti akceleracija za temeljno tlo – matičnu stijenu može se usvojiti maksimalna horizontalna akceleracija (a_{max} izraženo u jedinici g), za povratni period od 95 godina, u iznosu $a_{max}=0,12$ g, odnosno za povratni period od 475 godina, u iznosu $a_{max}=0,22$ g.



Slika 5. Karta potresnih područja okoline predmetne lokacije za povratni period od 95 godina (izraženo kao ubrzanje g)



Slika 6. Karta potresnih područja okoline predmetne lokacije za povratni period od 475 godina (izraženo kao ubrzanje g)

2.2.2 Inženjerskogeološki elementi za klasifikaciju stijenske mase

Na temelju rezultata dobivenih istražnim radovima i iskustvenih podataka određena je vrijednost geološkog indeksa čvrstoće GSI, prema dijelu geomehaničke klasifikacije – RMR sistem, koja uzima stanje podzemne vode “potpuno suho”, a ne uzima u obzir i utjecaj pružanja i nagiba diskontinuiteta.

Tablica 1. RMR klasifikacija matične stijene – naslage fliša sastavljene od lapora s proslojcima pješčenjaka i trošnih lapora

PARAMETAR	PODRUČJE VRIJEDNOSTI	BROJ BODOVA	
Jednoosna tlačna čvrstoća	3-10 MPa		1
Pokazatelj ispucalosti stijenske mase RQD	<25 %		3
Razmak diskontinuiteta	<60 mm		5
Stanje diskontinuiteta:			
dužina diskontinuiteta	3-10 i 10-20 m	1	
zijeve	<0.1 mm i 0.1-1 mm	4	
hrapavost	neznatno hrapave do glatke	2	
ispuna	meka ispuna <5 mm	2	
rastrošenost	izrazito rastrošeni	1	
Ukupno stanje diskontinuiteta:			10
Pružanje i pad diskontinuiteta	-		0
Stanje podzemne vode (Napomena: za proračun GSI-a uzima se kao da nema podzemne vode)	nema		15
	UKUPNO:		34

$GSI = RMR_{(89)} - 5$; $GSI = 34 - 5 = 29$, tj. “slaba stijenska masa“ (21-40 bodova).

Tablica 2. RMR klasifikacija matične stijene – naslage fliša djelomično sastavljene od čvrstih vapnenačkih pješčenjaka

PARAMETAR	PODRUČJE VRIJEDNOSTI	BROJ BODOVA	
Jednoosna tlačna čvrstoća	Ugl. 50-100 MPa		7
Pokazatelj ispucalosti stijenske mase RQD	25-50%		8
Razmak diskontinuiteta	20-60 i 60-200 cm		12
Stanje diskontinuiteta:			
dužina diskontinuiteta	>20 m	0	
zijeve	1-5 i >5 mm	1	
hrapavost	hrapave do neznatno hrapave	4	
ispuna	meka ispuna >5 i <5 mm	1	
rastrošenost	neznatno rastrošene	5	
Ukupno stanje diskontinuiteta:			11
Pružanje i pad diskontinuiteta	-		0
Stanje podzemne vode (Napomena: za proračun GSI-a uzima se kao da nema podzemne vode)	nema		15
	UKUPNO:		53

$GSI = RMR_{(89)} - 5$; $GSI = 53 - 5 = 48$, tj. "povoljna stijenska masa" (41-60 bodova).

Ako se stijenska masa na predmetnoj lokaciji promatra kao kvazi-homogena, za proračun vrijednosti parametra posmične čvrstoće matične stijene predlaže se koristiti:

$GSI = 29$ (geološki indeks čvrstoće stijenske mase)

$\sigma_c = 5$ MPa (jednoosna tlačna čvrstoća stijene)

$\gamma_1 = 23$ kN/m³ (jedinična težina stijene)

Za površinski sloj nasipa i eluvij predlaže se koristiti iskustvene karakteristične parametre:

$\gamma_2 = 18$ kN/m³ (jedinična težina stijene)

$c_k = 3$ kPa (kohezija)

$\varphi_k = 28^\circ$ (kut unutarnjeg trenja)

2.3 Opis tehničkog rješenja zaštite

Građevna jama za planirani objekt formirat će se poštujući kote dna temeljenja planirane građevine te sloj podbetona. Tlocrtno, građevna jama formirana je uvažavajući vanjske nosive zidove objekta i potreban manipulativni odmak.

U radu su opisane dvije varijante tehničkog rješenja zaštite i stabilizacije građevne jame:

1. Široki iskop u nagibu 3:1 (za iskope u stijenskoj masi) i 1:1 (za iskope u nasipnim materijalima i eluvijalnim naslagama degradiranog fliša)
2. Iскоп u nagibu 8:1 uz primjenu zaštite mlaznim betonom i geotehničkim samobušivim sidrima.

Iskope se nalaže izvoditi sukcesivno u kampadama duljine do tri metra i etažama visine dva metra.

Kako bi se zaštitili pokosi građevne jame u širokom iskopu, ali i kontroliralo potencijalne lokalne nestabilnosti i odrone iz iskopa potrebno je pokose građevne jame prekriti metalnim mrežama najvećeg otvora 5,0 cm i plastičnom folijom (debljine 2,0 mm).

Za zaštitu kosine mlaznim betonom i geotehničkim sidrima odabrana su geotehnička sidra IBO R32S, Ø32mm. Duljine sidara odabrane su analizama stabilnosti kosina te iznose 6,0 m, 4,0m i 2,0 m. Geotehnička sidra se ugrađuju pod nagibom 15° od horizontale. Sidra se ugrađuju na horizontalnom razmaku 2,0 m i vertikalnom razmaku od 2,0 m. Obloga od mlaznog betona C25/30 ugrađuje se u dva sloja po 5,0 cm debljine (5,0 + 5,0 = 10,0 cm) između kojih se ugrađuje armaturna mreža Q-188. Iza mlaznog betona potrebno je onemogućiti stvaranje hidrostatskog pritiska izradom drenova od PVC cijevi promjera Ø50 mm, duljine 0,5 m.

2.3.1 Iskop i odvoz iskopanog materijala

Za potrebe kategorizacije iskopa stijenske mase u gore navedenim materijalima, a prema normama propisanim u “Opći tehnički uvjeti za radove na cestama” – knjiga II [5], može se dati sljedeća kategorizacija:

- iskopi u stijenskoj masi (geotehnička sredina 2 – GS2) pripadaju “A” i “B” ktg.,
- iskopi u nasipnim materijalima te eluvijalnim naslagama degradiranog fliša (geotehnička sredina 1 – GS1) pripadaju “B” i “C” ktg. iskopa.

Iskopani materijal potrebno je redovito odvoziti na odgovarajuću deponiju.

2.3.2 Sustav zaštite geotehničkim sidrima i mlaznim betonom

Kako bi se spriječili pomaci i ograničile deformacije, odnosno osigurala lokalna i globalna stabilnost u građevnoj jami za vrijeme izvođenja radova, za iskope u nagibu 20:1 je predviđena ugradnja sidara sustavna zaštita pokosa mlaznim betonom i geotehničkim samobušivim (IBO) sidrima.

Odabrana su sidra IBO R32S, karakteristične nosivosti 280/360 kN, duljine 6,0 m, 4,0 m i 2,0 m. Duljina sidara proizlazi iz geostatičkih proračuna.

Minimalni promjer bušaće krune iznosi 76 mm. Sidra se ugrađuju u bušotine promjera od minimalno $\varnothing 76$ mm, u nagibu 15° od horizontale prema dolje.

Za injektiranje sidra se najčešće koristi cementni mort. Uobičajeni vodocementni faktor se kreće u rasponu od 0,40 do 0,50.

Distanceri osiguravaju stalni zaštitni sloj injekcijske smjese oko čelične cijevi te da cijev bude u sredini bušotine. Sidro treba biti opremljeno distancerima prema specifikacijama i uputama proizvođača.

Kako bi se osiguralo međudjelovanje cijelog sustava zaštite potrebno je ugraditi oblogu od mlaznog betona C25/30 debljine 10 cm armiranog mrežama Q-188.

Također je potrebno onemogućiti stvaranje hidrostatskog pritiska iza mlaznog betona izradom drenova od PVC cijevi promjera $\varnothing 50$ mm duljine 0,5 m. Drenovi se ugrađuju u bušotine promjera 76 mm, otklon od horizontale 5° prema gore. Ako se tijekom iskopa registriraju pozicije većih dotoka, na toj lokaciji je potrebno progustiti drenove.

Iskop i izvedba zaštite izvode se u etažama visine do maksimalno dva metra. Iskop na slijedećoj etaži smije se vršiti tek po završetku izvedbe zaštite prethodne etaže u cijelosti.

Prije ugradnje mlaznog betona potrebno je privremeno zaštititi navoje sidara od cementne skrame sve do trenutka ugradnje podložne pločice.

Sustav zaštite mlaznim betonom i sidrima privremena je konstrukcija i nakon zasipanja objekta i uređenja terena gubi svoju funkciju.

3 TEHNIČKI UVJETI IZVEDBE

3.1 Plan radova

Da bi se radovi izvodili potrebnom dinamikom, izvođač treba izraditi plan izvođenja radova. Plan izvođenja radova treba sadržavati organizaciju i opremu gradilišta, trase za lokalne Transporte, dinamiku izvođenja radova te popis strojeva i tehničkih karakteristika opreme.

3.2 Iskolčenje i zahtijevana geometrija

Za cijelo vrijeme izvođenja radova izvođač je dužan o svom trošku osigurati provedbu i održavanje geodetskih iskolčenja i snimanja. Zahtijeva se postizanje točnosti iskolčenja i snimanja ± 1 cm. Tijekom izvedbe kontrolira se izvedenost iskolčenja, usklađenost iskolčenja s projektom, provedba osiguranja iskolčenja i poligonih točaka i obnova iskolčenja tijekom radova.

3.3 Tehnička oprema i priprema (uređenje) gradilišta za rad

Tehnička oprema gradilišta i priprema gradilišta za rad moraju omogućiti odvijanje radova u skladu s projektom i prihvaćenim planom radova. Potrebno je provoditi kontrole da organizacija gradilišta, tehnička oprema i strojevi budu u skladu sa zahtjevima projekta, a radi mogućnosti cjelovitog i dosljednog izvršenja graditeljskih radova.

3.4 Osiguranje gradilišta

Gradilište treba ograditi zaštitnom ogradom, koja će onemogućiti nekontrolirani pristup te tako spriječiti nesretne slučajeve radnika. Svi privremeni objekti trebaju se izvesti i postaviti tako da im bude osigurana stabilnost i da u svemu odgovaraju zakonskim zahtjevima za svrhe za koje su namijenjeni.

3.5 Definiranje pozicija instalacija u zoni radova

Definiranje pozicija instalacija u zoni radova potrebno je provesti prije početka radova u suradnji s vlasnicima instalacija.

Potrebno je prije radova provesti kontrolu da li su utvrđene pozicije instalacija, a tokom radova da li se radovi izvode u skladu sa zahtjevima i uputama vlasnika instalacija.

3.6 Iskopi

Projektom je osigurana stabilnost kosina iskopa u svim fazama izvedbe. Ukoliko dođe do predubokog i preširokog iskopa u odnosu na projektom predviđene kote ili se s iskopom započne neorganizirano, može doći do prevelikih pomaka ili čak narušavanja stabilnosti.

Prema tome, Izvoditelj radova na iskopu obavezan je detaljno upoznati redoslijed izvedbe radova na iskopima i izvedbi konstrukcije. Izbor tehnologije iskopa te odvoz iskopanog materijala, Izvoditelj treba prikazati planom rada.

Količine radova obračunavaju se u stvarno otkopanim geometrijskim dimenzijama, uz suglasnost Nadzornog inženjera.

3.6.1 Tehnologija iskopa

Definirani iskopi se ne smiju se izvoditi strmije niti u jednoj fazi radova. Geodetsko iskolčenje iskopa izvodi se prema zadanim mjerama i kotama. Dimenzije iskopa kontroliraju se geodetski te se upisuju u građevni dnevnik.

Tijekom iskopa može se ostvariti prekoprofilski iskop koji će biti posljedica geoloških uvjeta. Ukoliko Izvođač postavi zahtjev za priznavanje troškova prouzročenih ovim pojavama, dužan ih je dokumentirati. Ove pojave treba dokumentirati (fotografije, detaljno inženjerskogeološko kartiranje i dr.).

3.7 Zaštita kosine mlaznim betonom i sidrima

3.7.1 Mlazni beton

Prije početka rada Izvođač je dužan pribaviti potrebnu dokumentaciju o kakvoći za sve građevne materijale kao i radnu recepturu mješavina i predočiti ih nadzornom inženjeru u originalu na uvid i suglasnost.

Mlazni beton u svemu treba zadovoljiti uvjete normi:

- HRN EN 14487-1:2022 Mlazni beton – 1. dio: Definicije, specifikacije i sukladnost
- HRN EN 14487-2:2007 Mlazni beton – 2. dio: Izvedba

- HRN EN 14488-2:2007 Ispitivanje mlaznog betona – 2. dio: Čvrstoća
- HRN EN 14488-6:2007 Ispitivanje mlaznog betona – 6. dio: Debljina mlaznog betona na podlozi

Projektni kriteriji

Mlazni beton mora imati sljedeće karakteristike:

- Poravnavajući sloj
- debljina $d=10$ cm (dva sloja debljine po 5,0 cm između kojih je armaturna mreža B500 Q-188)
- beton klase C25/30
- odskok (10-40%)

3.7.2 Tehnologija ugradnje mlaznog betona

Izvođač može koristiti suhi i mokri postupak ugradnje mlaznog betona. Treba nastojati da vrijeme između nanošenja prvog i drugog sloja bude što kraće kako bi se postigao kvalitetan kontakt između slojeva.

Prije nanošenja mlaznog betona potrebno je površinu temeljito pripremiti na sljedeći način:

- Dobro “okavati” kosinu tj. ukloniti slabu i nevezanu stijenu s površine.
- Prije nanošenja mlaznog betona površinu obavezno “ispuhati” komprimiranim zrakom.
- Sve nečistoće odstraniti suhim postupkom.
- Lagano poprskati površinu prvog sloja vodom neposredno prije nanošenja drugog sloja.
- Prilikom nanošenja mlaznog betona treba zaštititi glave sidara.

3.7.3 Materijali

Materijali za spravljanje mlaznog betona moraju zadovoljavati uvjete predviđene standardom HRN EN 1487 Dodatni kriterij za materijal:

- najveća krupnoća zrna agregata = 8 mm.

3.7.4 Projekt mlaznog betona

Projekt mlaznog betona dužan je napraviti Izvođač radova u skladu s naprijed definiranim zahtjevima Projektanta i standardom HRN EN 1487. Projekt mora biti prihvaćen od strane nadzornog organa Investitora.

3.7.5 Ispitivanje mlaznog betona

Prije početka gradnje potrebno je obaviti prethodna, a u tijeku gradnje treba vršiti tekuća i kontrolna ispitivanja.

Prethodna i tekuća ispitivanja obavljati će Izvođač radova prema programu kojega će izraditi u skladu s važećim propisima. Kontrolna ispitivanja obavljati će laboratorij Investitora, a prema programu kojega će sačiniti tehnolog iz nadzorne službe Investitora.

Tablica 3. Kriteriji za prihvaćanje kvalitete

SVOJSTVO	PROJEKTNI KRITERIJ	KRITERIJ ZA PRIHVAĆANJE KVALITETE
Čvrstoća	(MB 30) C25/30	HRN EN 14488-1 do 2
Debljina	10 cm	HRN EN 14488-6

Debljina obloge se kontrolira na valjcima promjera 30-50 mm ili udarnim bušenjem bez jezgrovanja ukoliko je kontakt betona i stijene jasan. Debljina se može kontrolirati i probadanjem svježe mase tijekom rada. Treba obaviti jedno mjerenje na svakih 50 m². Sve otvore na površini mlaznog betona koji su posljedica uzorkovanja, kontrole debljine i dr. potrebno je ispuniti cementnim mortom.

3.7.6 Armaturne mreže

Tipovi armaturnih mreža

Predviđene su armaturne mreže B500 Q-188.

Ugradnja armaturnih mreža

Armaturne mreže ugrađuju se na način da se osigura zaštitni sloj betona sa donje strane. Krutim distancerima armaturne mreže odižu se od podloge min. 4 cm. Armaturne mreže se vežu na ugrađena štapna geotehnička sidra i učvršćuju za površinu koja se štiti pomoću sidrenih žica koje se ugrađuju neposredno u površinu koju treba zaštititi ili u prvi sloj mlaznog betona pomoću izbušenih rupa Ø32 mm i dubine oko 0,20 m.

Armaturna mreža ugraditi će se tako da što je moguće bolje prati nepravilnosti površine iskopa ili prethodnih slojeva. Ista će biti postavljena tako da pri ugradnji mlaznog betona ne dođe do

njenog pomicanja ili vibracija. Armaturna mreža postavljat će se u najvećim mogućim duljinama.

Preklop za armaturnu mrežu biti će najmanje dvostruko veći od udaljenosti razmaka žica u uzdužnom smjeru. Armaturna mreža ugrađuje se tako da bude osiguran zaštitni sloj mlaznog betona debljine najmanje 4 cm.

Ugradnju armaturne mreže odobrava nadzorni inženjer.

Ispitivanja armaturnih mreža

Kontrolna ispitivanja obavljaju se prema normi HRN EN 15630-2:2019.

3.8 Injekcijska bušaća sidra s vanjskim navojem (ibo-sidra)

3.8.1 Konstrukcija IBO sidra

Tijelo IBO-sidra čini čelična cijev s vanjskim oblim navojem koja na jednom kraju ima bušaču krunu, a na drugom odgovarajuću maticu s podložnom pločom. IBO-sidra mogu se nastavljati (produljivati) spojnica s unutarnjim navojem. [5]

Podložne pločice su izrađene od istog materijala, profilirane prema van, dimenzija min. 150x150x8 mm.

Sidro treba biti opremljeno distancerima prema specifikacijama i uputama proizvođača.

Usvojena su IBO sidra R32S te moraju imati deklariranu nosivost sklopa; tijelo+matica+podložna ploča 280 kN. Spojnica mora imati jednaku nosivost kao i navedeni sklop. Minimalni promjer bušaće krune iznosi 76 mm.

Izvođač treba nadzornom inženjeru dostaviti na odobrenje dokaz nosivosti sklopa tijelo+matica+podložna ploča, kao i za spojnice za nastavljanje (produljivanje) sidra. Dostavljeni izvještaj o ispitivanju također mora obuhvaćati kontrolu oblika i mjera te provjeru vlačnih svojstava osnovnog materijala.

Za sva ugrađena sidra mora biti dostavljena odgovarajuća dokumentacija – tehnička dopuštenja.

3.8.2 Ugradnja IBO-sidra

IBO-sidra postavljaju se bušenjem šipke u tlo bez njenog povlačenja. Šuplja čelična cijev se ugrađuje do potrebne dubine metodom udarno rotacijskog bušenja.

Kod samobušivog sidra injektiranje se izvodi kroz šuplju čeličnu cijev, a injekcijska smjesa izlazi kroz otvore na bušaćoj kruni. Injekcijska smjesa stabilizira izvedenu bušotinu. Injektiranje završava u trenutku kada injekcijska smjesa počne izlaziti na ušću bušotine.

Smjesu za zalijevanje, pritisak pri zalijevanju i količinu određuje izvođač prema uvjetima tla na koje naiđe i u skladu s uputama proizvođača sidra. Postupak ugradnje odobrava nadzorni inženjer.

Sidra se ugrađuju u bušotine promjera od minimalno $\varnothing 76\text{mm}$, u nagibu 15° od horizontale prema dolje.

Geotehnička štapna sidra treba izvesti u svemu prema normama HRN EN 1997-1:2012 Eurokod 7: Geotehničko projektiranje i HRN EN 1537:2013: Izvedba posebnih geotehničkih radova – Sidra u tlu i stijeni.

Moraju se uzeti u obzir uvjeti okoliša tijekom radnog vijeka sidara. Sljedeća se mjerila smatraju indikativnim veličinama iznad kojih su nužne posebne mjere opreza s obzirom na agresivnost vode na injekcijsku smjesu od betona ili očvrstlog cementa:

- pH vrijednost manja od 5,5
- ugljična kiselina CO_2 više od 40 mg/l
- amonij NH_4 više od 30 mg/l
- magnezij više od 1000 mg/l
- sulfat SO_4 više od 200 mg/l
- tvrdoća manje od 30 mgCaO/l

3.8.3 Injekcijska smjesa

Injekcijska smjesa za sidra treba biti izrađena na bazi cementa sa dodatkom za bubrenje.

Injekcijska smjesa treba zadovoljavati sljedeće uvjete:

- dodatak za bubrenje,
- izdvajanje vode nakon 3 sata max 1%,
- promjena volumena tj. bubrenje nakon 24 sata min 1%,
- minimalna tlačna čvrstoća nakon 3 dana 30 MPa,
- min tlačna čvrstoća nakon 28 dana 35 MPa,
- protočnost kroz Marsh-ov lijevak 11 do 14 sekunda,

- izvođač radova injektiranja treba recepturu dokazati u laboratoriju prije nego istu dostavi nadzornom inženjeru.

Cement za pripremanje injekcijske smjese treba biti bez dodataka kako bi se smanjilo izdvajanje vode. Injekcijska smjesa odabire se u skladu s normom HRN EN 447:2008, postupci injektiranja provode se u skladu s normom HRN EN 446:2008, a ispitivanja se provode prema normi HRN EN 445:2008.

3.8.4 Ispitivanje sidara

Tijekom izvođenja radova treba vršiti tekuća ispitivanja sidara. Pri izvođenju geotehnička sidra treba nategnuti na proračunsku silu.

Nakon stavljanja pločice i matice, matica se priteže moment ključem na silu 50 kN.

Sidra koja na ispitivanjima podbace ili koja se izvlače biti će zamijenjena. Za svaki propust nadzorni inženjer tražit će da se ispituju dodatna sidra u blizini.

Ispitivanju sidara može se pristupiti najmanje 7 dana nakon provedenog injektiranja sidrišne dionice.

3.8.5 Nadzor nad ugradnjom i praćenje

Za svako napredovanje izvođač će voditi, a nadzorni inženjer odobravati evidenciju o pojedinostima ugradnje geotehničkih sidara. U skladu s normom HRN EN 1997-1:2012 (Eurokod 7: Geotehničko projektiranje), na lokaciji mora postojati plan ugradnje sidara, koji sadrži tehničke specifikacije koje se odnose na dotični sustav sidrenja.

Plan ugradnje može sadržavati slijedeće podatke:

- vrstu sidara s naznakom da li su normirana europskim tehničkim dopuštenjem,
- broj sidara,
- položaj i usmjerenje svakog sidra i dopušteno odstupanje od položaja,
- duljinu sidrenja,
- nadnevak i vrijeme ugradnje svakog sidra,
- za injektirana sidra: materijal, pritisak, volumen injektirane smjese, duljinu injektiranja, trajanje injektiranja,
- zahtjevanu nosivost sidara,
- izvedbu zaštite od korozije,
- način ugradnje (bušenje, postavljanje, vezivanje i napinjanje),

- poznate zapreke,
- svako drugo ograničenje na ugradnji sidara.

Ugradnja svakog sidra se mora pratiti i voditi zapisnik tijekom i nakon ugradnje. Za svako sidro mora se čuvati potpisani zapisnik.

Ako pregledi dovedu u pitanje kakvoću ugrađenih sidara, tada se moraju provesti daljnja istraživanja radi utvrđivanja stanja ugrađenih sidara.

Zapisnici se moraju čuvati nakon završetka radova. Po završetku sidrenja treba načiniti nacрте izvedenog stanja, a njih treba čuvati s dokumentima o gradnji. Također treba čuvati potvrde za sve materijale i njihova mjerodavna svojstva.

3.9 Drenovi

Kako bi se spriječilo stvaranje hidrostatskog pritiska na elemente te osiguralo dreniranje vode iz zaleđa, ugrađuju se drenovi od PVC cijevi Ø50 mm, L=0,50 m.

Drenovi se ugrađuju u bušotine promjera 76 mm, otklon od horizontale 5° prema gore.

4 GEOTEHNIČKI PRORAČUNI

Proračuni stabilnosti kosina izvršeni su na osnovi raspoloživih podataka o geometriji zahvata te geološkoj građi terena. Proračuni su izvršeni prema normi HRN EN 1997 i HRN EN 1998, proračunski pristup PP3.

Predmetna građevina pripada *Geotehničkoj kategoriji 2* (iskopi, uobičajene vrste konstrukcija i temelja), tj. kategoriji za koje *geotehnička istraživanja* obuhvaćaju: rutinska istraživanja, uključujući bušenja, terenska i laboratorijska ispitivanja, a *procedure proračuna*: rutinski proračuni stabilnosti i deformacija temeljeni na proračunskim postupcima iz Eurokoda 7.

Proračunski pristup 3 (PP3)

Proračunske vrijednosti za analize graničnog stanja nosivosti izvode se iz karakterističnih vrijednosti uz primjenu parcijalnih koeficijenata prema Tablici 2.

Tablica 4. Parcijalni koeficijenti za PP3

Parcijalni koeficijenti djelovanja γ_F		
		A2
Stalno nepovoljno djelovanje	γ_G	1,0
Stalno povoljno djelovanje	γ_G	1,0
Promjenjivo nepovoljno djelovanje	γ_Q	1,3
Promjenjivo povoljno djelovanje	γ_Q	0
Udesno djelovanje	γ_A	1,0
Parcijalni koeficijenti materijala γ_m		
		M2
$\tan \phi'$	$\gamma_{\tan \phi'}$	1,25
Efektivna kohezija c'	γ_c	1,25
Jedinična težina tla γ	γ_g	1,0
Parcijalni koeficijenti otpora γ_R		
		R3
Kosine i opća stabilnost, otpor tla	$\gamma_{R,e}$	1,0

Kombinacije skupina parcijalnih koeficijenata za proračunski pristup 3: A2+M2+R3

Za seizmičku kombinaciju, svi parcijalni koeficijenti djelovanja iznose $\gamma_{Fi(A2)} = 1$

4.1 Svojstva materijala

Svojstva materijala koja se koriste u numeričkim modelima određena su na osnovu terenskih istražnih radova. Svojstva koja nisu mogla biti mjerena iz tehničkih razloga usvojena su na osnovu procjene sličnosti geotehničkih osobina materijala s predmetne lokacije s osobinama materijala čije su geomehaničke osobine u cijelosti ispitane na drugim lokacijama te podataka iz literature.

Geotehnička sredina 2 – flišna stijenska masa (E_{2,3})

Na temelju podataka:

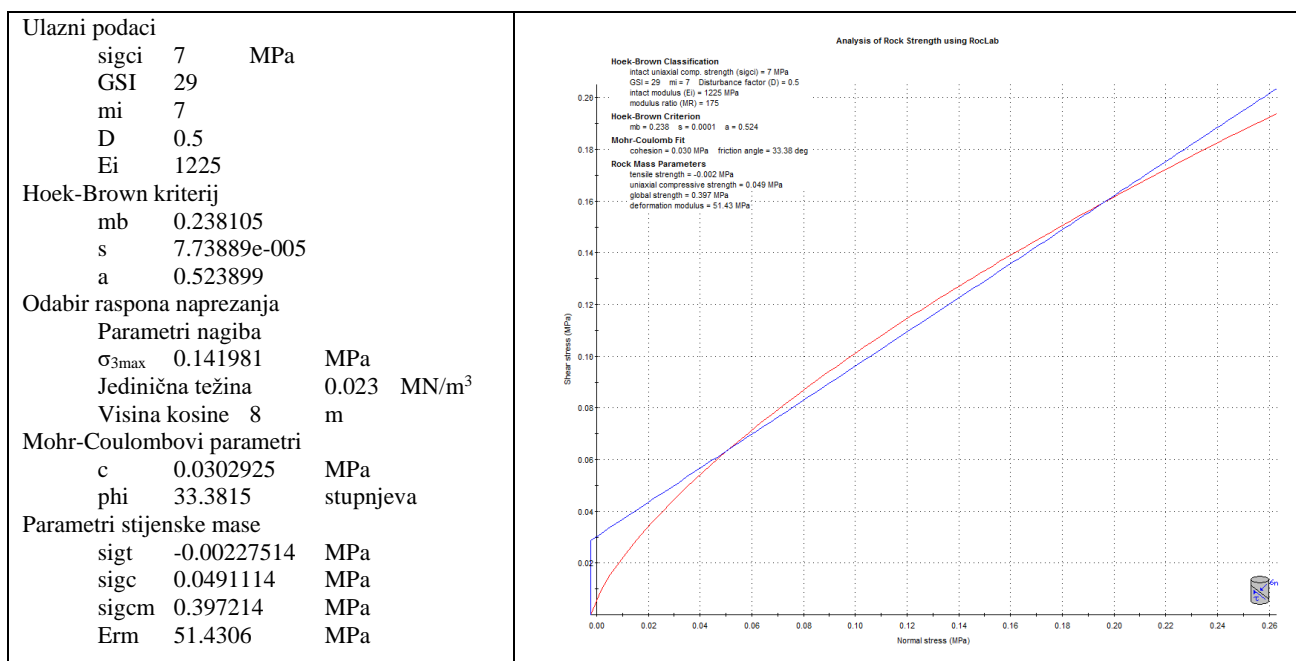
$$\text{GSI} = 29$$

$$\sigma_{c1} = 5 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{k1} = 23 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Visina pokosa } h = 8,0 \text{ m}$$

Tablica 5. Parametri čvrstoće matične stijenske mase



Programskim paketom Roclab za predmetnu lokaciju izračunati su sljedeći parametri čvrstoće:

$$c_{k1} = 30 \text{ kPa}$$

$$\phi_{k1} = 33^\circ$$

Geotehnička sredina 1 – površinski nasipni slojevi

Iz *Geotehničkog elaborata* za predmetnu lokaciju preuzeti su sljedeći zadani parametri:

- Površinski sloj nasipa

$$\gamma_{k2} = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$c_{k2} = 3 \text{ kPa}$$

$$\phi_{k2} = 28^\circ$$

Tablica 6. Svojstva materijala korištena u numeričkim modelima – karakteristične i proračunske vrijednosti

VRSTA MATERIJALA	KARAKTERISTIČNE VRIJEDNOSTI			PRORAČUNSKJE VRIJEDNOSTI		
	γ_k (kN/m ³)	c_k (kN/m ²)	ϕ_k (°)	γ_d (kN/m ³)	c_d (kN/m ²)	ϕ_d (°)
Fliš	23	30	33	23	24	27
Nasip	18	3	28	18	2,4	23

4.2 Seizmička djelovanja

Prema karti potresnih područja određena maksimalna horizontalna akceleracija (a_{\max} izraženo u jedinici g) za povratni period od 95 godina, u iznosu $a_{\max}=0,113 \text{ g}$.

Potresna inercijska sila - horizontalni koeficijenti za analize stabilnosti kosina:

$$F_H = 0,5 * \alpha * S * W = 0,056 * W$$

α - omjer proračunskog ubrzanja i ubrzanja sile teže

S – faktor tipa tla (S=1)

W - vlastita težina

Tablica 7. Tipovi tla prema HRN EN 1998-1:2011/NA:2011

TIP TLA	OPIS STRATIGRAFSKOG PROFILA	PARAMETRI			
		$V_{s,30}$	N_{SPT}	c_u	S
A	Stijena ili slična geološka formacija s najviše 5 m slabog materijala ispod površine	>800	-	-	1
B	Zbijeni pijesak, šljunak ili vrlo čvrsta glina debljine barem 10 m, sa svojstvom postepenog poboljšanja mehaničkih svojstava s dubinom	360-800	>50	>250	1,2
C	Zbijeni ili srednje gusti pijesak, šljunak ili čvrsta glina debljine nekoliko desetaka do stotina metara	180-360	15-50	70-250	1,15
D	Slaba do srednje vezana tla (sa ili bez slojeva mekog kohezivnog tla) ili prevladavajuće mekano do kruto kohezivno tlo	<180	<15	<150	1,35
E	Profil tla izrađen od površinskog sloja s vrijednostima v_s tipa C ili D, debljine 5 do 20 m, ispod kojeg se nalazi materijal sa $v_s > 800$ m/s				1,4
S1	Profil ili sloj debljine barem 10 m, izgrađen od glina/prahova s visokim indeksom plastičnosti ($PI > 40$) i visokim sadržajem vode	<100	-	10-20	
S2	Tla podložna likvefakciji, osjetljive gline ili bilo koji profil tla koji nije naveden od A do S1				

4.3 Proračunska nosivost geotehničkih sidara

Prema normi EN:1537-2013 za granično stanje nosivosti vrijedi:

$$E_d \leq R_d$$

gdje je:

E_d - proračunska vrijednost djelovanja (usvaja se kao proračunska sila S_d)

R_d - proračunska vrijednost otpora

Proračunska vrijednost otpora:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

gdje je:

R_k - manja vrijednost karakteristične vrijednosti unutrašnjeg (R_{ki}) ili vanjskog otpora sidra/vlačnog pilota (R_{ke})

Karakteristični unutrašnji otpor R_{ki} :

$$R_{ki} = F_{tk} = A_t \cdot f_{tk}$$

gdje je:

A_t - poprečni presjek šipke

f_{tk} - karakteristična vlačna čvrstoća šipke

Odabrana su samobušiva sidra IBO R32S, nosivosti na granici popuštanja 280 kN ($F_{yk}/F_{tk}=280/360$ kN prema deklaracijama proizvođača) te je karakteristični unutrašnji otpor:

$$R_{ki} = F_{yk} = 280 \text{ kN}$$

$$R_{di} = R_{ki} / \gamma_R = 280 / 1,15 = 243 \text{ kN}$$

Karakteristični vanjski otpor R_{ke} (prema HRN EN 1997-1:2012/NA:2016 – vlačni piloti):

Prema HRN EN 1997-1:2012/NA:2016 sidra se promatraju i dimenzioniraju kao vlačni piloti.

Karakteristični vanjski otpor R_{ke} je otpor trenja po plaštu pilota

$$R_{ke} = L \cdot q_{sk} \cdot D \cdot \pi \text{ (kN)}$$

gdje je: q_{sk} - otpornost po plaštu pilota

D - promjer bušotine 7,6 cm

L - dužina sidrenja, pretpostavljeno 300 cm

Otpornost na plaštu pilota q_s ovisi o indeksu kvalitete jezgre stijenske mase i određuje se prema tablici.

Tablica 8. Vrijednosti otpornosti na plaštu pilota u ovisnosti o indeksu kvalitete jezgre stijenske mase

Otpornost na plaštu q_s [MPa]	Značajka stijenske mase
$0,1 \times (q_u)^{0,5}$	Izrazito meka stijena RQD << 25 %
$0,2 \times (q_u)^{0,5}$	Meka stijena RQD < 25 %
$0,45 \times (q_u)^{0,5}$	Srednje čvrsta stijena RQD = 25 – 75 %
$0,7 \times (q_u)^{0,5}$	Jako čvrsta stijena RQD > 75 %
RQD – indeks kvalitete jezgre stijenske mase (en: rock quality designation)	

Za RQD<25%

$$q_{sk} = 0,2 \times (q_{u d})^{0,5}$$

gdje je: $q_{u k}$ - karakteristična jednoosna tlačna čvrstoća ($q_{u k} = 5 \text{ MPa}$)

proračunska jednoosna tlačna čvrstoća: $q_{u d} = \frac{q_{u k}}{\gamma_R} = 5/1,4 = 3,57 \text{ MPa}$

$$q_{sk} = 0,2 \times (q_{u d})^{0,5} = 0,378 \text{ MPa} = 0,038 \text{ kN/cm}^2$$

$$R_{ke} = 3 \cdot 100 \cdot 0,038 \cdot 7,6 \cdot 3,14 = 3 \cdot 90,68 = 272 \text{ kN}$$

Proračunski otpori izvedeni su iz karakterističnih primjenom parcijalnih koeficijenata prema Proračunskom pristupu 3: A2+M2+R3

Proračunski vanjski otpor Rde:

$$R_{de} = \frac{R_{ke}}{\gamma_R \cdot \gamma_M} = 272 / (1,0 \cdot 1,3) = 209 \text{ kN}$$

γ_M - koeficijent modela (1,3)

Usvojena proračunska nosivost sidra: $S_d = 209 \text{ kN}$

Kontrola duljine sidrenja:

$$L = S_d / (\tau \cdot D \cdot \pi) \text{ (kN)}$$

$$L = 209 / (0,038 \cdot 7,6 \cdot 3,14) = 230 \text{ cm}$$

4.4 Stabilnost kosina

Proračuni stabilnosti kosina provode se radi utvrđivanja moguće pojave sloma u prirodnoj ili umjetnoj kosini ili radi utvrđivanja parametara čvrstoće materijala u kosinama u kojima je slom nastupio (povratne analize). Slom u kosini nastupa kad se prekorači posmična čvrstoća materijala na kliznoj plohi (čvrstoća tla, stijenske mase ili diskontinuiteta). Kod proračuna stabilnosti kosina najčešće se provjeravaju dva oblika nastanka loma ovisno o tipu klizanja: rotacijsko (kružna klizna ploha) i translacijsko (klizna ploha paralelna površini terena ili karakteristična diskontinuitetima stijenskih blokova).

U inženjerskoj se praksi proračun stabilnosti kosina najčešće provodi metodom granične ravnoteže (eng. limit equilibrium methods - LEM). Kod ove metode polazi se od pretpostavke da se cjelokupno klizno tijelo kreće duž stvarne ili pretpostavljene klizne plohe i analizira se njegova stabilnost. Ako se pri analizi stabilnosti cjelokupno klizno tijelo najprije podijeli na određeni broj, uglavnom vertikalnih, lamela, a zatim se ocjenjuje stabilnost svake lamele posebno, onda se radi o metodi lamela.

Stupanj stabilnosti, u metodama granične ravnoteže utvrđuje se usporedbom posmične čvrstoće i posmičnog naprezanja duž klizne plohe. Odnos posmične čvrstoće i posmičnog naprezanja definira se kao koeficijent sigurnosti i predstavlja mjeru stupnja stabilnosti.

Određivanjem koeficijenta sigurnosti utvrđuje se stabilnost kliznog tijela. U slučaju projektiranja kosina traži se klizno tijelo s najmanjim koeficijentom sigurnosti i ono je mjerodavno za ocjenu stabilnosti čitave kosine jer je ono „najbliže“ nestabilnom stanju ili slomu, pri čemu je koeficijent sigurnosti jednak ili manji od 1. Klizna ploha koja pripada kliznom tijelu s najmanjim koeficijentom sigurnosti obično se naziva kritičnom kliznom plohom.

Proračuni stabilnosti kosina provedeni su metodom granične ravnoteže metodom lamela koju karakterizira činjenica da zadovoljava sve uvjete ravnoteže kliznog tijela uzimajući u obzir pretpostavljenu vezu između horizontalnih i vertikalnih međulamelnih sila. Ova metoda se uspješno primjenjuje kod lomova kosina po kružnoj ili složenoj kliznoj plohi.

Proračuni stabilnosti kosina provedeni su programskim paketom GEO5 Slope Stability uz automatsko traženje kritične klizne plohe (s najmanjim koeficijentom sigurnosti) za definirane rubne uvjete.

GEO5 Slope Stability je softverski program specifično dizajniran za analizu stabilnosti kosina u raznim geotehničkim projektima. [6] Program pomaže procijeniti rizik od urušavanja kosine uzimajući u obzir čimbenike poput svojstava tla, geometrije kosine i vanjskih opterećenja.

Problem stabilnosti pokosa se rješava na dvodimenzionalnom modelu tla. [6] Tlo se može definirati korištenjem Mohr-Coulomb ili Hoek-Brown kriterijem čvrstoće. Pri proračunu stabilnosti pokosa mogu se koristiti dva pristupa – klasična analiza korištenjem faktora sigurnosti i analiza prema teoriji graničnih stanja.

Metode proračuna koje se mogu koristiti ovise o tipu izabrane klizne plohe – kružna ili poligonalna.

Neke od najčešće korištenih metoda proračuna kružnih kliznih ploha dostupnih u programu su:

- Bishopova metoda: Klasična metoda koja pretpostavlja kružnu površinu klizanja i izračunava sile i momente za svaku lamelu.
- Metoda Felleniusa-Pettersena: Poboljšanje Bishopove metode koja uzima u obzir promjene u težini i obliku površine klizanja tijekom urušavanja.
- Spencerova metoda: Slična metodi Felleniusa-Pettersena, ali uzima u obzir i poremećaj stanja naprezanja u tlu uzrokovano potencijalnim urušavanjem.
- Metoda Morgenstern-Pricea: Generalizacija Bishopove metode koja omogućava upotrebu nekružnih površina klizanja.

Za proračun poligonalnih kružnih ploha mogu se koristiti sljedeće metoda:

- Metoda Sarma: Koristi poligonalnu površinu klizanja sastavljenu od ravnih segmenata za analizu ravnoteže.
- Spencerova metoda
- Metoda Janbu: Poboljšanje Sarmeove metode, slično metodi Felleniusa-Pettersena za lamele. [6]

Prednosti korištenja programa GEO5 Slope Stability:

- izbor odgovarajuće metode - GEO 5 omogućava izbor najprikladnije metode temeljem specifičnosti projekta i dostupnih geotehničkih podataka;
- kružne i nepravilne površine klizanja;
- analiza utjecaja podzemne vode;
- analiza utjecaja dodatnog opterećenja;

- modeliranje ojačanja pokosa (horizontalna i vertikalna ojačanja);
- modeliranje utjecaja potresa;
- modeliranje gradnje u fazama: Program omogućava modeliranje različitih faza izgradnje za projekte s sekvencijalnim iskopom kosina.

4.5 Analiza globalne stabilnosti za pokos u širokom iskopu

U nastavku je prikazan izlist proračuna za presjek istok-zapad, visine 4,26 m i nagiba 3:1 u stijenskom (fliš) materijalu. Iznad stijenskog materijala je sloj nasipa u visini od 2,0 m s nagibom 1:1.

4.5.1 Analiza stalnog opterećenja

Settings

Standard - EN 1997 - DA3

Stability analysis

Verification methodology : according to EN 1997

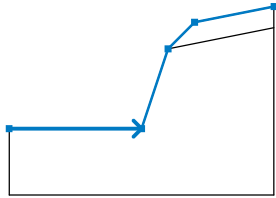
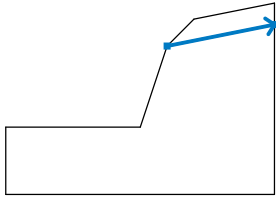
Earthquake analysis : Standard

Design approach : 3 - reduction of actions (GEO, STR) and soil parameters

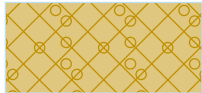

Partial factors on actions (A)									
Permanent design situation									
		State STR				State GEO			
		Unfavourable		Favourable		Unfavourable		Favourable	
Permanent actions :	$\gamma_G =$	1,35	[-]	1,00	[-]	1,00	[-]	1,00	[-]
Variable actions :	$\gamma_Q =$	1,50	[-]	0,00	[-]	1,30	[-]	0,00	[-]
Water load :	$\gamma_w =$					1,00	[-]		

Partial factors for soil parameters (M)			
Permanent design situation			
Partial factor on internal friction :	$\gamma_\phi =$	1,25	[-]
Partial factor on effective cohesion :	$\gamma_c =$	1,25	[-]
Partial factor on undrained shear strength :	$\gamma_{cu} =$	1,40	[-]



Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-10,00	0,00	0,00	0,00	2,00	6,00
		4,00	8,00	10,00	9,19		
2		2,00	6,00	10,00	7,59		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	ϕ_{ef}	c_{ef}	γ
			[°]	[kPa]	[kN/m ³]
1	Nasip		28,00	3,00	18,00
2	Fliš		33,00	30,00	23,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Nasip		18,00		
2	Fliš		23,00		

Soil parameters

Nasip

Unit weight : $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$

Stress-state : effective

Shear strength : Mohr-Coulomb

Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 28,00^\circ$

Cohesion of soil : $c_{ef} = 3,00 \text{ kPa}$

Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

Fliš

Unit weight : $\gamma = 23,00 \text{ kN/m}^3$

Stress-state : effective

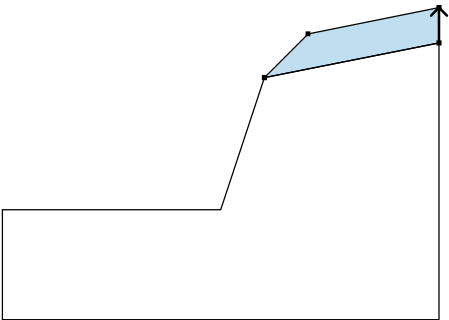
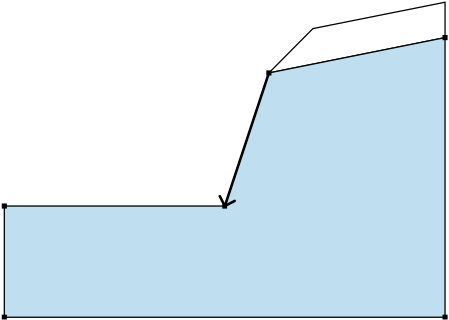


Shear strength : Mohr-Coulomb

Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 33,00^\circ$

Cohesion of soil : $c_{ef} = 30,00 \text{ kPa}$

Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 23,00 \text{ kN/m}^3$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		10,00	7,59	10,00	9,19	Nasip
		4,00	8,00	2,00	6,00	
						
2		2,00	6,00	0,00	0,00	Fliš
		-10,00	0,00	-10,00	-5,00	
		10,00	-5,00	10,00	7,59	

Water

Water type : No water

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	-9,60	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	34,14	[°]
	z =	14,22	[m]		$\alpha_2 =$	70,51	[°]
Radius :	R =	17,13	[m]				
Slip surface after grid search.							

Total weight of soil above the slip surface: 416,18 kN/m

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 309,38$ kN/m

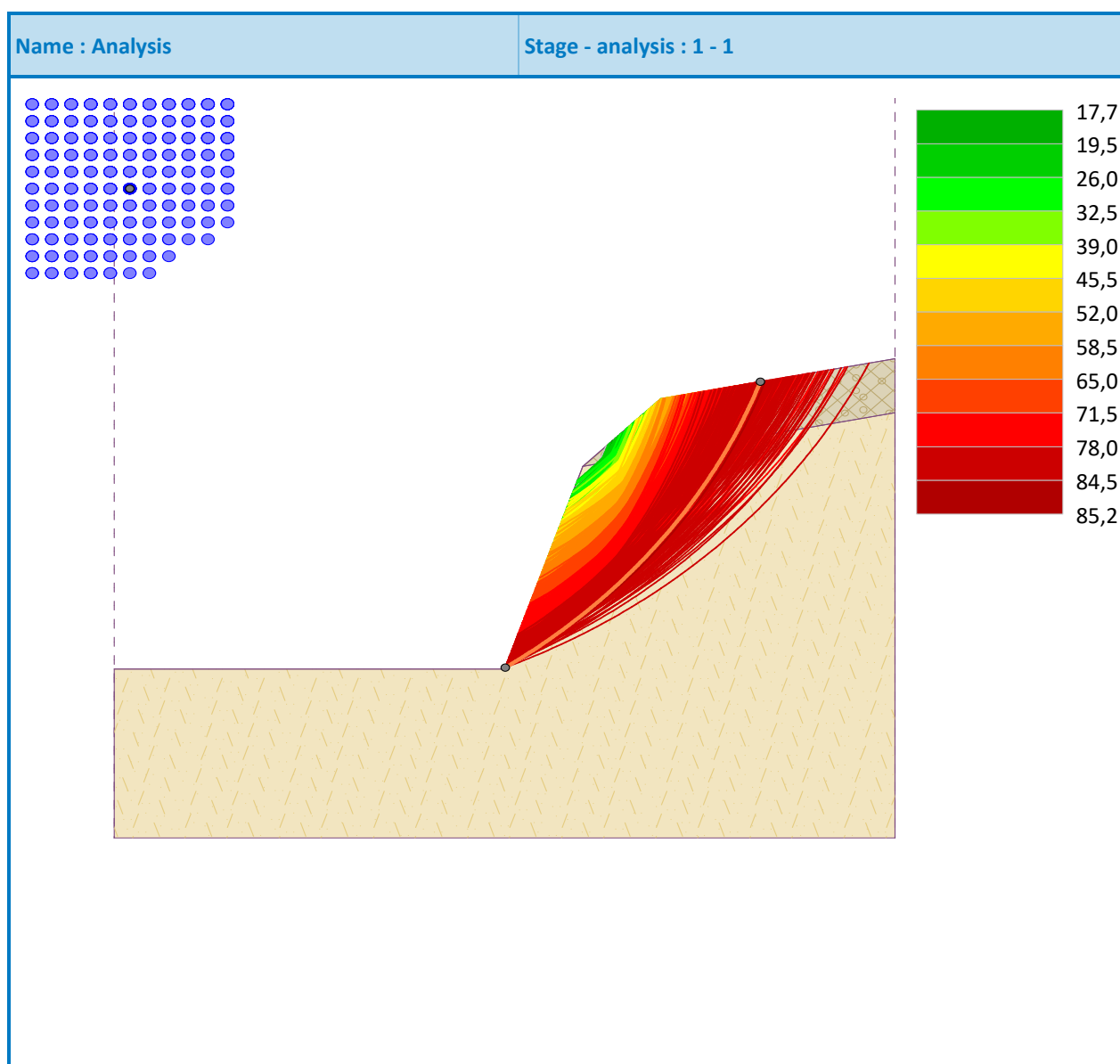
Sum of passive forces : $F_p = 363,17$ kN/m

Sliding moment : $M_a = 5299,76$ kNm/m

Resisting moment : $M_p = 6221,08$ kNm/m

Utilization : 85,2 %

Slope stability ACCEPTABLE



Zaključak analize:

Bazirano na priloženim rezultatima analize, stabilnost kosine iskopa je s prihvatljivim faktorom iskorištenja od 85,2%. Ova vrijednost je ispod 100%, što znači da je posmična čvrstoća veća od posmičnog naprezanja za dovoljnu razliku.

4.5.2 Potresna analiza

Settings

Standard - EN 1997 - DA3

Stability analysis

Verification methodology : according to EN 1997

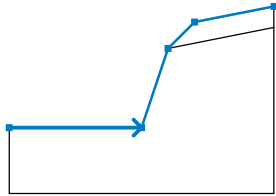
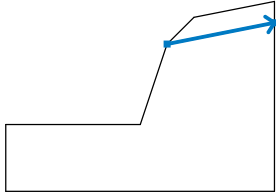
Earthquake analysis : Standard

Design approach : 3 - reduction of actions (GEO, STR) and soil parameters

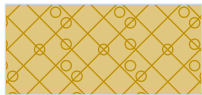

Partial factors on actions (A)							
Seismic design situation							
		State STR				State GEO	
		Unfavourable		Favourable		Unfavourable	Favourable
Permanent actions :	$\gamma_G =$	1,00	[-]	1,00	[-]	1,00	[-]
Variable actions :	$\gamma_Q =$	1,00	[-]	0,00	[-]	1,00	[-]
Water load :	$\gamma_w =$					1,00	[-]

Partial factors for soil parameters (M)			
Seismic design situation			
Partial factor on internal friction :	$\gamma_\phi =$	1,25	[-]
Partial factor on effective cohesion :	$\gamma_c =$	1,25	[-]
Partial factor on undrained shear strength :	$\gamma_{cu} =$	1,40	[-]



Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-10,00	0,00	0,00	0,00	2,00	6,00
		4,00	8,00	10,00	9,19		
2		2,00	6,00	10,00	7,59		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	ϕ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Nasip		28,00	3,00	18,00
2	Fliš		33,00	30,00	23,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Nasip		18,00		
2	Fliš		23,00		

Soil parameters

Nasip

Unit weight : $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$

Stress-state : effective

Shear strength : Mohr-Coulomb

Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 28,00^\circ$

Cohesion of soil : $c_{ef} = 3,00 \text{ kPa}$

Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

Fliš

Unit weight : $\gamma = 23,00 \text{ kN/m}^3$

Stress-state : effective

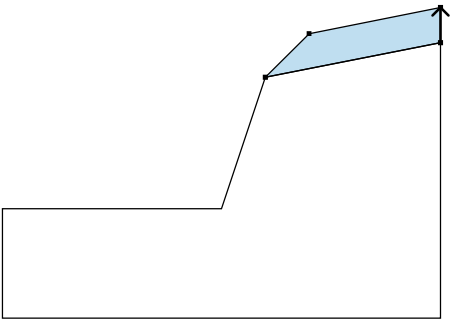
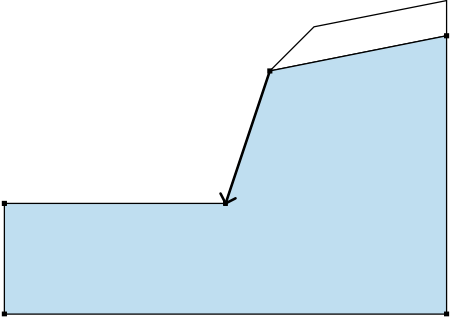

Shear strength : Mohr-Coulomb

Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 33,00^\circ$

Cohesion of soil : $c_{ef} = 30,00 \text{ kPa}$

Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 23,00 \text{ kN/m}^3$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		10,00	7,59	10,00	9,19	Nasip
		4,00	8,00	2,00	6,00	
2		2,00	6,00	0,00	0,00	Fliš
		-10,00	0,00	-10,00	-5,00	
		10,00	-5,00	10,00	7,59	

Water

Water type : No water

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Horizontal seismic coefficient : $K_h = 0,0560$

Vertical seismic coefficient : $K_v = 0,0000$

Settings of the stage of construction

Design situation : seismic

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters						
Center :	x =	-9,60	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	34,14 [°]
	z =	14,22	[m]		$\alpha_2 =$	70,51 [°]
Radius :	R =	17,13	[m]			
Slip surface after grid search.						

Total weight of soil above the slip surface: 416,18 kN/m

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 322,29$ kN/m

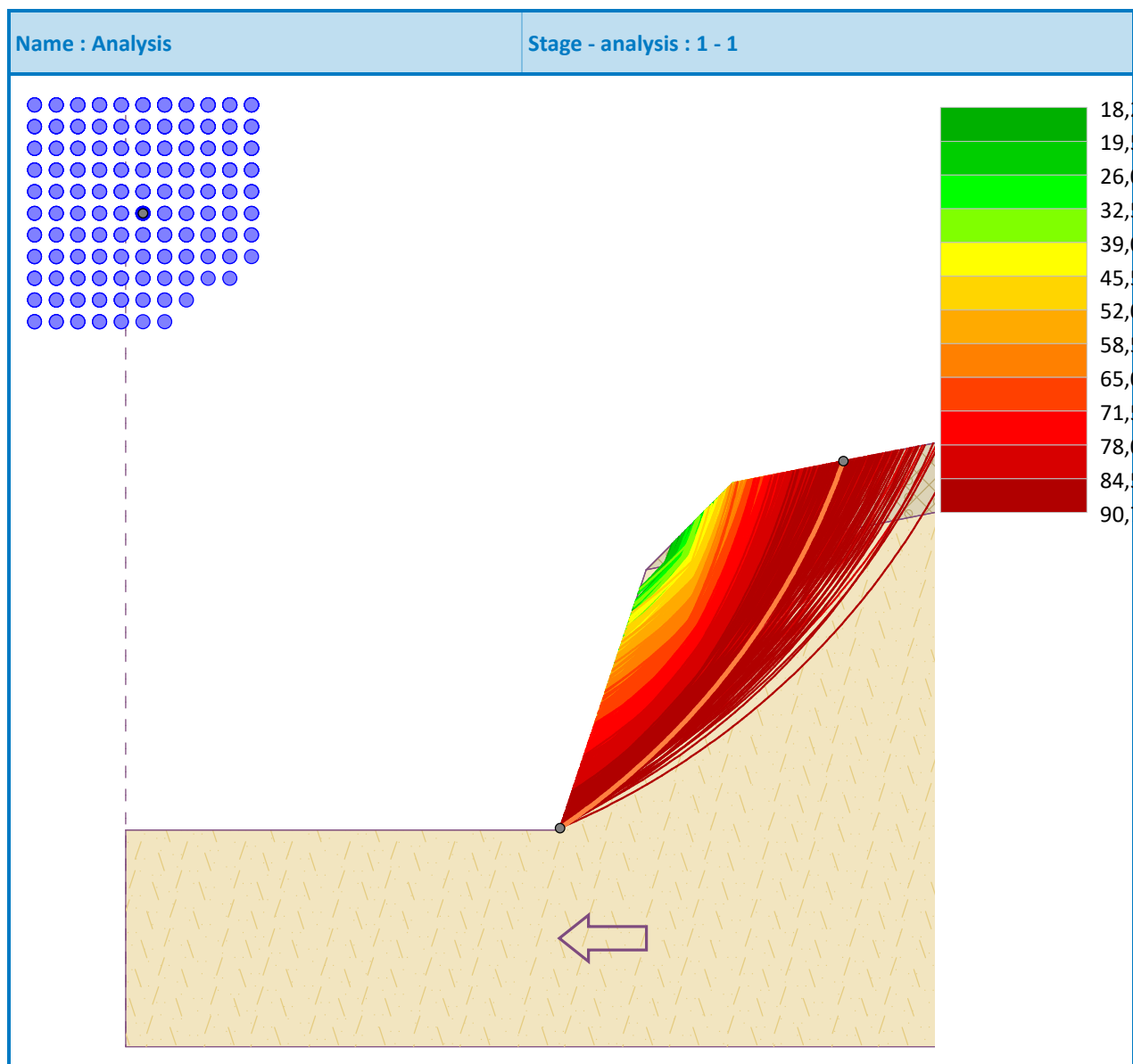
Sum of passive forces : $F_p = 355,41$ kN/m

Sliding moment : $M_a = 5520,85$ kNm/m

Resisting moment : $M_p = 6088,15$ kNm/m

Utilization : 90,7 %

Slope stability ACCEPTABLE



Zaključak analize:

Bazirano na priloženim rezultatima analize, stabilnost kosine iskopa čini se prihvatljivom s faktorom iskorištenja od 90,7%. Ova vrijednost je ispod 100%, što znači da je posmična čvrstoća veća od posmičnog naprežanja za dovoljnu razliku.

4.6 Analiza globalne stabilnosti za strmi pokos

U nastavku je prikazan izlist proračuna za presjek istok-zapad, visine 6,38 m i nagiba 8:1 u stijenskom (fliš) i nasipnom (eluvij) materijalu.

4.6.1 Analiza stalnog opterećenja

Slope stability analysis

Input data (Construction stage 1)

Project

Date : 21.6.2024.

Settings

Standard - EN 1997 - DA3

Stability analysis

Verification methodology : according to EN 1997



Earthquake analysis : Standard

Design approach : 3 - reduction of actions (GEO, STR) and soil parameters



Partial factors on actions (A)									
Permanent design situation									
		State STR				State GEO			
		Unfavourable		Favourable		Unfavourable		Favourable	
Permanent actions :	$\gamma_G =$	1,35	[-]	1,00	[-]	1,00	[-]	1,00	[-]
Variable actions :	$\gamma_Q =$	1,50	[-]	0,00	[-]	1,30	[-]	0,00	[-]
Water load :	$\gamma_w =$					1,00	[-]		

Partial factors for soil parameters (M)			
Permanent design situation			
Partial factor on internal friction :	$\gamma_{\phi} =$	1,25	[-]
Partial factor on effective cohesion :	$\gamma_c =$	1,25	[-]
Partial factor on undrained shear strength :	$\gamma_{cu} =$	1,40	[-]

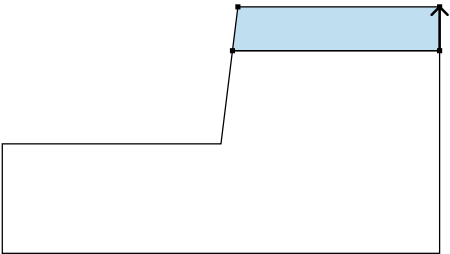
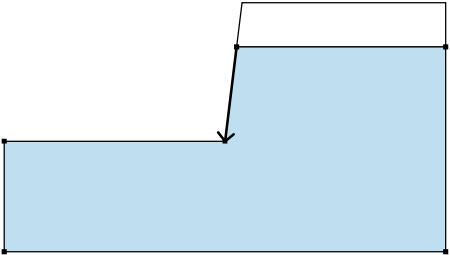

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	ϕ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Nasip		28,00	3,00	18,00
2	Fliš		33,00	30,00	23,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Nasip		18,00		
2	Fliš		23,00		

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		10,00	4,26	10,00	6,26	Nasip
		0,78	6,26	0,53	4,26	
2		0,53	4,26	0,00	0,00	Fliš
		-10,00	0,00	-10,00	-5,00	
		10,00	-5,00	10,00	4,26	

Water

Water type : No water

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	-13,01	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	56,86	[°]
	z =	13,10	[m]		$\alpha_2 =$	64,98	[°]
Radius :	R =	16,17	[m]				
Slip surface after grid search.							

Total weight of soil above the slip surface: 16,62 kN/m

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 14,39$ kN/m

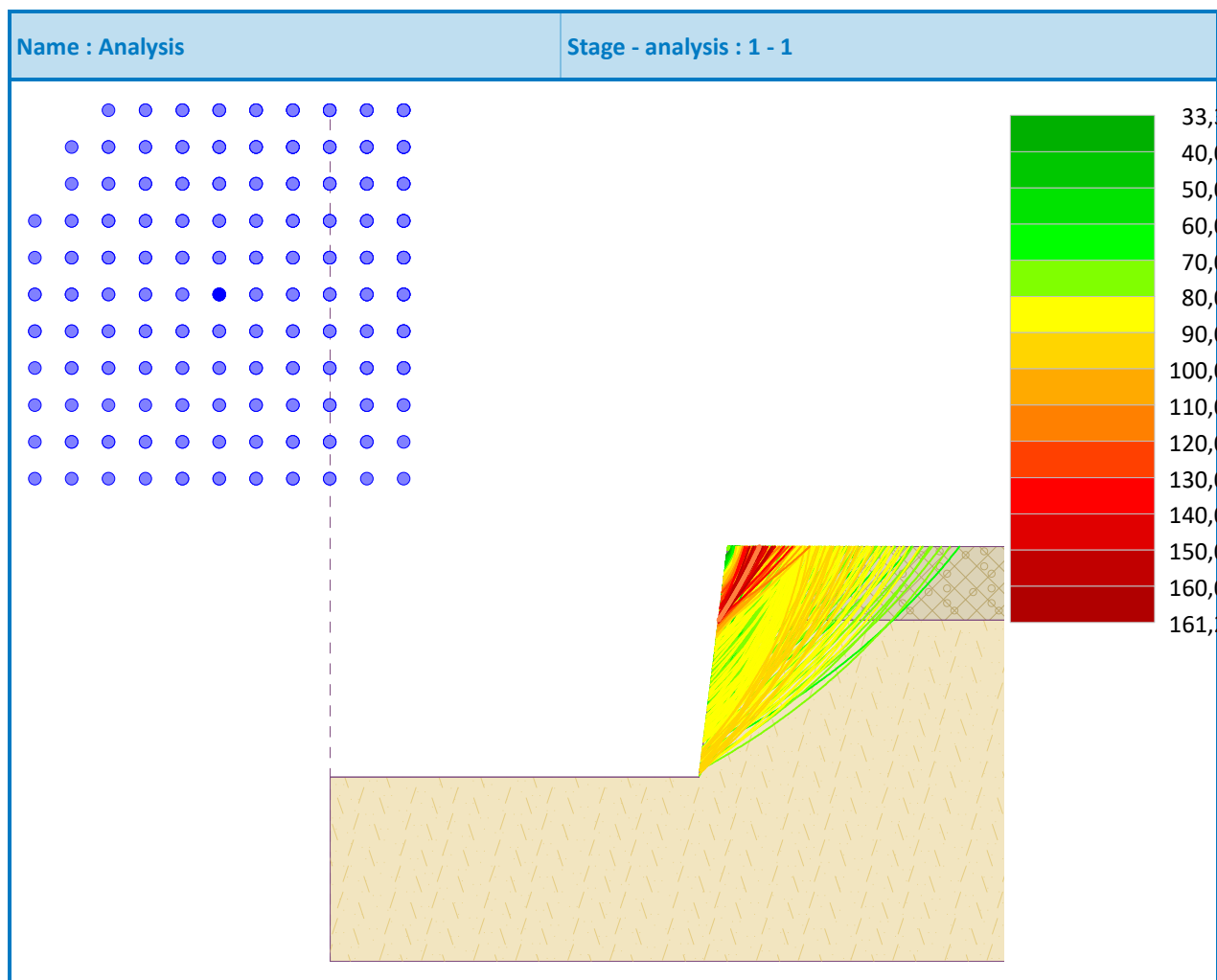
Sum of passive forces : $F_p = 8,93$ kN/m

Sliding moment : $M_a = 232,66$ kNm/m

Resisting moment : $M_p = 144,37$ kNm/m

Utilization : 161,2 %

Slope stability NOT ACCEPTABLE



Zaključak analize:

Na temelju rezultata analize, stabilnost kosine iskopa **NIJE prihvatljiva** u projektiranoj situaciji. Faktor iskorištenja od 161,2% veći je od 100%, što znači da je posmična čvrstoća manja od posmičnog naprezanja za dovoljnu razliku.

4.6.2 Potresna analiza

Slope stability analysis

Input data (Construction stage 1)

Project

Date : 21.6.2024.

Settings

Standard - EN 1997 - DA3

Stability analysis

Verification methodology : according to EN 1997



Earthquake analysis : Standard

Design approach : 3 - reduction of actions (GEO, STR) and soil parameters



Partial factors on actions (A)									
Seismic design situation									
		State STR				State GEO			
		Unfavourable		Favourable		Unfavourable		Favourable	
Permanent actions :	$\gamma_G =$	1,00	[-]	1,00	[-]	1,00	[-]	1,00	[-]
Variable actions :	$\gamma_Q =$	1,00	[-]	0,00	[-]	1,00	[-]	0,00	[-]
Water load :	$\gamma_w =$					1,00	[-]		

Partial factors for soil parameters (M)			
Seismic design situation			
Partial factor on internal friction :	$\gamma_{\phi} =$	1,25	[-]
Partial factor on effective cohesion :	$\gamma_c =$	1,25	[-]
Partial factor on undrained shear strength :	$\gamma_{cu} =$	1,40	[-]

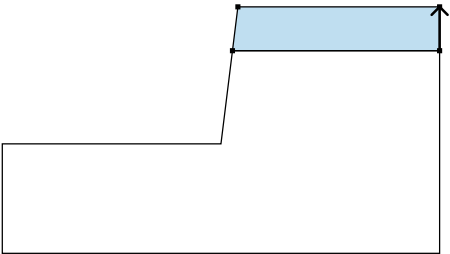
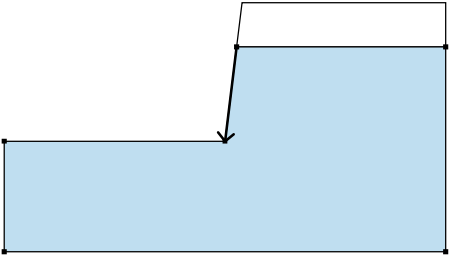

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	ϕ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Nasip		28,00	3,00	18,00
2	Fliš		33,00	30,00	23,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Nasip		18,00		
2	Fliš		23,00		

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		10,00	4,26	10,00	6,26	Nasip
		0,78	6,26	0,53	4,26	
2		0,53	4,26	0,00	0,00	Fliš
		-10,00	0,00	-10,00	-5,00	
		10,00	-5,00	10,00	4,26	

Water

Water type : No water

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Horizontal seismic coefficient : $K_h = 0,0560$

Vertical seismic coefficient : $K_v = 0,0000$

Settings of the stage of construction

Design situation : seismic

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	-13,01	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	56,86	[°]
	z =	13,10	[m]		$\alpha_2 =$	64,98	[°]
Radius :	R =	16,17	[m]				
Slip surface after grid search.							

Total weight of soil above the slip surface: 16,62 kN/m

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 14,82$ kN/m

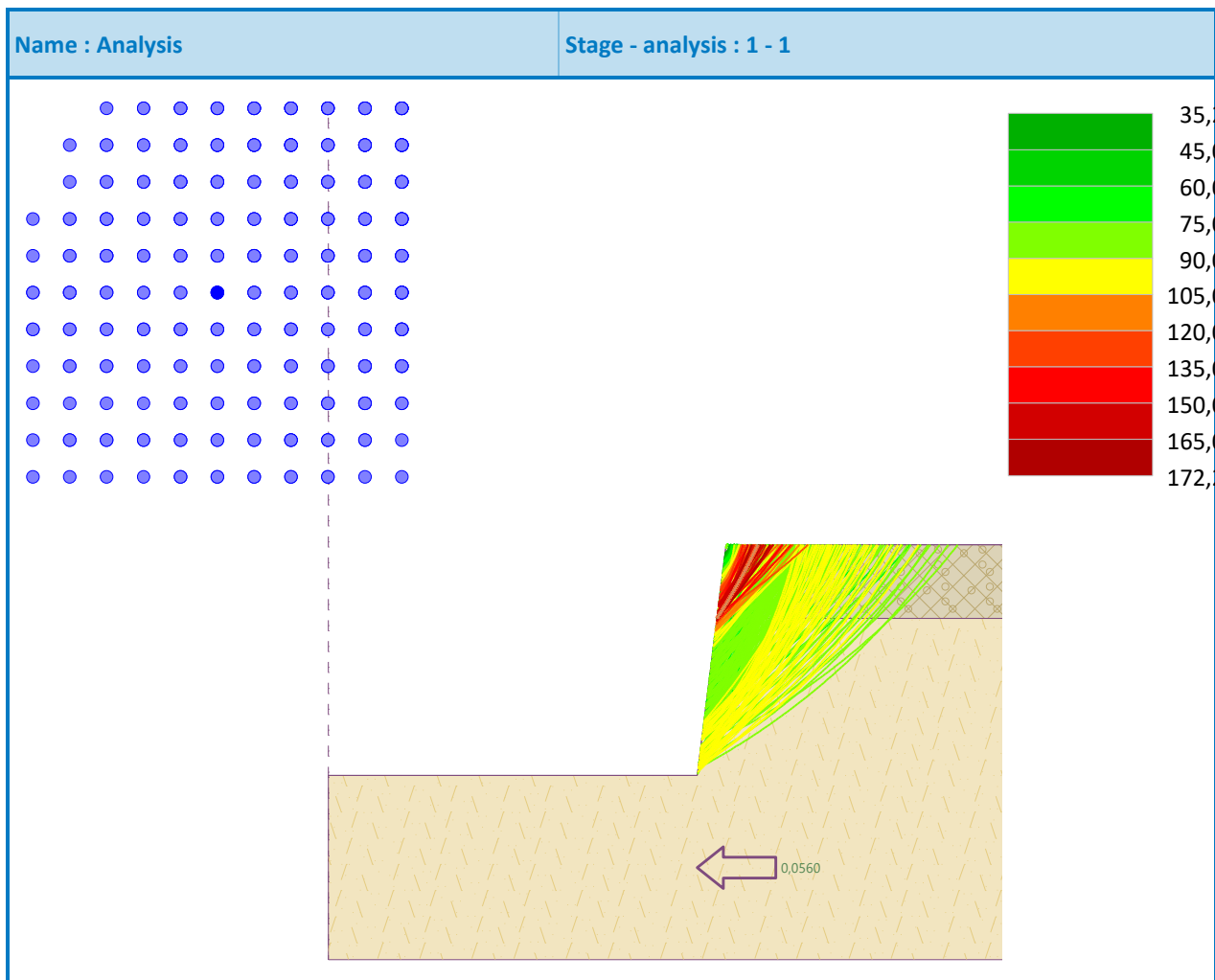
Sum of passive forces : $F_p = 8,61$ kN/m

Sliding moment : $M_a = 239,67$ kNm/m

Resisting moment : $M_p = 139,15$ kNm/m

Utilization : 172,2 %

Slope stability NOT ACCEPTABLE



Zaključak analize:

Na temelju rezultata analize, stabilnost kosine iskopa **NIJE prihvatljiva** u seizmičkoj projektiranoj situaciji. Faktor iskorištenja od 172,2% veći je od 100%, što znači da je posmična čvrstoća manja od posmičnog naprezanja za dovoljnu razliku.

Zbog nestabilnosti strmijeg pokosa građevne jame uvodimo dodatno ojačanje pokosa sidrima i mlaznim betonom kako je ranije naglašeno u radu.

4.7 Analiza globalne stabilnosti za strmi pokos sa sustavnom zaštitom mlaznim betonom i sidrima

U nastavku je prikazan izlist proračuna za presjek istok-zapad, visine 6,38 m i nagiba 8:1 u stijenskom (fliš) i nasipnom (eluvij) materijalu. U ovom slučaju pokos je osiguran sustavom zaštitnim mlaznim betonom i sidrima.

4.7.1 Analiza stalnog opterećenja

Slope stability analysis

Input data (Construction stage 1)

Project

Date : 21.6.2024.

Settings

Standard - EN 1997 - DA3

Stability analysis

Verification methodology : according to EN 1997



Earthquake analysis : Standard

Design approach : 3 - reduction of actions (GEO, STR) and soil parameters



Partial factors on actions (A)							
Permanent design situation							
		State STR				State GEO	
		Unfavourable		Favourable		Unfavourable	Favourable
Permanent actions :	$\gamma_G =$	1,35	[-]	1,00	[-]	1,00	[-]
Variable actions :	$\gamma_Q =$	1,50	[-]	0,00	[-]	1,30	[-]
Water load :	$\gamma_w =$					1,00	[-]

Partial factors for soil parameters (M)			
Permanent design situation			
Partial factor on internal friction :	$\gamma_{\phi} =$	1,25	[-]
Partial factor on effective cohesion :	$\gamma_c =$	1,25	[-]
Partial factor on undrained shear strength :	$\gamma_{cu} =$	1,40	[-]

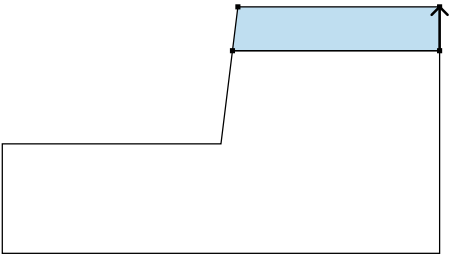
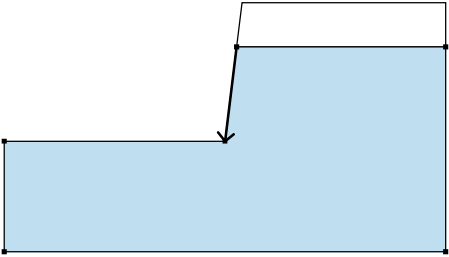

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	ϕ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Nasip		28,00	3,00	18,00
2	Fliš		33,00	30,00	23,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Nasip		18,00		
2	Fliš		23,00		

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		10,00	4,26	10,00	6,26	Nasip
		0,78	6,26	0,53	4,26	
2		0,53	4,26	0,00	0,00	Fliš
		-10,00	0,00	-10,00	-5,00	
		10,00	-5,00	10,00	4,26	

Nails

No.	Start pt.		Length l [m]	Inclination α [°]	Spacing b [m]	Tension strength R_t	Pull out resistance	Nail head strength R_f
	x [m]	z [m]						
1	0,19	1,50	2,00	15,00	2,00	$R_t = 243,00$ kN	calculate according to HA68/94, d = 76,0 mm	$R_f = 50,00$ kN
2	0,44	3,50	4,00	15,00	2,00	$R_t = 243,00$ kN	calculate according to HA68/94, d = 76,0 mm	$R_f = 50,00$ kN
3	0,69	5,50	6,00	15,00	2,00	$R_t = 243,00$ kN	calculate according to HA68/94, d = 76,0 mm	$R_f = 50,00$ kN

Water

Water type : No water

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	-4,42	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	44,76	[°]
	z =	9,25	[m]		$\alpha_2 =$	64,83	[°]
Radius :	R =	7,03	[m]				
Slip surface after grid search.							

Total weight of soil above the slip surface: 24,10 kN/m

Nails bearing capacity

Nail Bearing capacity [kN/m]

1	0,00
2	0,00
3	11,71

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 18,95$ kN/m

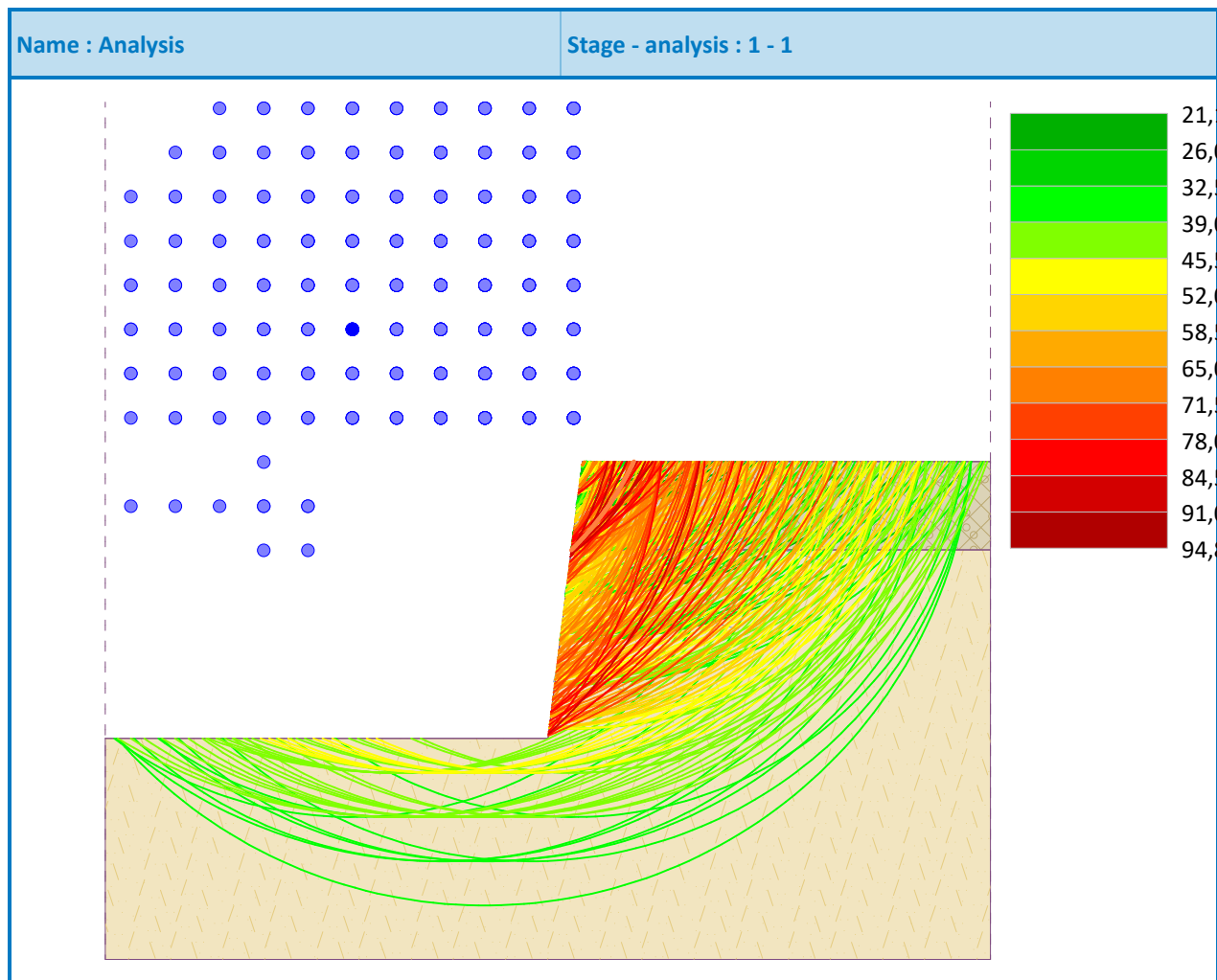
Sum of passive forces : $F_p = 19,98 \text{ kN/m}$

Sliding moment : $M_a = 133,23 \text{ kNm/m}$

Resisting moment : $M_p = 140,48 \text{ kNm/m}$

Utilization : 94,8 %

Slope stability ACCEPTABLE



Zaključak analize:

Bazirano na priloženim rezultatima analize, stabilnost kosine iskopa čini se prihvatljivom za projektantsku situaciju s faktorom iskorištenja od 94,8%. Ova vrijednost je ispod 100%, što znači da je posmična čvrstoća veća od posmičnog naprezanja za dovoljnu razliku.

4.7.2 Potresna analiza

Slope stability analysis

Input data (Construction stage 1)

Project

Date : 21.6.2024.

Settings

Standard - EN 1997 - DA3

Stability analysis

Verification methodology : according to EN 1997



Earthquake analysis : Standard

Design approach : 3 - reduction of actions (GEO, STR) and soil parameters

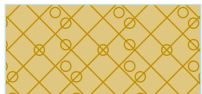

Partial factors on actions (A)									
Seismic design situation									
		State STR				State GEO			
		Unfavourable		Favourable		Unfavourable		Favourable	
Permanent actions :	$\gamma_G =$	1,00	[-]	1,00	[-]	1,00	[-]	1,00	[-]
Variable actions :	$\gamma_Q =$	1,00	[-]	0,00	[-]	1,00	[-]	0,00	[-]
Water load :	$\gamma_w =$					1,00	[-]		

Partial factors for soil parameters (M)			
Seismic design situation			
Partial factor on internal friction :	$\gamma_{\phi} =$	1,25	[-]
Partial factor on effective cohesion :	$\gamma_c =$	1,25	[-]
Partial factor on undrained shear strength :	$\gamma_{cu} =$	1,40	[-]

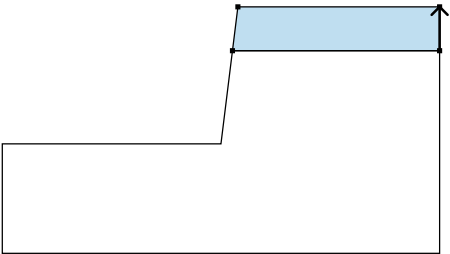
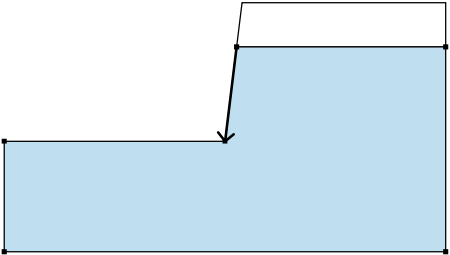
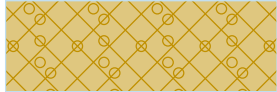
Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	ϕ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Nasip		28,00	3,00	18,00
2	Fliš		33,00	30,00	23,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Nasip		18,00		
2	Fliš		23,00		

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		10,00	4,26	10,00	6,26	Nasip
		0,78	6,26	0,53	4,26	
2		0,53	4,26	0,00	0,00	Fliš
		-10,00	0,00	-10,00	-5,00	
		10,00	-5,00	10,00	4,26	

Nails

No.	Start pt.		Length l [m]	Inclination α [°]	Spacing b [m]	Tension strength R_t	Pull out resistance	Nail head strength R_f
	x [m]	z [m]						
1	0,19	1,50	2,00	15,00	2,00	$R_t = 243,00$ kN	calculate according to HA68/94, d = 76,0 mm	$R_f = 50,00$ kN
2	0,44	3,50	4,00	15,00	2,00	$R_t = 243,00$ kN	calculate according to HA68/94, d = 76,0 mm	$R_f = 50,00$ kN
3	0,69	5,50	6,00	15,00	2,00	$R_t = 243,00$ kN	calculate according to HA68/94, d = 76,0 mm	$R_f = 50,00$ kN

Water

Water type : No water

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Horizontal seismic coefficient : $K_h = 0,0560$

Vertical seismic coefficient : $K_v = 0,0000$

Settings of the stage of construction

Design situation : seismic

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	-4,42	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	44,76	[°]
	z =	9,25	[m]		$\alpha_2 =$	64,83	[°]
Radius :	R =	7,03	[m]				
Slip surface after grid search.							

Total weight of soil above the slip surface: 24,10 kN/m

Nails bearing capacity

Nail Bearing capacity [kN/m]

1	0,00
2	0,00
3	11,71

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 19,66$ kN/m

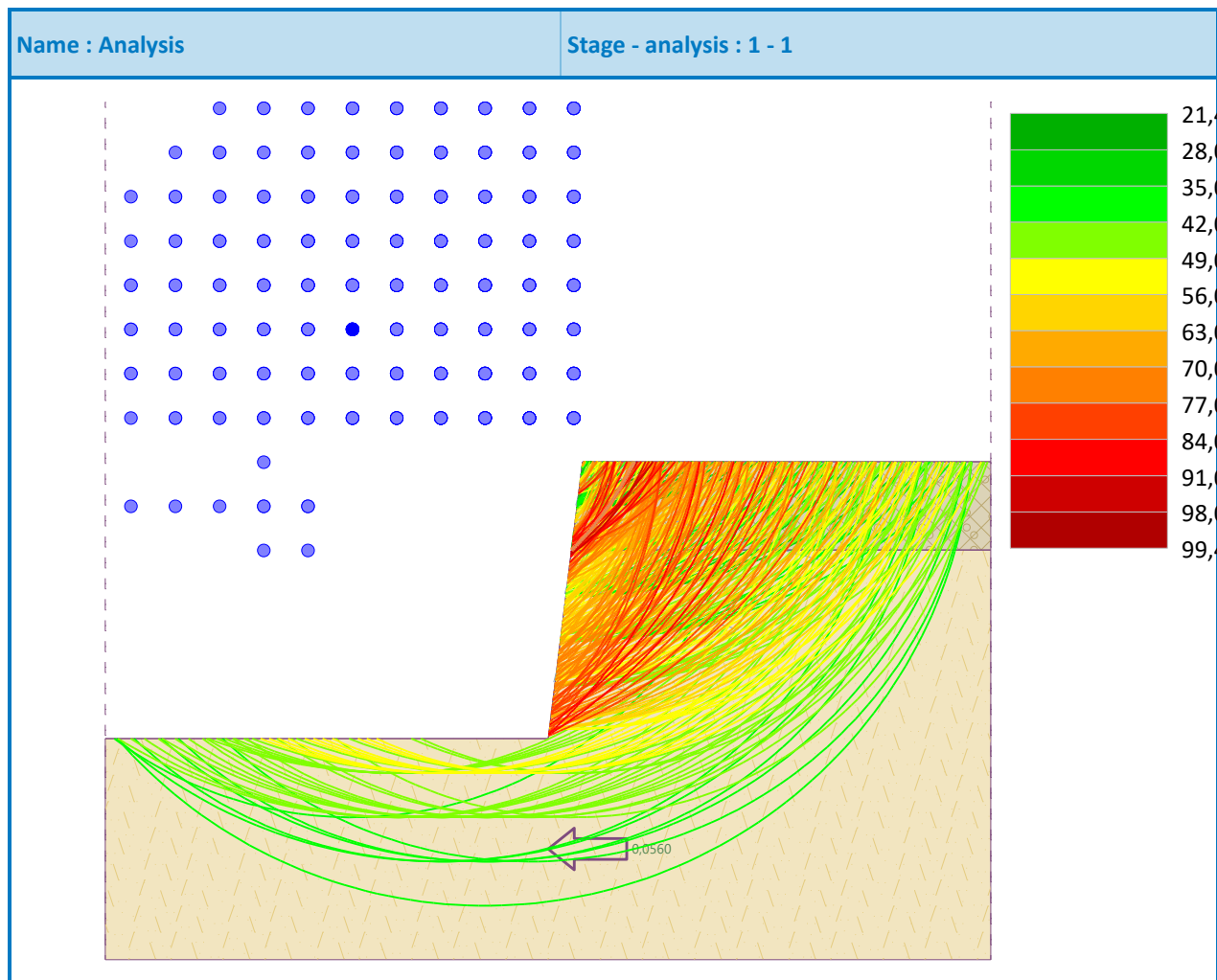
Sum of passive forces : $F_p = 19,78$ kN/m

Sliding moment : $M_a = 138,22$ kNm/m

Resisting moment : $M_p = 139,05$ kNm/m

Utilization : 99,4 %

Slope stability ACCEPTABLE



Zaključak analize:

Bazirano na priloženim rezultatima analize, stabilnost kosine iskopa čini se prihvatljiva i za seizmička opterećenja s faktorom iskorištenja od 99,4%. Ova vrijednost je ispod 100%, što znači da je posmična čvrstoća veća od posmičnog naprezanja za dovoljnu razliku.

5 ZAKLJUČAK

Ovaj diplomski rad kroz geološka istraživanja i analize nudi dva tehnička rješenja za izgradnju sigurnih i ekonomski održivih kosina građevne jame u Gornjoj Podstrani, uzimajući u obzir specifičnosti geološkog okruženja.

Geotehnička analiza rezultirala je s dvije varijante tehničkog rješenja: široki iskop s nagibom pokosa 3:1 (stijenska masa) i 1:1 (nasipi i eluvij) te iskop s nagibom pokosa 8:1 uz primjenu sustavne zaštite mlaznim betonom i sidrima. Široki iskop bez primjene zaštite je jednostavniji i ekonomičniji, ali zahtijeva veću količinu iskopa. S druge strane, iskop s mlaznim betonom i sidrima omogućava strmije kosine i manje iskopavanje, ali je složeniji za izvedbu i skuplji.

Izbor optimalne varijante ovisi o specifičnim geološkim karakteristikama lokacije, uključujući tip stijene, stratifikaciju, prisutnost podzemnih voda i potencijalnih pukotina. Temeljita stručna analiza, koja uključuje geološka istraživanja, numeričke analize i iskustvo stručnjaka, neophodna je za donošenje informirane odluke o najboljem tehničkom rješenju. Rad pokriva geološke karakteristike lokacije, seizmičke značajke, inženjerskogeološke parametre tla, radove na iskopavanju i odvozu materijala, te ulogu geotehničkih sidara i mlaznog betona. Osim navedenih geoloških karakteristika, rad uzima u obzir i mikrolokalne specifičnosti, poput konfiguracije terena, vegetacijskog pokrova i postojećih objekata u blizini.

Ovaj diplomski rad daje uvid u problematiku stabilnosti građevinskih jama za građevne jame u sličnim inženjerskogeološkim i morfološkim uvjetima te katnosti i obimu gradnje. Rezultati i informacije sadržane u radu mogu biti korisne inženjerima geotehničarima, projektantima i svima sudionicima u procesu izgradnje građevinskih objekata.

6 GRAFIČKI PRILOZI

6.1 Situacija – varijanta 1

6.2 Karakteristični poprečni presjek 1- 1 – varijanta 1

6.3 Karakteristični poprečni presjek 2- 2 – varijanta 1

6.4 Situacija – varijanta 2

6.5 Karakteristični poprečni presjek 1- 1 – varijanta 2

6.6 Karakteristični poprečni presjek 2- 2 – varijanta 2

POPIS PRIMJENJENIH NORMI

HRN EN 1998-1:2011/NA:2011/A1:2021

Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade -- Nacionalni dodatak

HRN EN 14487-1:2022

Mlazni beton -- 1. dio: Definicije, specifikacije i sukladnost (EN 14487-1:2022)

HRN EN 14487-2:2007

Mlazni beton -- 2. dio: Izvedba (EN 14487-2:2006)

HRN EN 14488-2:2007

Ispitivanje mlaznoga betona -- 2. dio: Rana tlačna čvrstoća mlaznoga betona (EN 14488-2:2006)

HRN EN 14488-6:2007

Ispitivanje mlaznoga betona -- 6. dio: Debljina betona na podlozi (EN 14488-6:2006)

HRN EN ISO 15630-2:2019

Čelik za armiranje i prednapinjanje betona -- Metode ispitivanja -- 2. dio: Zavarene mreže i rešetkasti nosači (ISO 15630-2:2019; EN ISO 15630-2:2019)

HRN EN 1997-1:2012/NA:2016

Eurokod 7: Geotehničko projektiranje -- 1. dio: Opća pravila -- Nacionalni dodatak

HRN EN 1537:2013

Izvedba posebnih geotehničkih radova -- Sidra u tlu i stijeni (EN 1537:2013)

HRN EN 447:2008

Smjesa za injektiranje natega za prednapinjanje -- Osnovni zahtjevi (EN 447:2007)

HRN EN 446:2008

Smjesa za injektiranje natega za prednapinjanje -- Postupci injektiranja (EN 446:2007)

HRN EN 445:2008

Smjesa za injektiranje natega za prednapinjanje -- Metode ispitivanja (EN 445:2007)

HRN EN 1998-1:2011/NA:2011

Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade -- Nacionalni dodatak

LITERATURA

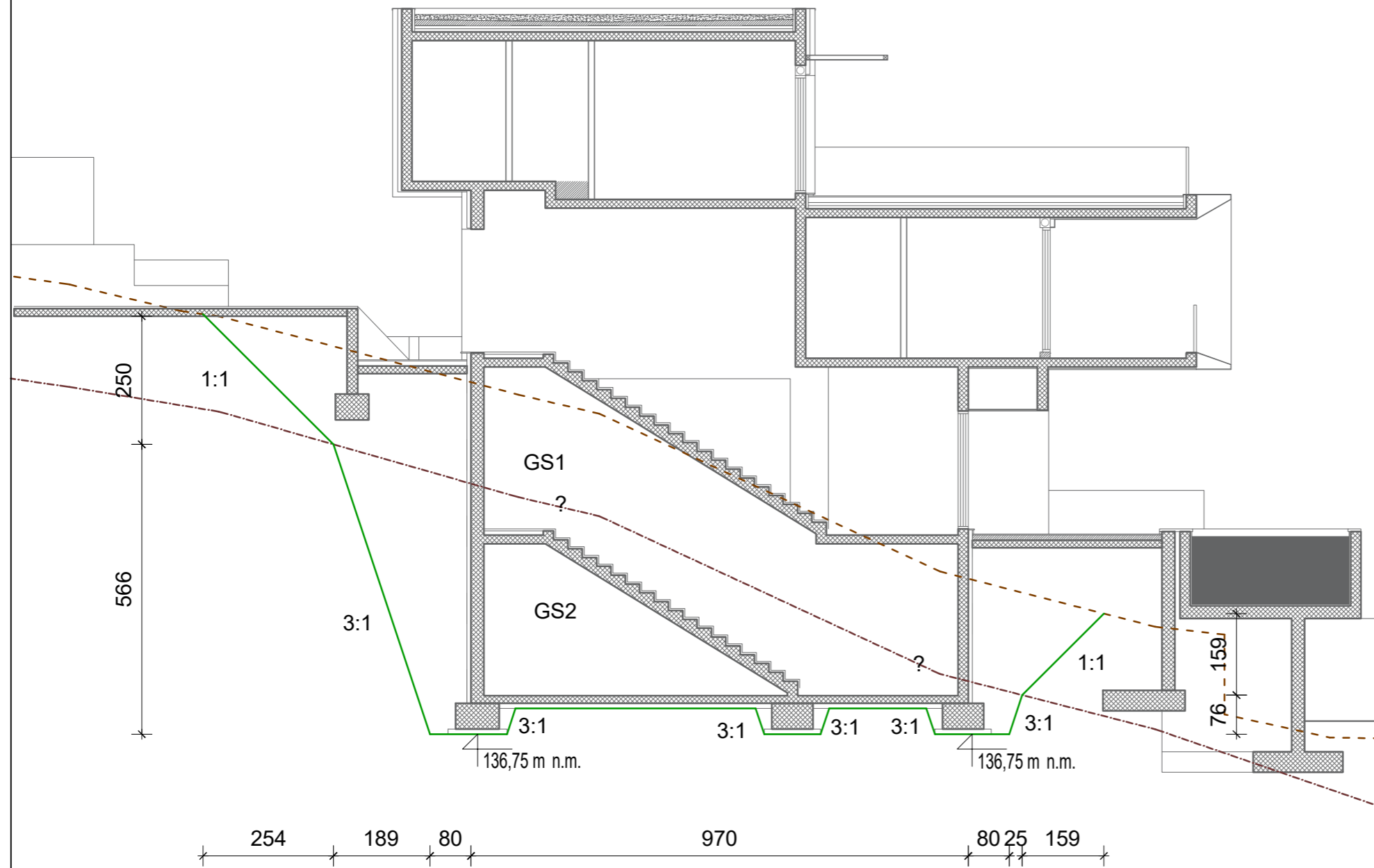
- [1] T. Roje-Bonacci, Potporne građevine i građevne jame, Split: Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, 2005.
- [2] Marinčić, S., Magaš, N., Borović., Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Omiš L33-22, Institut za geološka istraživanja, Zagreb(1968-1969);, Savezni geološki institut, Beograd, 1976.
- [3] Marinčić, S., Korolija B., Mamužić, P., Magaš, N., Majcen, Ž., Brkić, M., Benček, Đ., Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Omiš L33-22, Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1969); Saveni geološki institut, Beograd, 1977, p. 51 str..
- [4] Herak, M., Allegretti, I., Herak, D., Ivančić, I., Kuk, V., Marić, K., Markušić, S., Sović, I., »Karta potresnih područja Republike Hrvatske,« [Mrežno]. Available: <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/karta.php>.
- [5] Opći tehnički uvjeti za radove na cestama - knjiga II, Zagreb: IGH, 2001.
- [6] »Fine software,« : <https://www.finesoftware.eu/geotechnical-software/slope-stability/>.

POPIS SLIKA

Slika 1. Lokacija planiranog objekta (https://geoportal.dgu.hr/)	3
Slika 2. Smještaj predmetne stambene građevine na građevnoj čestici (tlocrt krova i zona obuhvata).....	4
Slika 3. Položaj predmetne lokacije na geološkoj karti [1].....	5
Slika 4. Maksimalno horizontalno ubrzanje [3]	7
Slika 5. Karta potresnih područja okoline predmetne lokacije za povratni period od 95 godina (izraženo kao ubrzanje g)	8
Slika 6. Karta potresnih područja okoline predmetne lokacije za povratni period od 475 godina (izraženo kao ubrzanje g)	8

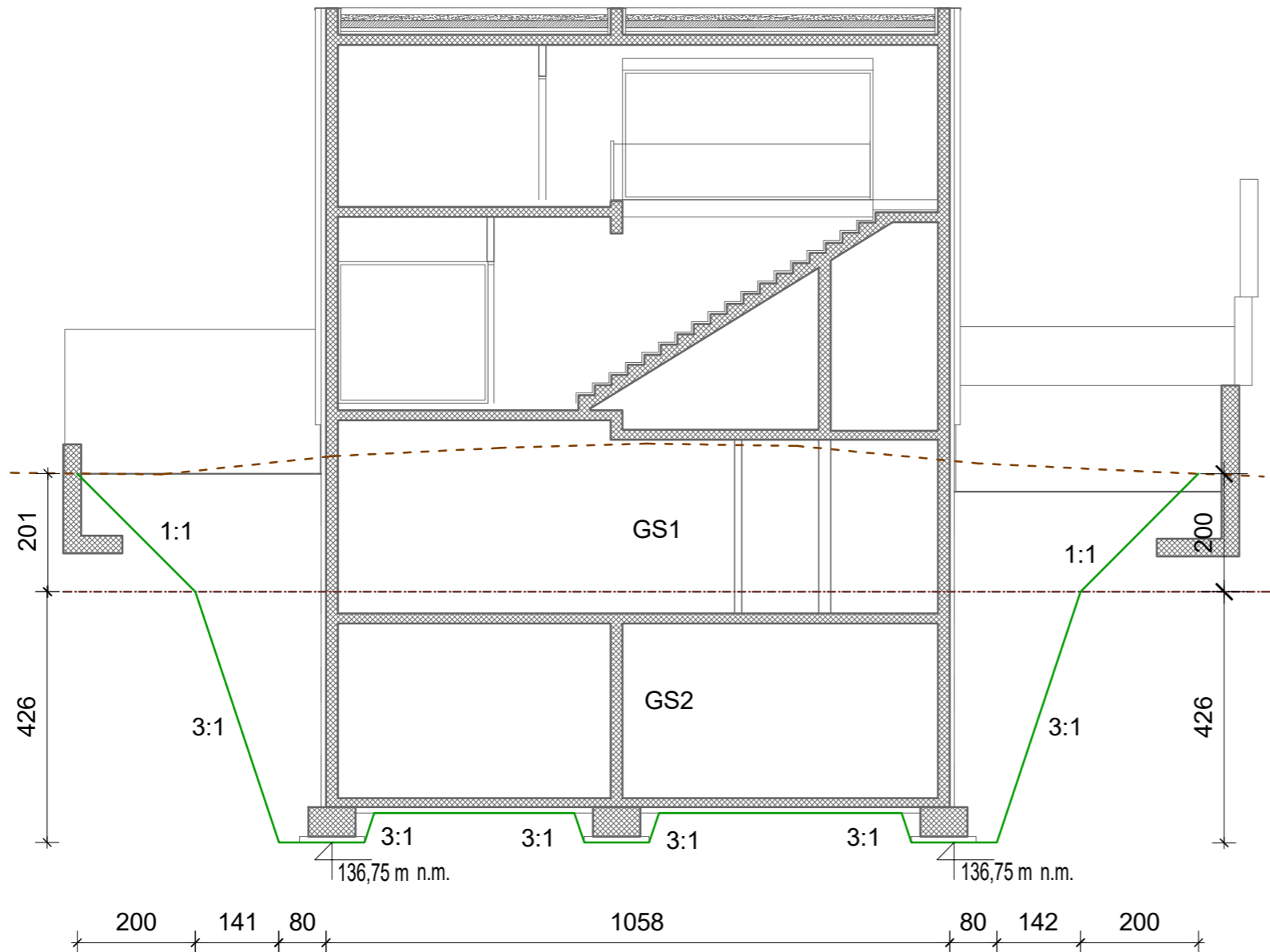
POPIS TABLICA

Tablica 1. RMR klasifikacija matične stijene – naslage fliša sastavljene od lapora s proslojcima pješčenjaka i trošnih lapora	9
Tablica 2. RMR klasifikacija matične stijene – naslage fliša djelomično sastavljene od čvrstih vapnenačkih pješčenjaka	10
Tablica 3. Kriteriji za prihvaćanje kvalitete	16
Tablica 4. Parcijalni koeficijenti za PP3	21
Tablica 5. Parametri čvrstoće matične stijenske mase	22
Tablica 6. Svojstva materijala korištena u numeričkim modelima – karakteristične i proračunske vrijednosti.....	23
Tablica 7. Tipovi tla prema HRN EN 1998-1-1:2012.....	24
Tablica 8. Vrijednosti otpornosti na plaštu pilota u ovisnosti o indeksu kvalitete jezge stijenske mase.....	25



- GS1 - Površinski nasipni slojevi i eluvij
- GS2 - Stijenska masa (fliš)
- - Linija iskopa
- - - - Linija terena

IZRADIO: LUKA IVAS	
VRSTA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME	
SADRŽAJ NACRTA: KARAKTERISTIČNI POPREČNI PRESJEK 1-1 - VARIJANTA 1	
	MJERILO: 1:100
	MJESTO I DATUM: Split, lipanj 2024.
	BROJ PRILOGA: 6.2.



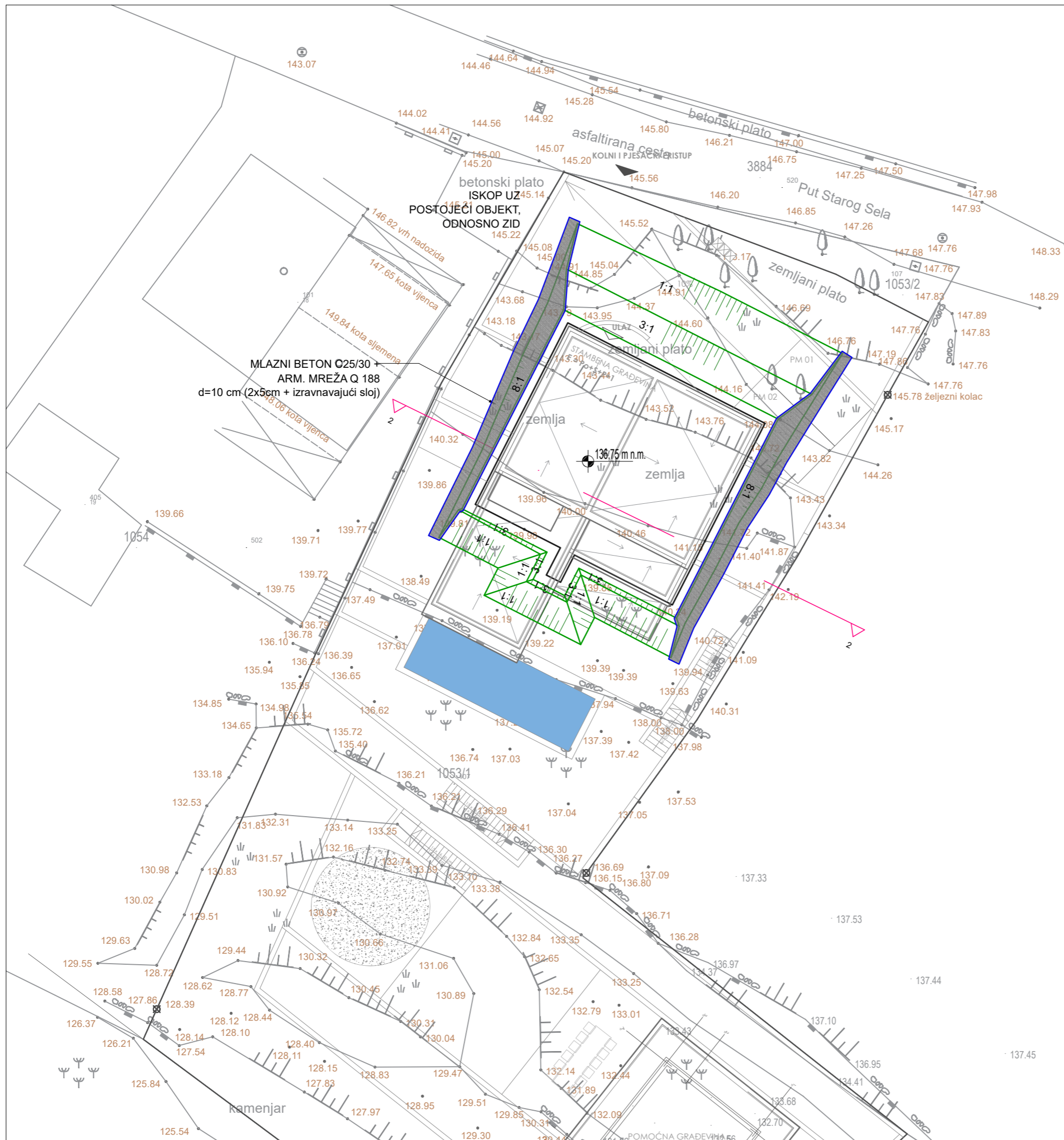
GS1 - Površinski nasipni slojevi i eluvij

GS2 - Stijenska masa (fliš)

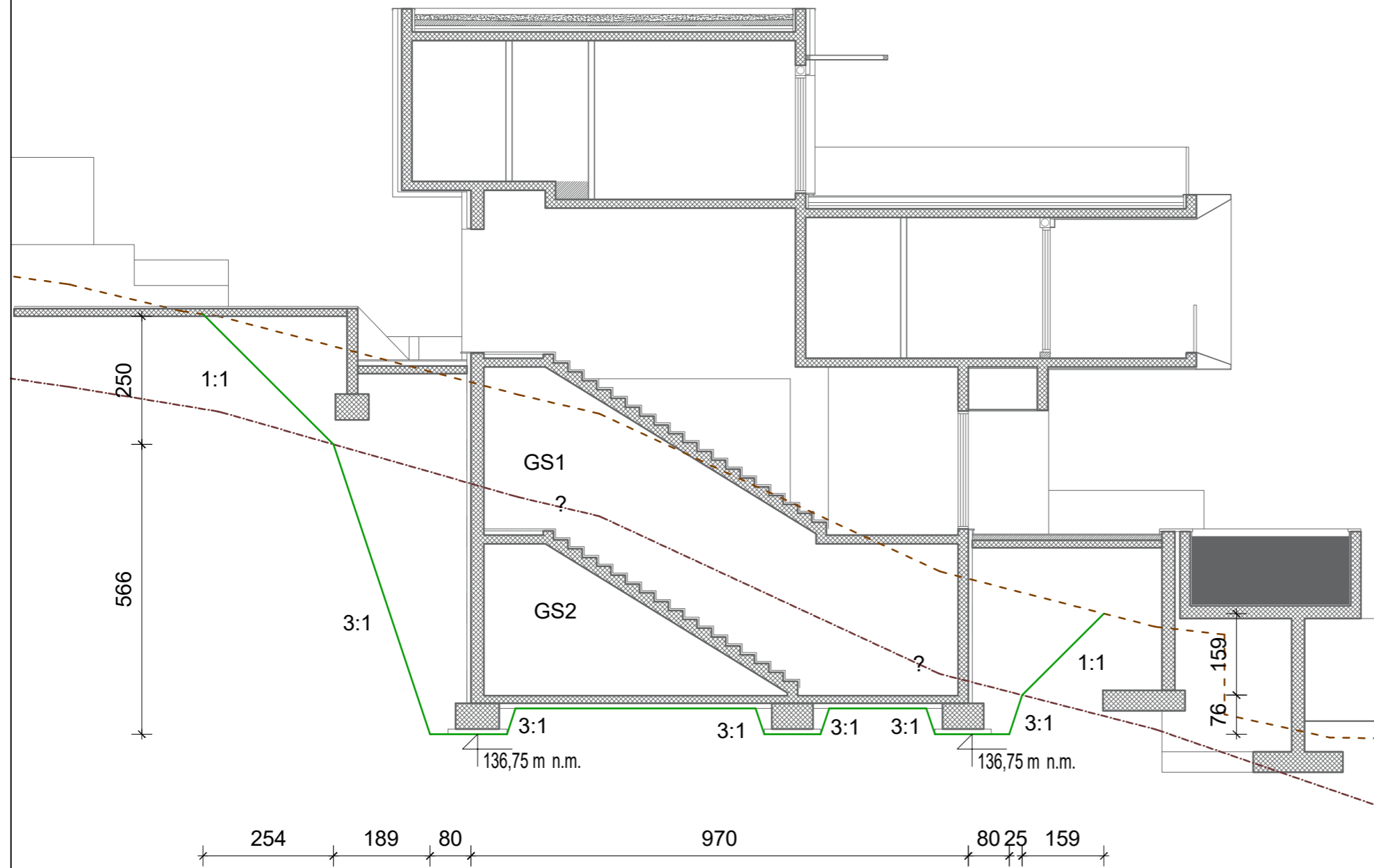
— - Linija iskopa

- - - - Linija terena

IZRADIO: LUKA IVAS	
VRSTA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME	
SADRŽAJ NACRTA: KARAKTERISTIČNI POPREČNI PRESJEK 2-2 - VARIJANTA 1	
	MJERILO: 1:100
	MJESTO I DATUM: Split, lipanj 2024.
	BROJ PRILOGA: 6.3.

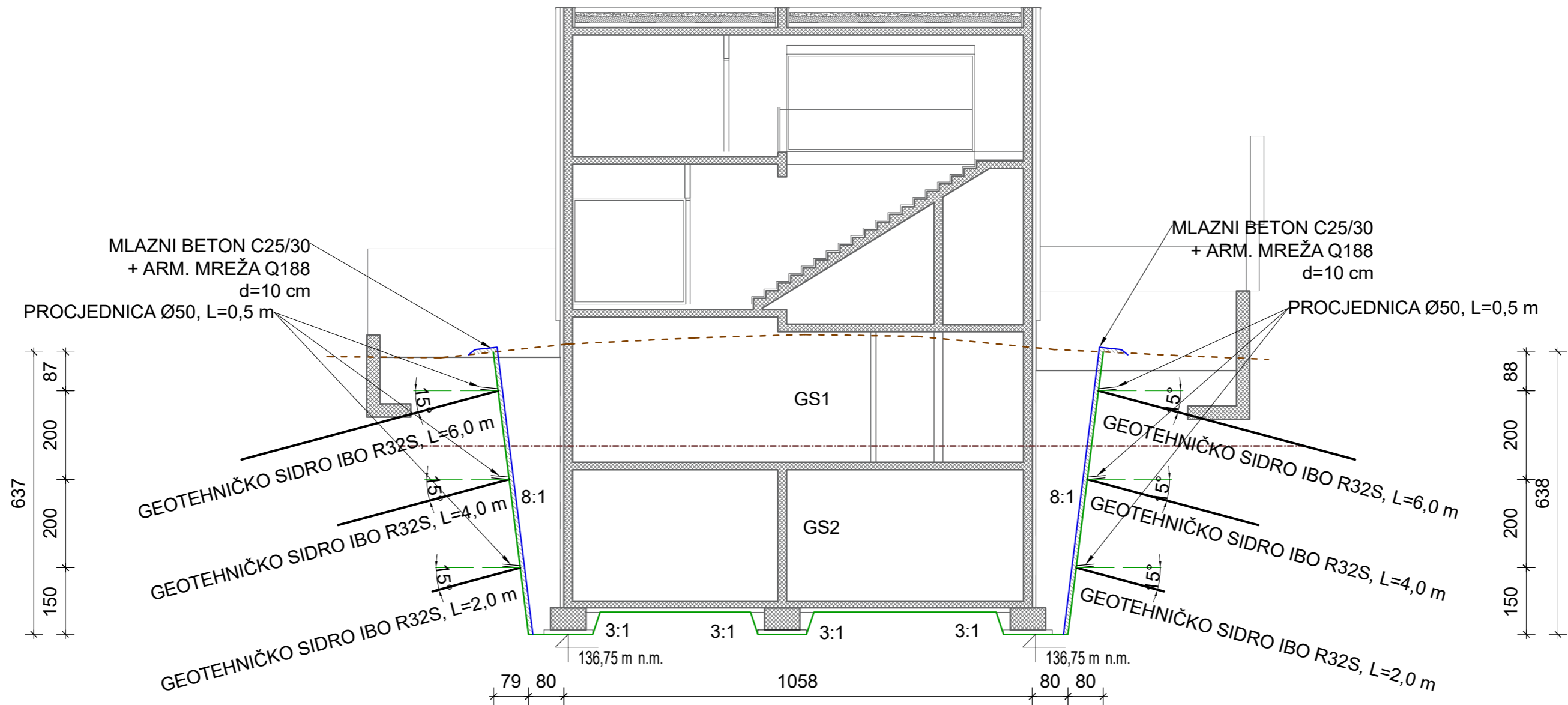


IZRADIO: LUKA IVAS	
VRSTA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME	
SADRŽAJ NACRTA: SITUACIJA - VARIJANTA 2	
	MJERILO: 1:200
	MJESTO I DATUM: Split, lipanj 2024.
	BROJ PRILOGA: 6.4.



- GS1 - Površinski nasipni slojevi i eluvij
- GS2 - Stijenska masa (fliš)
- - Linija iskopa
- - - - Linija terena

IZRADIO: LUKA IVAS	
VRSTA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME	
SADRŽAJ NACRTA: KARAKTERISTIČNI POPREČNI PRESJEK 1-1 - VARIJANTA 2	
	MJERILO: 1:100
	MJESTO I DATUM: Split, lipanj 2024.
	BROJ PRILOGA: 6.5.



- GS1 - Površinski nasipni slojevi i eluvij
- GS2 - Stijenska masa (fliš)
- - Linija iskopa
- - - Linija terena

IZRADIO: LUKA IVAS	
VRSTA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT ZAŠTITE GRAĐEVNE JAME	
SADRŽAJ NACRTA: KARAKTERISTIČNI POPREČNI PRESJEK 2-2 - VARIJANTA 2	
	MJERILO: 1:100
	MJESTO I DATUM: Split, lipanj 2024.
	BROJ PRILOGA: 6.6.