

Projekt sanacije odrona na cesti Vrh Roman (Grožnjan)

Rudež, Petar

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:506564>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

Petar Rudež

Projekt sanacije odrona na cesti Vrh Roman (Grožnjan)

Završni rad

Rijeka, 2019.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Stručni studij
Geotehničko inženjerstvo**

**Petar Rudež
JMBAG: 0114028731**

Projekt sanacije odrona na cesti Vrh Roman (Grožnjan)

Završni rad

Rijeka, rujan, 2019.

ZAHVALA

Zahvaljujem mentorici doc. Martini Vivodi Prodan na stručnoj pomoći, susretljivosti i strpljivosti kod izrade ovog završnog rada.

Također, hvala svim profesorima i asistentima Građevinskog fakulteta u Rijeci na trudu, razumijevanju i stečenom znanju koje je ključ za uspješnu karijeru. Zahvaljujem se svim mojim kolegama, prijateljima i djevojci koji su uvijek bili uz mene te mi olakšali proces studiranja. Najveće zahvale upućujem svojim roditeljima, ocu Anti i majci Mariji.

Hvala svima!

SAŽETAK

Potporni zidovi su geotehničke građevine koje služe za osiguravanje stabilnosti kosina, savladavanje denivelacija terena, zaustavljanja klizanja, erozije tla i slično. Te vrste građevina su veoma učestale, a postoji širok izbor tipova potpornih konstrukcija. Budući da se svaki teren razlikuje, potrebno je detaljno opisati kriterije za odabir odgovarajuće vrste potporne konstrukcije s obzirom na parametre okoline gdje je njegova izgradnja predviđena. Principi gradnje koji se moraju poštovati pri projektiranju potpornih konstrukcija sadržane su u normi pod nazivom Eurocode 7. Eurokodovi su građevinske norme koje igraju značajnu ulogu u projektiranju, izgradnji te održavanju bilo kakve složenije građevine na području Europe.

Prateći pravila građevinskih normi za projektiranje u geotehnici, Eurocode 7, u ovom radu izrađen je projekt sanacije klizišta na cesti Vrh Roman u Grožnjanu koje je pokrenuto 2014. godine uslijed obilnih oborina. Klizište se nalazi na području flišnog tla. Fliš je sklon eroziji, trošenju i klizanju i upravo je to uzrok pojave klizišta.

Projekt sanacije obuhvaća istražne radove, odabir optimalne metode sanacije klizišta, izradu proračuna i projektne dokumentacije, pripremne radove na gradilištu, glavni dio projekta te nadzor saniranog klizišta. Nakon prikupljanja informacija o parametrima tla i okoline te usvajanja proračunskih opterećenja odabire se najoptimalnija metoda sanacije predmetnog klizišta uz primjenu normi Eurocode 7.

Saniranje klizišta provedeno je izgradnjom armirano-betonskog gravitacijskog zida T-presjeka visine 3 m te 1,4 m širine s izvedenom potrebnom drenažom. Debljina ploha tj. platana zida iznosi 25 cm. Zasipni sloj iznosi 57,5 cm, a ispunjava se vodopropusnim materijalom. Klizište je obuhvatilo 90 metara dužine ceste, a duljina izgrađenog potpornog zida na lokaciji iznosi 145 metara.

Ključne riječi

klizište, sanacija, potporne konstrukcije, potporni zidovi, opterećenje, armirani beton, stabilnost, drenaža, tlo, dimenzioniranje

ABSTRACT

Retaining walls are geotechnical structures used to ensure the stability of slopes, overcoming large elevation differences of terrain, stopping landsliding, soil erosion and so on. These types of structures are very common, and there is a wide selection of types of support structures. As each terrain differs, it is necessary to describe in detail the criteria for selecting the appropriate type of support structure with regard to the environmental parameters where its construction is envisaged. The construction principles that must be observed when designing supporting structures are contained in a norm called Eurocode 7. Eurocodes are building norms that play a significant role in the design, construction and maintenance of any complex structure in Europe.

Following the rules of building codes for geotechnical design, Eurocode 7, a landslide remediation project on the Roman Road in Grožnjan which was initiated in 2014 due to heavy rainfall was produced in this work. The landslide is located in the flysch soil area. Flysch is prone to erosion, wear and landslide, and this is precisely the cause of landslides.

The remediation project includes exploratory works, selection of the optimal landslide remediation method, calculations and project documentation, preparatory work on the construction site, the main part of the project and monitoring of the remedied landslide.

After collecting information on soil and environmental parameters and adopting calculated loads, the most optimal method of remediation of the landslide is selected, applying Eurocode 7.

Given the soil parameters and the loads considered, landslide remediation was carried out by constructing a 3m high reinforced concrete gravity wall of T-section which includes necessary drainage system. The thickness of the slabs, ie the plane of the wall, is 25 cm, while the base slab is 1.4 m wide. The landslide covered 90 meters of road length and the length of the built retaining wall at the site is 145 meters.

Key words

landslide, reparation, supporting structures, supporting walls, load, reinforced concrete, stability, drainage, soil, dimensioning

SADRŽAJ

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | UVOD | 1 |
| 2. | KLIZIŠTA..... | 2 |
| 2.1 | Pokretači i uzroci pojave klizišta | 3 |
| 2.2 | Vrste klizišta | 4 |
| 2.3 | Sanacija klizišta | 5 |
| 2.4 | Klizišta u Istri | 6 |
| 3. | POTPORNI ZIDOVI..... | 9 |
| 3.1 | Uloga potpornih zidova..... | 9 |
| 3.2 | Primjena potpornih zidova | 10 |
| 3.3 | Podjela potpornih konstrukcija..... | 11 |
| 4. | PROJEKTIRANJE PREMA EC7 | 21 |
| 4.1 | Eurokod | 21 |
| 4.2 | Eurokod 7: Geotehničko projektiranje..... | 21 |
| 4.3 | Geotehničke kategorije | 22 |
| 4.4 | Granična stanja | 24 |
| 4.5 | Istražni radovi prema Eurokodu 7..... | 28 |
| 5. | GRANIČNA STANJA KOD POTPORNIH KONSTRUKCIJA | 29 |
| 5.1 | Gubitak nosivosti tla ispod stope temelja | 31 |
| 5.2 | Gubitak nosivosti konstrukcije klizanjem..... | 32 |
| 5.3 | Slom potporne konstrukcije prevrtanjem | 33 |
| 5.4 | Globalna stabilnost | 34 |
| 6. | ODRON NA CESTI VRH ROMAN (GROŽNJAN)..... | 35 |
| 6.1 | Istraživački radovi..... | 36 |
| 6.2 | Geološka građa..... | 36 |
| 6.3 | Seizmičnost šireg područja | 38 |
| 6.4 | Hidrogeološke značajke lokacije..... | 39 |
| 6.5 | Inženjerskogeološke značajke lokacije | 40 |
| 6.6 | Geotehničke značajke lokacije | 41 |
| 6.7 | Geostatičke analize | 42 |
| 7. | PROJEKT SANACIJE KLIZIŠTA ROMAN | 48 |
| 7.1 | Proračun stabilnosti potpornog zida | 48 |
| 7.2 | Tehnički opis | 67 |
| 7.3 | Tehnički uvjeti izvođenja radova..... | 68 |
| 7.3.1. | Tehničko tehnološki elaborat izvođenja radova..... | 72 |

| | | |
|---------|---|----|
| 7.3.2. | Geotehnički nadzor | 73 |
| 7.3.3. | Dinamika i faze izvođenja radova..... | 73 |
| 7.3.4. | Pripremni radovi | 74 |
| 7.3.5. | Osiguranje gradilišta | 75 |
| 7.3.6. | Prilaz gradilištu | 75 |
| 7.3.7. | Iskolčenje i označavanje pozicija | 76 |
| 7.3.8. | Iskop..... | 76 |
| 7.3.9. | Izvedba sloja podložnog betona..... | 77 |
| 7.3.10. | Izvedba armirano-betonskog potpornog zida..... | 77 |
| 7.3.11. | Geotekstil..... | 78 |
| 7.3.12. | Nasipavanje kamenog materijala | 78 |
| 7.3.13. | Asfalterski radovi | 78 |
| 7.3.14. | Materijali korišteni pri izradi potpornog zida..... | 78 |
| 7.3.15. | Osiguranje i kontrola kvalitete..... | 79 |
| 7.4 | Dokaznica mjera..... | 79 |
| 7.5 | Aproksimacijski / projektantski troškovnik radova | 82 |
| 8. | ZAKLJUČAK..... | 86 |
| | LITERATURA..... | 87 |
| | PRILOZI..... | 91 |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1: Shematski prikaz klizišta [2] | 2 |
| Slika 2: Dijelovi klizišta [3] | 3 |
| Slika 3: Podjela klizišta prema distribuciji aktivnosti [3] | 4 |
| Slika 4: Sanacija klizišta [5]..... | 5 |
| Slika 5: Sanacija kosina u stijenskim masama korištenjem mreža za zaštitu od odrona i sidara[5]..... | 6 |
| Slika 6: Podjela tala istarskog poluotoka [7] | 7 |
| Slika 7: Karta podložnosti na klizanje i odrone [8] | 7 |
| Slika 8: Armirano-betonski potporni zid [2] | 9 |
| Slika 9: Gabionski potporni zid [10] | 9 |
| Slika 10: Potporni i uporni zid [12] | 10 |
| Slika 11: Raznolikost mogućnosti primjene potpornih zidova [12] | 11 |
| Slika 12: Zid od nasutog materijala ojačan čeličnim kavezom (gabion)[13] | 13 |
| Slika 13: Zid od nasutog materijala ojačan geomrežom [13] | 13 |
| Slika 14 : Zidovi od lomljenog kamena [14] | 14 |
| Slika 15: Zid od klesanog kamena [24] | 14 |
| Slika 16: Armirano-betonski potporni zid [15] | 14 |
| Slika 17: Zid od betonskih montažnih komada [16] | 14 |
| Slika 18: Potporni zid od drva [16] | 14 |
| Slika 19: Armirano-betonski zid T- presjeka (izradio autor) | 16 |
| Slika 20: Armirano-betonski zid L- presjeka [11] | 16 |
| Slika 21: Omjeri dimenzija AB potpornog zida T oblika [11] | 16 |

| | |
|---|----|
| Slika 22: Potporni zid s kontraforama iza zida [12] | 17 |
| Slika 23: Masivni betonski zid [3] | 18 |
| Slika 24: Kutevi djelovanja sila [11] | 18 |
| Slika 25: Potporni zid s konzolom [12] | 18 |
| Slika 26: Detalj konzole [11] | 18 |
| Slika 27: Potporni zid sa zategama [12] | 19 |
| Slika 28: Gabionski potporni zid [17] | 20 |
| Slika 29: Skica gabionskog zida i metalne košare [3] | 20 |
| Slika 30: PP 3 za GSN ispod stope temelja [20] | 27 |
| Slika 31: Faze ispitivanja temeljnog tla pri geotehničkom projektiranju, izvođenju i korištenju konstrukcija [19]..... | 28 |
| Slika 32: Shematski prikaz opterećenja koja djeluju na potporni zid T-presjeka [22] | 29 |
| Slika 33: Mogući tipovi graničnih stanja nosivosti kod zidova L i T oblik [22] | 31 |
| Slika 34: Mogući slomovi uslijed globalne nestabilnosti tla [3] | 34 |
| Slika 35: Slika ceste Vrh Roman (preuzeto od mentora) | 35 |
| Slika 36: Osnovna geološka karta Istre [24] | 37 |
| Slika 37: Karta potresnih područja Istre [25] | 39 |
| Slika 38: Geotehnički model (izradio autor) | 42 |
| Slika 39: Rezultati povratnih analiza stabilnosti (izradio autor) | 44 |
| Slika 40: Geotehnički model sanirane padine (izradio autor)..... | 45 |
| Slika 41: Rezultati analiza stabilnosti za saniranu padinu (izradio autor) | 46 |
| Slika 42: Odabrane dimenzije poprečnog profila zida (izradio autor) | 48 |
| Slika 43: Prikaz površine stalne sile koja djeluje u visini temelja (izradio autor) | 53 |

| | |
|---|----|
| Slika 44: Prikaz površine stalne sile koja djeluje u visini zida (izradio autor) | 54 |
| Slika 45: Težišta stalnih sila odabranog presjeka (izradio autor) | 58 |
| Slika 46: Naprezanja u tlu ispod stope temelja (izradio autor) | 65 |
| Slika 47: Poprečni presjek zida sa odgovarajućim slojevima nasipa tedrenažom (izradio autor)..... | 67 |
| Slika 48: Prikaz ceste iz zraka (Snimka zaslona-Google karte) | 75 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|-----------|
| <i>Tablica 1: Pravila usvajanja geoteh. rizika prema kategorijama [21].....</i> | <i>33</i> |
| <i>23Tablica 2: Provjera stabilnosti za granična stanja nosivosti [21]</i> | <i>36</i> |
| <i>Tablica 3: Parcijalni koeficijenti za djelovanja i učinke za stanja STR i GEO [21]</i> | <i>36</i> |
| <i>Tablica 4: Parcijalni koeficijenti parametara tla za stanja STR i GEO [21]</i> | <i>37</i> |
| <i>Tablica 5: Parcijalni koeficijenti za otpornosti za STR i GEO [21]</i> | <i>37</i> |

KORIŠTENE OZNAKE

| | |
|----------------|--|
| H | Ukupna visina potpornog zida |
| H_z | Visina potpornog zida |
| B | Debljina potpornog zida |
| C | Dužina stope iza zida |
| A | Dužina stope ispred zida |
| D | Debljina stope |
| L | Ukupna dužina stope |
| γ_{tlo} | Jedinična težina materijala iza zida |
| γ_{AB} | Jedinična težina zida (armiranog betona) |
| Φ_k | Karakteristični kut trenja |
| Φ_d | Proračunski kut trenja |
| c | Kohezija |
| u | Nagib zasipa prema horizontali |
| β | Nagib tla prema horizontali |
| δ | Trenje između zida i tla ($2/3 \Phi$) |
| α | Nagib zida |
| p | Površinsko opterećenje na prometnici |

1. UVOD

Grana građevinarstva koja obuhvaća postupke planiranja i izvođenja konstrukcija i radova u tlu i stijeni naziva se geotecnika. Projektiranje geotecnčkih konstrukcija je proces koji se sastoji od prikupljanja osnovnih parametara tla i okoline, usvajanja proračunskih opterećenja, geotecnčkih proračuna te primjene mjerodavnih normi i propisa. Prije početka gradnje vrše se geotecnčki istražni radovi na terenu i u laboratoriju kako bi se utvrdili što precizniji geotecnčki podaci potrebni za izradu geološkog i geotecnčkog modela tla.

Zadaća geotecnčkih zahvata je osigurati dugoročno funkcioniranje objekata, a time i stabilnost tla na kojem se izvode. Skoro svaki zahvat je poseban i zahtjeva poseban način rješavanja. Odabrani način mora ispunjavati estetske uvjete, ekonomske uvjete, uvjete sigurnosti te pouzdanosti. Najčešći radovi u geotecnici su izrade temelja i potpornih konstrukcija te zaštita građevinskih jama i ojačavanje tla.

U ovom završnom radu opisana su klizišta te njihovi uzroci i pokretači. Također je prikazan način izvedbe, svrha i podjela potpornih konstrukcija, te su opisani principi i načela dimenzioniranja potpornih zidova, posebno dijelovi koje obuhvaća Eurocode 7.

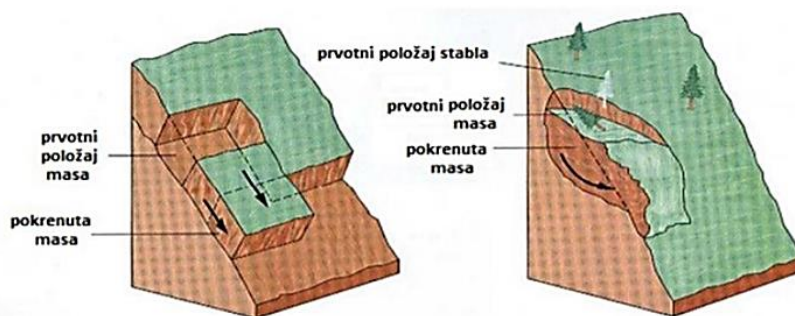
Na kraju rada analizira se odron koji se dogodio na cesti u naselju Vrh Roman nedaleko od Grožnjana 2014. godine nakon obilnih oborina. Klizanjem je obuhvaćen dio postojeće ceste i padine čime je onemogućeno odvijanje prometa te je bilo potrebno pristupiti sanaciji istog. Kao rješenje problema odabran je armirano-betonski gravitacijski zid visok 3 metra za kojeg je izveden proračun stabilnosti prema Eurocodeu 7. Za odabrani zid dan je tehnički opis, opisana tehnologija njegove izvedbe, izrađena dokaznica mjera i troškovnik te ostala projektna dokumentacija.

2. KLIZIŠTA

Već dugi niz godina mnogi znanstvenici i stručnjaci iz područja geotehnike bave se proučavanjem klizišta. 1961. godine Terzagi i Peck definiraju klizište kao slom mase tla na padini. Prema Crudenu (1991) klizište je pokret stijenskog ili detritnog materijala ili mase tla niz padinu, a jednu od posljednjih definicija klizišta dali su Highland i Bobrowsky 2008. godine u kojoj kažu da je klizanje termin koji opisuje pokret tla, stijenskog i organskog materijala niz padinu pod utjecajem gravitacije. [1]

Dakle, možemo reći da je klizanje proces odvajanja te pomicanja odvojene mase preko čvrste podloge. To pomicanje može biti translacijsko ili rotacijsko (Slika 1), te se može razlikovati po brzini i intenzitetu. Klizanje materijala odvija se po kliznoj plohi. [1]

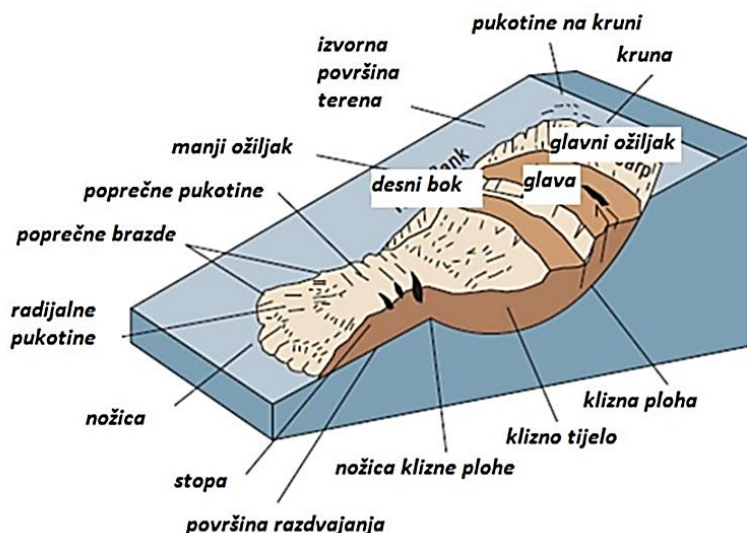
Tipovi nestabilnosti u tlu su klizanje, puzanje, tečenje materijala, slom po diskontinuitetima i klinasti slom, složeni slom te slom kroz kvazihomogenu stijensku masu. Dok u stijeni razlikujemo sljedeće mehanizme sloma: odroni, blokovsko klizanje i slom prevrtanjem, lomljenje i izbacivanje sloja. Na slici 1 prikazan je shematski prikaz klizišta gdje je lijevo prikazano translacijsko, a desno rotacijsko klizište.



Slika 1: Shematski prikaz klizišta [22]

Stabilnost tla određena je raznim čimbenicima kao što su oblik i strmost padine, slojevima tla, geomehaničkim svojstvima tla, količini oborina, razinama podzemnih voda itd.

Na slici 2 prikazana je shema klizišta sa obilježenim osnovnim djelovima.



Slika 2: Dijelovi klizišta [3]

2.1 Pokretači i uzroci pojave klizišta

Uzrok sloma u tlu je kombinacija nestabilne strukture i događaja-inicijatora. [4]

Uzroci pojave klizišta mogu biti prirodni i antropogeni. Prirodni uzroci pojave klizišta su nevezani ili trošni materijali, potresi i tektonski pomaci, abrazija, fluvijalne erozije, itd. Antropogeni uzroci pojave klizišta mogu biti navodnjavanje, miniranje, uklanjanje prirodne vegetacije, izgradnja na nestabilnom tlu, potkopavanje padine i sl. [4]

Također, uzroci mogu biti pasivni i aktivni. Pasivni čimbenici su npr. nagib padine, litološki sastav, nagib slojeva, ekspozicija padine i dr. Aktivni čimbenici djeluju izravno destabiliziraju padinu. To su primjerice trošenje tla, promjene nagiba padina, opterećenje padine dodatnim materijalom, promjena razine podzemne vode te uklanjanje vegetacije. [3]

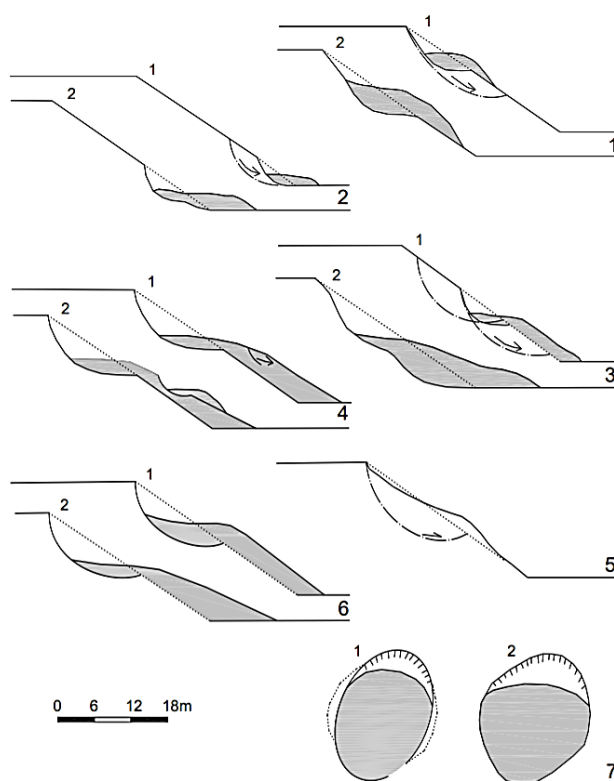
Pokretači klizišta su intenzivne padaline, topljenje snijega, dugi kišni periodi, potresi, poplave, bubrenje i skupljanje gline u tlu itd. [3]

2.2 Vrste klizišta

Klizišta se mogu dijeliti u vrste prema raznim kriterijima. Prema tipu pokreta klizanja se dijele na translacijsko klizanje, rotacijsko klizanje te složeno klizanje. Translacijsko klizanje je kretanje kliznog tijela usporedno sa ravninom. Kod rotacijskog klizanja se klizno tijelo kreće po zakrivljenoj plohi. Složeno klizanje je pojava kada na klizno tijelo istovremeno djeluju translacijsko i rotacijsko klizanje. Prema geološkoj građi podloge u kojoj se javljaju klizišta, razlikujemo nestabilnosti u tlu i u stijenskoj masi. [4]

Prema stanju aktivnosti razlikujemo aktivna, suspendirana, reaktivirana, neaktivna, privremeno umirena, trajno umirena, stabilizirana i reliktna klizišta. [3]

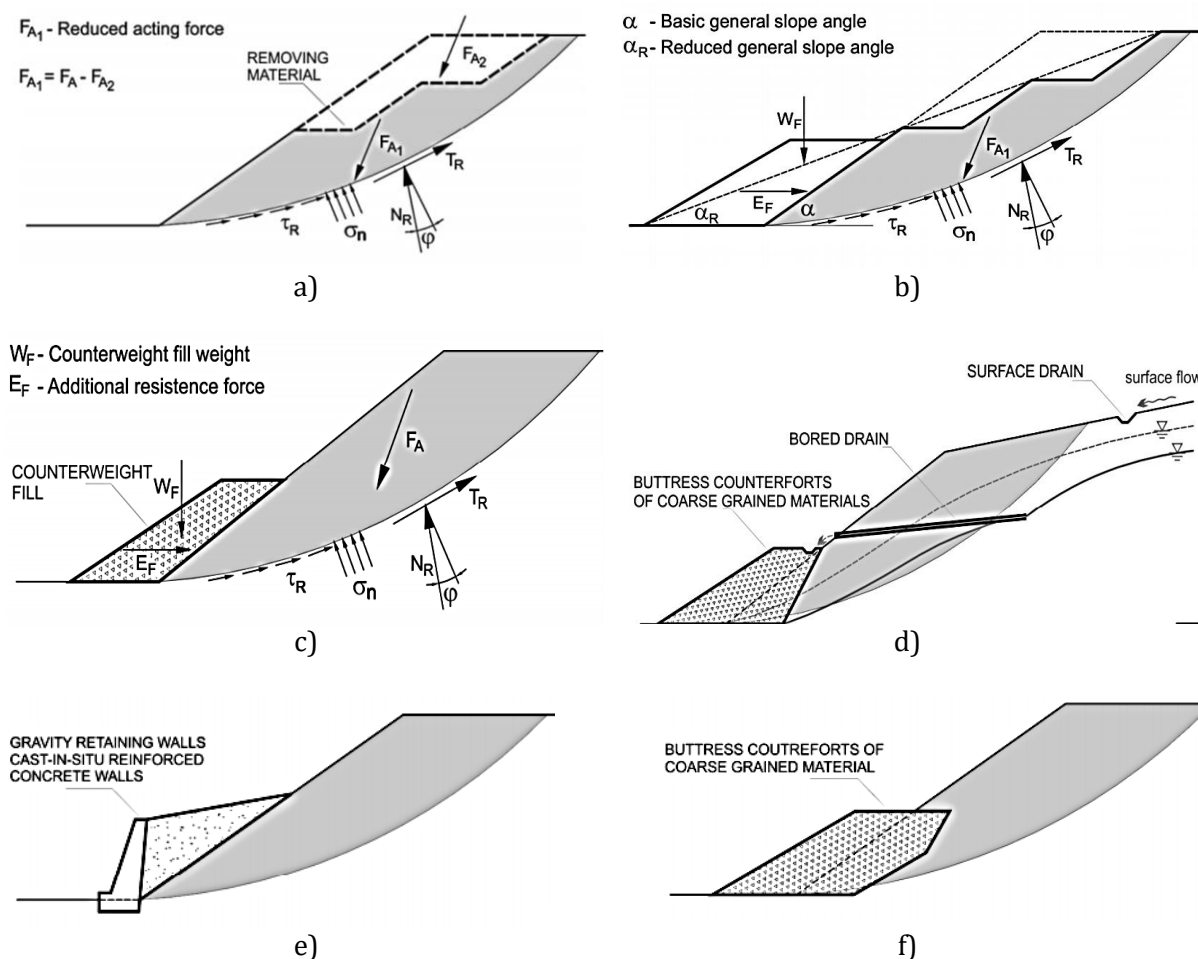
Prema distribuciji aktivnosti (Slika 3) klizišta možemo podijeliti na: progresivna (1), retrogresivna (2), povećavajuća (3), umanjujuća (4), ograničena (5), krećuća (6) i proširujuća (7).



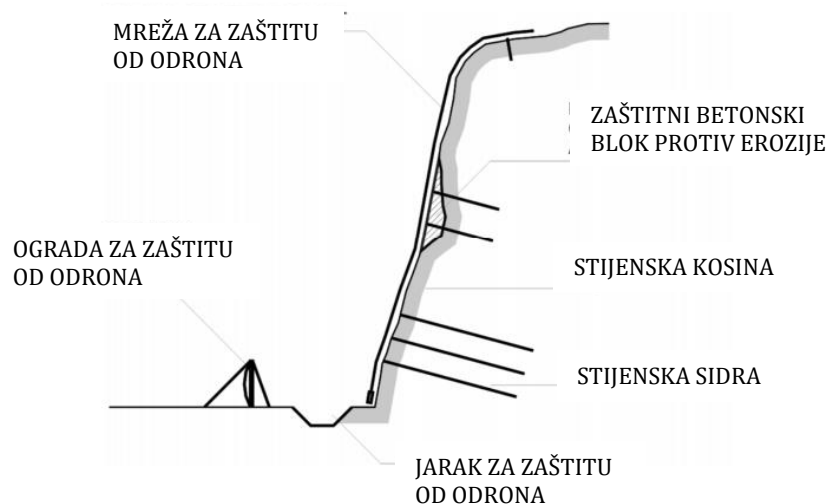
Slika 3: Podjela klizišta prema distribuciji aktivnosti [8]

2.3 Sanacija klizišta

Sanacija klizišta provodi se građevinskim zahvatima, najčešće izvedbom sustava odvodnje, (Slika 4d) kojim se smanjuje visina podzemne vode, promjenom oblika kosine kako bi se smanjilo opterećenje gornjeg dijela klizišta (Slika 4a), dodavanjem protututega u obliku nasipa (Slika 4f, Slika 4c), smanjenjem nagiba kosine (Slika 4b), izvedbom potpornih ili sidrenih konstrukcija u donjem dijelu (Slika 4e, Slika 5), sadnjom vegetacije i sl. Pojava klizišta utvrđuje se opažanjem na terenu (monitoring), te mjerenjem pomaka tla tijekom vremena. Na slikama 4 i 5 prikazani su neki od mogućih metoda sanacije klizišta. [5]



Slika 4: Sanacija klizišta a) uklanjanjem materijala sa gornjeg dijela kosine, b) smanjenjem nagiba kosine, c) dodavanjem protututega u obliku nasipa, d) kombiniranim dreniranjem, e) izgradnjom armiranobetonskih ili gabionskih potpornih zidova, f) izgradnjom podupirećeg nasipa ili konstrukcijama od armiranog tla [5]

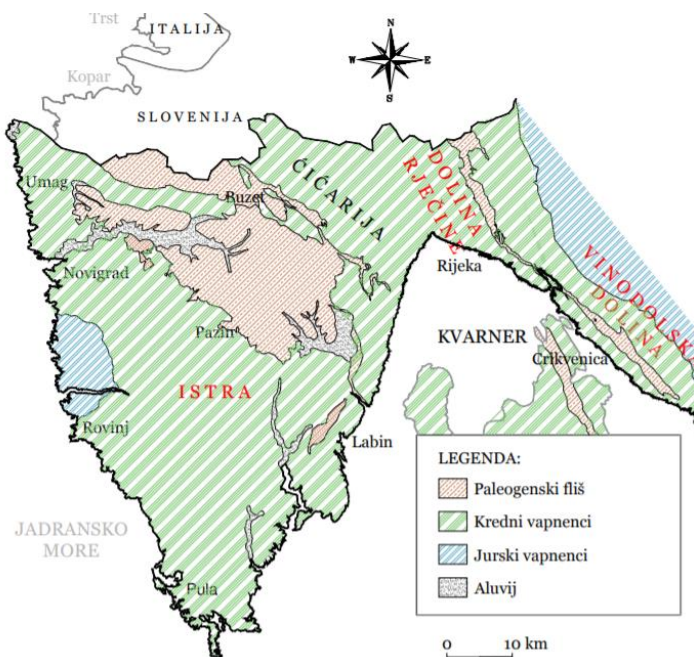


Slika 5: Sanacija kosina u stijenskim masama korištenjem mreža za zaštitu od odrona i sidara [5]

2.4 Klizišta u Istri

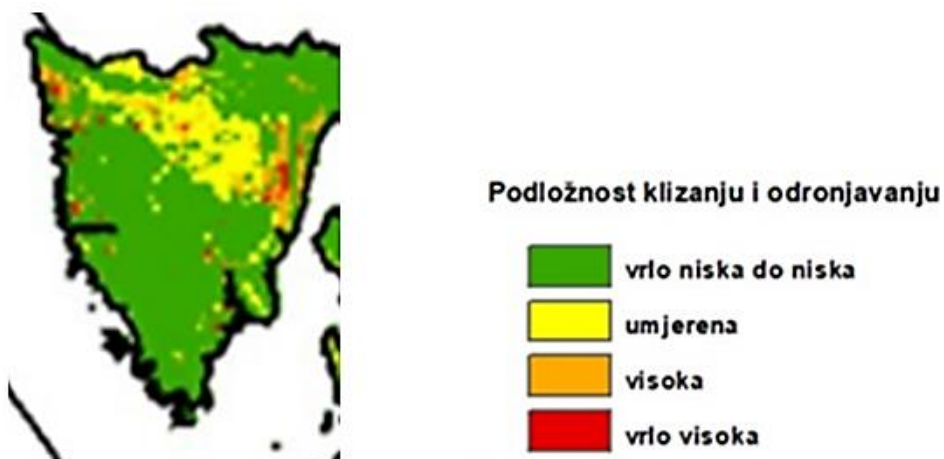
Geološku građu Istre (Slika 6) jasno određuju tri područja koja se podudaraju s povijesnim regijama utvrđenim od strane domaćeg stanovništva:

1. Crvena Istra predstavlja jugozapadni i zapadni dio Istarskog poluotoka, a svoju boju duguje velikoj količini zemlje crvenice koja prekriva zaravan izgrađen od jurskih i krednih karbonatnih stijena,
2. Bijela Istra je naziv za izdignuto, okršeno kamenito područje Učke i Ćićarije građeno od okršenih krednih i paleogenskih vapnenaca,
3. Siva Istra je središnje područje Istre koje predstavlja depresiju zapunjenu flišnim materijalom. [6]



Slika 6: Podjela tala istarskog poluotoka [7]

Karta podložnosti na klizanje i odrone istarskog poluotoka (Slika 7) prikazuje da je Istra najpodložnija klizanjima tla na sjevernom dijelu, tj. u dijelu Sive Istre koji je izgrađen od flišne stijenske mase, dok je područje Crvene Istre najmanje podložno klizanjima te odronima.



Slika 7: Karta podložnosti na klizanje i odrone [8]

Fliš je sklon trošenju, eroziji i klizanju te spada u kategoriju mekih stijena. Za fliš kažemo da je slijed sedimenata u kojem se lapori ili glineni škriljevci izmjenjuju s pješčenjacima, ponekad i sa primjesama vapnenaca te konglomerata. Zbog različite otpornosti pojedinih dijelova flišnih naslaga na utjecaj atmosferilija, reljef flišnih terena u pravilu je vrlo raščlanjen. Litološki član u kojem prevladava glinovita komponenta troši se brže, što dovodi do većih udubljenja, dok čvršći dijelovi sedimenta ostaju kao uzvišenja na terenu. [9]

Flišna stijenska masa je slabe vodopropusnosti te je stoga gotovo u potpunosti prekrivena trošnim površinskim materijalom sastavljenim od mješavine gline, praha, pijeska i odlomaka do blokova pješčenjaka višemetarske debljine. Također, ova vrsta stijenske mase podložna je i kemijskom trošenju, što značajno utječe na promjenu njenih fizičko-mehaničkih svojstava. [7]

Na lokaciji sanacije klizišta u Grožnjanu prevladava paleogenski fliš. Upravo je to uzrok pojave klizišta dok su pokretači prometno opterećenje te atmosferiliji.

3. POTPORNİ ZIDOVI

3.1 Uloga potpornih zidova

Potporne konstrukcije su raščlanjene ili masivne, trajne ili privremene geotehničke konstrukcije koje podupiru strme nasipe ili zasjeka prirodnog terena pod velikim kutom, služe kao potporne konstrukcije nekih dijelova terena kako bi zaštitili okolinu od iznenadnog urušavanja ili rasipanja materijala (Slika 8, Slika 9). [3]

Potporni zid je objekt koji svojim strukturnim kapacitetom prihvaća opterećenje tla iza zida, te ga preko svoje konstrukcije prenosi na temelje i putem istih na temeljno tlo zadržavajući stabilnost materijala iza potpornog zida i samog potpornog zida. Temelji potpornih zidova su gotovo uvijek ispod visinske razine tla. Temeljna stopa povećava površinu nalijeganja na temeljno tlo te na taj način smanjuje naprezanja uzrokovana potpornim zidom u tlu. [3]



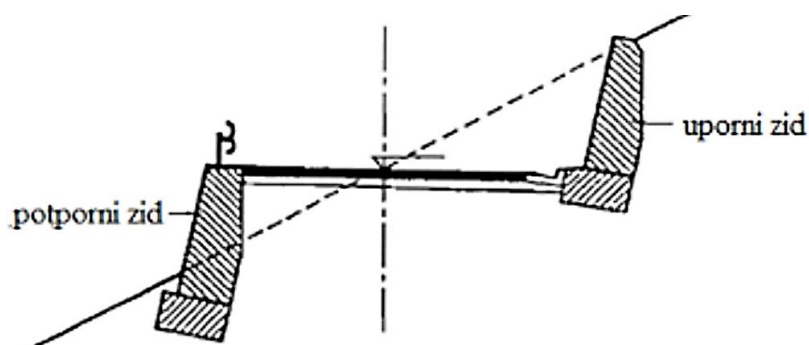
Slika 8: Armirano-betonski potporni zid [2]



Slika 9: Gabionski potporni zid [10]

3.2 Primjena potpornih zidova

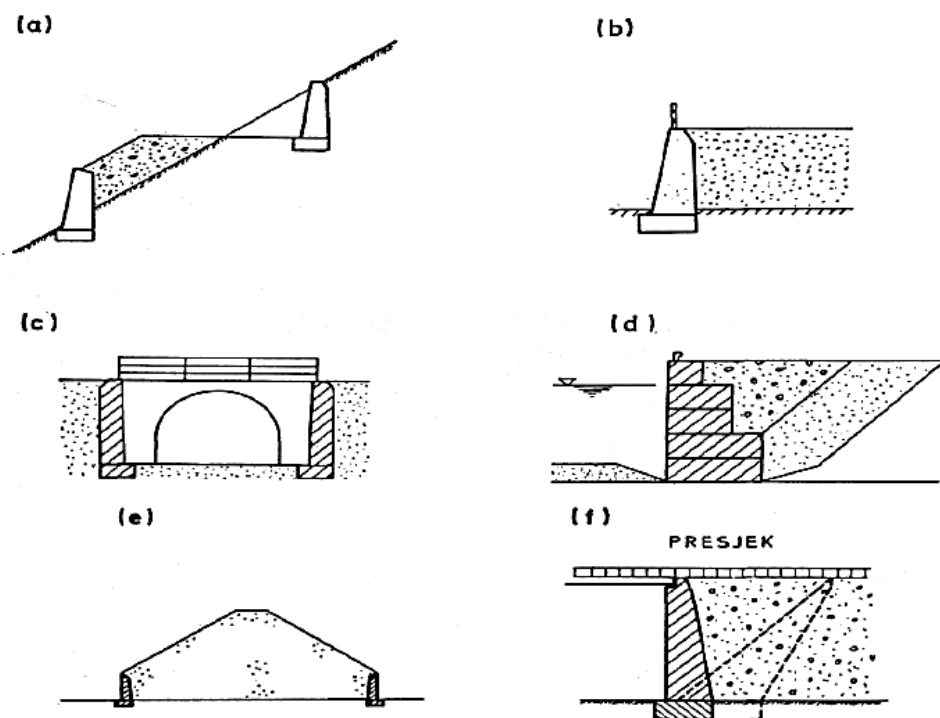
Potporni zidovi primjenjuju se na raznim područjima u građevinarstvu, uglavnom pri naglim promjenama visine (Slika 10). Najčešće se pojavljuju kod prometnica, željeznica, valobrana, građevinskih jama sa strmim kutom zasjeka te tome sličnih terena. Mogu se koristiti za regulaciju vodotoka, zaštitu od poplava i odrona te za sanaciju klizišta. [11]



Slika 10: Potporni i uporni zid [12]

Zbog širokog područja primjene postoji više tipova i načina izvedbe potpornih zidova koji se utvrđuju ovisno o zahtjevima svakog pojedinog projekta. Na slici 11 prikazane su neke mogućnosti primjene potpornih zidova:

- (a)-zasjek za široku cestu,
- (b)-plato,
- (c)-rampa za ulaz za gradski tunel,
- (d)-masivni zid pristaništa,
- (e)-zidovi za skladište agregata i sl.,
- (f)-upornjak mosta sa bočnim krilima



Slika 11: Raznolikost mogućnosti primjene potpornih zidova [12]

3.3 Podjela potpornih konstrukcija

Potporni zidovi mogu se dijeliti prema vrsti korištenih materijala, načinu nošenja te prema načinu izgradnje. Osnovna podjela po kojoj se dijele potporne konstrukcije je prema načinu izgradnje. [11]

1) Prema **načinu izgradnje**, potporne konstrukcije dijele se na:

- zasipane potporne konstrukcije
- ugrađene potporne konstrukcije

Zasipane potporne konstrukcije izvode se tako da se nakon pripreme podloge izgradi zid te se prostor iza zida ispuni određenim materijalom nakon završetka gradnje zida.

Drugim riječima, zasipane potporne konstrukcije se mogu graditi samo ako na njih ne pritišće tlo. Ako se zidovi grade u usjecima u kojima treba potkopati kosinu, izvode se kampade. Kampada je segment koji se izvodi kako bi se izbjegla nestabilnost kosine prilikom zasijecanja. U zasipne potporne konstrukcije spadaju: gabioni, armirano betonski zidovi L ili T poprečnog presjeka, gravitacijski masivni zidovi, neki tipovi montažnih zidova itd. [11]

Ugrađene potporne konstrukcije se izvode neposredno u tlu pa ne zahtijevaju iskop tla prije početka građenja. Ugrađene potporne konstrukcije se najčešće izvode u okolnostima koje su nepovoljne za zasipane potporne konstrukcije, na primjer u blizini postojećih zgrada gdje iskop može izazvati odrone i urušavanje tla, što može utjecati na stabilnost susjednih građevina. [11]

Ovaj tip konstrukcije se najčešće izvodi tako da se predgotovljeni elementi (armirano betonske ili čelične talpe) zabijaju u tlo. Čelične talpe su čelični elementi napravljeni od valjanog čelika. Talpe se spajaju na rubovima te tako tvore zid. oblikovani kako bi omogućili spajanje niza takvih elemenata u zidove. [11]

Druga varijanta izvedbe ugrađenih potpornih konstrukcija se izvodi tako da se u tlu izreže prostor namijenjen za armaturne koševе te se zatim zasipaju svježim betonom te vibriraju.

U ugrađene potporne konstrukcije spadaju: zidovi od talpi ili zbijenih platica, armirano betonske dijafragme, konstrukcije od čavlanog tla, pilotne stijene od zbijenih ili bušenih pilota. [11]

2) Prema **vrsti materijala**, potporni zidove dijele se na:

- Zidovi od nasutog materijala ojačani čeličnim kavezima (Slika 12)



Slika 12: Zid od nasutog materijala ojačan čeličnim kavezom (gabion) [13]

- Zidovi od nasutog materijala ojačani geomrežama (Slika 13)



Slika 13: Zid od nasutog materijala ojačan geomrežom [13]

- Zidovi od lomljenog i grubo klesanog kamena (Slika 14, Slika 15)



Slika 14 : Zidovi od lomljenog kamena [13]



Slika 15: Zid od klesanog kamena [13]

- Zidovi od betona/armiranog betona (Slika 16, Slika 17)



Slika 16: Armirano-betonski potporni zid [15] Slika 17: Zid od betonskih montažnih komada [16]

- Drveni zidovi (Slika 18) [8]



Slika 18: Potporni zid od drva [16]

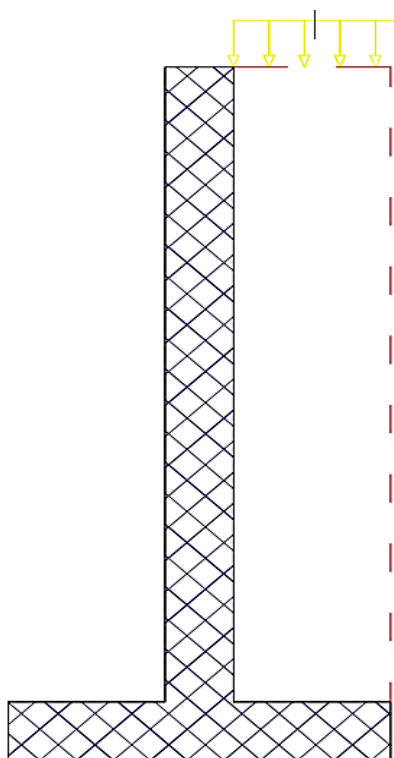
3) Prema **načinu nošenja**, potporne zidove dijele se na:

- Raščlanjeni potporni zidovi
- Zidovi s konzolom
- Zidovi sa zategama
- Zidovi od montažnih elemenata
- Gravitacijski potporni zidovi [3]

Zidovi od armiranog betona su tanke armirano betonske konstrukcije koje savijanjem prenose opterećenje aktivnog pritiska tla.

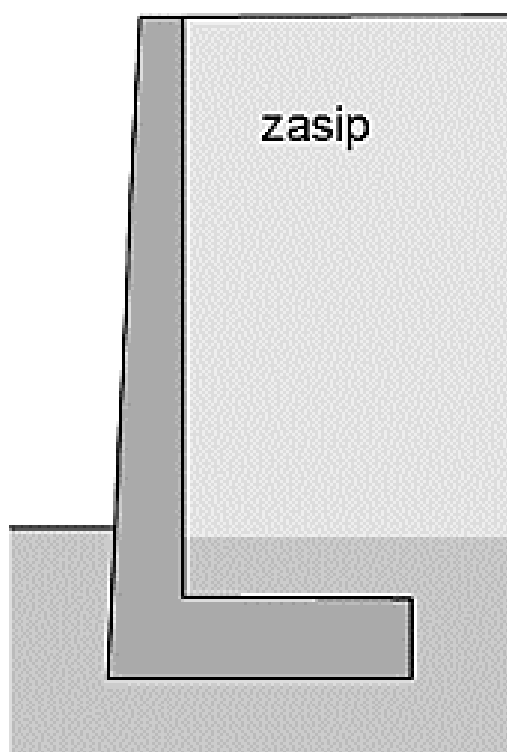
Armiranobetonski zidovi koriste se vrlo često zbog jednostavnosti izvedbe i relativno male potrošnje betona. Kod izvođenja prvo je potrebno iskopati tlo te pripremiti oplatu u koju se postavlja armatura. Temeljna ploča se mora nalaziti ispod granice smrzavanja. Zatim se u oplatu dodaje svježi beton i vibrira. Armirano-betonska konzola najčešće je upeta u temeljnu ploču, u T ili L presjek (Slika 19, Slika 20). Dio iza zida se nasipa materijalom što osigurava stabilnost. Tlo kojim se nasipa treba biti vodopropusno te se stoga najčešće koriste kameni nasipi (npr. kamen breča). Na Slici 21 su dani omjeri dimenzija armirano betonskih potpornih zidova. [11]

Upravo ovaj tip potpornog zida je izveden u našem projektu kao mjera sanacije klizišta na cesti Vrh Roman.

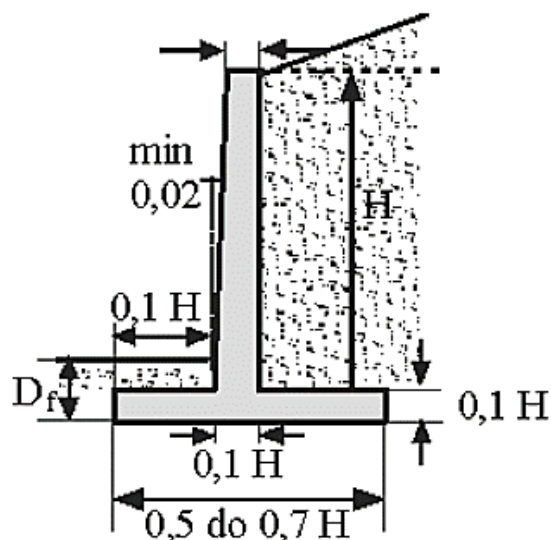


Slika 19: Armirano-betonski zid T- presjeka

(izradio autor)



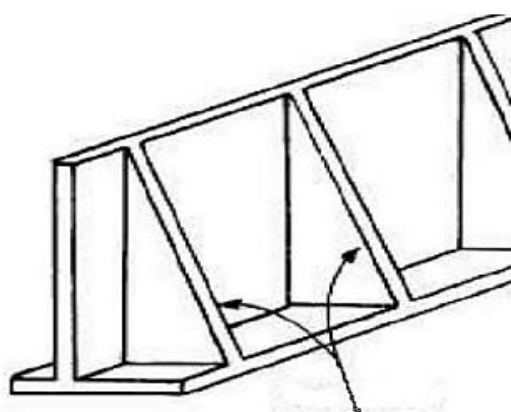
Slika 20: Armirano-betonski zid L- presjeka [11]



Slika 21: Omjeri dimenzija AB potpornog zida T oblika [11]

Potporni zid s kontraforama

Najveći moment savijanja je u spoju konzole i temeljne ploče. Umjesto povećavanja dimenzija poprečnog presjeka, mogu se dodati kontrafore (Slika 22). To su rebra za ojačanje tj. poprečni zidovi koji se postavljaju na razmaku od 3 do 5 metara. One povećavaju učinkovitost zidova, a mogu se izvesti s obje strane zida. [11]

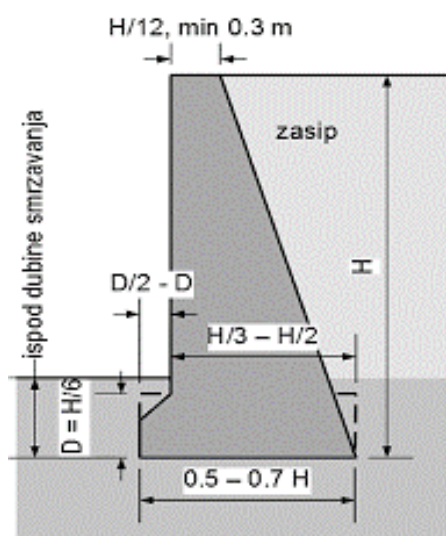


KONTRAFOR

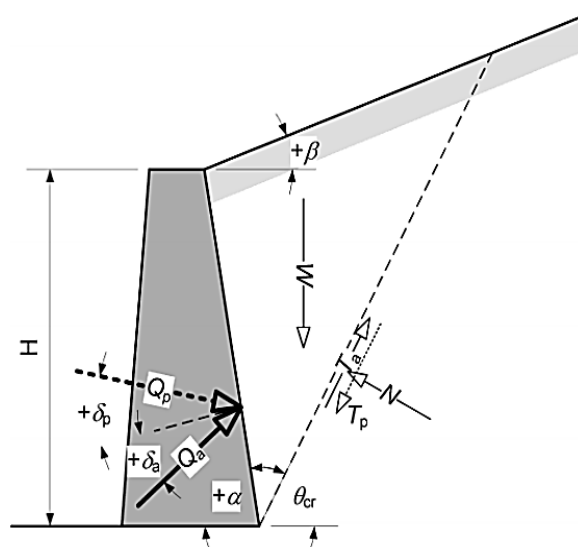
Slika 22: Potporni zid s kontraforama iza zida [12]

Gravitacijski masivni zid je najčešća vrsta potpornog zida (Slika 23). Stabilnost zida postiže se velikom težinom zida (Slika 24). Materijal kojim se izvode ovakvi zidovi je beton, a u prošlosti su se izvodili od opeke ili kamena. [11]

Gravitacijski masivni zidovi, (Slika 23) su jednostavni za izvođenje, a mogu se graditi montažno i monolitno. Najveća mana ove vrste zida je velika količina potrebnog materijala. Izvode se do visine $H = 6\text{m}$.



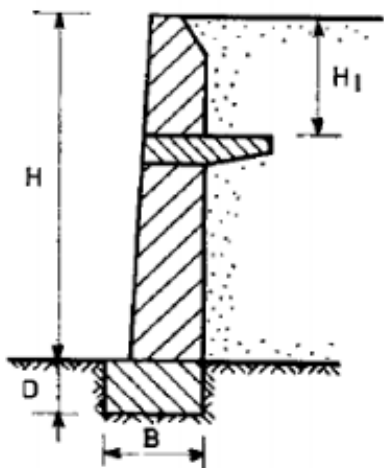
Slika 23: Masivni betonski zid [3]



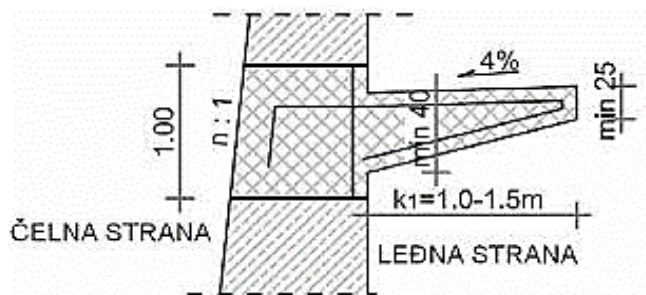
Slika 24: Kutevi djelovanja sila [11]

Zidovi s konzolom (Slika 25) izvode se tako da se stražnjoj plohi gravitacijskog zida na određenoj visini doda konzola od armiranog betona (Slika 26). Ta konzola koristi dio težine materijala da promjeni smjer resultantne sile koja djeluje na zid. [12]

Zidovi s konzolom se koriste zbog uštede materijala, posebice kod visokih zidova. Zid se zbog svoje visine i načina nošenja izvodi postepeno. Prvo se betonira temelj te jedan dio visine zida, a zatim stražnji dio nasipa materijalom te zbija. Nakon toga se betonira dio zida do konzole te se nasipa i zbija. Potom se postavlja konzola i se betonira dio iznad nje te se zasipa materijalom. [11]



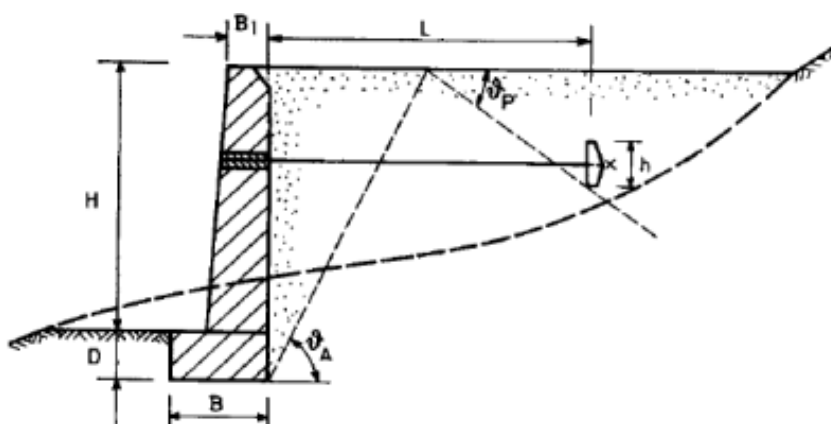
Slika 25: Potporni zid s konzolom [12]



Slika 26: Detalj konzole [11]

Zidovi sa zategama (Slika 27) najčešće se koriste za zidove većih visina zbog uštede betona. Zatege preuzimaju vodoravnu komponentu tlaka zasipa. Potrebno ih je postaviti na pravu visinu, koja ovisi o materijalu iza zida, a iznosi oko 60% visine. Visina zida mora osigurati potreban otpor sili zatege. [11]

Sidra ili zatege se postavljaju na razmaku od 1,5 do 4 metra. Zid prihvaća opterećenja iz zatega preko horizontalne grede na koju su zatege priključene.



Slika 27: Potporni zid sa zategama [12]

Gabioni su učestali tip potpornih konstrukcija u primorskoj Hrvatskoj zbog velikih količina kamena (Slika 28). Proizvode se punjenjem gabionskih koševa lomljenim kamenom (Slika 29). Gabionski koš je načinjen od pocinčane čelične žice koja je pojačana

na rubovima. Dimenzije koševa mogu varirati, ali najčešće dimenzije su 2 m *1 m *1 m. [11]

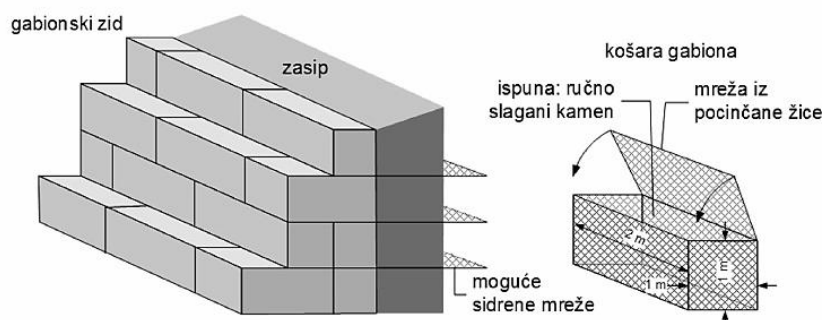
Za postavljanje gabionskih zidova nisu potrebni temelji. Na ravnu podlogu se postavljaju prazne košare te se u njih slaže lomljeni kamen. Nakon što se žičana košara napuni kamenom do vrha, zatvori se te veže čeličnom žicom jednakog presjeka. Taj postupak se ponavlja do zahtijevane visine zida. [12]

Najveće prednosti ovih zidova su vodopropusnost, jednostavnost izgradnje, relativno niska cijena, dobra mehanička stabilnost zbog nalijevanja, mogućnost nadogradnje, dugi vijek trajanja, usklađenost s okolišem. Trajnost ovih konstrukcija najviše ovisi o kvaliteti žice od kojih su koševi izrađeni. [11]

Gabionske zidove prema proizvođačima dijelimo na: Terramesh i Maccaferri gabione.



Slika 28: Gabionski potporni zid [17]



Slika 29: Skica gabionskog zida i metalne košare [12]

Zidovi od montažnih elemenata se montiraju i slažu na gradilištu. Montažni dijelovi mogu biti od čelika, drva ili armiranog betona. Najbolji izbor za ispunu su nekoherentni materijali kao što su pijesak, šljunak, drobljeni ili sitno lomljeni kamen. Ispuna mora biti vodopropusna. Prednost ovih zidova brza i lagana izvedba. [11]

Armirano tlo je relativno jeftin način povećavanja vlačne čvrstoće te opće nosivosti tla. Na nekoherentno tlo se postavlja plastična ili metalna armatura. Armatura je mreža koja preuzima vlačna opterećenja i drži nasipni materijal na okupu. Tlo se po potrebi dodatno pojačava geomrežama, geosaćima, čeličnim trakama i sličnim materijalima koji mogu preuzimati vlačna opterećenja. [12]

4. PROJEKTIRANJE PREMA EC7

4.1 Eurokod

Sustav normi i odredbi pri projektiranju građevinskih konstrukcija koji se primjenjuje u Europi nazivamo Eurokodovi. Eurokod se sastoji od 10 normi:

- EN 1990 Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija,
- EN 1991 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije,
- EN 1992 Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija,
- EN 1993 Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija,
- EN 1994 Eurokod 4: Projektiranje kompozitnih čeličnih i betonski konstrukcija,
- EN 1995 Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija,
- EN 1996 Eurokod 6: Projektiranje zidanih konstrukcija,
- EN 1997 Eurokod 7: Geotehničko projektiranje,
- EN 1998 Eurokod 8: Projektiranje konstrukcija otpornih na potrese,
- EN 1999 Eurokod 9: Projektiranje aluminijskih konstrukcija. [18]

Prema zahtjevima Eurokoda, svaka građevina mora zadovoljavati zahtjeve nosivosti, trajnosti, uporabivosti, pouzdanosti, otpornosti na požar, otpornosti na potres itd. Europske norme građevinu definiraju kao nešto što ima rok trajanja i ne traje vječno. [19]

4.2 Eurokod 7: Geotehničko projektiranje

Za geotehničko projektiranje primjenjuje se norma EN 1997 EC7. Možda najznačajniji zahtjev Eurokoda 7 je slijedeća obaveza u projektiranju prema graničnim stanjima: "Za svaku geotehničku projektну situaciju nužno je potvrditi da se nijedno relevantno granično stanje nosivosti (...) ne može ostvariti." [19]

Tradicionalno geotehničko projektiranje sadrži u pravilu cjelovite faktore sigurnosti, koji unutar proračuna uvažavaju brojne nepoznanice, i ne postoji kontrola nad dostignutom

razinom vrijednosti pojedine veličine u pojedinim dijelovima analize. Pristup analize pri graničnim stanjima prisiljava projektanta da razmišlja puno kruće o mogućim načinima pojave sloma. Takav način razmišljanja vodi k mnogo racionalnijoj razini pouzdanosti cijele konstrukcije. Granično stanje moguće je potvrditi proračunima, propisanim mjerenjima, eksperimentima na modelima i probnim opterećenjem, observacijskim metodama ili kombinacijom ovih pristupa. [19]

Nije potrebno provjeravati sva granična stanja, ukoliko jedno od graničnih stanja dominira, ostala se mogu verificirati odgovarajućim kontrolama.

Opća pravila geotehničkog projektiranja dana su u prvom dijelu Eurokoda 7 (EN 1997-1). EN 1997-1 definira parametre tla, karakteristične i projektne vrijednosti, opća pravila za istraživanje zemljišta, pravila za projektiranje osnovnih tipova geotehničkih konstrukcija te pretpostavke za izvedbene procedure. [18]

4.3 Geotehničke kategorije

EC7 uvodi klasifikaciju od tri geotehničke kategorije kako bi se racionalizirao opseg istražnih radova i složenost postupka dokazivanja stabilnosti i uporabivosti za građevine bitno različitih stupnjeva složenosti i različitih stupnjeva izloženosti visokom riziku. [20]

Tako se geotehnička kategorija 1 odnosi na najjednostavnije konstrukcije (na pr. temelji jednokatnica, niski zidovi i nasipi i sl.) gdje istražni radovi mogu obuhvaćati najjednostavnije radnje (pregled terena, primjena iskustva sa susjednih objekata i sl.), a dokazi se stabilnosti mogu zamijeniti usporedivim iskustvom. Sadržaj se norme odnosi prvenstveno na geotehničku kategoriju 2 koja obuhvaća rutinske geotehničke zahvate i čini pretežni sadržaj većine geotehničkih projekata. Za geotehničku kategoriju 3, koju čine vrlo složeni zahvati i zahvati velikog rizika (na pr. temeljenje na mekom tlu, složene građevne jame u blizini postojećih objekata, klizišta, tuneli, visoke nasute brane, nuklearne elektrane i sl.) norma ne daje posebne upute, već traži rigoroznije kriterije i postupke istražnih radova, projektiranja, opažanja i nadziranja pod vodstvom geotehničara specijalista s odgovarajućim (i dokazanim) iskustvom, a normiranje prepušta potrebama. [20]

Geotehničke kategorije definirane su kao primijenjena pravila, a ne kao principi. Dakle, postoje i alternativna pravila usvajanja geotehničkog rizika za pojedine geotehničke konstrukcije koje se mogu koristiti (Tablica 1, Tablica 2). [19]

Potporni zid izrađen kao mjera sanacije klizišta Vrh Roman spada u 2. geotehničku kategoriju.

Tablica 1: Pravila usvajanja geoteh. rizika prema kategorijama [21]

| Geotehnička kategorija | Uključuje | Projektni zahtjevi | Projektna procedura |
|---|--|--|--|
| 1 | Male i relativno jednostavne konstrukcije sa neznatnim rizikom | Zanemariv rizik od moguće nestabilnosti ili pomaka tla, uvjeti tla su jednostavni, nema iskopa ispod razine podzemne vode (ili je iskop jednostavan) | Rutinska projektna metoda i izvedba radova |
| Nema primjera u EN 1997-1 | | | |
| 2 | Konvencionalni tipovi konstrukcija i temelja bez očekivanja rizika ili zahtjevnog tla ili uvjeta opterećenja | Zadovoljavaju kvantitativni geotehnički podaci o tlu i analize koje zadovoljavaju osnovne zahtjeve | Rutinska terenska i laboratorijska ispitivanja Rutinsko projektiranje i izvedba |
| Primjeri: plitki temelji, temeljne ploče i piloti, potporni zidovi i druge konstrukcije koje pridržavaju tlo ili vodu; iskopi; mostovni nasipi i krila; nasipi i zemljani radovi; geotehnička sidra i pridržane konstrukcije; tuneli u čvrstoj neraspucanoj stijenskoj masi, koji nisu izloženi posebnim pritiscima vode ili drugim zahtjevima | | | |
| 3 | Konstrukcije ili dijelovi konstrukcija koji nisu uključeni u gornje 2 kategorija | Uključuje dodatne zahtjeve, pristupe i pravila osim onih određenih u Eurokodu 7 | |
| Primjeri: veoma velike i neuobičajene konstrukcije; konstrukcije koje uključuju neuobičajeni rizik ili neuobičajeno ili očekivano teške uvjete tla; konstrukcije u seizmičkim područjima; konstrukcije u područjima mogućih pojava nestabilnosti u tlu ili stalnih pomaka u tlu koje zahtijevaju odgovarajuća istraživanja ili posebna mjerenja | | | |

4.4 Granična stanja

Pri projektiranju geotehničke konstrukcije inženjer mora ustanoviti mogućnost pojave graničnog stanja nosivosti ili graničnog stanja uporabivosti koje se može dogoditi konstrukciji pod odgovarajućim djelovanjima. [19]

Granično stanje nosivosti je ono koje dovodi do pojave sloma tla ili konstrukcije. Granično stanje uporabivosti je ono koje dovodi do pojave neočekivanih veličina deformacija, vibracija, buke, toka vode ili zagađenja. [19]

Eurokod 7 razlikuje 5 graničnih stanja nosivosti za koje su predviđeni različiti parcijalni faktori:

1. (GEO) slom ili velika deformacija tla pri kojoj čvrstoća tla ili stijene bitno pridonosi otpornosti (na pr. slom tla ispod temelja, slom tla oko vodoravno opterećenog pilota, veliko slijeganje pilota, naginjanje potpornog zida, čupanje sidra iz tla, slom i propadanje tla iznad tunelskog iskopa, klizanje i odron tla, značajno popuštanje oslonca luka mosta, izdizanje i slom dna građevne jame u mekom tlu) [20]
2. (STR) slom ili velika deformacija betonske, metalne, drvene ili zidane konstrukcije ili njenog elementa, uključivo temelje, pilote, sidra i potporne zidove, u kojima čvrstoća konstruktivnog materijala bitno pridonosi otpornosti (na pr. slom pri jakom savijanju armirano-betonske dijafragme, izvijanje pilota u jako mekom tlu, klizanje blokova obalnog zida na vodoravnim reškama među blokovima, popuštanje čelične šipke geotehničkog sidra pod vlačnim opterećenjem, propadanje podložne ploče sidra kroz sloj prskanog betona zaštitne potporne konstrukcije, slom pilota od vodoravnog opterećenja) [20]
3. (EQU) gubitak ravnoteže konstrukcije ili tla razmatranog kao kruto tijelo, u kojem čvrstoća konstruktivnog materijala ili tla značajno ne doprinosi otpornosti (na pr. prevrtanje gravitacijskog betonskog zida na podlozi od čvrste stijene) [20]
4. (UPL) gubitak ravnoteže konstrukcije ili tla uslijed uzgona vode ili drugih vertikalnih sila (na pr. izdizanje lagane podzemne konstrukcije pod pritiskom uzgona podzemne vode, izdizanje i probijanje slabopropusnog sloja tla na dnu

građevne jame od uzgona podzemne vode u nižem vodonosnom sloju, čupanje temelja dalekovodnog stupa) [20]

- (HYD) hidrauličko izdizanje (hidraulički slom), interna erozija tla uzrokovana hidrauličkim gradijentima (na pr. hidraulički slom u pjeskovitom dnu građevne jame uslijed vertikalnog strujanja vode prema dnu jame, interna erozija pjeskovitog tla od strujanja vode u nasipu i stvaranje erozijskih kanala) Prva tri granična stanja uglavnom se podudaraju s onima iz starog Eurokoda 7, dok su zadnja dva nova. U EN 1990 još se definira i granično stanje vezano za zamor materijala (FAT), ali toga nema u EN 1997. [20]

Parcijalni faktori za djelovanja i za svojstva materijala razlikuju se za pojedina od ovih pet graničnih stanja (Tablica 2, Tablica 3, Tablica 4).

Tablica 2 : Provjera stabilnosti za granična stanja nosivosti [21]

| Granično stanje | Provjera otpornosti | Napomene |
|-----------------|--|---|
| EQU | $E_{dst;d} \leq E_{stb;d} + T_d$ | $E_{dst;d}$ je destabilizirajući, a $E_{stb;d}$ stabilizirajući proračunski učinak djelovanja, a T_d je moguća otpornost tla |
| STR/GEO | $E_d \leq R_d$ | E_d je proračunski učinak djelovanja, a R_d proračunska otpornost |
| UPL | $V_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d$ | $V_{dst;d} = G_{dst;d} + Q_{dst;d}$ je kombinacija trajnog (G) i prolaznog (Q) proračunskog destabilizirajućeg vertikalnog djelovanja, a $G_{stb;d}$ je proračunsko stabilizirajuće vertikalno trajno djelovanje; R_d je moguća proračunska otpornost tla na izdizanje konstrukcije |
| HYD | $u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d}$ ili $S_{dst;d} \leq G'_{stb;d}$ | $u_{dst;d}$ odnosno $S_{dst;d}$ su proračunski destabilizirajući tlak porne vode na dnu stupca tla odnosno strujna sila u stupcu tla, a $\sigma_{stb;d}$ odnosno $G'_{stb;d}$ su ukupno proračunsko vertikalno naprezanje na dnu stupca odnosno efektivna težina stupca tla |

Tablica 3: Parcijalni koeficijenti za djelovanja i učinke za stanja STR i GEO [21]

| (1) Parcijalni koeficijenti za djelovanja (γ_F) i učinke djelovanja (γ_E) | | | | |
|--|------------|------------|------|-----|
| Djelovanja | | simbol | A1 | A2 |
| trajna | nepovoljna | γ_G | 1.35 | 1 |
| | povoljna | γ_G | 1 | 1 |
| prolazna (povremena) | nepovoljna | γ_Q | 1.5 | 1.3 |
| | povoljna | γ_Q | 0 | 0 |

Tablica 4: Parcijalni koeficijenti parametara tla za stanja STR i GEO [21]

| (2) Parcijalni koeficijenti za geotehničke parametre (γ_M) | | | |
|---|-------------------------------|----|------|
| Svojstvo | simbol | M1 | M2 |
| tangens efektivnog kuta trenja | $\gamma_{\varphi'}$ | 1 | 1.25 |
| efektivna kohezija | $\gamma_{c'}$ | 1 | 1.25 |
| nedrenirana i jednoosna čvrstoća | γ_{cu} i γ_{qu} | 1 | 1.4 |
| gustoća | γ_{ρ} | 1 | 1 |

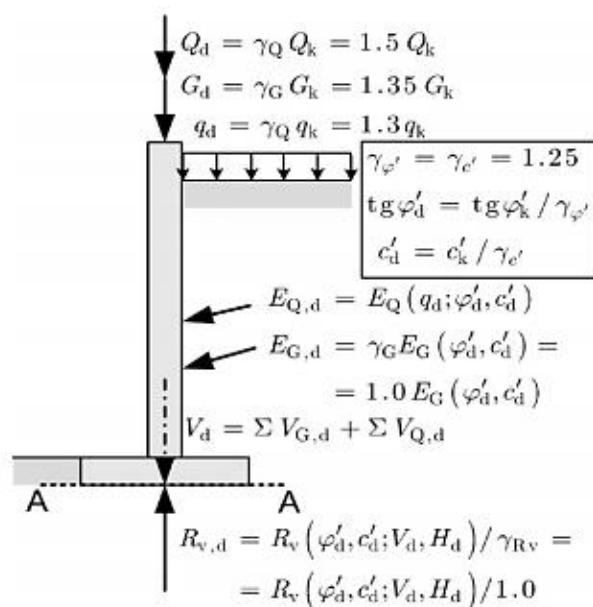
Tablica 5: Parcijalni koeficijenti za otpornosti za STR i GEO [21]

| (3) Parcijalni koeficijenti otpornosti (γ_R) | | | | | | |
|---|--------------------|----------------|------|------|-----|-----|
| Otpornost | | simbol | R1 | R2 | R3 | R4 |
| plitki temelji | nosivost | $\gamma_{R,v}$ | 1 | 1.4 | 1 | - |
| | klizanje | $\gamma_{R,h}$ | 1 | 1.1 | 1 | - |
| zabijeni piloti | stopa | γ_b | 1 | 1.1 | 1 | 1.3 |
| | plašt (tlak) | γ_s | 1 | 1.1 | 1 | 1.3 |
| | stopa+plašt (tlak) | γ_t | 1 | 1.1 | 1 | 1.3 |
| | plašt (vlak) | γ_{sit} | 1.25 | 1.15 | 1.1 | 1.6 |
| bušeni piloti | stopa | γ_b | 1.25 | 1.1 | 1 | 1.6 |
| | plašt (tlak) | γ_s | 1 | 1.1 | 1 | 1.3 |
| | stopa+plašt (tlak) | γ_t | 1.15 | 1.1 | 1 | 1.5 |
| | plašt (vlak) | γ_{sit} | 1.25 | 1.15 | 1.1 | 1.6 |
| prednapeta sidra | privremena | $\gamma_{a,t}$ | 1.1 | 1.1 | 1 | 1.1 |
| | trajna | $\gamma_{a,p}$ | 1.1 | 1.1 | 1 | 1.1 |
| potporne konstrukcije | nosivost | $\gamma_{R,v}$ | 1 | 1.4 | 1 | - |
| | klizanje | $\gamma_{R,h}$ | 1 | 1.1 | 1 | - |
| | otpor tla | $\gamma_{R,e}$ | 1 | 1.4 | 1 | - |
| kosine i opća stabilnost | otpor tla | $\gamma_{R,e}$ | 1 | 1.1 | 1 | - |

Eurokod 7 navodi tri projektna pristupa za provjeru otpornosti, koji se odnose na granično stanje STR i GEO (provjere na klizanje, prevrtanje te nosivost temeljnog tla), dok za ostala granična stanja navodi jedinstven pristup. Ta se tri projektna pristupa uglavnom razlikuju po fazi računa u kojoj će se primijeniti parcijalni koeficijenti: na izvorne podatke (djelovanja i svojstva materijala) ili na rezultate proračuna (učinke djelovanja i otpornosti). [21]

Prilikom izrade projekta potpornog zida na cesti Vrh Roman, usvojen je proračunski pristup 3 (PP3) (Slika 30).

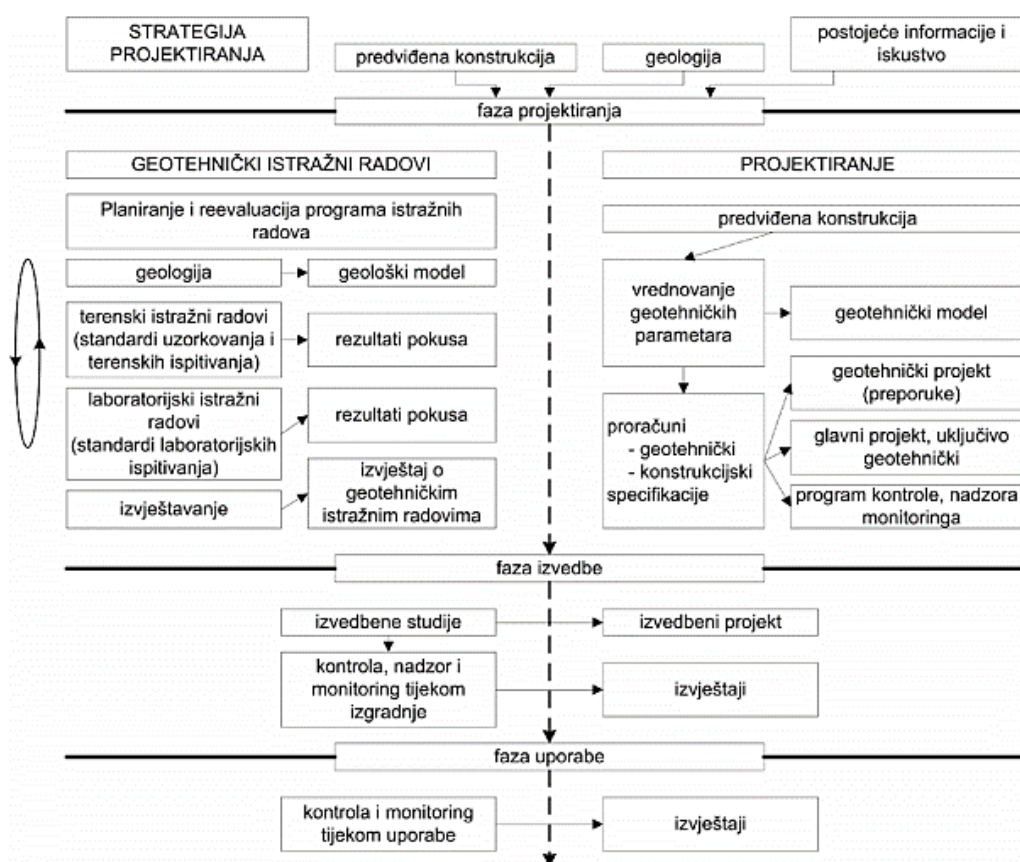
Hrvatska je, za sve geotehničke proračunske situacije, prihvatila proračunski pristup 3 (PP3), s tim da se za vertikalnu nosivost pilota i za nosivost sidara, kao alternativa, može koristiti proračunski pristup 2 (PP2). Za PP3 vrijedi sljedeća kombinacija vrijednosti parcijalnih koeficijenata pri čemu su djelovanja direktno na konstrukciju i težina konstrukcije (primjerice, temelja), a su djelovanja koja se prenose kroz tlo i težina tla (primjerice, sile od aktivnoga tlaka). [21]



Slika 30: PP 3 za GSN ispod stope temelja [20]

4.5 Istražni radovi prema Eurokodu 7

Kod projektiranja prema EC7 su izrazito bitni istražni radovi. Geotehnički istražni radovi se provode u više koraka i faza zato što osobine tla na kojemu će se temeljiti bitno utječu na konstrukciju koja će se nalaziti na temeljnom tlu (Slika 31). Najvažniji parametri istražnih radova u geotehničkom inženjerstvu su položaj i količina podzemnih voda te nosivost i opće ponašanje tla. [21]



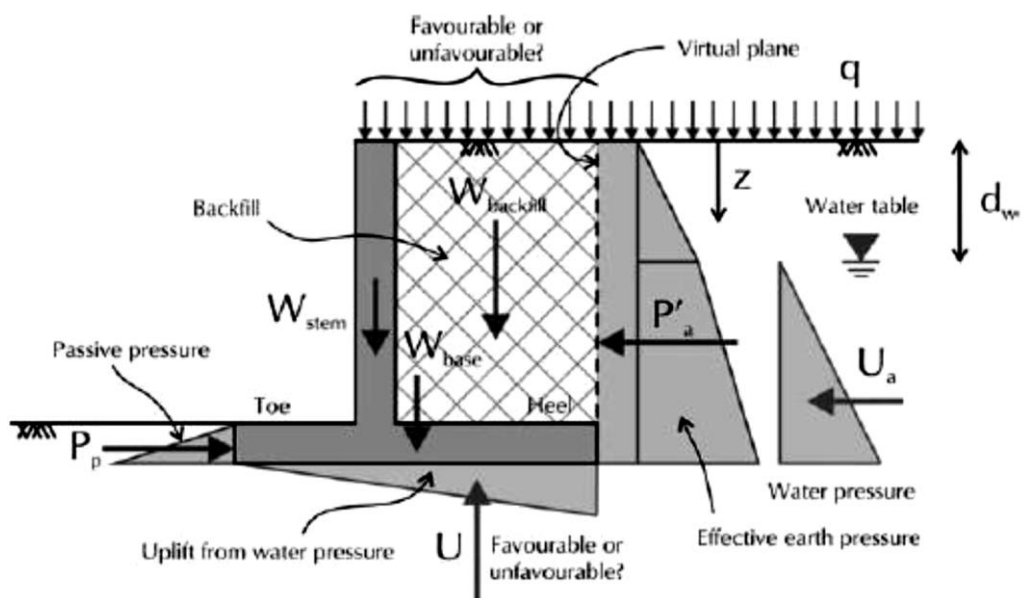
Slika 31: Faze ispitivanja temeljnog tla pri geotehničkom projektiranju, izvođenju i korištenju konstrukcija [19]

5. GRANIČNA STANJA KOD POTPORNIH KONSTRUKCIJA

Sve geotehničke građevine, pa tako i potporne konstrukcije, moraju zadovoljiti kriterije te granična stanja jasno određena Eurokodom 7.

Na potporne zidove djeluju slijedeća opterećenja (Slika 32):

- Vlastita težina potpornog zida
- Aktivni potisak tla zasipa iza zida
- Hidrostatski pritisak
- Hidrodinamičke sile
- Pasivni otpor tlo ispred temelja
- Reakcija tla ispod temelja
- Seizmička opterećenja [3]



Slika 32: Shematski prikaz opterećenja koja djeluju na potporni zid T-presjeka [22]

Tipična granična stanja nosivosti obzirom na koja treba provjeriti pouzdanost konstrukcije:

- rotacijski slom
- vertikalna stabilnost stijene
- slom elemenata stijene
- hidraulički slom dna građevne jame
- izdizanje dna jame zbog prevelikih vertikalnih pritisaka iza zida
- izdizanje konstrukcije ili njenog dijela zbog djelovanja uzgona. [3]

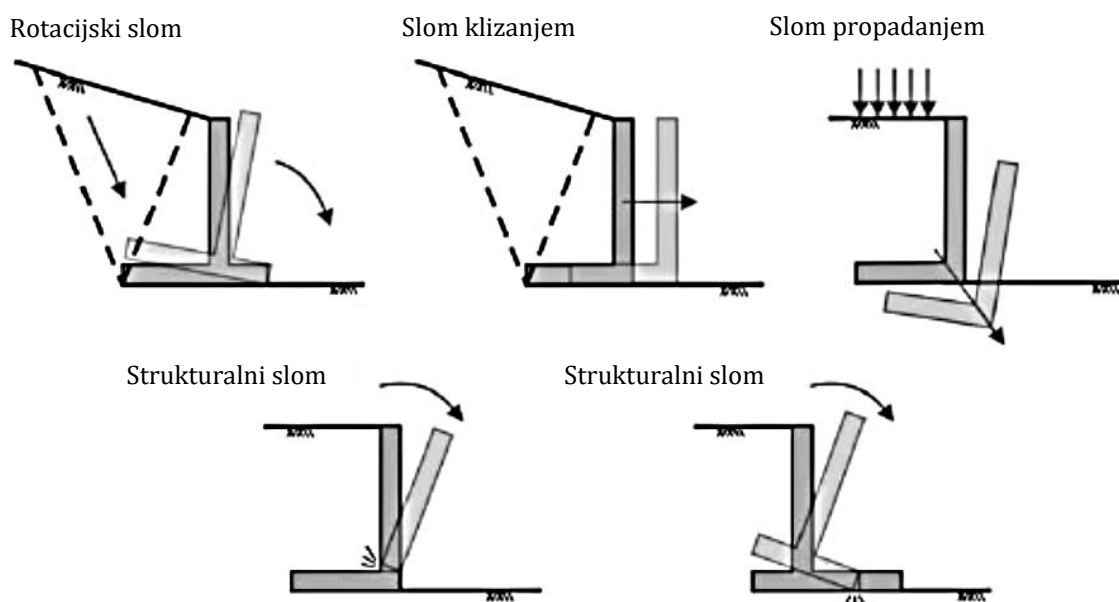
Granična stanja uporabivosti mogu biti:

- preveliki pomaci stijene koji izazivaju pomake
- preveliki pomaci koji nastaju tijekom izgradnje stijene
- pomaci od promjene slike strujanja podzemne vode
- nepovoljna promjena režima procjeđivanja u tlu i slično. [3]

Pri analizi stabilnosti potpornih zidova potrebno je dokazati stabilnost kroz slijedeće kontrole:

- gubitak nosivosti tla ispod stope temelja
- kontrola stabilnosti na klizanje
- kontrola stabilnosti na prevrtanje. [3]

Na Slici 33 prikazani su neki of mogućih tipova graničnih stanja nosivosti za T I L zidove.



Slika 33: Mogući tipovi graničnih stanja nosivosti kod zidova L i T oblika [22]

5.1 Gubitak nosivosti tla ispod stope temelja

Opterećenja koja djeluju na zid te opterećenja od zida prenose se na temeljnu stopu, koja ta opterećenja prenosi o tlo ispod sebe. Kako bi se spriječio slom ispod stope temelja, proračunom, koji se vrši na isti način kao i kod svakog drugog plitkog temelja, se utvrđuje odnos naprezanja koja djeluju na tlo te otpornosti tla ispod temeljne stope. [3]

Ukoliko su naprezanja prevelika, tj. ako je otpornost tla premala, tlo se može pojačati armiranjem ili slojem podložnog betona.

Osnovni uvjeti koji se moraju zadovoljiti kod ove kontrole nosivosti dani su u formulama (1) i (2):

$$V_d < R_d \quad (1)$$

$$q_{ed} < q_{Rd} \quad (2)$$

gdje su:

q_{ed} -proračunsko naprezanje u tlu

q_{Rd} - računaska otpornost tla

V_d - proračunska vertikalna reakcija ispod stope temelja zida

R_d - računaska čvrstoća tla ispod temelja

- Računska otpornost tla q_{Rd} opisana je u formuli (3):

$$q_{Rd} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \quad (3)$$

Pri čemu su:

$N_c; N_q; N_\gamma$ – faktori nosivosti

c – kohezija

γ – zapreminska težina tla

$s_c; s_\gamma; s_q$ – faktori oblika

$i_c; i_\gamma; i_q$ – faktori nagiba rezultante

B – širina temelja

5.2 Gubitak nosivosti konstrukcije klizanjem

Najučestaliji krivac za gubitak nosivosti klizanjem su prevelike horizontalne sile. Do sloma klizanjem dolazi kada su horizontalni utjecaji u smjeru prema van veći od ukupne težine zida, tj. sile kojom zid tj. temelj vertikalno pritišće tlo. [3]

Horizontalne sile kod potpornih zidova ovise vrsti materijala u zasipu, odnosno kuta pod kojim ta opterećenja djeluju te kohezivnih svojstava materijala.

Osnovni uvjet koji se mora zadovoljiti kod ove kontrole nosivosti dan je u formuli (4):

$$H_{ED} < H_{RD} \quad (4)$$

gdje su:

H_{ED} – proračunska horizontalna reakcija,

H_{RD} – odgovarajuća ukupna nosivost horizontalnog djelovanja

- Proračunska horizontalna reakcija H_{ED} zadana je formulom (5):

$$H_{ED} = H_{AG} \times \gamma_G + H_{AQ} \times \gamma_Q \quad (5)$$

pri čemu su:

H_{AQ} – Horizontalna komponenta stalne sile

H_{AQ} – horizontalna komponenta promjenjive sile

γ_G – parcijalni faktor za stalno opterećenje

γ_Q – parcijalni faktor za promjenjivo opterećenje

- odgovarajuća ukupna nosivost horizontalnog djelovanja H_{RD} zadana je formulom (6):

$$H_{RD} = \frac{W_{dav} \times \tan(\delta)}{\gamma_{RH}} \quad (6)$$

pri čemu su:

W_{dav} – proračunska suma vertikalnih reakcija

δ – kut trenja između temelja i tla

γ_{RH} – parcijalni faktor za otpor klizanju

5.3 Slom potporne konstrukcije prevrtanjem

Otpornost potporne konstrukcije na prevrtanje se provjerava za najkritičniju točku presjeka. U osnovi, suma momenata koji djeluju u povoljnom smjeru oko najudaljenije točke presjeka (stabilizacijski momenti) mora biti veći od sume momenata koji djeluju u nepovoljnom smjeru, a većinom su to djelovanja prouzročena aktivnim tlakom (destabilizacijski momenti). [11]

Osnovni uvjet koji se mora zadovoljiti kod ove kontrole nosivosti dan je u formuli (7):

$$M_{RD,dst}^1 < M_{ED,stb}^1 \quad (7)$$

Gdje su:

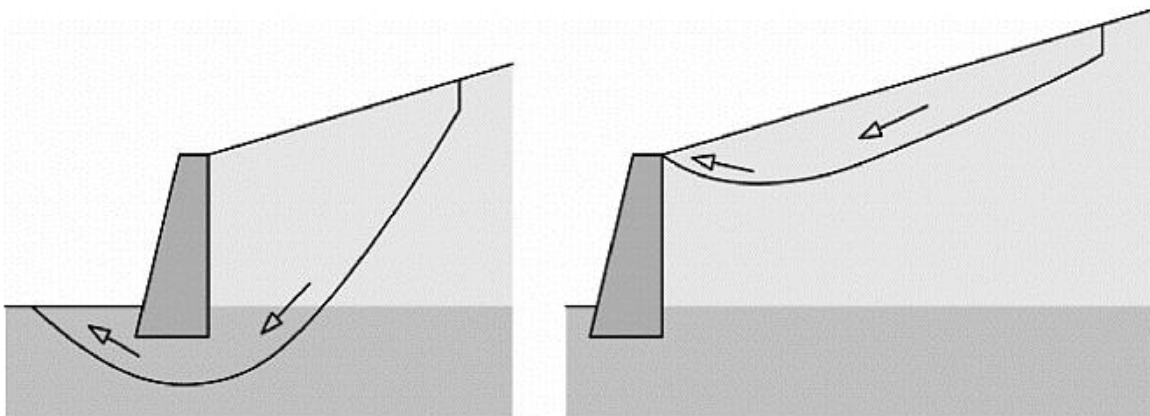
$M_{ED,stab}^1$ -stabilizirajući moment oko točke 1

$M_{RD,dst}^1$ -moment destabilizacije oko točke 1

- Moment destabilizacije oko točke 1 $M_{RD,dst}^1$ odredi se izračunom sume momenata oko te točke.

5.4 Globalna stabilnost

Globalna stabilnost najviše ovisi o vrsti tla na kojoj se gradi potporna konstrukcija. Slom se može dogoditi na raznim djelovima tla, a provjera globalne stabilnosti tla se provjerava metodama provjere stabilnosti kosina (Slika 34). [11]



Slika 34: Mogući slomovi uslijed globalne nestabilnosti tla [3]

6. ODRON NA CESTI VRH ROMAN (GROŽNJAN)

Utjecajem velikih količina oborina, na dijelu ceste u blizini Grožnjana, u naselju Vrh Roman (Slika 35) aktiviralo se klizište te onemogućilo odvijanje prometa. Iznad navedene ceste nalazi se suhozid visok otprilike 3 metra, a nagib padine ispod ceste gdje je nastalo klizište iznosi 27-35°. Klizište je zahvatilo oko 1,50 m širine i 90 metara dužine ceste.

Čelo klizišta jasno je izraženo i se nalazi na samoj cesti. Na klizištu su provedeni geotehnički istražni radovi u cilju utvrđivanja karakteristika temeljnog tla te adekvatnog odabira sanacijskih mjera. Geotehnički istražni radovi provedeni su iskopom 4 sondažne jame duž oštećene ceste na mjestima gdje se prometnica najviše oštetila. Pregledom temeljnih jama utvrđeno je stanje materijala u geotehničkom profilu te su definirani uvjeti temeljanja potporne konstrukcije. Na temelju tih istraživanja se pristupilo izradi ovog završnog rada.

Sanacija predmetnog klizišta izvesti će se izradom armirano-betonskog zida T-presjeka uz zasipanje vodopropusnim, nekoherentnim materijalom.



Slika 35: Slika ceste Vrh Roman

(preuzeto od mentora)

6.1 Istraživački radovi

Geotehnički istražni izvedeni su iskopom sondažnih jama uz oštećenu cestu. Terenski istražni radovi izveli su se iskopom četiri sondažne jame te njihovog pregleda i utvrđivanja položaja čvrste stijenske podloge.

Sondažne jame se koriste za ispitivanje tala na malim dubinama i iznad razine podzemne vode. Takve jame daju dobar pregled tla u geotehničkom profilu. Iskop je izveden do osnovne podloge, sloja pješčenjaka. [23]

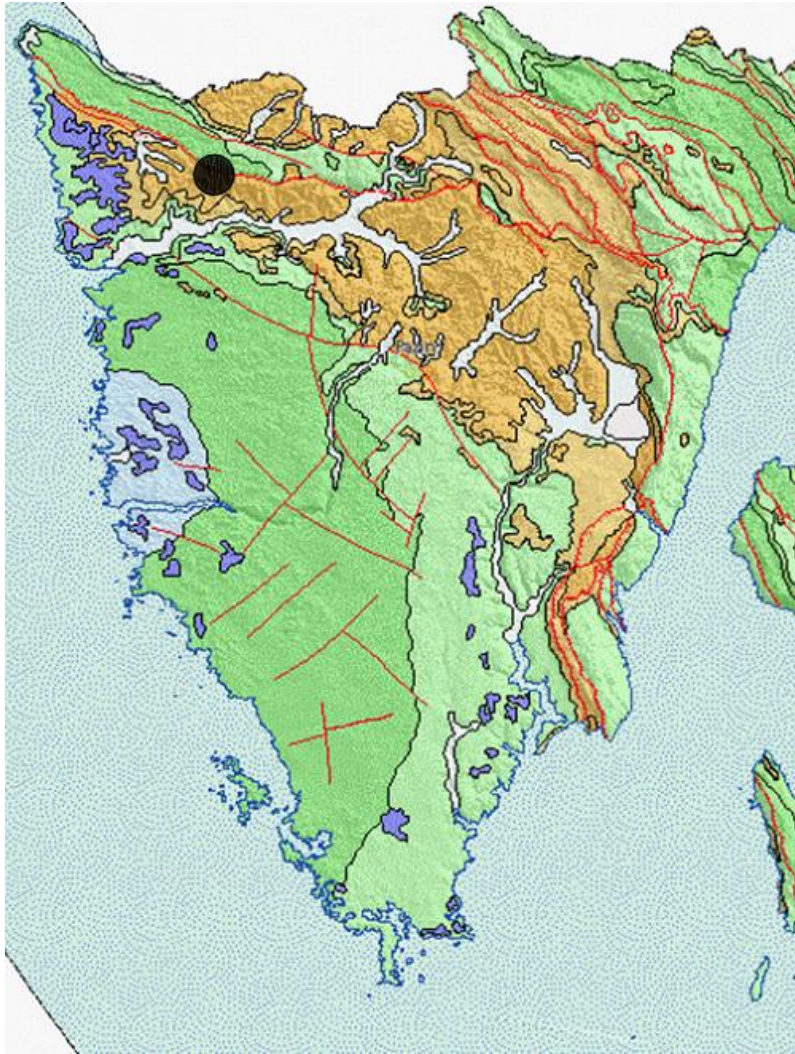
Parametri temeljnog tla potrebni za analize stabilnosti i dimenzioniranje konstrukcija utvrđeni su na osnovi rezultata geotehničkih istraživanja kao i usporedivog iskustva o parametrima materijala u pokrivaču te stijenske mase u podlozi na sličnim materijalima ispitanim na lokacijama u sličnim naslagama. [23]

6.2 Geološka građa

U procesu morfogeneze područja Istre, tijekom pleistocena pa i holocena, odvijala se diferencijalna erozija flišnih terena. Na dijelovima terena, gdje su više zastupljeni otporniji pješčenjaci i brečokonglomerati, stvorena su uzvišenja. [23]

Matičnu stijenu, koja izgrađuje naslage na kojima je smješten Grožnjan, predstavlja jedan stratigrafski član, breče, konglomerati, pješčenjaci, lapori i vapnenci. U inženjersko-geološkom smislu litice su izgrađene od dobro okamenjene stijene vapnenačkih konglomerata i pješčenjaka, međutim, iznad litica i u njihovoj podlozi uočavaju se i slabo okamenjeni lapori. [23]

Na Osnovnoj geološkoj karti (Slika 36) je vidljivo da bi slojevitost ovih naslaga trebala biti horizontalna, međutim, orijentacija slojevitosti lokalno je promijenjena, zbog geoloških struktura koje na Osnovnoj geološkoj karti nisu registrirane. Stijenska masa vapnenačkih konglomerata i pješčenjaka je raspucana po nekoliko setova uglavnom vertikalnih pukotina po kojima su formirani blokovi izduženog oblika. Osim ovog seta diskontinuiteta, prisutni su i drugi setovi koji odsijecaju blokove, kao što je slojevitost i druge pukotine. [23]



Slika 36: Osnovna geološka karta Istre [24]

Trošenje vapnenačkih stijena uglavnom je ograničeno na diskontinuitete koji su zbog toga otvoreni i djelomično okršeni, a djelomično su ispunjeni ispunom od gline i krša, koja je mjestimično ispirana. Matična stijena prekrivena je površinskim naslagama. U nekim površinskim dijelovima uočava se potpuno trošna laporovita stijena, koja je do te mjere degradirana da je poprimila značajke inženjerskog tla. Rezidualno tlo lapora prisutno na cijelom istraženom području, a njegova debljina iznosi nekoliko desetaka centimetara do približno jedan metar. Debljina pokrivača (rezidualnog tla i transportiranog tla koluvijalnog porijekla) na padinama se povećava, a vjerojatno je veća od jednog metra. [23]

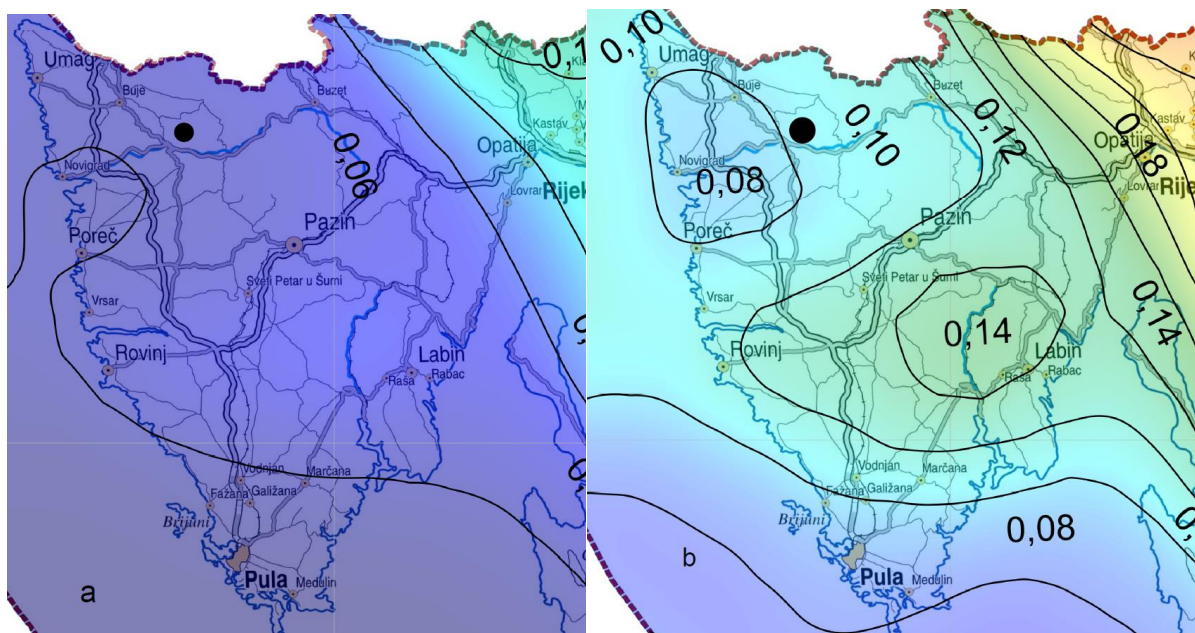
6.3 Seizmičnost šireg područja

Predmetna lokacija smještena je u neposrednoj blizini Grožnjana u sjevernom dijelu Istarskog poluotoka. Na području Grožnjana seizmička aktivnost je slabo izražena. [23]

Na slici 37 prikazana je karta potresnih područja Republike Hrvatske izrađena u približnom mjerilu 1:800.000 (Herak i dr., 2011). Vrijednosti prikazane na karti odgovaraju horizontalnim vršnim ubrzanjima tla tipa A (agR) koja se u prosjeku premašuju tijekom povratnog razdoblja od 95 i 475 godina (TNCR). [23]

Ubrzanja su izražena u jedinicama gravitacijskog ubrzanja g ($1\text{ g} = 9,81\text{ m/s}^2$). Iznosi poredbenih vršnih ubrzanja na karti prikazani su izolinijama s rezolucijom 0,02 g. Numerički navedene vrijednosti odnose se na prostor između dvije susjedne izolinije. Povratna razdoblja imaju smisla za procjenu ukupnog broja potresa koji se mogu očekivati tijekom nekog duljeg razdoblja. [23]

Vrijednost poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla agR (za temeljno tlo tipa A), s vjerojatnosti premašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR=95 za promatrano područje prikazani su na slici 36a, a iznose 0,06 g. Vrijednost poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla agR (za temeljno tlo tipa A), s vjerojatnosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR=475 za promatrano područje prikazani su na slici 36b, a iznose 0,10 g. [23]



Slika 37: Karta potresnih područja Istre a) za povratno razdoblje od 95 godina, b) za povratno razdoblje od 475 godina [25]

6.4 Hidrogeološke značajke lokacije

Hidrogeološke karakteristike istarskoga poluotoka podudaraju se s geološkim rasporedom karbonata na širem prostoru vapnenačkoga sastava, uz određene litostratigrafske i sedimentološke specifičnosti geološke građe jadranske karbonatne platforme. [23]

Promatrano s hidrogeološkog stajališta, sve navedene karbonatne i klastične naslage imaju i svoje hidrogeološke osobine, odnosno veću ili manju vodopropusnost ili nepropusnost, pa uvjetuju, tektonskim pokretima stvorenu, podzemnu ili viseću barijeru i za površinske i za podzemne vodene tokove. Pritom je važan i litološki sastav, tanja ili deblja uslojenost, odnosno kompaktnost te pukotinska razlomljenost ili raspucalost vapnenaca. [23]

Na istraženoj lokaciji postoje dvije zone različite vodopropusnosti. To su padinske tvorevine te osnovna stijena (fliš) uključujući koru trošenja. [23]

U padinskim tvorevinama prevladava glinovito, prašinsto i pjeskovito komponenta. Sadržaj krupnih frakcija vrlo je različit u vertikalnom i lateralnom smjeru. Takav sastav

vjerojatno je uzrok filtracijskoj anizotropnosti pokrivača. Iskopom sondažnih jama nije registrirana podzemna voda. [23]

6.5 Inženjerskogeološke značajke lokacije

U inženjerskogeološkom smislu na istraženoj lokaciji su na temelju inženjerskogeološkog kartiranja i istražnog bušenja ustanovljeni *površinske naslage* koje čine pokrivač i *osnovna matična stijena* koja se smatra podlogom. [23]

Naslage pokrivača u litogenetskom smislu sastoje se od *nasipa (n)* te *deluvijalnih naslaga (dl)*. [23]

Umjetne naslage - nasip (n) sastoji se od mješavine odlomaka i blokova stijene, te pijeska praha i gline pomiješanih u različitim omjerima. Nasip je izveden prilikom uređenja prometnice i nema konstantnu debljinu na lokaciji ceste veće debljina ovog sloja varira. Debljina nasipa ustanovljena sondažnim jamama je do maksimalno 0.50 metra. [23]

Deluvijalne naslage (dl) predstavljaju jako do slabo trošnu osnovnu flišnu stijenu. Sastoje se od prahovite gline i značajnog sadržaja odlomaka pješčenjaka (do 40%). Debljina je promijenjiva te iznosi do 2.00 metra. Osnovnu stijenu čine pješčenjaci i siltiti. Slabo trošan do svježi siltiti i pješčenjaci predstavljaju slabo trošnu do svježju matičnu stijenu fliša koja pripada vrsti materijala tvrdo tlo - meka stijena. [23]

Na lokaciji je početak stijenske podloge utvrđen pojavom sloja pješčenjaka izrađenog od pojedinačnih pločastih blokova pješčenjaka dimenzija 0,50 x 1,50-2,0 m i debljine slojeva od 30 do 50 cm. Slojevi su uglavnom subhorizontalnog položaja. Pukotine između pojedinih blokova ispunjene su prašinastom glinom smeđe boje, srednje plastičnosti i polučvrstog do čvrstog konzistentnog stanja. [23]

6.6 Geotehničke značajke lokacije

Na istraživanom području identificirano je klizište nastalo kao rezultat nestabilnosti padine, u čijem se gornjem dijelu nalazi lokalna prometnica. [23]

U geotehničkom smislu predmetna lokacija sastoji se od pokrivača (nasip, deluvij) koje imaju značajke inženjerskog tla i osnovne stijene u podlozi. Povratnim geostatičkim analizama utvrđeni su slijedeći parametri čvrstoće:

Nasip:

- zapremninska težina $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- kut trenja $\phi = 35^\circ$
- kohezija $c = 0 \text{ kN/m}^2$

Trošna flišna stijenska masa (siltiti):

- zapremninska težina $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- kut trenja $\phi = 30^\circ$
- kohezija $c = 1 \text{ kN/m}^2$

Osnovna flišna stijenska masa (siltiti):

- zapremninska težina $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- kut trenja $\phi = 32^\circ$
- kohezija $c = 30 \text{ kN/m}^2$ [20]

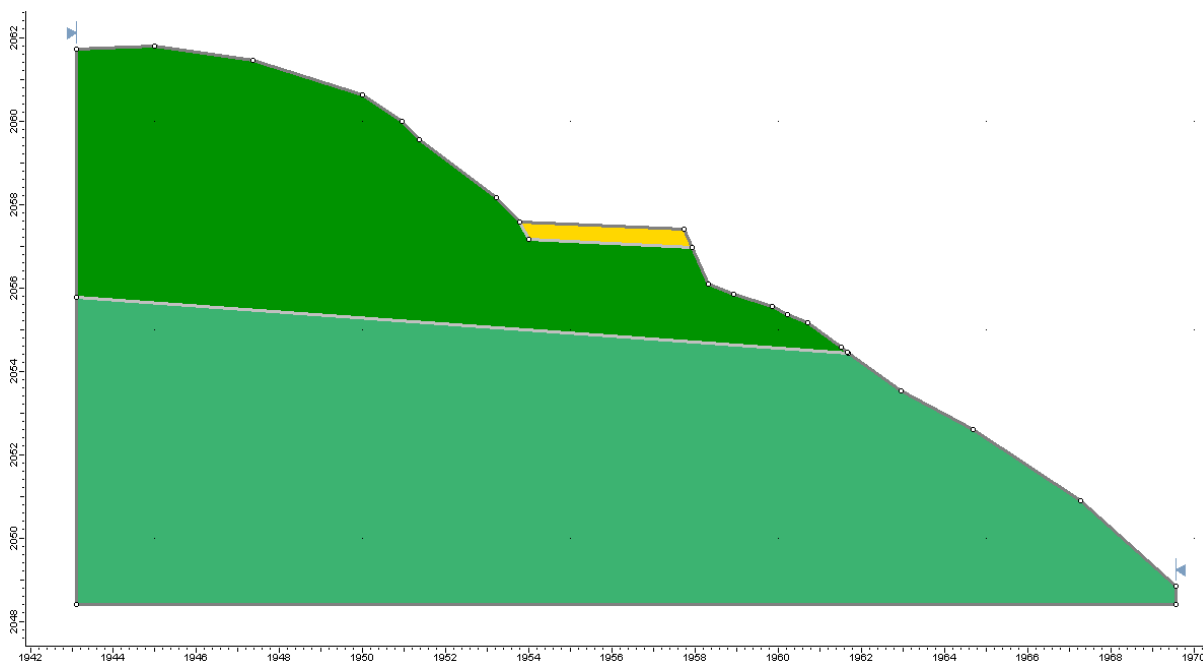
6.7 Geostatičke analize

Geostatičke analize provedene su elektroničkim računalom programskim paketom Rocscience, programom Slide. Proračun stabilnosti izvršen je metodom analize granične ravnoteže po Bishopu, Janbuu i Spenceru za kružne klizne plohe.

Povratne geostatičke povratne analize služe kako bismo odredili stabilnost svih slojeva u tlu. To se izvodi na način da se u programu Slide, u model umetnu poznati slojevi tla sa njihovim parametrima. Poznati slojevi u modelu tla su nasip, trošna flišna stijena te osnovna flišna stijena.

Geostatičke analize padine – početno stanje

Nakon provođenja geotehničkih istražnih radova i utvrđivanja inženjerskogeoloških i geotehničkih profila na lokaciji provedene su geostatičke analize stabilnosti padine, tj izrađen je model tla (Slika 38) sa pripadajućim parametrima.



Slika 38: Geotehnički model
(izradio autor)

Povratne geostatičke analize provedene su sa slijedećim parametrima tla za stanje padine koje je prethodilo klizanju na profilu A-A':

Nasip:

- zapremninska težina $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- kut trenja $\phi = 35^\circ$
- kohezija $c = 0 \text{ kN/m}^2$

Trošna flišna stijenska masa (siltiti):

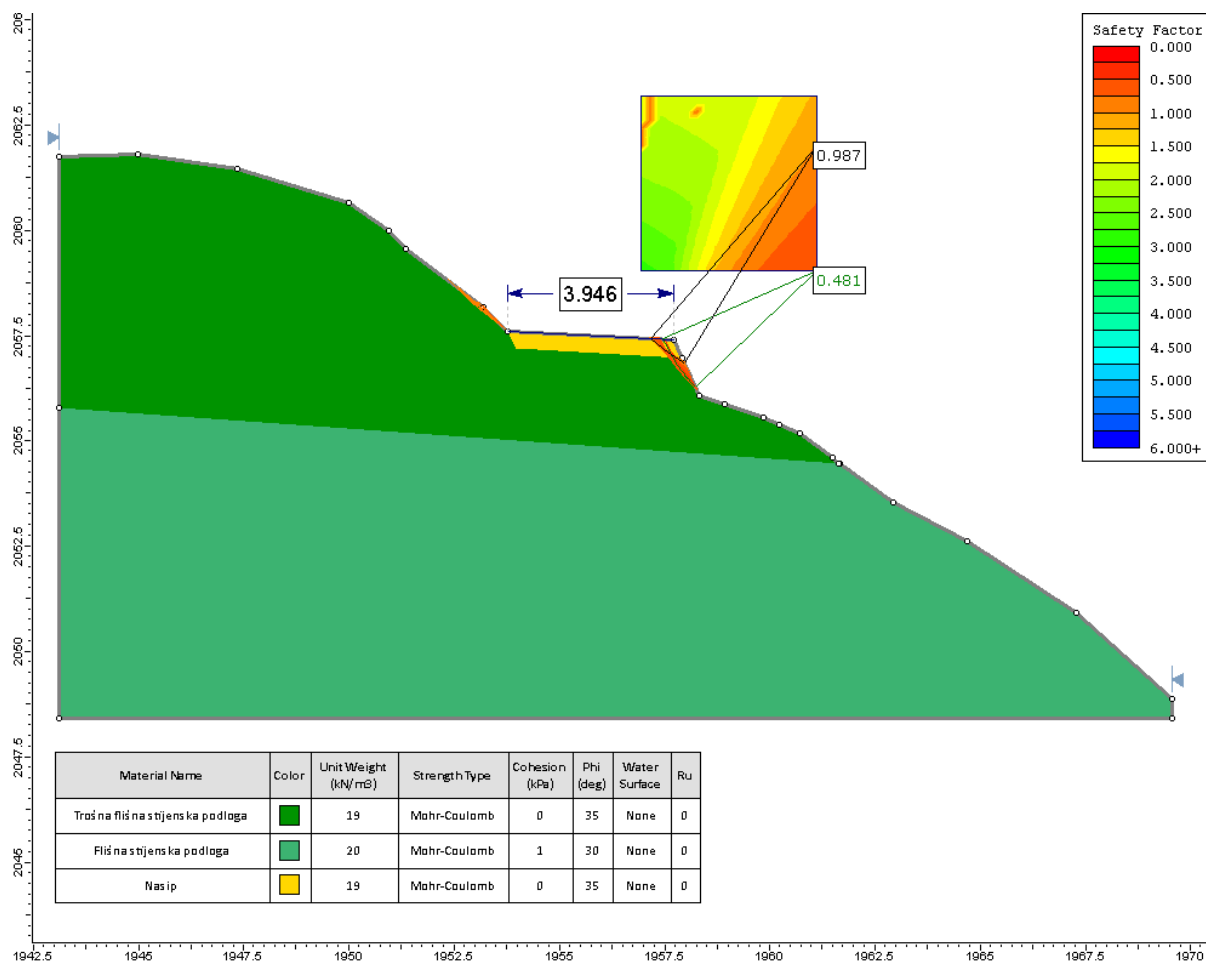
- zapremninska težina $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- kut trenja $\phi = 30^\circ$
- kohezija $c = 1 \text{ kN/m}^2$

Osnovna flišna stijenska masa (siltiti):

- zapremninska težina $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- kut trenja $\phi = 32^\circ$
- kohezija $c = 30 \text{ kN/m}^2$

Povratna geostatička analiza je izvršena za geometriju padine te je prikazana na slici 39.

Pri analizi početnog stanja terena, utvrđen je faktor sigurnosti $F_s=0,481$ što znači da je potrebno provesti stabilizaciju predmetne padine.



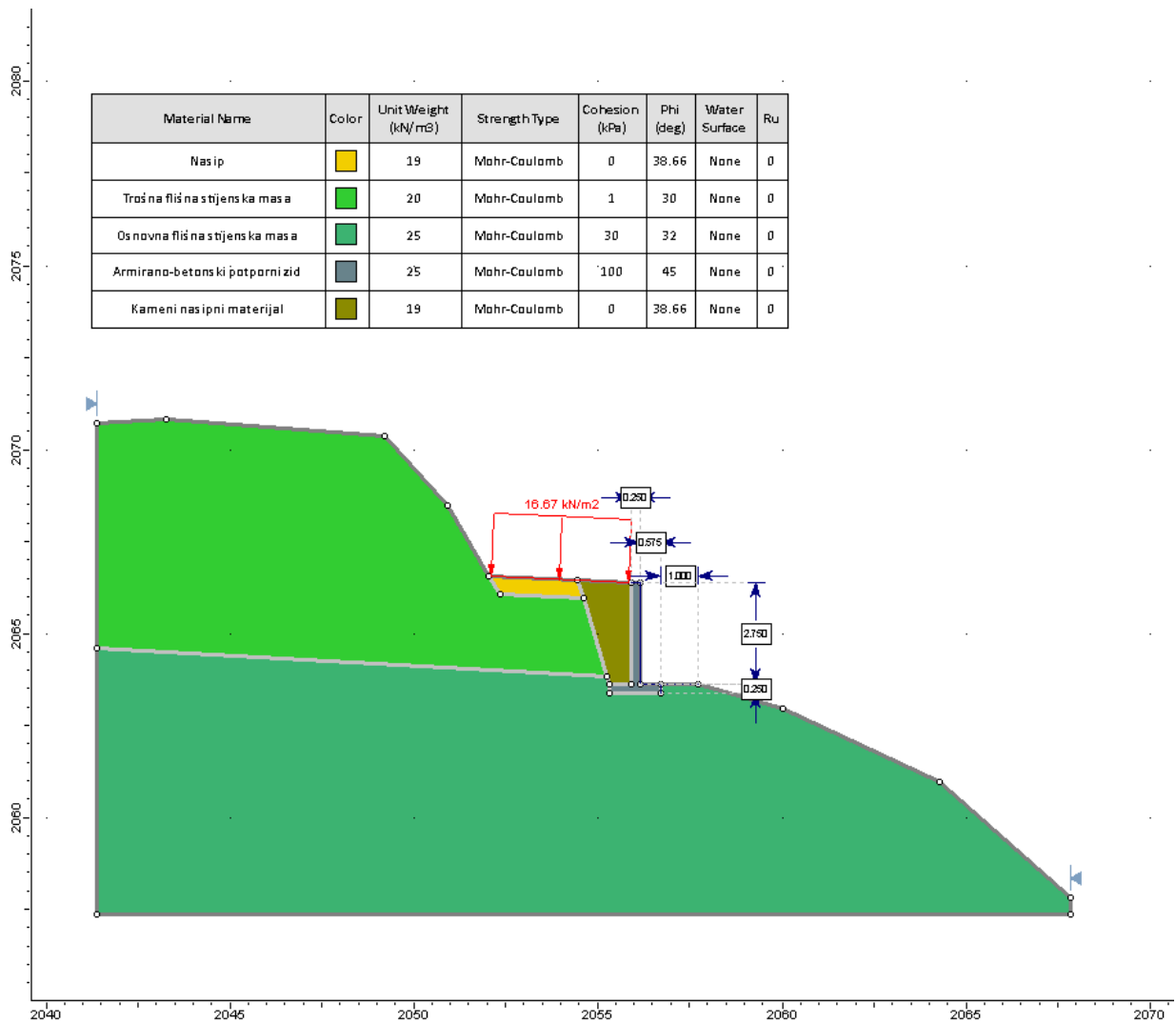
Slika 39: Rezultati povratnih analiza stabilnosti

(izradio autor)

Geostatičke analize padine - sanirano stanje

Izvedbom armirano-betonskog potpornog zida ispod prometnice koji je temeljen unutar svježe flišne stijenske mase pridržava se pokrenuti materijal u kliznom tijelu. Iza armirano-betonskog potpornog zida sve do visine prometnice izvodi se kameni nasip u nagibu 3:1. Provjera graničnog stanja nosivosti za saniranu padine provedena je prema Eurocode-u 7, projektni pristup 3. [23]

Na slici 40 prikazan je geostatički model sanirane padine.



Slika 40: Geotehnički model sanirane padine
(izradio autor)

Geostatičke analize provedene su sa slijedećim parametrima tla dobivenim iz povratnih analiza i parametrima tla za sanirano stanje padine:

Nasip:

- zapremninska težina $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- kut trenja $\phi = 38,66^\circ$
- kohezija $c = 0 \text{ kN/m}^2$

Trošna flišna stijenska masa (siltiti):

- zapreminska težina $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- kut trenja $\phi = 30^\circ$
- kohezija $c = 1 \text{ kN/m}^2$

Osnovna flišna stijenska masa (siltiti):

- zapreminska težina $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- kut trenja $\phi = 32^\circ$
- kohezija $c = 30 \text{ kN/m}^2$

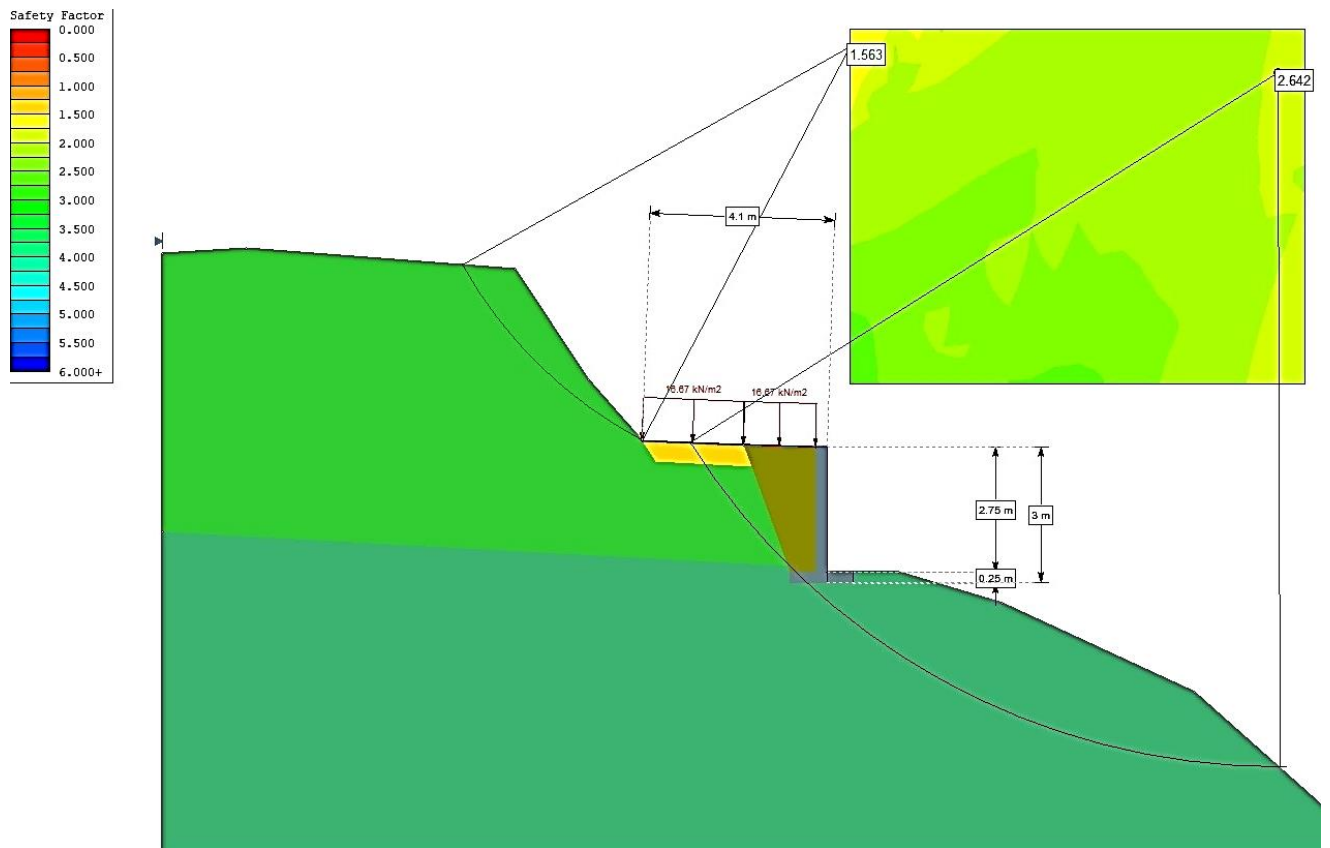
Kameni materijal:

- zapreminska težina $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- kut trenja $\phi = 38,66^\circ$
- kohezija $c = 0 \text{ kN/m}^2$

Armirano-betonski potporni zid T presjeka:

- zapreminska težina $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- kut trenja $\phi = 45^\circ$
- kohezija $c = 100 \text{ kN/m}^2$ [20]

Model dobiven za sanirano stanje prikazan je na slici 41.



Slika 41: Rezultati analiza stabilnosti za saniranu padinu
(izradio autor)

Pri analizi stabilnosti za sanirano stanje, dobiven je faktor sigurnosti $F_S=2,642$. Po tome se može zaključiti da je padina stabilizirana te da ne postoji opasnost od nastanka novog klizišta.

7. PROJEKT SANACIJE KLIZIŠTA ROMAN

Za potrebe sanacije predviđena je izvedba armirano-betonskog potpornog zida T-presjeka temeljenog na podložnom betonu debljine 10 cm izvedenog unutar svježe flišne stijenske podloge. [23]

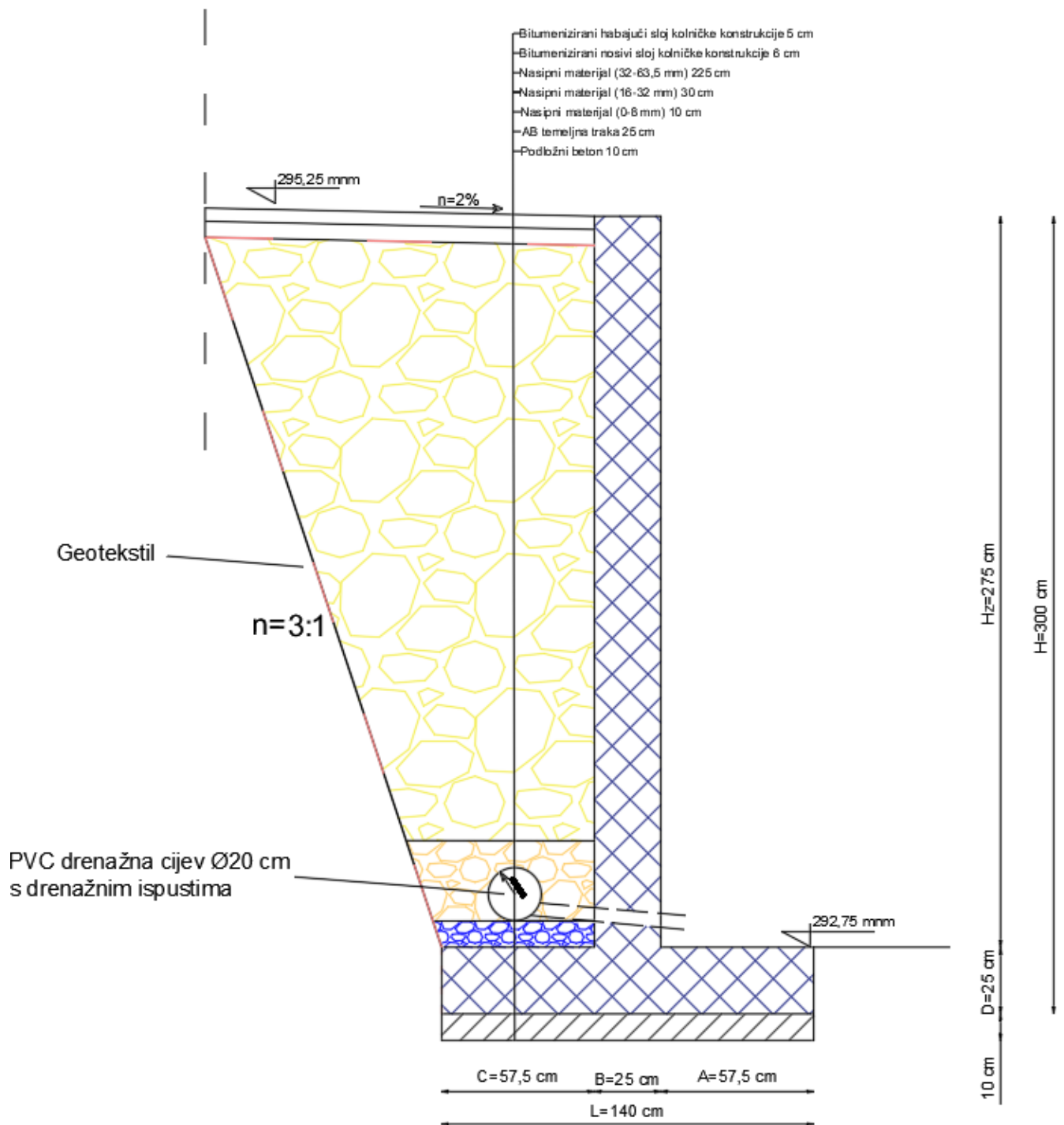
Analize stabilnosti potpornog zida provedene su prema Eurocode-u 7, za zid koji pripada geotehničkoj kategoriji 2, a za kojeg se primjenjuje projektni pristup 3. [23]

U ovom poglavlju izveden je proračun za drenirano stanje armirano betonskog potpornog zida visokog 3 m, a nakon toga su opisani opći tehnički uvjeti i opisi koji obuhvaćaju gradnju tog zida.

U proračunu su obuhvaćene 3 kontrole: na klizanje, prevrtanje te naprezanje tla ispod stope temelja. Na kraju rada su izrađeni i dokaznica mjera te troškovnik za predviđeni potporni zid.

7.1 Proračun stabilnosti potpornog zida

Provedene su kontrole provjere otpornosti na klizanje, provjera otpornosti na prevrtanje te provjera naprezanja tla ispod stope temelja. Na slici 42 su prikazane dimenzije zida.



Slika 42: Odabrane dimenzije poprečnog profila zida
(izradio autor)

Gdje su:

| | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| Ukupna visina zida | $H = 3 \text{ m}$ |
| Visina zida | $H_z = 2,75 \text{ m}$ |
| Debljina zida | $B = 0,25 \text{ m}$ |
| Dužina stope iza zida | $C = 0,575 \text{ m}$ |
| Dužina stope ispred zida | $A = 0,575 \text{ m}$ |
| Debljina stope | $D = 0,25 \text{ m}$ |
| Ukupna dužina stope | $L = 1,4 \text{ m}$ |
| Jedinična težina materijala iza zida | $\gamma_{tlo} = 19 \text{ kN/m}^3$ |
| Jedinična težina zida | $\gamma_{AB} = 25 \text{ kN/m}^3$ |
| Kut trenja karakt. | $\Phi_k = 45^\circ$ |
| Kut trenja pror. | $\Phi_d = 38,66^\circ$ |
| Kohezija | $c = 0 \text{ kN/m}^2$ |
| Nagib zasipa prema horizontali | $\omega = 0^\circ$ |
| Nagib tla prema horizontali | $\beta = 0^\circ$ |
| Trenje između zida i tla $2/3 \Phi$ | $\delta = 25,77^\circ$ |
| Nagib zida | $\alpha = 90^\circ$ |
| Površinsko opterećenje prometnice | $p = 16,67 \text{ kN/m}^2$ |

○ **Kut trenja**

Računska vrijednost kuta trenja proračunata je iz izraza (10):

$$\tan(\Phi_d) = \frac{\tan(\Phi_k)}{\gamma_\varphi} = \frac{\tan(45^\circ)}{1,25} \quad (10)$$

$$\Phi_d = 38,66^\circ$$

○ **Koeficijent aktivnog pritiska**

Koeficijent aktivnog pritiska određen je izrazom (11):

$$k_a = \frac{\sin^2(\alpha + \Phi_d)}{\sin^2(\alpha) \times \sin(\alpha - \delta) \times \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\Phi_d + \delta) \sin(\Phi_d - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (11)$$

$$k_a = \frac{\sin^2(90 + 38,66)}{\sin^2(90) \times \sin(90 - 25,77) \times \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(38,66 + 25,77) \sin(38,66 - 0)}{\sin(90 - 25,77) \sin(90 + 0)}} \right]^2}$$

$$k_a = \frac{0,097528326}{2,8888} = 0,211075$$

○ **Vertikalna naprezanja iza zida**

p - površinsko opterećenje na prometnici

$$\sigma_{G1} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{G2} = 3 \text{ m} \times 19 \text{ kN/m}^3 = 57 \text{ kN/m}^2$$

σ_{G1} - geostatiško naprezanje od tla na površini terena

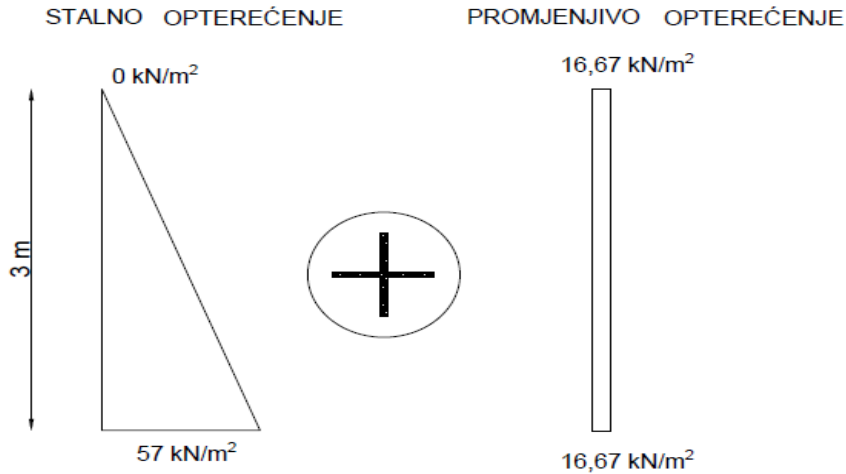
σ_{G2} - geostatiško naprezanje od tla u razini temeljne stope

$$\sigma_{Q1} = 16,66 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{Q2} = 16,66 \text{ kN/m}^2$$

σ_{Q1} - geostatičko naprezanje od prometnog opterećenja na površini terena

σ_{Q2} - geostatičko naprezanje od prometnog opterećenja u razini temelja



○ **Aktivni potisak tla**

Aktivni potisak tla određuje se izrazom (12):

$$P_a = \gamma_{tlo} \times H \times k_a - 2 \times c \times \sqrt{k_a} = \sigma \times k_a \quad (12)$$

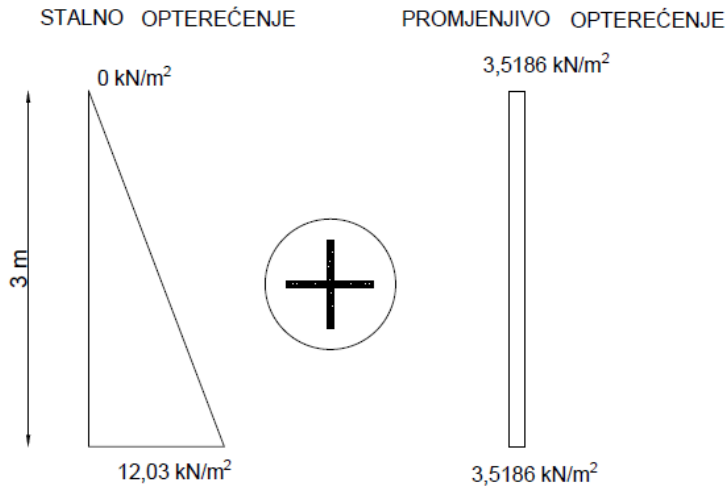
Aktivni potisak tla- stalno opterećenje

$$P_{aG1} = \sigma_{G1} \times k_a = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{aG2} = \sigma_{G2} \times k_a = 57 \text{ kN/m}^2 \times 0,211075 = 12,0312 \text{ kN/m}^2$$

Aktivni potisak tla- promjenjivo opterećenje

$$P_{aQ} = \sigma_{Q1} \times k_a = 16,67 \text{ kN/m}^2 \times 0,211075 = 3,5186 \text{ kN/m}^2$$



○ **Određivanje sile koja djeluje na zid**

Stalna sila koja djeluje na zid određuje se izrazom (13):

$$P_{AG} = \frac{12,0312 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 3\text{m}}{2} = 18,0368 \text{ kN/m} \quad (13)$$

Stalna sila koja djeluje u visini temelja određuje se iz izraza (14), (15) i (16):

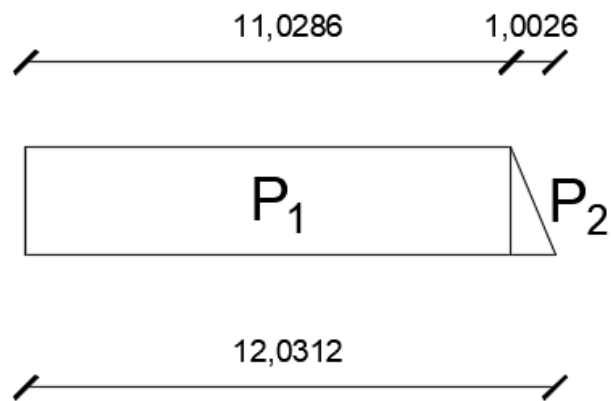
$P_{AG, temelj}$ – stalna sila koja djeluje u visini temelja

$$P_{AG, temelj} = P_1 + P_2 \quad (14)$$

$$P_1 = 0,25 * 11,0286 = 2,75715 \text{ kN/m} \quad (15)$$

$$P_2 = \frac{0,25 * 1,0026}{2} = 0,25065 \text{ kN/m} \quad (16)$$

$$P_{AG, temelj} = 2,75715 \text{ kN/m} + 0,25065 \text{ kN/m} = 3,0078 \text{ kN/m}$$

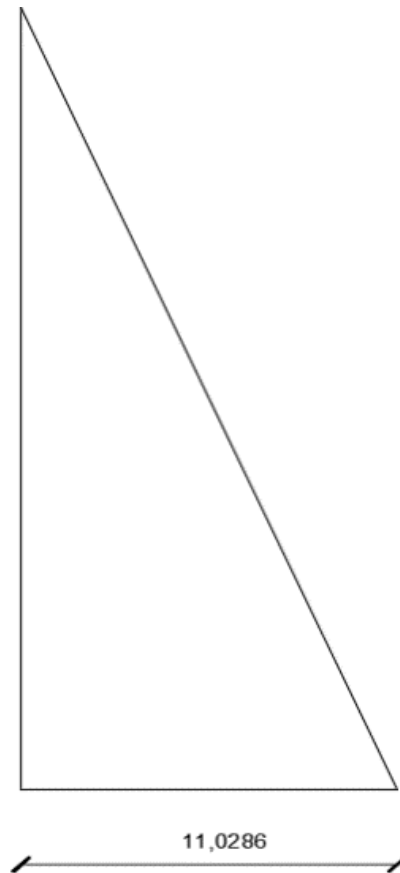


Slika 43: Prikaz površine stalne sile koja djeluje u visini temelja
(izradio autor)

Stalna sila koja djeluje u visini zida određuje se iz izraza (17):

$P_{AG,zid}$ – stalna sila koja djeluje u visini zida

$$P_{AG,zid} = \frac{11,0286 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 2,75\text{m}}{2} = 15,164325 \text{ kN/m} \quad (17)$$



Slika 44: Prikaz površine stalne sile koja djeluje u visini zida
(izradio autor)

Promjenjiva sila koja djeluje na zid određuje se izrazom (18).

$$P_{AQ} = P_{aQ1} \times H \quad (18)$$

$$P_{AQ} = 3,5186 \text{ kN/m}^2 \times 3\text{m} = 10,556 \text{ kN/m}$$

$P_{AQ, temelj}$ – promjenjiva sila koja djeluje u visini temelja

$P_{AQ, zid}$ – promjenjiva sila koja djeluje u visini zida

$$P_{AQ, temelj} = 3,5186 \text{ kN/m}^2 \times 0,25 \text{ m} = 0,88 \text{ kN/m}$$

$$P_{AQ, zid} = 3,5186 \text{ kN/m}^2 \times 2,75 \text{ m} = 9,676 \text{ kN/m}$$

○ **Horizontalna komponenta stalne sile**

$H_{AG, temelj}$ - Horizontalna komponenta stalne sile u visini temelja

$H_{AG, zid}$ - Horizontalna komponenta stalne sile u visini zida

H_{AG} - Ukupna horizontalna komponenta stalne sile

Horizontalna komponenta stalne sile u visini temelja određuje se izrazom (19), horizontalna komponenta stalne sile u visini zida izrazom (20), a ukupna horizontalna komponenta stalne sile izrazom (21).

$$H_{AG, temelj} = P_{AG, temelj} \times \cos(90 - \alpha + \Phi_d) \quad (19)$$

$$H_{AG, temelj} = 3,0078 \times \cos(90 - 90 + 38,66^\circ) = 2,3487 \text{ kN/m}$$

$$H_{AG, zid} = P_{AG, zid} \times \cos(90 - \alpha + \delta_d) \quad (20)$$

$$H_{AG, zid} = 15,164325 \text{ kN/m} \times \cos(90 - \alpha + 25,77^\circ) = 13,6562 \text{ kN/m}$$

$$H_{AG} = H_{AG, temelj} + H_{AG, zid} \quad (21)$$

$$H_{AG} = 2,3487 \text{ kN/m} + 13,6562 \text{ kN/m} = 16,005 \text{ kN/m}$$

○ **Vertikalna komponenta stalne sile**

$V_{AG, temelj}$ - Vertikalna komponenta stalne sile u visini temelja

$V_{AG, zid}$ - Vertikalna komponenta stalne sile u visini zida

V_{AG} - Ukupna vertikalna komponenta stalne sile

Vertikalna komponenta stalne sile u visini temelja određuje se preko izraza (22):

$$V_{AG, temelj} = P_{AG, temelj} \times \sin(90 - \alpha + \Phi_d) \quad (22)$$

$$V_{AG, temelj} = 3,0078 \text{ kN/m} \times \sin(90 - 90 + 38,66^\circ) = 1,88 \text{ kN/m}$$

Vertikalna komponenta stalne sile u visini zida određuje se preko izraza (23):

$$V_{AG, zid} = P_{AG, zid} \times \sin(90 - \alpha + \delta_d) \quad (23)$$

$$V_{AG, zid} = 15,164325 \text{ kN/m} \times \sin(25,77) = 6,6 \text{ kN/m}$$

Ukupna komponenta stalne sile određuje se preko izraza (24):

$$V_{AG} = V_{AG, temelj} + V_{AG, zid} \quad (24)$$

$$V_{AG} = 1,88 \text{ kN/m} + 6,6 \text{ kN/m} = 8,48 \text{ kN/m}$$

○ **Horizontalna komponenta promjenjive sile**

$H_{AQ, temelj}$ - Horizontalna komponenta promjenjive sile u visini temelja

$H_{AQ, zid}$ - Horizontalna komponenta promjenjive sile u visini zida

H_{AQ} – Ukupna horizontalna komponenta promjenjive sile

Horizontalna komponenta promjenjive sile u visini temelja određuje se izrazom (25):

$$H_{AQ, temelj} = P_{AQ, temelj} \times \cos(90 - \alpha + \Phi_d) \quad (25)$$

$$H_{AQ, temelj} = 0,88 \text{ kN/m}' \times \cos(90 - 90 + 38,66^\circ) = 0,687 \text{ kN/m}'$$

Horizontalna komponenta promjenjive sile u visini zida određuje se izrazom (26):

$$H_{AQ, zid} = P_{AQ, zid} \times \cos(90 - \alpha + \delta_d) \quad (26)$$

$$H_{AQ, zid} = 9,676 \text{ kN/m}' \times \cos(90 - 90 + 25,77^\circ) = 8,7137 \text{ kN/m}'$$

Ukupna horizontalna komponenta promjenjive sile određuje se izrazom (27):

$$H_{AQ} = H_{AQ, temelj} + H_{AQ, zid} \quad (27)$$

$$H_{AQ} = 0,687 \text{ kN/m}' + 8,7137 \text{ kN/m}' = 9,4 \text{ kN/m}'$$

○ **Vertikalna komponenta promjenjive sile**

$V_{AQ, temelj}$ - Vertikalna komponenta promjenjive sile u visini temelja

$V_{AQ, zid}$ - Vertikalna komponenta promjenjive sile u visini zida

V_{AQ} - Ukupna vertikalna komponenta promjenjive sile

Vertikalna komponenta promjenjive sile u visini temelja određuje se izrazom (28):

$$V_{AQ, temelj} = P_{AQ, temelj} \times \sin(90 - \alpha + \Phi_d) \quad (28)$$

$$V_{AQ, temelj} = 0,88 \text{ kN/m}' \times \sin(38,66^\circ) = 0,55 \text{ kN/m}'$$

Vertikalna komponenta promjenjive sile u visini zida određuje se izrazom (29):

$$V_{AQ,zid} = P_{AQ,zid} \times \sin(90 - \alpha + \delta_d) \quad (29)$$

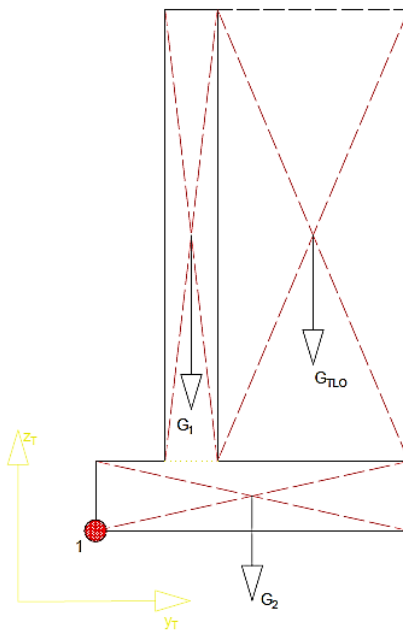
$$V_{AQ,zid} = 9.676 \text{ kN/m}^2 \times \sin(25,77^\circ) = 4,206 \text{ kN/m}$$

Ukupna vertikalna komponenta promjenjive sile određuje se izrazom (30):

$$V_{AQ} = V_{AQ,temelj} + V_{AQ,zid} \quad (30)$$

$$V_{AQ} = 0,55 \text{ kN/m} + 4,206 \text{ kN/m} = 4,5716 \text{ kN/m}$$

○ **Geometrija (površine,sile i težišta):**



Slika 45: Težišta stalnih sila odabranog presjeka

(izradio autor)

$$P_1 = 2,75 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 0,6875 \text{ m}^2$$

$$Z_{T1} = 1,625 \text{ m}$$

$$y_{T1} = 0,7 \text{ m}$$

$$G_1 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0,6875 \text{ m}^2 = 17,1875 \text{ kN/m}$$

$$P_2 = 0,25 \text{ m} \times 1,4 \text{ m} = 0,35 \text{ m}^2$$

$$Z_{T2} = \frac{0,25 \text{ m}}{2} = 0,125 \text{ m}$$

$$y_{T2} = 0,7 \text{ m}$$

$$G_2 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0,35 \text{ m}^2 = 8,75 \text{ kN/m}$$

$$P_{tlo} = 2,75 \text{ m} \times 0,575 \text{ m} = 1,58125 \text{ m}^2$$

$$Z_{Ttlo} = 1,625 \text{ m}$$

$$y_{Ttlo} = 1,1125 \text{ m}$$

$$G_{tlo} = 19 \text{ kN/m}^3 \times 1,58125 \text{ m}^2 = 30,04375 \text{ kN/m}$$

○ **Provjera otpornosti na klizanje**

W_{Gk} -karakteristična težina zida (uključujući ispunu)

$W_{d\text{ }fav}$ - proračunska težina zida

$\gamma_{G,fav}$ (= 1)- parcijalni faktor za povoljna stalna vertikalna djelovanja za PP3

$\gamma_{Q,fav}$ (=0)- parcijalni faktor za povoljna promjenjiva vertikalna djelovanja PP3

V_{AG} - karakteristična vertikalna stalna sila

V_{AQ} - karakteristična vertikalna promjenjiva sila

p- površinsko opterećenje od prometnice

Karakteristična težina zida se određuje izrazom (31):

$$W_{Gk} = G_1 + G_2 + G_{tlo} \quad (31)$$

$$W_{Gk} = 17,1875 \text{ kN/m} + 8,75 \text{ kN/m} + 30,04375 \text{ kN/m} = 55,98125 \text{ kN}$$

Proračunska težina zida se određuje izrazom (32):

$$W_{d\text{ fav}} = (W_{Gk} + V_{AG}) \times \gamma_{G,\text{fav}} + (V_{AQ} + 0,7 \text{ m} \times p \times 1 \text{ m}) \times \gamma_{Q,\text{fav}} \quad (32)$$

$$W_{d\text{ fav}} = (55,98125 \text{ kN} + 8,48 \text{ kN/m}) \times 1 + (4,5716 \text{ kN/m} + 0,7 \text{ m} \times 16,67 \text{ kN} \times 1 \text{ m}) \times 0$$

$$W_{d\text{ fav}} = 64,46125 \text{ kN} + 0 \text{ kN}$$

$$W_{d\text{ fav}} = 64,46125 \text{ kN}$$

H_{ED} - računsko horizontalno djelovanje

H_{RD} - ukupna računaska otpornost horizontalnom djelovanju

Računsko horizontalno djelovanje se određuje izrazom (33):

$$H_{ED} = H_{AG} \times \gamma_G + H_{AQ} \times \gamma_Q \quad (33)$$

$$H_{ED} = 16,005 \text{ kN/m} \times 1 + 9,4 \text{ kN/m} \times 1,3 = 28,225 \text{ kN}$$

Ukupna računaska otpornost horizontalnom djelovanju se određuje izrazom (34):

$$H_{RD} = \frac{W_{d\text{ fav}} \times \tan(\delta)}{\gamma_{RH}} \quad (34)$$

$$H_{RD} = \frac{64,46125 \text{ kN} \times \tan(38,66)}{1} = 51,57 \text{ kN}$$

Uvjeti nosivosti presjeka na klizanje dani su u izrazima (35) i (36):

$$H_{ED} < H_{RD} \quad (35)$$

$$28,225 \text{ kN} < 51,57 \text{ kN}$$

$$\eta_{geo} = \frac{H_{ED}}{H_{RD}} \quad (36)$$

$$\eta_{geo} = \frac{28,225 \text{ kN}}{51,57 \text{ kN}} = 0,5473 = 54,73 \%$$

Odabrani presjek otporan je na klizanje zato što je ukupna računaska otpornost horizontalnom djelovanju veća od računskog horizontalnog djelovanja te iskoristivost presjeka na klizanje iznosi 54,73%.

○ **Provjera otpornosti na prevrtanje**

$M_{ED, stb}$ -stabilizirajući moment

$M_{RD, dst}^1$ -moment destabilizacije oko točke 1

Uvjet nosivosti presjeka na prevrtanje:

$$M_{RD, dst}^1 < M_{ED, stb} \quad (37)$$

Stabilizirajući moment je opisan u formuli (38):

$$M_{ED, stb} = \gamma_{G, fav} \times [G_1 \times y_{T1} + G_2 \times y_{T2} + G_{tlo} \times y_{Ttlo}] + \gamma_{Q, fav} \times [0,7 \times 1 \times p] \quad (38)$$

$$M_{ED, stb} = \gamma_{G, fav} \times \left[17,1875 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 0,7 \text{ m} + 8,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 0,7 \text{ m} + 30,04375 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 1,1125 \text{ m} \right] + \gamma_{Q, fav} \times [0,7 \times 1 \times 16,67]$$

$$M_{ED, stb} = 1 \times 51,58 \text{ kNm} + (16,67 \text{ kN/m}^2 \times 0,7 \times 1) \times 0 = 51,58 \text{ kNm}$$

Destabilizirajući moment je opisan u formuli (39):

$$M_{RD,dst}^1 = \gamma_G \times \left[\left((H_{AG,temelj} - \frac{0,25 m \cdot 1,026}{2}) \times 0,125 m \right) + \left(\frac{0,25 m \cdot 1,026}{2} * 0,08334 \right) + \right. \\ \left. (H_{AG,zid} \times 1,1667 m) - ((V_{AG,temelj} \times 1,4 m) + (V_{AG,zid} \times 1,4 m)) \right] + 1,3 \times \\ \left[(H_{AQ,temelj} \times 0,125 m) + (H_{AQ,zid} \times 1,625 m) - ((V_{AQ,temelj} \times 1,4 m) + (V_{AQ,zid} \times 1,4 m)) \right] \quad (39)$$

$$M_{RD,dst}^1 = 1 \times \left[\left((2,3487 \text{ kN/m} - \frac{0,25 m \cdot 1,0026}{2}) \times 0,125 m \right) + \frac{0,25 m \cdot 1,0026}{2} * 0,8334 \right) + \\ \left(13,6562 \frac{\text{kN}}{m} \times 1,1667 m \right) - ((1,88 \text{ kN} \times 1,4 m) + (6,6 \text{ kN/m} \times 1,4 m)) \right] + 1,3 \times \\ \left[(0,687 \text{ kN/m} \times 0,125 m) + (8,7137 \text{ kN/m} \times 1,625 m) - ((0,55 \text{ kN/m} \times 1,4 m) + (4,206 \text{ kN/m} \times 1,4 m)) \right]$$

$$M_{RD,dst}^1 = 4,443 \text{ kNm} + 1,3 * 7,587 \text{ kNm}$$

$$M_{RD,dst}^1 = 14,30641 \text{ kNm}$$

Uvjeti nosivosti presjeka na prevrtanje dani su u izrazima (37) i (40):

$$M_{RD,dst}^1 < M_{ED,stb} \quad (37)$$

$$14,30641 \text{ kNm} < 51,58 \text{ kNm}$$

$$\eta_{geo} = \frac{M_{RD,dst}^1}{M_{ED,stb}} \quad (40)$$

$$\eta_{geo} = \frac{14,30641 \text{ kNm}}{51,58 \text{ kNm}} = 0,2773 = 27,73 \%$$

Moment destabilizacije oko najisturenije točke presjeka je manji od stabilizirajućeg momenta što znači da je odabrani presjek otporan na prevrtanje te iskoristivost presjeka na iznosi 27,73%.

○ **Provjera naprezanja tla ispod stope temelja**

q_{ed} -proračunsko naprezanje u tlu

q_{Rd} - računska otpornost tla

V_d - proračunska vertikalna reakcija ispod stope temelja zida

R_d - računska čvrstoća tla ispod temelja

Računska otpornost tla opisana je u formuli (41):

$$q_{Rd} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \quad (41)$$

Pri čemu su:

$N_c; N_q; N_\gamma$ – faktori nosivosti

c – kohezija

γ – zapreminska težina tla

$s_c; s_\gamma; s_q$ – faktori oblika

$i_c; i_\gamma; i_q$ – faktori nagiba rezultante

B – širina temelja

Uvjeti pri odabiru računске otpornosti tla q_{Rd} određeni su parametrima tla te osobinama temelja. Nakon izvedbi više sondažnih jama te njihovog pregleda određuju se slojevi tla sve do čvrste stijenske mase.

Parametri temeljnog tla utvrđuju se prema rezultatima geotehničkih istraživanja te prema usporedivom iskustvu sa sličnim materijalima ispitanim na lokacijama sa sličnim slojevima tla.

Utvrđena računska otpornost iznosi 300 kN/m^2 .

$$q_{Rd} = 300 \text{ kPa} = 300 \text{ kN/m}^2$$

Uvjet nosivosti tla na naprezanje ispod stope temelja zadani su u formulama (42) i (43):

$$V_d < R_d \quad (42)$$

$$q_{ed} < q_{Rd} \quad (43)$$

Proračunska vertikalna reakcija ispod stope temelja zida određena je formulom (44):

$$V_d = (G_K + V_{AG}) \times \gamma_G + (V_Q + 0,7 \text{ m} \times p_K \times 1 \text{ m}) \times \gamma_Q \quad (44)$$

$$V_d = (55,98125 \text{ kN} + 8,48 \text{ kN/m}') \times 1,35 + (4,5716 \text{ kN/m}' + 0,7 \text{ m} \times 16,67 \text{ kN} \times 1 \text{ m}) \times 1,5$$

$$V_d = 87 \text{ kN} + 24,361 \text{ kN} = 111,3837 \text{ kN}$$

Razlika stabilizirajućih i destabilizirajućih momenata određena je formulom (44):

$$\sum M = M_{ED, stb} - M_{RD, dst}^1 \quad (45)$$

$$\sum M = 51,58 \text{ kNm} - 14,30641 \text{ kNm} = 37,2636 \text{ kNm}$$

Ekscentricitet je opisan u formuli (46):

$$e' = \sum M / V_d \quad (46)$$

$$e' = 37,2636 \text{ kNm} / 111,3837 \text{ kN} = 0,3345 \text{ m} > B/5 \text{ (} B/5 = 1,4 \text{ m} / 5 = 0,28 \text{ m)}$$

$$e_B = 0,7 \text{ m} - 0,3345 \text{ m} = 0,3655 \text{ m} > B/6 \text{ (} B/6 = 1,4 \text{ m} / 6 = 0,2334 \text{ m)}$$

Sila djeluje izvan jezgre presjeka (B/6)

$$L' = L = 1 \text{ m}$$

$$\sigma_{min} = 0 \text{ kN/m}^2$$

Proračunsko naprežanje u tlu izračunato je pomoću formule (47)

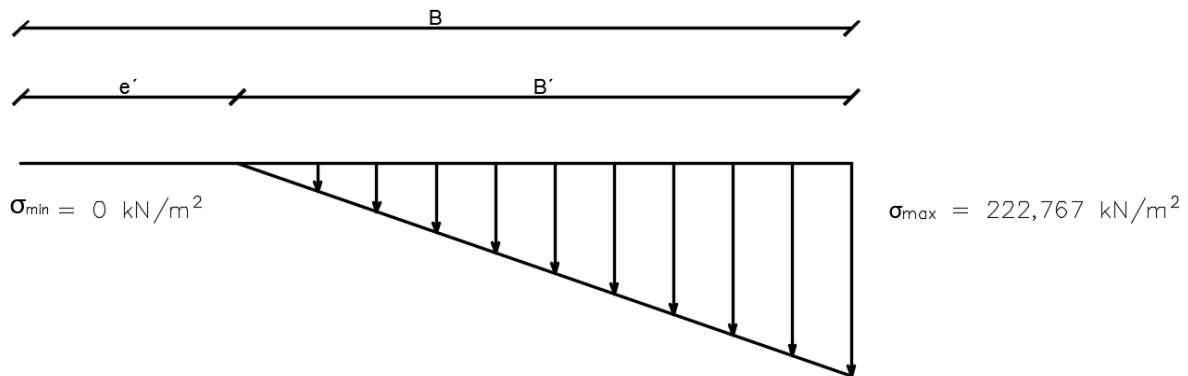
$$q_{Ed} = \sigma_{max} = \frac{2 \cdot V_d}{((B/2) - e_B) \cdot 3 L} \quad (47)$$

$$q_{Ed} = \frac{2 \cdot 97,9686 \text{ kN}}{\left(\left(\frac{1,4}{2}\right) - 0,3655\right) \cdot 3 \cdot 1 \text{ m}} = 222,767 \text{ kN/m}^2$$

Uvjet nosivosti tla na naprežanje ispod stope temelja:

$$q_{Ed} < q_{Rd} \quad (48)$$

$$222,767 \text{ kN/m}^2 < 300 \text{ kN/m}^2$$



Slika 46: Naprežanja u tlu ispod stope temelja

(izradio autor)

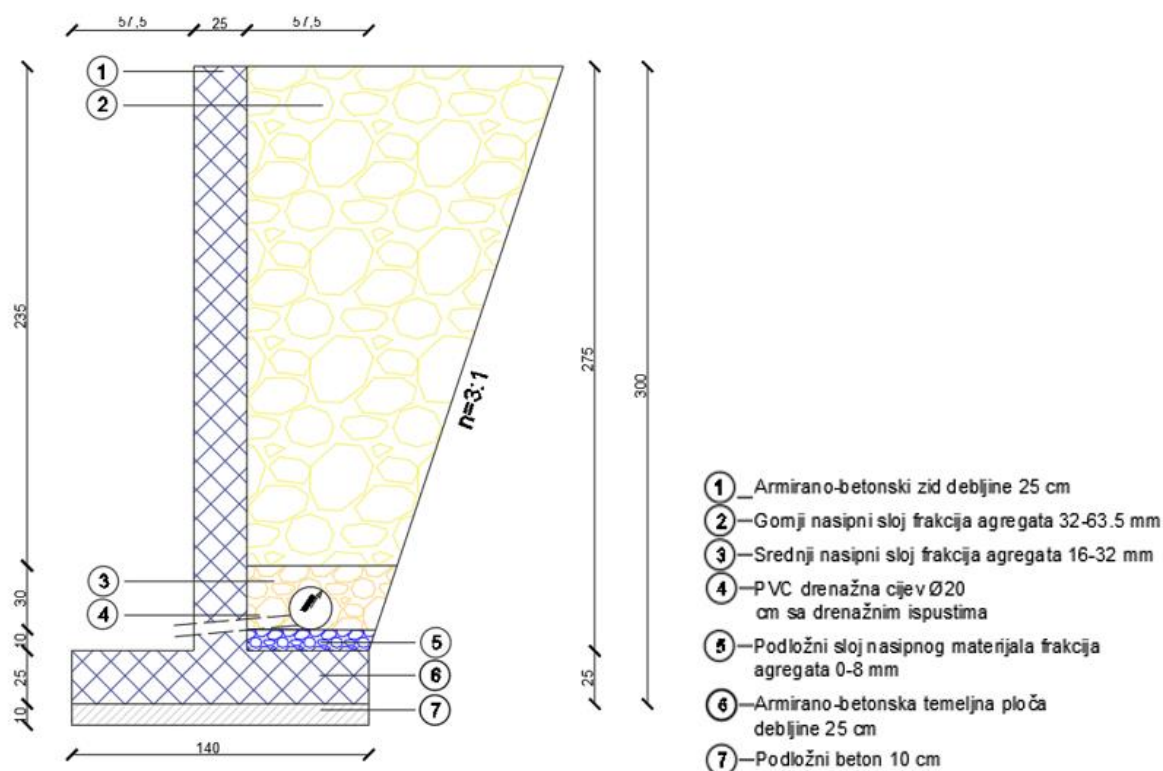
7.2 Tehnički opis

Kao metoda sanacije klizišta Vrh Roman predlaže se izvedba armirano-betonskog potpornog zida u visini 3 metra i nasipa od kamenog materijala iza zida u nagibu 3:1 sve do visine prometnice.

Radovi na sanaciji klizišta započinju iskopom materijala u sredini padine u kampadama od 5 metara i nagibu 3:1. Nakon toga slijedi izrada 10 cm debelog te 150 cm širokog sloja podložnog betona.

Na sloju podložnog betona izvodi se armirano-betonski zid T-presjeka visine 3 metra, širine 1,4 metra te u duljini od 145 metara. Debljina stope temelja te debljina zida iznose 25 cm.

Prostor iza zida popunjava se vodopropusnim kamenim materijalom, različitih granulacija. Prvo se postavlja tanki sloj sitnog materijala koji se nabija. Na taj sloj polažemo drenažnu cijev promjera 20 cm. Drenažni ispusti promjera 5 cm postavljaju se do trećine visine na udaljenostima od 3 metra. Na taj sloj se postavlja sloj materijala malo krupnije granulacije te se zbija. Na taj sloj se do vrha postavlja krupnozrnati kameni materijal u slojevima od 40 cm (Slika 46).



Slika 47: Poprečni presjek zida sa odgovarajućim slojevima nasipa te drenažom

(izradio autor)

7.3 Tehnički uvjeti izvođenja radova

S obzirom na osjetljivost izvođenja zahvata svi radovi na sanaciji klizišta mogu se izvoditi isključivo pod stalnim geotehničkim nadzorom te uz stalno praćenje ponašanja kliznog tijela. [23]

Predmetni Tehnički uvjeti izvedbe u skladu su s:

- uobičajenim principima projektiranja i izvođenja zemljanih radova,
- odredbama Zakona o prostornom uređenju (NN 153/13)
- odredbama Zakona o gradnji (NN 153/13)
- važećim normativima u Republici Hrvatskoj koji se odnose na ovu problematiku,

- Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama, Institut građevinarstava Hrvatske, Zagreb 2001

- Tehničkim propisom za betonske konstrukcije (NN 139/09, 14/10, 125/10, 136/12). [26]

Tehnički uvjeti mogu se nadopuniti ili izmijeniti u toku samih radova, ali u okvirima predviđenih ovim projektom i u suglasnosti s Projektantom i Investitorom. Takve dopune tehničkih uvjeta obavezuju Izvođač radova te ako znače promjenu uvjeta određenih ugovorom, neophodne su dopune ugovora. Prije ugradnje bilo kojeg proizvoda Izvođač radova je dužan predati na uvid Nadzornom inženjeru i Projektantu potrebnu dokumentaciju (isprave sukladnosti, dokaze uporabivosti, potrebne ateste itd.) kojom se dokazuju tehnička svojstva proizvoda tražena ovom projektnom dokumentacijom i kojom se dokazuje uporabivost proizvoda. Izvođač radova je odgovoran za proizvode koje ugrađuje. Za ugradnju proizvoda koji odstupaju od uvjeta ovog projekta nužno je prethodno odobrenje Projektanta. Svi sudionici u građenju, a to su Investitor, Projektant, Izvođač radova, Nadzorni inženjer i Revident su dužni pridržavati se odredbi navedenih zakona. [27]

Investitor je dužan:

- povjeriti projektiranje, nadzor i građenje osobama registriranim za obavljanje tih
- djelatnosti,
- osigurati stručni nadzor nad građenjem,
- osigurati geotehnički i projektantski nadzor nad građenjem.

Izvođač radova je po zakonu dužan:

- tako izvoditi radove da se zadovolje svojstva u smislu pouzdanosti, mehaničke otpornosti i stabilnosti, sigurnosti u slučaju požara, zaštite od ugrožavanja zdravlja ljudi, zaštite korisnika od povreda, zaštite od buke i vibracija, toplinske zaštite i uštede energije, zaštite od korozije te svih ostalih funkcionalnih i zaštitnih svojstava,
- ugrađivati materijale, opremu i proizvode predviđene projektom, provjerene u praksi, a čija je kvaliteta dokazana certifikatom proizvođača što dokazuje da je kvaliteta određenog proizvoda u skladu s važećim propisima i normama,
- osiguravati dokaze o kvaliteti radova te ugrađenih proizvoda i opreme u skladu s projektom i pozitivnim zakonskim propisima. [23]

U cilju osiguranja ispravnog toka i kvalitete građenja Izvođač mora na gradilištu posjedovati odgovarajuću dokumentaciju te prema njoj obavljati potrebne radnje kako slijedi:

- voditi građevinski dnevnik i građevinsku knjigu,
- akt o imenovanju glavnog inženjera gradilišta, inženjera gradilišta, odnosno voditelja radova,
- akt o imenovanju nadzornog inženjera, odnosno glavnoga nadzornog inženjera,
- rješenje o uvjetima građenja, potvrdu glavnog projekta, odnosno građevinsku dozvolu s idejnim odnosno glavnim projektom,
- izvješća revidenata o obavljenoj kontroli izvedbenog projekta ako je to propisano
- dokaze o sukladnosti za ugrađene građevne proizvode, dokaze o sukladnosti prema posebnom zakonu za ugrađenu opremu, isprave o sukladnosti određenog dijela građevine bitnim zahtjevima prema posebnom zakonu i dokaze kvalitete za koje je Zakonom o gradnji, posebnim propisom ili projektom određena obveza prikupljanja tijekom izvođenja građevinskih i drugih radova kao i obveza provedbe kontrolnih postupaka za do tada izveden dio građevine i građevinske i druge radove koji su u tijeku
- izraditi elaborat organizacije gradilišta s primijenjenim mjerama zaštite na radu i zaštite od požara
- izraditi elaborat montaže konstruktivnih skela i vođenje knjiga montaže
- izvršiti osiguranje iskolčenja građevina
- načiniti dokumentaciju o kvaliteti o kvaliteti radova i ugrađenim materijalima i opremi
- nabaviti odgovarajuće ateste i uvjerenja za svu ugrađenu opremu
- prikupiti jamstvene listove - priložiti rezultate ispitivanja kvalitete
- odgovarajuće ateste i uvjerenja
- podnijeti izvještaje o ostalim eventualnim radovima i opremi (vareni spojevi, izolacije i sl.)
- izraditi elaborat izvedenog stanja građevine

- provesti sva ostala ispitivanja i radnje što nisu navedene, a potrebne su radi osiguranja kvalitete radova te ugrađenog materijala i opreme. [23]

Kontrolu kvalitete radova može provoditi za to registrirano poduzeće ili ustanova. Programom su navedena kontrolna ispitivanja materijala i radova koja osigurava Naručitelj radova odnosno Investitor. Tekuća tehnološka ispitivanja dužan je provoditi Izvođač o svom trošku, a u skladu s važećim hrvatskim normama i propisima u građevinarstvu. Dokaze kvalitete (ateste) dužan je predložiti Nadzornom inženjeru, Projektantu i Investitoru. [27]

Svi rezultati ispitivanja, izvješća i ocjene pogodnosti materijala i radova moraju biti redovito dokumentirani na gradilištu i dostavljeni na uvid Nadzornom inženjeru.

Na gradilištu se moraju čuvati dokumenti o izvršenoj kontroli u sljedećim oblicima:

- izvještaj o prethodnom ispitivanju kvalitete s ocjenom pogodnosti materijala
- izvještaj o tekućoj kontroli
- izvještaj o kontrolnom ispitivanju
- atesti
- uvjerenje o kvaliteti proizvoda
- uvjerenje o kvaliteti sirovine
- izvještaj o provjeri kvalitete uskladištenog materijala. [23]

Ukoliko iz bilo kojih razloga dođe do dužeg prekida radova potrebno je projektirati i obaviti konzerviranje radova u stabilnim uvjetima terena. Svaka faza radova mora biti pregledana od strane Nadzornog inženjera, upisom u građevinski dnevnik odobrena prije prelaska na drugu fazu.

Ukoliko se Izvođač radova ne pridržava faznosti izvođenja radova, a pri tom dođe do oštećenja konstrukcije i gubitka stabilnosti, izvođač je dužan o svom trošku sanirati predmetna oštećenja, a u dogovoru s Investitorom, Projektantom i Nadzornim inženjerom. [26]

Prije početka radova Izvođač treba prijaviti početak radova nadležnoj inspekciji rada, a uz prijavu treba predati i Plan izvođenja radova. Prijava se ovjerava kod inspekcije rada,

jedan primjerak prijave i Plana se dostavlja Investitoru. Svi elementi organizacije gradilišta i tehničke zaštite trebaju biti ukalkulirani u jediničnu cijenu pojedinih radova. Pripremni radovi, pristupni putovi, pomoćni objekti i sl. ne iskazuju se posebno kao troškovi nego su na isti način uključeni u jediničnu jedinstvenu cijenu pripremnih radova. [27]

Ukoliko Izvođač radova u toku izvođenja radova zapazi nedostatke u tehničkoj dokumentaciji dužan je bez odlaganja o tome obavijestiti Investitora i Projektanta kako bi se poduzele odgovarajuće mjere da se nedostaci u razumnom vremenskom intervalu uklone. Za sve promjene i odstupanja od ovog projekta mora se pribaviti pismena suglasnost Projektanta i Nadzornog inženjera. Samovoljna izmjena projekta ili odstupanje od projekta izvršeno od strane Izvođača radova isključuje odgovornost Projektanta. [26]

7.3.1. Tehničko tehnološki elaborat izvođenja radova

Izvođač radova treba izraditi tehničko tehnološki elaborat izvođenja radova u svemu prema zahtjevima iz propisa i tehničkih uvjeta. Elaborat treba sadržavati plan izvođenja i plan organizacije gradilišta. Plan izvođenja radova treba sadržavati organizaciju i opremu gradilišta, popis mehanizacije, tehničke karakteristike opreme, redoslijed izvođenja radova te detaljnu razradu tehnologije izvedbe svake stavke. Posebnu pažnju potrebno je obratiti zaštiti na radu. [23]

Plan izvođenja radova treba sadržavati regulaciju prometa gradilišta ukoliko će to biti potrebno tijekom izvedbe radova. Planom organizacije gradilišta uređuje se organizacija transporta i deponiranja materijala potrebnog za rad. Tehničko tehnološki elaborat izvođenja radova daje se na odobrenje Nadzornom inženjeru i Projektantu koji može tražiti njegovu izmjenu uz odgovarajuće obrazloženje. [28]

Bez usvojenog elaborata Izvođač radova ne smije započeti s radovima. Potrebno je voditi računa o osposobljenosti radnika za obavljanje radova. Izvođač radova je dužan prije početka radova odrediti odgovornu osobu za izvođenje radova. Da bi se upoznali uvjeti na terenu, Izvođač radova treba obići lokaciju. [27]

7.3.2. Geotehnički nadzor

Zbog specifičnosti i nepovoljne građe terena te zbog eventualnih promjena i prilagodbe stanju na terenu potrebno je osigurati stalni geotehnički stručni nadzor nad izvođenjem radova. Geotehnički nadzor treba preuzeti izvedene radove i odobriti nastavak radova upisom u građevinski dnevnik. [26]

7.3.3. Dinamika i faze izvođenja radova

Izvođenje predmetnih radova zahtjeva dobru pripremu i organizaciju na pojedinim vrstama radova te koordinaciju svih učesnika u realizaciji. Gore nabrojane okolnosti zahtijevaju:

- dobru pripremu i organizaciju radova,
- visokokvalificiranog izvođača radova,
- kvalitetan i kontinuirani nadzor,
- kvalitetno razrađenu dinamiku radova i
- dobro usklađene faze radova. [23]

Dinamiku i faze izvođenja radova obavezan je razraditi Izvođač. Pri izradi dinamičkog plana potrebno je voditi računa o izvedbi pristupa lokaciji, izvedbi nasipa i potpornih konstrukcija te ostalim radovima i opremi potrebnim za izvedbu radova. Tehničko tehnološki elaborat izvođenja radova te potrebni dinamički plan izraditi će Izvođač i dati na suglasnost Projektantu i Nadzornom inženjeru. [23]

U sklopu plana izvođenja radova Izvođač radova dužan je voditi računa i o eventualnom privremenom zatvaranju prometa. Ukoliko se Investitor ne slaže s predloženim rokom, Izvođač je dužan korigirati vremenski plan izvođenja uz pojačani angažman kapaciteta kojim će moći zadovoljiti traženi rok. Prilikom izrade dinamičkog plana moraju se uzeti u obzir i nepovoljni vremenski uvjeti. Ukoliko iz bilo kojih razloga dođe do dužeg prekida radova potrebno je projektirati i obaviti konzerviranje radova u stabilnim uvjetima

pokosa. Svaka faza radova mora biti pregledana od strane Nadzornog inženjera, upisom u građevinski dnevnik odobrena prije prelaska na drugu fazu. [28]

Radove na sanaciji klizišta potrebno je izvoditi po slijedećim fazama:

- kampadni iskop materijala u širini od 6,0 m i nagibu 3:1,
- izvedba sloja podložnog betona,
- postavljanje oplata te armature armirano-betonskog potpornog zida
- betoniranje potpornog zida uz vibriranje
- skidanje oplata nakon postizanja zadovoljavajuće čvrstoće betona
- njega betona nakon skidanja oplata
- postavljanje odvodnih cijevi u određeni položaj na sloj nabijenog sitnozrnatog materijala
- zatrpavanje cijevi te mehaničko nabijanje kamenog nasipnog materijala [23]

7.3.4. Pripremni radovi

Pripremni radovi podrazumijevaju pripremu gradilišta, dopremu i instalaciju opreme potrebne za izvođenje radova. Po izvršenim radovima potrebno je rasporemiti gradilište, odvesti opremu i dovesti lokaciju u prijašnje stanje. Gradilište je potrebno dovesti u stanje prije početka radova. [23]

Pripremni radovi obuhvaćaju:

- osiguranje svih prilaznih puteva i granica gradilišta tj. susjednih parcela ili objekata na način da se niti jednom aktivnošću ne ugrozi život ili prouzroči materijalna šteta na navedenim susjednim entitetima, [26]
- formiranje i ograđivanje površina za odlaganje materijala, opreme i strojeva te osiguranje manipulativnih površina, [26]
- u dogovoru s Naručiteljem radova privremeno isključenje dalekovoda ili privremeno pomicanje dalekovoda iznad lokacije izvođenja radova,

- čišćenje i uređenje terena.

Prije početka radova, Izvođač je dužan osigurati objekt kod osiguravajućeg društva i prijaviti ga nadležnoj građevinskoj inspekciji, te o tome dati Investitoru pismeni dokaz. Prije početka radova Izvođač treba prijaviti početak radova nadležnoj inspekciji rada, a o provođenju zaštite treba izraditi poseban elaborat. Elaborat se ovjerava kod inspekcije rada, jedan primjerak se dostavlja Investitoru. Svi elementi organizacije gradilišta i tehničke zaštite trebaju biti ukalkulirani u jediničnu cijenu pojedinih radova. [27]

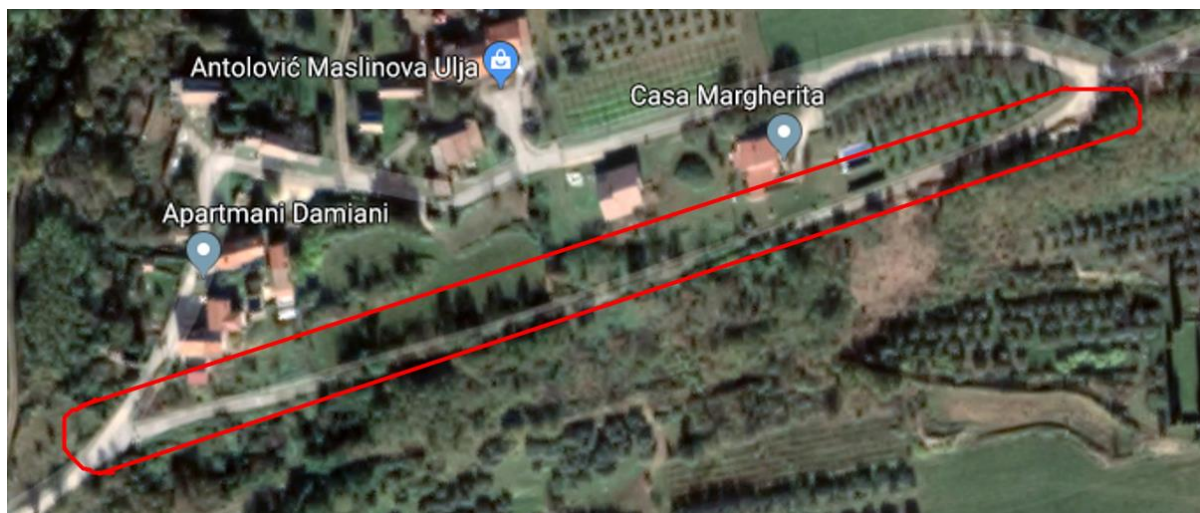
7.3.5. Osiguranje gradilišta

Potrebno je spriječiti pristup gradilištu neovlaštenim osobama. Osiguranje gradilišta se vrši ograđivanjem gradilišta, a ovisno o veličini projekta te nekim drugim faktorima, na gradilištu se mogu angažirati i zaštitari. Također, potrebno je staviti znakove upozorenja. Za kontrolu osiguranja gradilišta zaduženi su prvenstveno nadzorni inženjer te voditelj gradilišta.

Kontrola se vrši prije početka gradnje, a mogu se raditi i dodatne provjere. [23]

7.3.6. Prilaz gradilištu

Prilaz gradilištu je omogućen sa dvije strane, a najveći problem kod transporta predstavlja nedostatak manevarskog prostora (Slika 47).



Slika 48: Prikaz ceste iz zraka
(Snimka zaslona-Google karte)

7.3.7. Iskolčenje i označavanje pozicija

Iskolčavanje terena i građevine se vrši prema podacima iz projekta, određujući položaje visine te tlocrtne pozicije nekih bitnih, referentnih točaka. Time se dobivaju pravilni nagibi, visinske kote te međusobne udaljenosti točaka. Izmjere se vrše prije, tijekom i nakon gradnje te se unose u građevinski dnevnik koji prolazi provjere nadzora.

7.3.8. Iskop

Nakon iskolčenja projektiranog zasjeke te čišćenja okolnog terena vrši se široki iskop.

Za vrijeme trajanja iskopa Izvođač mora paziti da bude zadovoljena privremena stabilnost iskopa. Također, Izvođač radova vodi računa da je na svim dijelovima iskopa osigurana odvodnja površinskih voda.

Iskop se izvodi u kampadama od 5 metara u nagibu 3:1. [23]

7.3.9. Izvedba sloja podložnog betona

Na gradilištu na pripremljenu podlogu postavljamo 10 centimetara debeo sloj podložnog betona razreda tlačne čvrstoće C 25/30. Maksimalni promjer zrna agregata D_{max} iznosi 32 mm, maksimalni vodocementni faktor iznosi 0,6.

Širina podložnog betona iznosi 1,5 m. U podložni beton ubacujemo i vlaknastu armaturu zbog poboljšanja svojstava. Sve betonske mješavine moraju se izraditi prema Projektu betona.

7.3.10. Izvedba armirano-betonskog potpornog zida

Kao rješenje klizišta tj. odrona odabire se armirano-betonski potporni zid T-presjeka. Odabrane dimenzije temeljne trake su 140*25 cm, a na temelju se nalazi zid dimenzija 275*25 cm.

Jedinična težina betona C25/30 za izradu potpornog zida je 25 kN/m^3 , dok je jedinična težina nasipa 19 kN/m^3 . Dimenzije ispune krupnozrnatim nekoherentnim kamenim materijalom iza zida su trapeznog oblika. Zbog nagiba nasipnog materijala od 1:3, širina nasipa varira od 57.5 do 150 cm, a visina nasipa iznosi 275 cm. Zbog dobre vodopropusnosti materijala, trajnost armiranog betona se povećava zato što na njega voda djeluje samo kratkoročno, tj. ne zadržava se.

Betonski elementi izvode se u više dijelova, koji se prekidaju svako nekoliko metara. Na podložni beton, tj. na pripremljenu podlogu se postavlja drvena oplata koja se zateže, a u nju se slaže armatura o obliku armaturnih mreži Q524 te armaturnih šipki promjera 14 mm. Na 1 kubni metar armirano-betonskog zida postavlja se 75 kilograma armature. Prvo se betonira temeljna traka. Ona se nakon toga vibrira. Postupak se ponavlja i za zid. Posebno treba paziti na spoj zida i temelja jer su tu najveće šanse za oštećenje. Radovi se izvode u duljini od 145 metara.

Cijelom dužinom je potrebno provesti odvod vode. Odabrana je drenažna cijev promjera 20 cm, te nagiba 2-5 %. Odvod iz drenažne cijevi kroz zid treba se izvesti do trećine visine zida na pravilnim razmacima.

7.3.11. Geotekstil

Nakon izvedenog iskopa na zadnje lice polaže se geotekstil kako bi se spriječilo miješanje kamenog i zemljanog materijala. Radovi polaganja geotekstila izvode se prema Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama, knjiga 2. Pri polaganju geotekstila potrebno je voditi računa da geoteksitl izdrži uvjete ugradnje. Pri tom je potrebno izravnati neravnine, a spojevi se izvode preklapanjem (minimalni preklop za netkani geotekstil iznosi 50cm). [23]

Preklapanje se izvodi u smjeru nasipavanja materijala. Prije ugradnje geotekstila potrebno je nadzornom inženjeru dostaviti dokaze uporabivosti koji će potom ugradnju proizvoda odobriti upisom u građevinski dnevnik. [23]

7.3.12. Nasipavanje kamenog materijala

Nasip od kamenog nasipnog materijala iza potpornog zida izvodi se u nagibu 3:1. Nasip se izvodi prema Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama. [20]

Nasip se nabija vibronabijačem ili valjkom u slojevima debljine do 40 cm , a tražen je modul stišljivosti od 40 MN/m² . Modul stišljivosti se dokazuje kružnom pločom. [23]

7.3.13. Asfalterski radovi

Svi radovi potrebni za izradu nosivog sloja kolničke konstrukcije, bitumenskog nosivog sloja te habajućeg sloja asfalta izvode se prema knjizi broj 5 u Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama. [23]

7.3.14. Materijali korišteni pri izradi potpornog zida

Za izradu betonske podloge, temeljne trake te potpornog zida koristio se beton C 25/30 dovezen iz obližnje betonare. Beton se ugrađivao pumpom iz automješalice, u slojevima koji su se vibrirali. Nakon postizanja čvrstoće, zid je bilo potrebno polijevati vodom kako

bi se spriječilo raspucavanje. Zid je potpunu čvrstoću dosegnuo nakon 28 dana. Ugrađeni beton zadovoljava sve tehničke uvjete, a to nam jamči betonara koja ga je proizvela.

Beton se ulijevao u drvenu oplatu od daske koju su radnici prethodno postavili. Pri postavljanju oplata bilo je bitno da plohe budu glatke i ravne, te da oplata izdrži opterećenja od svježeg betona. Koristila se daščana oplata debljine 2,5 cm u dva smjera, a za potporu su se koristile gredice 4/8 te 8/8. Prije ulijevanja betona, oplata su namazane uljem te je između njih postavljena armatura.

Armatura se izrađivala u armiračnici te se sastojala od mrežaste armature Q524 čelika B500B te šipki promjera 14 mm čelika B500A. Armaturu je bilo potrebno postavljati na pravilnim razmacima te ju povezivati paljenom žicom debelog presjeka. Kutevi vezanja armature su morali biti veći od 135° kako bi spriječili odvajanje armature. Prema projektu, na svaki kubični metar betona, ugrađeno je 75 kg armature.

Cijevi za dreniranje izrađene su od plastike debele 1 cm, te promjera 20 cm. Postavljane su na manje od 1/3 visine. Ispusti su postavljeni na pravilnim razmacima.

Nasipni materijal je od krupnog, vodopropusnog, nekoherentnog, kamenog materijala.

7.3.15. Osiguranje i kontrola kvalitete

Kontrolu kvalitete provodi registrirana ustanova ili poduzeće. Kontrolu kvalitete su podvrgnuti svi materijali ugrađeni u neku građevinu. Time se jamči da svaki ugrađeni materijal može izdržati opterećenja te zadovoljiti uvjete trajnosti, estetike, pouzdanosti itd. Materijal koji prođe određene zahtjeve zovemo atestirani. [23]

7.4 Dokaznica mjera

I. Zemljani radovi:

Strojni iskop materijala:

$$\left(1,5 \text{ m} * 3 \text{ m} + \frac{3 \text{ m} * 1 \text{ m}}{2} \right) * 145 \text{ m} = 870 \text{ m}^3$$

Ugradnja podložnog sloja nasipnog materijala debljine 10 cm:

$$\left(0,1 \text{ m} * 0,575 \text{ m} + \frac{0,1 \text{ m} * 0,033 \text{ m}}{2} \right) * 145 \text{ m} = 8,7 \text{ m}^3$$

Zasipavanje drenažne PVC cijevi promjera 20 cm slojem debljine 30 cm:

$$\left(0,3 \text{ m} * 0,575 \text{ m} + \frac{0,3 \text{ m} * 0,1 \text{ m}}{2} - (0,1^2 * \pi) \right) * 145 \text{ m} = 27,14 \text{ m}^3$$

Nasipanje krupnozrnatog kamenog materijala do vrha nasipa (još 260 cm):

$$\left(2,6 \text{ m} * 0,575 \text{ m} + \frac{2,6 \text{ m} * 0,866 \text{ m}}{2} \right) * 145 \text{ m} = 380,13 \text{ m}^3$$

II. Betonski radovi:

Ugradnja 10 cm debelog te 150 cm širokog sloja podložnog betona C25/30:

$$0,1 \text{ m} * 1,5 \text{ m} * 145 \text{ m} = 21,75 \text{ m}^3$$

Betoniranje armirano-betonskih temelja potpornog zida:

$$0,25 \text{ m} * 1,4 \text{ m} * 145 \text{ m} = 50,75 \text{ m}^3$$

Betoniranje armirano-betonskog potpornog zida:

$$0,25 \text{ m} * 2,75 \text{ m} * 145 \text{ m} = 99,7 \text{ m}^3$$

III. Tesarski radovi

Izrada, postavljanje te skidanje glatke dvostrane oplata temelja:

$$2 * 0,3 \text{ m} * 145 \text{ m} = 87 \text{ m}^2$$

Izrada, postavljanje te skidanje glatke dvostrane oplata potpornog zida:

$$2 * 2,8 \text{ m} * 145 \text{ m} = 812 \text{ m}^2$$

IV. Armirački radovi

Armatura temelja:

$$50,75 \text{ m}^3 * 75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 3806,25 \text{ kg}$$

Armatura zida:

$$99,7 \text{ m}^3 * 75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 7477,5 \text{ kg}$$

V. Asfalterski radovi:

Uređenje prometnice iznad izvedenog zida:

$$3 \text{ m} * 145 \text{ m} = 435 \text{ m}^2$$

$$435 \text{ m}^2 * 0,08 \text{ m} = 34,8 \text{ m}^3$$

7.5 Aproximacijski / projektantski troškovnik radova

Troškovnik je izrađen prema predviđenom projektu sanacije. U aproksimacijskom troškovniku su stavke obračunate prema pretpostavljenom planu rada pa zato neke stavke nisu detaljno opisane, već se prikazuju prema obračunskoj mjernoj jedinici.

| Red. br. | Vrsta/opis rada | Mjerna jedinica | Količina |
|----------|--|-----------------|----------|
| 1. | <i>Iskolčenje prometnice i označavanje potrebnih točaka. Osiguranje točaka vrši se ugradnjom fiksnih i vidljivih oznaka. Obračun po m' trase.</i> | m' | 145 |
| 2. | <i>Doprema i odvoz sve potrebne opreme i potrebnih strojeva za rad, postavljanje prometne signalizacije i uklanjanje iste, priprema gradilišta te rasporemanje i odvoz sa gradilišta po završetku izvedbe radova. Obračun po ukupno izvršenim pripremnim radovima.</i> | paušal | 1 |
| 3. | <i>Premještanje instalacijskih kablova i instalacijskog stupa na novu lokaciju. Obračun za izmicanje stupa na novu lokaciju.</i> | kom | 1 |
| 4. | <i>Strojni iskop materijala C kategorije. Iskop se vrši kampadno do po 5 metara u nagibu 3:1 , na duljini od 145 metara. i potporni zid u materijalu C kategorije. Ova stavka uključuje utovar iskopanog materijala te prijevoz na 5km udaljenu deponiju. Obračun po m³</i> | m ³ | 870 |

| | | | |
|----|---|----------------------|----------------|
| | <i>iskopanog, utovarenog i odvezenog materijala u sraslom stanju.</i> | | |
| 5. | <i>Ugradnja 10 cm debelog te 150 cm širokog sloja podložnog betona C25/30 pumpom iz automješalice. Beton je potrebno zaravnavati te prilagoditi podlozi. Paziti da svježi beton ne pada sa visine veće od 1 m. U cijenu uključen dovoz svježeg betona iz 10 km udaljene betonare. Obračun po m³ postavljenog materijala.</i> | <i>m³</i> | <i>21,75</i> |
| 6. | <i>Izrada, postavljanje te skidanje glatke dvostrane oplata temelja. Stavka obuhvaća sve radove nabave i dopremanja potrebnog materijala, izradu te montažu glatke oplata sa svim potrebnim podupiranjima i ukrućenjima, skidanje i čišćenje oplata nakon upotrebe te prijevoz. Obračun radova po m² oplata.</i> | <i>m²</i> | <i>87</i> |
| 7. | <i>Nabava, rezanje, čišćenje, savijanje te ugradnja i vezanje armature čelika Q524 B500B i šipki promjera 14 mm B500A za armirano-betonske temelje. Prema projektu, na 1 m³ betona, postavlja se 75 kg armature. U cijenu uključeni svi armirački radovi. Cijena po kg ugrađenog čelika.</i> | <i>kg</i> | <i>3806,25</i> |
| 8. | <i>Betoniranje armirano-betonskih temelja potpornog zida sa betonom tlačne čvrstoće C25/30 u potrebnoj oplati U cijenu je uključen sav rad i materijal, oplata, prijevoz i njega betona. Obračun po m³ betona sa oplatom.</i> | <i>m³</i> | <i>50,75</i> |

Projekt sanacije odrona na cesti Vrh Roman (Grožnjan)

| | | | |
|-----|--|----------------|--------|
| 9. | <i>Izrada, postavljanje te skidanje glatke dvostrane oplata potpornog zida. Stavka obuhvaća sve radove nabave i dopremanja potrebnog materijala, izradu te montažu glatke oplata sa svim potrebnim podupiranjima i ukrućenjima, skidanje i čišćenje oplata nakon upotrebe te prijevoz. Obračun radova po m² oplata.</i> | m ² | 812 |
| 10. | <i>Nabava, rezanje, čišćenje, savijanje te ugradnja i vezanje armature čelika Q524 B500B i šipki promjera 14 mm B500A za armirano-betonski potporni zid. Prema projektu, na 1 m³ betona, postavlja se 75 kg armature. U cijenu uključeni svi armirački radovi. Cijena po kg ugrađenog čelika.</i> | kg | 7477,5 |
| 11. | <i>Betoniranje armirano-betonskog potpornog zida sa betonom tlačne čvrstoće C25/30 u potrebnoj oplati U cijenu je uključen sav rad i materijal, oplata, prijevoz i njega betona. Obračun po m³ betona sa oplatom.</i> | m ³ | 99,7 |
| 12. | <i>Ugradnja podložnog sloja nasipnog materijala sitnijih frakcija koji će nositi drenažne cijevi iza zida u debljini od 10 cm i nagibu 3:1. Obračun po m³ nasutog materijala u zbijenom stanju.</i> | m ³ | 8,7 |
| 13. | <i>Dobava i ugradnja drenažne perforirane PVC cijevi Ø20 cm na ugrađenu podlogu debelu 10 cm. U stavci uračunata dobava i ugradnja potrebnih fazonskih komada, priključnih cijevi Ø20 cm, te dobava i ugradnju filterskog materijala. Obračun po m' ugrađene cijevi.</i> | m' | 145 |
| 14. | <i>Zasipavanje drenažne PVC cijevi materijalom frakcije 8-16 mm debljine 30 cm i nagibu 3:1.</i> | m ³ | 27,14 |

| | | | |
|-----|---|----------------------|---------------|
| | <i>Obračun po m³ nasutog materijala u zbijenom stanju.</i> | | |
| 15. | <i>Nasipanje krupnozrnatog kamenog materijala frakcija 32-64 mm u visini od 260 cm i nagibu 3:1. Obračun po m³ nasutog materijala u zbijenom stanju.</i> | <i>m³</i> | <i>380,13</i> |
| 16. | <i>Uređenje prometnice iznad izvedenog zida. Stavka obuhvaća izradu nosivog sloja kolničke konstrukcije od drobljenog krupnog kamenog materijala debljine 25 cm (u stavku uključena dobava, doprema i razastiranje materijala te nabijanje do potrebne zbijenosti), izrada bitumenziranog nosivog sloja kolničke konstrukcije BNS 22 debljine 6 cm (u stavku uključena dobava, doprema i razastiranje materijala te valjanje) te izvedba habajućeg sloja asfalta AB-11 S debljine 5 cm ili 125 kg/m² od materijala eruptivnog porijekla (u stavku uključen sav potreban materijal i rad). Obračun po m² uređene kolničke konstrukcije</i> | <i>m²</i> | <i>435</i> |
| 17. | <i>Projektantski geotehnički nadzor-pregled i eventualno potrebne intervencije projektanta geotehničara tijekom izvedbe radova. Predviđeni su obavezni pregledi temeljnog tla za temelj zida od strane projektanta. Obračun po izlasku projektanta geotehničara na gradilište.</i> | <i>kom</i> | <i>3</i> |

8. ZAKLJUČAK

Ljudi grade potporne konstrukcije već stotinama godina, a gradnja potpornih konstrukcija u budućnosti je neupitna. Kroz godine su se materijali za izradu te načini izgradnje promijenili tako da danas potporni zidovi mogu savladavati puno veća opterećenja nego u prošlosti.

Potporni zidovi su najbolji način oblikovanja terena. Izvedba mnogih cesta i građevina koje poznajemo je olakšana prethodnom izgradnjom potpornih zidova zato što nije potrebno odabrati idealan teren za izgradnju, već sami oblikujemo teren po želji.

Lokacija zadanog klizišta Vrh Roman nalazi se u flišnom području. Uslijed opterećenja od prometa i obilnih oborina došlo je do klizanja terena. Nakon otkrivanja uzroka i pokretača klizišta, odabrana je vrsta potpornog zida, a nakon toga, proračunom su određene i dimenzije. Klizište je sanirano izgradnjom 3 metra visokog tankostijenog armirano-betonskog zida koji je dimenzioniran u skladu s normom Eurokod 7. Osnovni princip gradnje ovog tipa potpornih zidova je da vertikalna opterećenja budu puno veća od horizontalnih opterećenja u nepovoljnom smjeru, ali da vertikalna opterećenja ne rade preveliko naprezanje na slojeve tla ispod stope temelja.

Zaključak ovog rada je taj da gradnja potpornih zidova ovisi o mnogo različitih parametara koji moraju biti uzeti u obzir pri samom početku rješavanja problema koji mogu biti povezani sa lokacijom na kojoj gradimo te vrsti sanacije koja je odabrana. Postoji mnogo tipova potpornih konstrukcija koje se odabiru s obzirom na razne uvjete kao što su podloga, opterećenje, količina i visina podzemne vode, atmosferski utjecaji itd. Zato možemo reći da je svaki potporni zid različit te mu se mora pristupiti individualno.

LITERATURA

- [1] Geotech ; Klizišta ; Zagreb ; 2018. (<https://www.geotech.hr/klizista/>)
- [2] Mihalić, S. , Predavanje 8: Klizišta ; Zagreb , 2015.
(https://rudar.rgn.hr/~smihalic/nids_snjezanamihalic/08-02_klizistaTipovi.pdf)
- [3] Dugonjić Jovančević, S. , Geotehničko inženjerstvo (Interna skripta) , Građevinski fakultet u Rijeci, 2015.
([https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/1803944/mod_resource/content/1/Skripta Geotehnicko%20inzenjerstvo.pdf](https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/1803944/mod_resource/content/1/Skripta_Geotehnicko%20inzenjerstvo.pdf))
- [4] Mihalić, S. , Predavanje 15: Klizišta ; Zagreb , 2015.
(https://rudar.rgn.hr/~smihalic/nids_snjezanamihalic/15_poglavlje.pdf)
- [5] Dugonjić Jovančević, S. , Predavanje: Sanacija klizišta ; Rijeka , 2016.
(https://helpdesk.uniri.hr/system/resources/docs/000/009/136/original/Stab_kosina_P6_16_17.pdf?1485352897)
- [6] Hrvatski geološki institut ; Rudarsko-geološka studija potencijala i gospodarenja mineralnim sirovinama Istarske županije ; Zagreb, 2013.
(https://www.istra-istria.hr/fileadmin/dokumenti/gospodarstvo/2013/Rudarsko_geoloska_studija_IZ/POGLAVLJE_4_GEOLOSKA_GRADA_PODRUCJA_ISTARSKE_ZUPANIJE.pdf)
- [7] Vivoda Prodan, M. , Doktorski rad - utjecaj trošenja na rezidualnu posmičnu čvrstoću sitnozrnastih litoloških članova fliša; Rijeka, 2016.
- [8] Vijesti hrvatskog geološkog društva -Karta podložnosti na klizanje i odrona ; Zagreb, 2018.
(http://www.geologija.hr/pdf/vijesti-hgd/web-vijesti-55_1.pdf)
- [9] Božičević, S. , članak: Istarska enciklopedija ; Pula, 2008.

- (<http://istra.lzmk.hr/clanak.aspx?id=882>)
- [10] Dom Info, članak: Gabioni u dvorištu , Banja Luka 2017.
(<https://www.dominio.ba/gabioni-u-dvoristu-ideje-za-klupe-zidove-dekorativne-elemente/>)
- [11] Roje-Bonacci, T., Potporne građevine i građevne jame , Građevinsko-arhitektonski Fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 2005.
- [12] Matešić, I. , Predavanje: Potporne konstrukcije , Rijeka 2013.
(https://helpdesk.uniri.hr/system/resources/docs/000/000/130/original/Geoteh_Konstr_P6_Potporne_II_dio.pdf?1384525319)
- [13] Jstash ,članak: Building a rock wall on a slope, 2018.
(<http://jstash.me/building-a-rock-wall-on-a-slope/>)
- [14] Dumpor, Korištenje potpornih zidova u krajoliku, Zagreb, 2019.
(<https://dumpor.com/hr/articles/10577>)
- [15] Općina Stari Grad Sarajevo , članak: uklanjanje potpornog zida, Sarajevo, 2009.
(<http://starigrad.ba/v2/vijest.php?id=6294>)
- [16] Pinterest, Galerija (<https://www.pinterest.com/pin/373517362828883390>)
- [17] Gradimo.hr , članak: Primjena geosintetika u gradnji, Zagreb, 2009.
(<http://www.gradimo.hr/clanak/primjena-geosintetika-u-gradnji/25789>)
- [18] Lebo, Ž , Eurokod 7 u geotehničkom inženjerstvu RH , Zagreb , 2014.
(https://bib.irb.hr/datoteka/757338.Lebo_Eurokod_7_SEMINAR_XVII_Strucno_usavrsavanje_TVZ_11-2014.pdf)
- [19] Građevinski fakultet u Rijeci, Predavanje: Geotehničko projektiranje prema Eurocode-7 , Rijeka 2012.

- ([https://helpdesk.uniri.hr/system/resources/docs/000/000/136/original/Geot eh Konstr P2.pdf?1384525436](https://helpdesk.uniri.hr/system/resources/docs/000/000/136/original/Geot%20eh%20Konstr%20P2.pdf?1384525436))
- [20] Szavits-Nossan, A. & Ivšić, T., Novi Eurokod 7: geotehničko projektiranje , Zagreb , 2006.
- [21] Szavits-Nossan, V., Predavanje ; Mehanika tla i stijena , Zagreb 2009.
([https://www.grad.unizg.hr/download/repository/9. Predavanje MT.pdf](https://www.grad.unizg.hr/download/repository/9.Predavanje%20MT.pdf))
- [22] Mihalić, S. , Predavanje 8: Klizišta ; Zagreb , 2015.
([https://rudar.rgn.hr/~smihalic/nids snjezanamihalic/08-02 klizistaTipovi.pdf](https://rudar.rgn.hr/~smihalic/nids_snjezanamihalic/08-02_klizistaTipovi.pdf))
- [23] Arbanas Ž. ; Vivoda Prodan M. , Klizište Vrh Roman - Glavni građevinski projekt sanacije ; Rijeka, 2016.
- [24] Osnovna geološka karta Hrvatske (<http://webgis.hgi-cgs.hr/gk300/default.aspx>)
- [25] Karta potresnih područja Hrvatske (<http://seizkarta.gfz.hr/karta.php>)
- [26] Arapov, I. , Geotehnički projekt zaštite građevne jame , Zagreb , 2015.
([https://www.voda.hr/sites/default/files/prilozi/2017-06/gl projekt zattita gradj jame.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/prilozi/2017-06/gl_projekt_zattita_gradj_jame.pdf))
- [27] HAC ; Natječaj za stručni nadzor- uvjeti ; Zagreb , 2019.
(<http://hac.hr/sites/default/files/2019-05/J98.%201.%20Obja%C5%A1njenje%20Poziva%20za%20dostavu%20ponuda.pdf>)
- [28] HAC ; Izvadak iz projekta- Knjiga 3 ; Zagreb , 2019.
(<http://hac.hr/sites/default/files/2019-03/Knjiga%20%20-%203.1.%20Izvadak%20iz%20projekta%20i%20nacrti.pdf>)

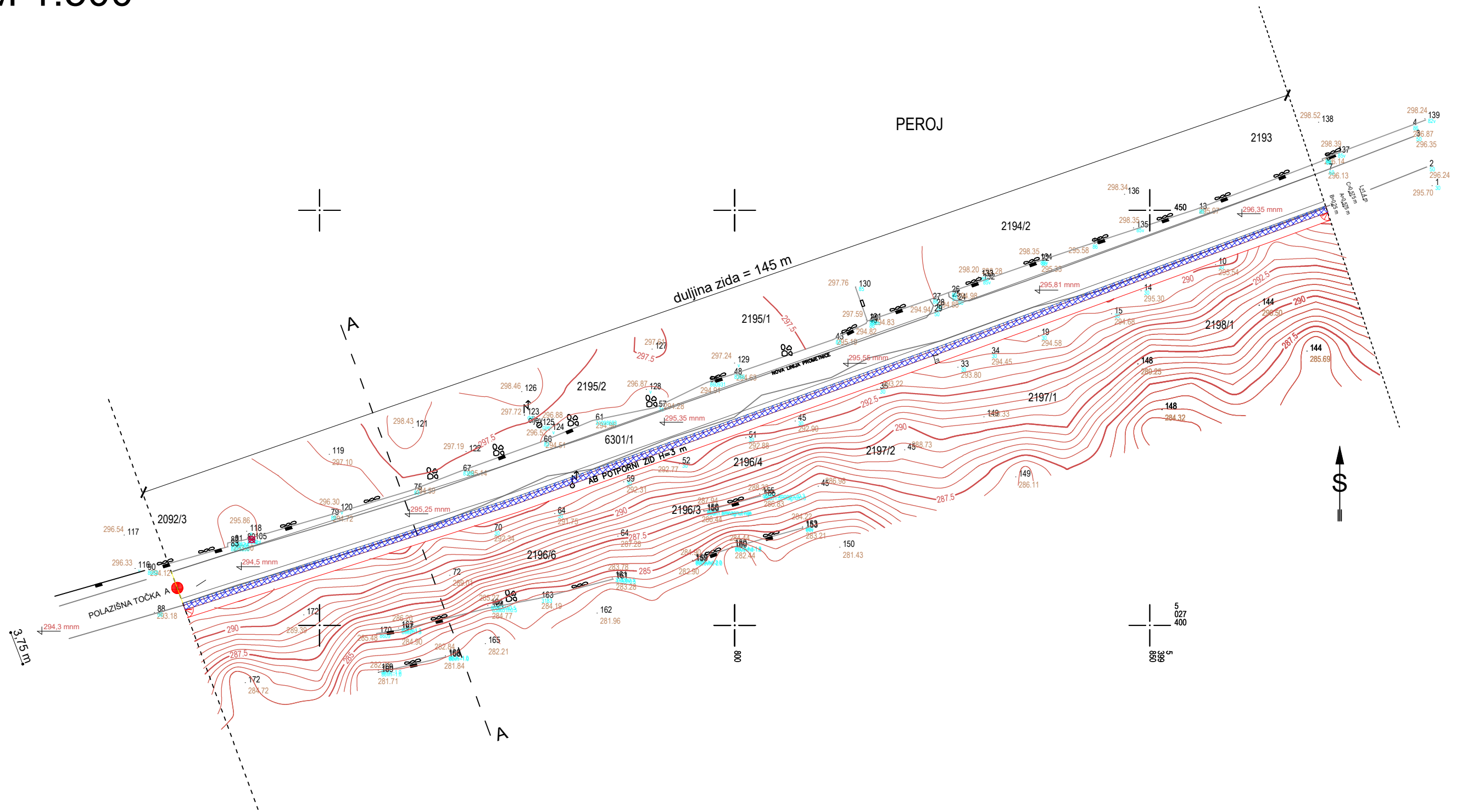
- [29] Ivšić, T. , Eurokod 7: Svojstva temeljnog tla, Geotehnički model , Zagreb , 2015.
(<https://www.grad.unizg.hr/download/repository/Ivsic-GEO-INZ-EC-model-tlo-2.pdf>)
- [30] Nonveiller, E. , Mehanika tla i temeljenje građevina , Zagreb, 1979.
- [31] Gradimo.hr , članak: Primjena geosintetika u gradnji, Zagreb, 2009.
(<http://www.gradimo.hr/clanak/primjena-geosintetika-u-gradnji/25789>)

PRILOZI

1. Situacija sanirano stanje M1:500
2. Poprečni presjek ceste u presjeku A-A
3. Poprečni profil potpornog zida
4. Uzdužni presjek sanirano stanje

Situacija- sanirano stanje

M 1:500

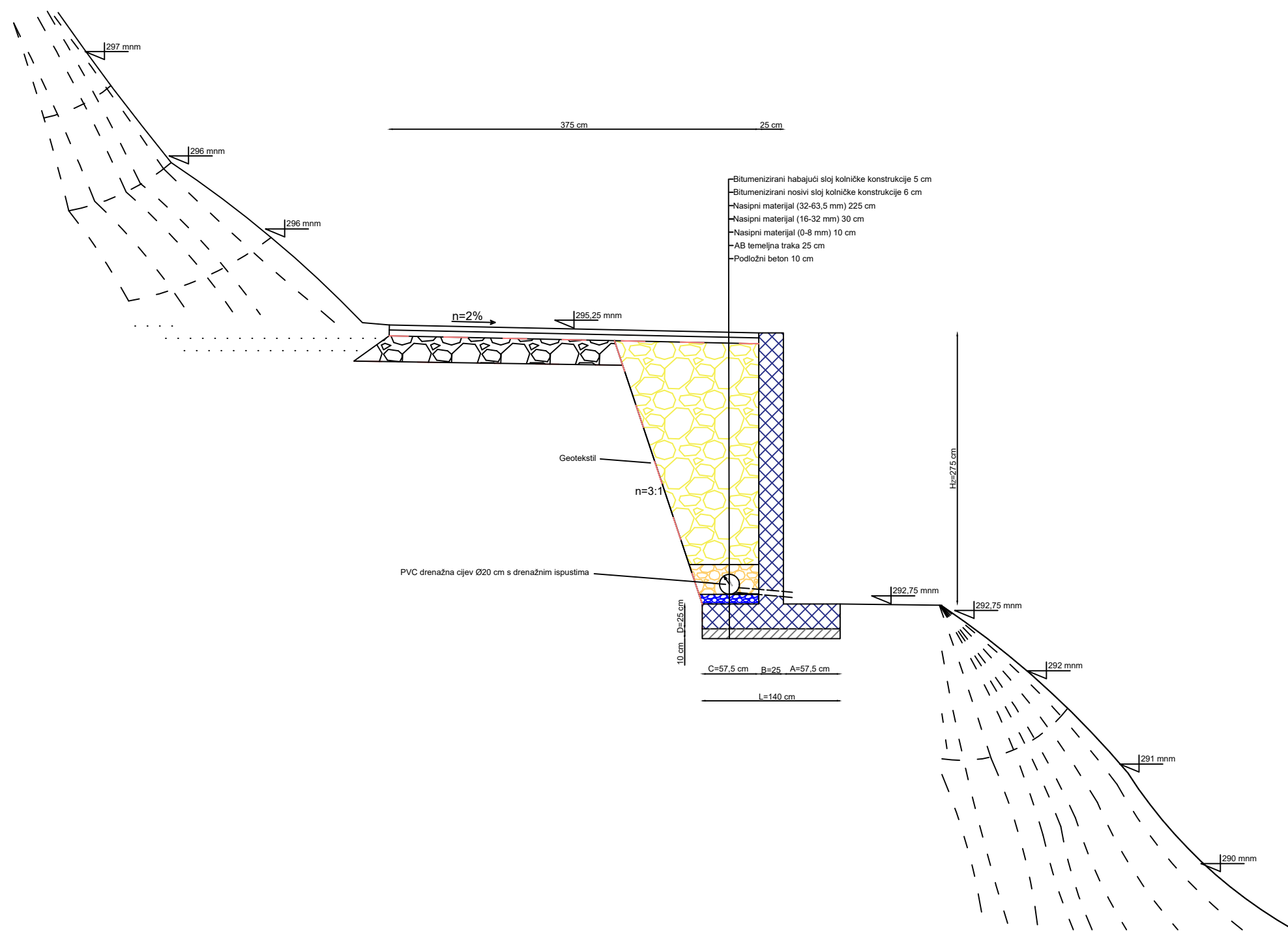


- Novi rub ceste
- Rub ceste prije sanacije
- Linija terena zaravnatog ispred zida
- Linija presjeka A-A
- Sporedne izohipse
- Glavne izohipse
- Rub zida
- Šrafura AB poprečnog zida

| | | | |
|--|-------------|---------------------------|-------|
| GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI | | | |
| Završni rad: | | Sadržaj nacрта: | |
| Projekt sanacije odrona AB potpornim zidom | | Situacija-Sanirano stanje | |
| Student: | | Kolegij: | |
| Petar Rudež | | Geotehničko inženjerstvo | |
| Mentor: | Datum: | Mjerilo: | List: |
| doc. Martina Vivoda Prodan | rujan, 2019 | 1:500 | 1 |

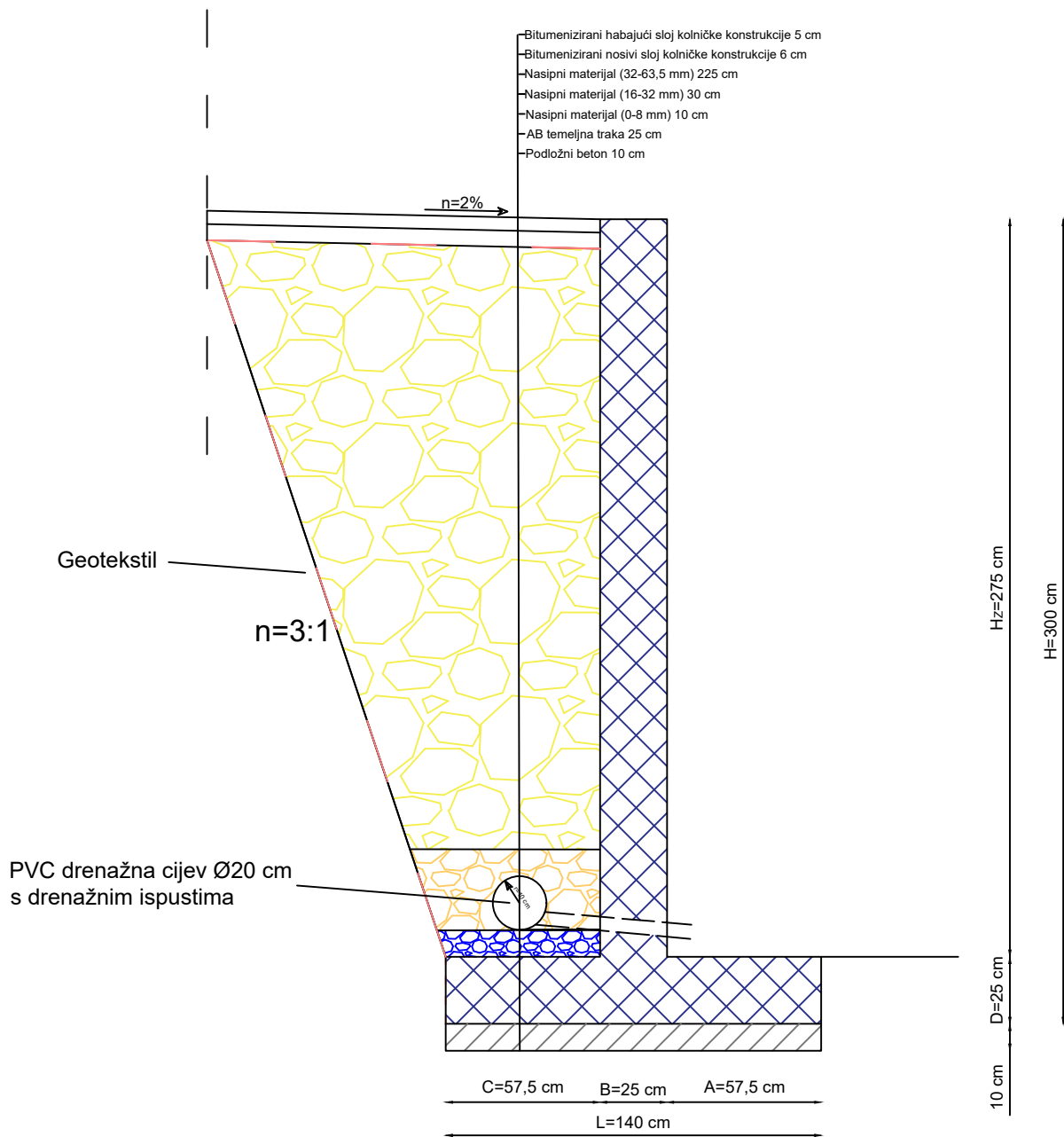
Poprečni presjek ceste A-A

M 1:50



| GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI | | | |
|--|----------------------------|----------|-------|
| Završni rad: | Sadržaj nacрта: | | |
| Projekt sanacije odrona AB potpornim zidom | Poprečni presjek ceste A-A | | |
| Student: | Kolegij: | | |
| Petar Rudež | Geotehničko inženjerstvo | | |
| Mentor: | Datum: | Mjerilo: | List: |
| doc. Martina Vívoda Prodan | rujan, 2019 | 1:50 | 2 |

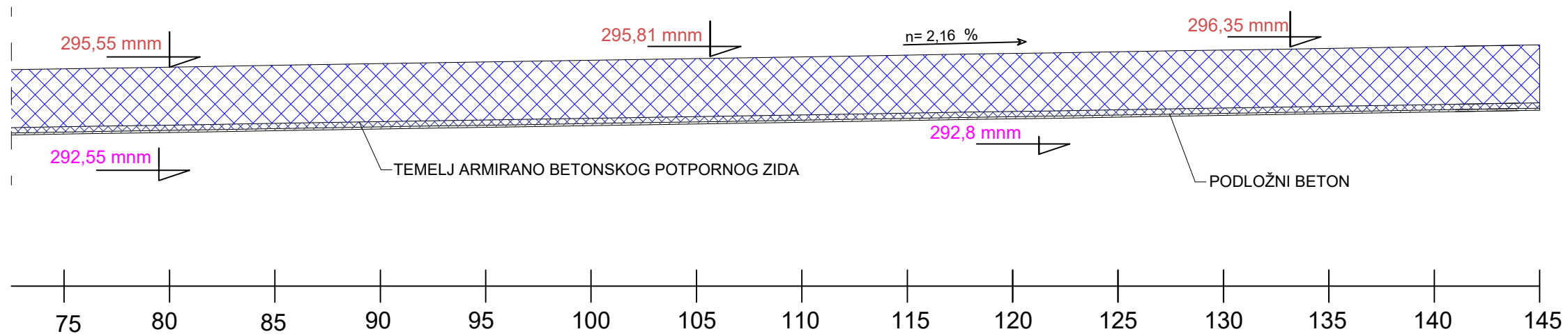
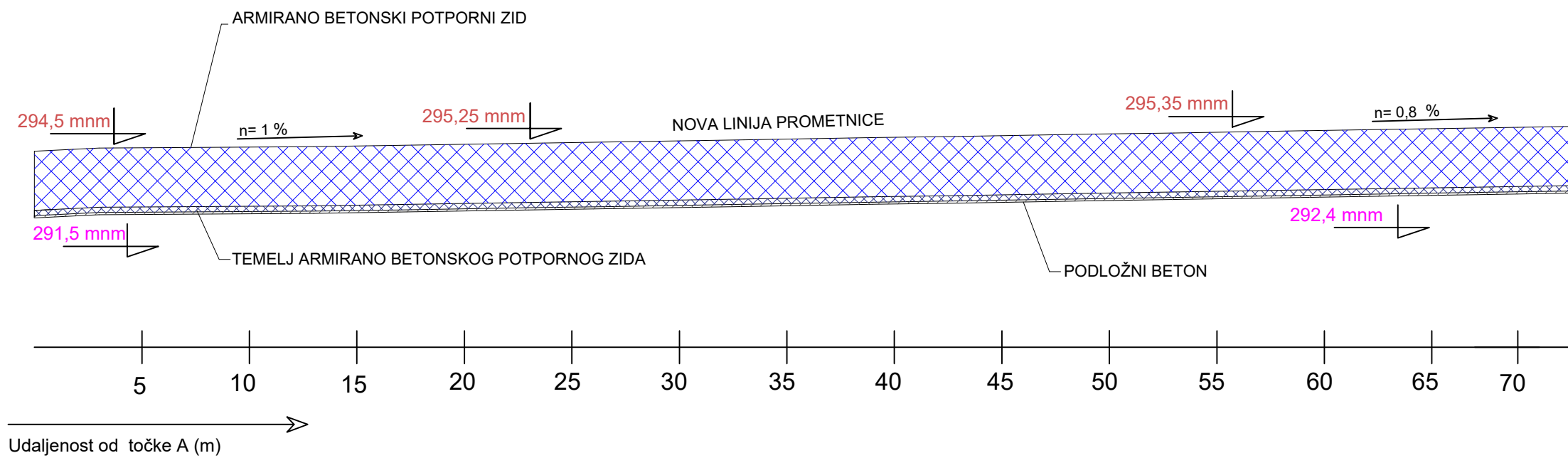
Karakteristični poprečni profil potpornog zida M 1:25



| GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI | | | |
|--|--|----------------------------------|----------|
| Završni rad: | | Sadržaj nacрта: | |
| Projekt sanacije odrona AB potpornim zidom | | Karakteristični poprečni presjek | |
| Student: | | Kolegij: | |
| Petar Rudež | | Geotehničko inženjerstvo | |
| Mentor: | | Datum: | Mjerilo: |
| doc. Martina Vivoda Prodan | | rujan, 2019 | 1:25 |
| List: | | | 3 |

Uzdužni presjek - sanirano stanje

M 1:250



| GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI | | | |
|--|-----------------------------------|----------|-------|
| Završni rad: | Sadržaj nacrt: | | |
| Projekt sanacije odrona AB potpornim zidom | Uzdužni presjek – sanirano stanje | | |
| Student: | Kolegij: | | |
| Petar Rudež | Geotehničko inženjerstvo | | |
| Mentor: | Datum: | Mjerilo: | List: |
| doc. Martina Vivoda Prodan | rujan, 2019 | 1:250 | 4 |