

Analiza globalne stabilnosti zasjeka unutar napuštenog gradilišta na lokaciji Bračka ulica u Splitu

Relota, Marija

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:944529>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

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



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

DIPLOMSKI RAD

Marija Relota

Split, 2021.

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

Marija Relota

**Analiza globalne stabilnosti zasjeka unutar
napuštenog gradilišta na lokaciji Bračka ulica u Splitu**

Diplomski rad

Split, 2021.

Zahvala

Zahvaljujem mentoru dr. sc. Goranu Vlastelici na sveukupnoj podršci i motivaciji za redoviti rad. Hvala laborantu Stipi Rađi i asistentici Ani Duhović na pomoći oko laboratorijskih istraživanja.

Posebno hvala mojoj obitelji i prijateljima što su me pratili na ovom putu i pružali mi razumijevanje, strpljenje i savjete.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Marija Relota

MATIČNI BROJ (JMBAG): 0083220658

KATEDRA: **Katedra za geotehniku**

PREDMET: Mehanika stijena

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Analiza globalne stabilnosti zasjeka unutar napuštenog gradilišta na lokaciji Bračka ulica u Splitu

Opis zadatka: Iskopi u mekim stijenama se najčešće moraju izvoditi miniranjem ili pomoću teških pneumatskih čekića, međutim, u određenom razdoblju nakon iskopa njihova fizikalno-mehanička svojstva počinju mijenjati do razine pri kojoj se može koristiti čak i ručni iskop. Te promjene mogu biti značajne u periodu korištenja građevine, pri čemu se početno projektno rješenje zasjeka kosine može pokazati neprikladnim, ponekad i rezultirati urušavanjem. U tom kontekstu potrebno je definirati uzročnike promjena fizikalno-mehaničkih svojstava, te odrediti sve potrebne parametre meke stijene (primarno čvrstoću, ali i sve ostale koje su mjerodavne za opisivanje promjene koju prolazi stijena u vremenu) u svim fazama očekivane promjene za vrijeme korištenja konstrukcije. U tu svrhu potrebno je na jednom primjeru (uzorku) meke stijene (lapora), prikladnim laboratorijskim metodama odrediti sve potrebne parametre za proračun. Za pripremu uzorka koristiti i opisati odgovarajući postupak laboratorijske simulacije rastrošbe lapora, te odgovarajuće uređaje za određivanje posmične čvrstoće stijene ili tla. Analizu stabilnosti provesti na primjeru (zadanog) tipičnog zasjeka na području Splita, koristeći odgovarajuće matematičke modele promjene oblika zasjeka u vremenu i računalni program Slide2 uz upotrebu odgovarajućih grafoanalitičkih metoda.

U Splitu, 25. veljače 2021.

Voditelj Diplomskog rada:

Doc. dr. sc. Goran Vlastelica

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:

Doc.dr.sc. Ivo Andrić

Analiza globalne stabilnosti zasjeka unutar napuštenog gradilišta na lokaciji Bračka ulica u Splitu

Sažetak:

Pri izradi projektne dokumentacije za gradnju, u dijelu gdje se vrše proračuni globalne stabilnosti građevine na kosini, često se zanemaruje mogućnost značajnih promjena oblika kosine u vremenu perioda uporabe konstrukcije. Iz tog razloga u ovom radu je prikazan Fisher Lehmannov model promjene oblika zasjeka u vremenu perioda korištenja konstrukcije, te objašnjeni utjecaji čimbenika rastrošbe na promjene parametara u vremenu kroz prikazani model laboratorijske simulacije rastrošbe. Promjena geometrije kosine i svojstava materijala koji je sačinjavaju u kombinaciji mogu imati negativan utjecaj na sigurnost građevine, što je objašnjeno i prikazano kroz realan primjer napuštenog gradilišta na lokaciji Bračka ulica u Splitu.

Gljučne riječi:

meke stijene, globalna stabilnost zasjeka, rastrošba, laboratorijska simulacija rastrošbe, izravni posmik,

Analysis of global slope stability of a cut at an abandoned construction site in Bračka street, city of Split

Abstract:

When preparing project documentation for construction, in the part where the calculations of the global stability of the building on the slope are performed, the possibility of significant changes in the shape of the slope during the use of construction is often neglected. For this reason, this paper presents the Fisher Lehmann model of the change of slope geometry during the period of construction use, and explains the influences of weathering factors on parameters of the soft rock over time through the presentation of the laboratory simulation model of weathering. Changing the geometry of the slope and the properties of the materials can have a negative impact on the safety of the building, which is explained and shown through a real example of an abandoned construction site at Bračka Street in Split.

Keywords:

Soft rock, global slope stability, weathering, laboratory simulation of weathering, direct shear test

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Rastrošba	2
3. Određivanje potrebnih parametara za analizu globalne stabilnosti zasjeka	4
3.1. Ispitni program	4
3.2. Uzorkovanje i priprema uzoraka za ispitivanje	5
3.3. Laboratorijska ispitivanja	6
3.3.1. Udio karbonata u mineraloškom sastavu	6
3.3.2. Vlažnost	7
3.3.3. Suha gustoća stijene	7
3.3.4. Gustoća čvrstih čestica	7
3.3.5. Upijanje vode	7
3.3.6. Atterbergove granice	8
3.3.7. Čvrstoća stijene u točki (Point Load Test)	8
3.3.8. Indeks trajnosti (slake durability index)	9
3.3.9. Određivanje gustoće tla metodom cilindra	9
3.4. Ispitivanje posmične čvrstoće	10
3.4.1. Posmična čvrstoća na intaktnom uzorku	11
3.4.2. Laboratorijska simulacija rastrošbe	12
3.4.3. Ispitivanje posmične čvrstoće na uređaju za izravni posmik tla	14
3.5. Rezultati laboratorijskih ispitivanja	16
4. Određivanje geometrije kosine u vremenu	22
4.1. Fisher-Lehmannov model	22
4.2. Pojednostavljena metoda određivanja geometrije modela	23
4.3. Grafički prikaz geometrije modela za $\Delta t = 0$	25
4.4. Grafički prikaz geometrije modela za $\Delta t = 20$ god.	25
4.5. Određivanje i grafički prikaz geometrije za $\Delta t_{\text{kritično}}$	26
5. Odabir parametara za proračun stabilnosti kosine	28
5.1. Definiranje parametara čvrstoće osnovne stijenske mase	28
5.2. Određivanje parametara čvrstoće stijenske mase (geotehnička sredina 3)	28
5.2.1. Parametri čvrstoće intaktne stijene	31

5.3. Definiranje parametara geotehničke sredine 1 (talus).....	32
5.4. Definiranje parametara geotehničke sredine 2	33
5.4.1. Odabir parametra kohezije za geotehničku sredinu 2 pomoću Slide-a	34
5.5. Definiranje parametara geotehničke sredine 4 (površinski sloj).....	36
5.6. Projektni pristup i odabrani parametri za analizu globalne stabilnosti kosine	37
5.7. Analiza opterećenja	38
6. Analiza globalne stabilnosti zasjeka pomoću Slide-a	39
6.1. Slide.....	39
6.2. Rezultat proračuna globalne stabilnosti za $\Delta t=0$ god.....	40
6.3. Rezultat proračuna globalne stabilnosti za $\Delta t=0$ god. – varijanta bez talusa.....	42
6.4. Rezultat proračuna globalne stabilnosti za $\Delta t=20$ god.....	44
6.5. Rezultat proračuna globalne stabilnosti za $\Delta t=20$ god.- varijanta bez talusa.....	45
6.6. Analiza faktora sigurnosti dobivenih u Slide-u.....	47
7. Zaključak.....	48
8. Literatura	49
9. Prilozi	52

1. UVOD

Meke stijene su složeni materijal koji je podložan intenzivnoj promjeni inženjerskih svojstava u vremenu. Promjene svojstava mekih stijena događaju se ponajviše zbog vanjskih vremenskih utjecaja, a ti procesi mogu trajati od nekoliko dana do nekoliko godina. Meka stijena je materijal koji se u nedirnutom stanju ponaša kao stijena (s donje granice područja koje pokrivaju čvrste stijene), ali koji se pod procesom rastrošbe, na kraju razgradi u sitnozrni materijal, uz naglašenu promjenu fizikalno - mehaničkih svojstava u odnosu na početno stanje [1].

Za područje Jadranske obale karakteristične su sedimentne stijene pod zajedničkim nazivom fliš. Kod flišnih stijena su određeni članovi skloni rastrošbi i eroziji, ponajviše zbog svog mineralošskog sastava. Neki od litoloških članova fliša koji mogu poslužiti kao primjer su laporovite gline, glinoviti lapor, lapori i vapnoviti lapori, uglavnom izgrađeni od kalcitnih spojeva i minerala gline u različitim omjerima te se ovaj dio flišnih naslaga može odrediti kao meka stijena [2].

S obzirom na važnost utjecaja procesa rastrošbe, ovaj rad bavit će se simulacijom rastrošbe u laboratoriju s ciljem razumijevanja procesa koji se događaju i koji utječu na parametre stijene. Parametri dobiveni laboratorijskim ispitivanjima usporedit će se s parametrima uzoraka s terena kako bi se odabrali što precizniji parametri za analizu globalne stabilnosti zasjeka.

Na osnovu dobivenih podataka izvršit će se analiza stabilnosti zasjeka na konkretnom primjeru na području Splita, lokacija Trstenik. Izvršit će se prognoza promjene geometrije za zasjek u različitim vremenskim intervalima, te na osnovu svih podataka analiza globalne i lokalne stabilnosti zasjeka.

2. RASTROŠBA

Rastrošba se definira kao promjena svojstava stijene kao posljedice zajedničkog djelovanja procesa: sušenja i vlaženja, bubrenja, ljuštenja, hidratacije, raspucavanja (eng. "slaking"), otapanja, oksidacije, abrazije, smrzavanja i odmrzavanja, grijanja i hlađenja, te drugih procesa. Krajnji rezultat ovih procesa može biti potpuno ili djelomično raspadanje stijene (od stijene nastaje materijal koji se može klasificirati kao tlo).

Postoji rastrošba u inženjerskom razdoblju vremena (red veličine do nekoliko desetaka godina) odnosno razdoblju trajanja objekata, i rastrošba u geološkom razdoblju vremena (red veličine geoloških razdoblja), a koja se u inženjerskoj praksi opisuje pojmom erozija [2].

Franklin & Dusseault [3] uvode pojam trošnost (eng. "weatherability") kao mjeru podložnosti stijene rastrošbi za vrijeme korištenja inženjerskog objekta.

Pri tome treba razlikovati:

- inženjersku vremensku skalu (nekoliko godina do nekoliko desetaka godina),
- geološku vremensku skalu (stotine tisuća do nekoliko milijuna godina).

Kod mekih stijena proces rastrošbe se odvija u vrlo kratkom vremenskom razdoblju te se može govoriti o trajnosti građiva unutar „inženjerske vremenske skale“ – vrijeme korištenja građevine [2]. Prema Fookesu [4] rastrošba se dijeli u dvije dominantne grupe: fizičku (mehaničku) rastrošbu i kemijska rastrošbu. Fizička rastrošba podrazumijeva razaranje stijene u manje komade bez promjene mineraloškog sastava, dok kemijska rastrošba rezultira razlaganjem strukture minerala, odnošenjem nekih od oslobođenih elemenata i/ili stvaranjem novih elemenata od ostataka koji reagiraju sa sastojcima iz okoline.

Osnovni procesi koji zbog kojih se događa raspadanje lapora na području Dalmacije su proces naizmjeničnog vlaženja i sušenja, kao glavni uzrok fizičke rastrošbe. U obzir treba uzeti i kemijsku rastrošbu koja se događa na površini materijala i na zidovima pukotina. Oba procesa se događaju istovremeno. Nastajanjem pukotina procesima fizičke rastrošbe povećava se površina na kojoj se mogu razvijati kemijski procesi. S druge strane kemijska rastrošba zamjenjuje čvrste minerale sa slabim glinama ili porama, pri čemu čine materijal podložnijim fizičkoj rastrošbi.

Osim rastrošbe postoji i proces erozije, pa se ta dva pojma često miješaju. Razliku između rastrošbe i erozije je najjednostavnije opisati na sljedeći način: rastrošba je proces raspadanja stijene, dok je erozija proces odnošenja usitnjenih komada stijene, s mjesta gdje su nastali na

mjesto gdje se nakupljaju. Rastrošba i erozija se mogu odvijati i istovremeno, što uvelike otežava raspoznavanje ova dva procesa [5].

Osim podložnosti rastrošbi važni čimbenici okoliša, koji imaju značajan utjecaj na brzinu odvijanja procesa, su klima i topografija. Najznačajniji klimatski utjecaji su temperatura, oborine i vjetar. Niska temperatura uzrokuje zamrzavanje vode u pukotinama, ali i kroz velike temperaturne razlike (posebno na dnevnoj skali velikim razlikama između dnevne i noćne temperature) pogoduje bržoj fizičkoj rastrošbi. S druge strane visoka temperatura u toplijim i vlažnijim područjima ubrzava procese kemijske rastrošbe.

Kod zasjeka topografija pokazuje svoj utjecaj u prvom redu kroz nagib i smjer nagiba izvedenog pokosa. Blaži nagibi pogoduju kemijskoj rastrošbi, dok s druge strane strmiji nagibi ubrzavaju fizičku rastrošbu, kroz povećanu mogućnost prenošenja već rastrošenog gradiva [5]. Općenito, fizička rastrošba se smatra dominantnijom, a kemijska se može zanemariti.



Slika 1. Diferencijalna rastrošba po kosini – primjer iz literature [6]

3. ODREĐIVANJE POTREBNIH PARAMETARA ZA ANALIZU GLOBALNE STABILNOSTI ZASJEKA

3.1. Ispitni program

Za uzorke sa lokacije Trstenik oznake 20/20 definiran je sljedeći ispitni program:

- udio karbonata
- vlažnost
- upijanje vode
- suha gustoća stijene
- gustoća čvrstih čestica
- jedinična težina
- čvrstoća stijene u točki
- slake durability test
- Atterbergove granice
- izravni posmik (3 faze)
- granulometrijska analiza za 3. fazu

Za uzorke sa lokacije Trstenik oznake 24/21 definiran je sljedeći ispitni program:

- udio karbonata
- vlažnost
- suha gustoća stijene
- gustoća čvrstih čestica
- Atterbergove granice
- izravni posmik
- granulometrijska analiza
- određivanje gustoće tla metodom cilindra

3.2. Uzorkovanje i priprema uzoraka za ispitivanje



Slika 2. Prikaz lokacije uzoraka [7]

Prikupljanje uzoraka za ispitivanje provedeno je na dvije lokacije koje su prikazane na slici 2 na području Trstenika u Splitu sondažnim bušenjem u okviru istražnih radova na prvoj lokaciji uzorka 20/20, te sa napuštenog gradilišta ručnim iskopom na drugoj lokaciji za uzorak 24/21.

U laboratoriju su uzorci obrađeni upotrebom pile na dimenzije koje su potrebne za različita ispitivanja. Većinski dio uzoraka obrađen je bez upotrebe vode kako bi se onemogućio proces dezintegracije prije ispitivanja. Manji dio uzoraka je potopljen u vodu zbog simulacije procesa rastrošbe.

Ispitivanje posmične čvrstoće je najznačajnije svojstvo za geotehničko projektiranje, zbog toga ono zahtijeva najviše vremena i analiza. Za ovo ispitivanje uzorci su obrađeni na dimenzije 5 x 5 x 10 cm.

Dio uzoraka koji je bio predviđen za ispitivanje simuliranjem rastrošbe sušenja i vlaženja obavijen je metalnom mrežom koja se lako oblikuje oko uzorka. Mreža sprječava dezintegraciju testnog uzorka.

Osim ispitivanja posmične čvrstoće na uzorcima su određena i ostala svojstva kao indeksni pokazatelji koji služe za procjenu podložnosti rastrošbi i odabir broja ciklusa.

Sva ispitivanja su provedena u Geotehničkom laboratoriju na FGAG-u.



Slika 3. Uzimanje uzoraka s terena i prikaz kosine čija će se stabilnost analizirati

3.3. Laboratorijska ispitivanja

U ovom poglavlju će se ukratko objasniti ispitivanja koja su rađena s naglaskom na ispitivanje posmične čvrstoće. Krajnji rezultati su prikazani u tablici 1, a detaljniji rezultati u prilogima.

3.3.1. Udio karbonata u mineraloškom sastavu

Određivanje postotka karbonata temelji se na kemijskoj reakciji između karbonata i klorovodične kiseline pri čemu nastaje ugljični dioksid.

Nakon toga se određuju volumen i masa ugljikovog dioksida koji se skuplja. Iz mase ugljikovog dioksida i težinskog odnosa prema kalcijevom karbonatu proračuna se masa karbonata i izrazi se u postotku početne suhe mase. Udio CaCO_3 određen je po normi HRN U.B1.026.

3.3.2. Vlažnost

Vlažnost je određena prema normi HRN EN ISO 17892-1:2015. Vlažnost se definira kao odnos mase vode i mase čvrstih čestica u uzorku tla.

3.3.3. Suha gustoća stijene

Suha gustoća stijene (ρ_d) je masa čvrstih čestica prema ukupnom volumenu uzorka stijene. Određena je prema normi HRN EN ISO 17892-2:2015 metodom potapanja u vodu. Metoda potapanja u vodu obuhvaća određivanje suhe gustoće uzorka prirodnog ili zbijenog tla mjerenjem njegove mase u zraku i prividne mase kad se suspendira u tekućini.

3.3.4. Gustoća čvrstih čestica

Gustoća čvrstih čestica (ρ_s) predstavlja udio čvrstih čestica prema ukupnom volumenu materijala bez pora i šupljina. Ispitivanje je izvršeno prema normi HRN EN ISO 17892-3:2016. Korištena je metoda piknometra istiskivanjem fluida.



Slika 4. Prikaz ispitivanja gustoće čvrstih čestica metodom piknometra

3.3.5. Upijanje vode

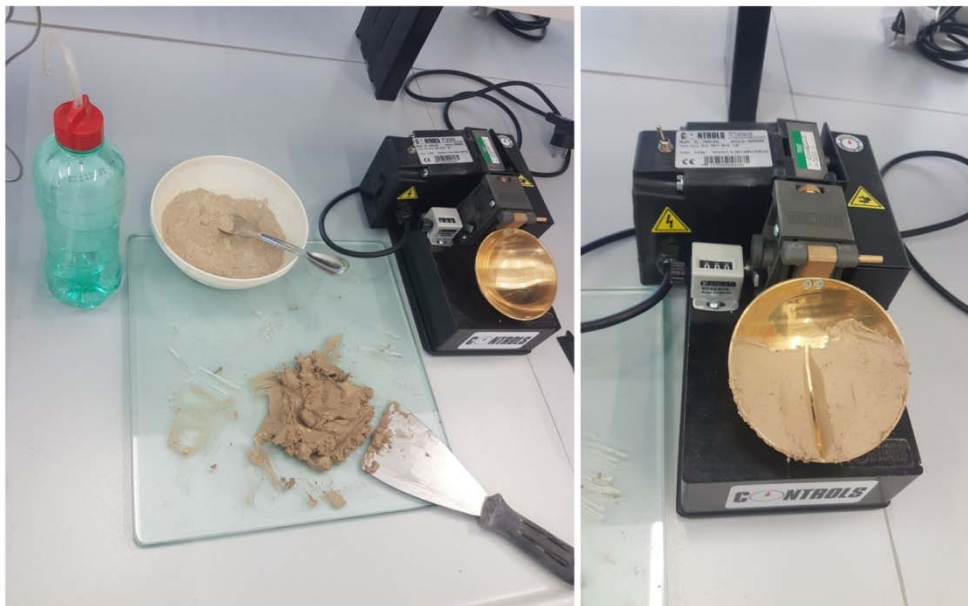
Upijanje vode predstavlja težina vode, koju upije uzorak stijene, nakon što je 24 sata uronjen u vodu. Najčešće je izraženo u postotku suhe mase uzorka. Upijanje je određeno prema HRN B.B8.010.

3.3.6. Atterbergove granice

Atterbergove granice predstavljaju granice konzistencije tla. Na granicama između konzistentnih stanja, odgovarajuće vrijednosti vlažnosti nazivaju se granicom stezanja W_S , granicom plastičnosti W_P i granicom tečenja W_L . U svrhu ovog rada određena je granica plastičnosti W_P i granica tečenja W_L prema normi HRN EN ISO 17892-12:2018.

Za granicu plastičnosti korišten je postupak ručnim valjanjem valjčića vlažnog tla na odgovarajućoj podlozi. Ako se valjčići lome pri debljini od oko 3 mm, oni su na granici plastičnosti.

Za određivanje granice tečenja korišten je Casagrandeov uređaj u kojem se dovoljno vlažan uzorak tla razmazuje u posebnu zdjelicu, u uzorku se posebnim nožem zarezuje utor, a zdjelica pada s određene visine na podlogu. Pri tom se mjeri broj udaraca zdjelice u podlogu potrebnih da se utor zatvori na duljini od oko 1 cm. Ovaj se postupak ponavlja pri različitim vlažnostima uzorka. Vlažnost uzorka koja se uzima kao odgovarajuća je pri 25 udaraca Casagrandeova uređaja.



Slika 5. Casagrandeov uređaj i pripremanje smjese za određivanje granice tečenja

3.3.7. Čvrstoća stijene u točki (Point Load Test)

Ovo ispitivanje izvršeno je prema naputku ISRM-a [8], koristi se zbog jednostavnijih uvjeta te služi za procjenu parametara čvrstoće stijene.

Za ovaj rad korišteni su uzorci oblika kvadra dimenzija poprečnog presjeka od 50 mm. Uzorak se lomi nanošenjem opterećenja preko vrhova stožaca normiranih dimenzija. Za određivanje vrijednosti indeksa točkaste čvrstoće $I_{S(50)}$ potrebno je obaviti 5 do 10 pokusa, te se odbacuje najviša i najniža vrijednosti i od preostalih se računa prosječna vrijednost.

3.3.8. Indeks trajnosti (slake durability index)

Za ovaj pokus, prema naputku ISRM-a [9], pripreme se uzorci 10 odlomaka stijene čiji vrhovi moraju biti zaobljeni, a ukupna masa uzorka je oko 500 g. Nakon pripreme uzorak se stavlja u standardni bubanj i suši na temperaturi od 105 °C (2-6 sati). Nakon sušenja utvrđuje se masa suhog uzorka te se ugrađuje u posudu s nosačem bubnja gdje je uzorak djelomično uronjen u vodu. Nakon vrtnje bubanj s uzorkom se suši i određuje se masa preostalog uzorka. Postupak se ponavlja za željeni broj ciklusa.

3.3.9. Određivanje gustoće tla metodom cilindra

Metoda cilindra temelji se na uzimanju uzorka s terena u posudu cilindričnog oblika određenih dimenzija. Nakon toga se u laboratoriju uzorak važe u vlažnom i suhom stanju, te se može odrediti i vlažnost uzorka. Gustoću uzorka dobivamo preko sljedećeg izraza:

$$\rho = \frac{m_{VL}}{V_0} \quad (3.1)$$

gdje je masa vlažnog uzorka izvagana u laboratoriju, a volumen uzorka se izračunava budući da su dimenzije cilindra poznate.



Slika 6. Uzimanje uzorka s terena - metoda cilindra

3.4. Ispitivanje posmične čvrstoće

Laboratorijski dio ispitivanja posmične čvrstoće mekih stijena sastoji se od 3 faze:

1. Ispitivanje posmične čvrstoće na uzorku sa prirodnom vlažnošću (intaktni uzorak, 0 ciklusa)
2. Ispitivanje posmične čvrstoće na uzorku nakon 4 ciklusa sušenja i vlaženja
3. Ispitivanje posmične čvrstoće na uzorku fragmenata stijene (4 ciklusa)

Budući da je dominantni proces koji uzrokuje rastrošbu lapora naizmjenično sušenje i vlaženje, u laboratoriju je simuliran proces rastrošbe i uočene su promjene u svojstvima uzoraka.

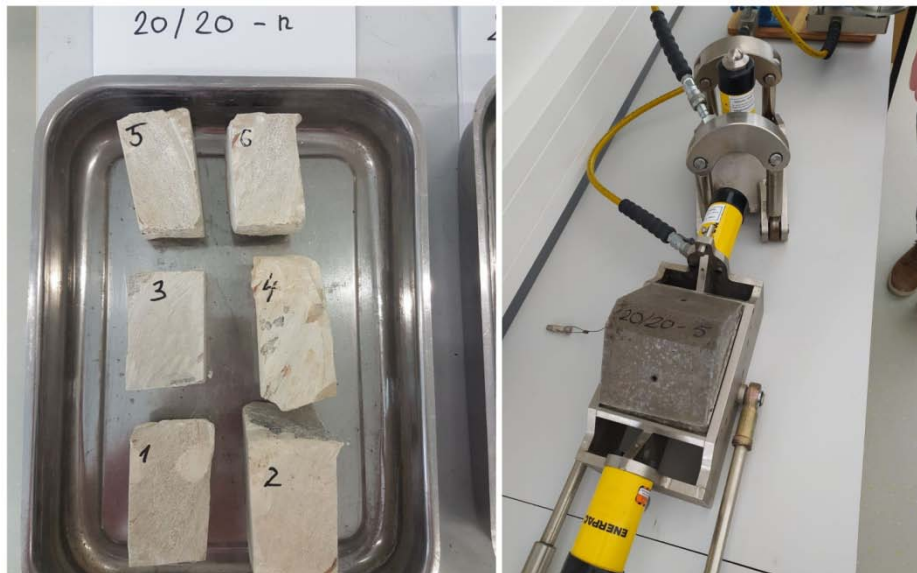
Metode kojima je ispitivana posmična čvrstoća uzoraka su pokus pomoću prijenosnog uređaja za izravni posmik stijene (1. i 2. faza), te pokus pomoću uređaja za izravni posmik tla (3. faza).



Slika 7. Prikaz tri faze rastrošbe u laboratoriju

3.4.1. Posmična čvrstoća na intaktnom uzorku

Postupak za određivanje posmične čvrstoće stijene koji je korišten je pokus direktnog smicanja. Postupak se provodi na neporemećenim uzorcima stijene pomoću prijenosnog uređaja za direktno smicanje.



Slika 8. Prikaz intaktnog uzorka i uređaja za direktno smicanje stijena

Prije ispitivanja uzorke je potrebno ugraditi u kalupe kako bi se imobilizirali što uzrokuje stabilnost uzorka prilikom smicanja. Receptura morta pomoću kojeg se imobiliziralo uzorke je unaprijed određena i poznata.

Uzorak je potrebno centrirati u kalupu pomoću kliješta koja su dio kalupa. Nakon što se dobije smjesa morta, ona se ulijeva u aluminijski kalup koji prethodno treba premazati uljem. Aluminijski kalup se sastoji od dva dijela, a mort se ulijeva u obje polovice. Kad mort očvrstne u prvoj polovici kalupa zajedno s uzorkom, tek tada se može ulijevati mort u drugi dio kalupa, a očvrstnuta polovica kalupa se postavlja na tek uliveni dio kalupa. Kada i druga polovica morta očvrstne uzorak je sprema za ispitivanje.

Ispitivanja su provedena na kompaktnim uzorcima s prirodnom vlažnošću bez uočljivih međuslojnih pukotina. Rezultati ispitivanja uzoraka su sadržavali međuslojne pukotine. Uzorci se ispituju pri različitim vrijednostima normalnih opterećenja, a kao rezultat se dobiva posmično naprezanje u trenutku sloma i pripadno normalno naprezanje. Efektivna naprezanja su jednaka totalnim budući da je porni pritisak $u=0$ za vrijeme izvođenja pokusa.

Posmična čvrstoća analizirana je prema Mohr-Coulombovom kriteriju posmične čvrstoće [2] :

$$\tau_f = c + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3.2)$$

pri čemu su: τ_f – posmično naprezanje pri slomu;

c – kohezija;

σ_n – naprezanje okomito na kliznu plohu;

φ - kut unutarnjeg trenja.

Kohezija je posljedica veze među česticama i kod glinovitih materijala ima značajnu ulogu.

Kut unutarnjeg trenja je posljedica trenja među česticama.

3.4.2. Laboratorijska simulacija rastrošbe

Simulacija procesa rastrošbe u laboratoriju izvodi se sušenjem i vlaženjem uzorka u ciklusima. Jedan ciklus se sastoji od sljedećih faza:

- a) sušenja uzorka u sušioniku 24 sata pri konstantnoj temperaturi 105 °C
- b) hlađenja uzorka pri laboratorijskoj temperaturi zraka (24 h)
- c) uranjanja uzorka u vodu (24 h)

Broj ciklusa ovisi o vrsti materijala, odnosno o njegovoj podložnosti rastrošbi.

Problem kod simulacije rastrošbe je da se uzorak vrlo često brzo raspadne, stoga je primijenjen modificirani postupak ispitivanja posmične čvrstoće. Kod modificiranog postupka uzorci veličine 5 x 5 x 10 su obavijeni metalnom mrežom prije ugradnje uzorka u kalup.

Nakon svakog ciklusa uzorci se važu i uspoređuju s početnom masom. Neke meke stijene mogu znatno degradirati ovim postupkom, te se nakon samo dva ciklusa raspadnu u prašinski materijal koji prolazi kroz otvore mrežice.

Materijale koji imaju veći gubitak mase nije moguće testirati u prijenosnom uređaju za izravni posmik stijene, već se za degradiranu fazu koristi uređaj za izravni posmik tla.

Ispitivanje se sastoji od 3 serije uzoraka, a svaka serija sadrži najmanje 5 ispitnih primjeraka. Prva serija se testira pri prirodnoj vlažnosti materijala, dok se kod svake sljedeće serije povećava broj ciklusa sušenja i vlaženja.

U ovom ispitivanju u 2. seriji uzoraka pretpostavljeno je 2 ciklusa sušenja i vlaženja, no budući da rastrošba nije napredovala do određenog pretpostavljenog stupnja, produžena je na 4 ciklusa što je prikazano na slici 9.



Slika 9. Proces dezintegracije uzorka u drugoj fazi rastrošbe - naizmjenično sušenje i vlaženje

Treća serija uzoraka fragmentirane stijene se raspadala postupno kako je i predviđeno, te nakon četvrtog ciklusa rastrošba je bila u degradiranoj fazi. Za ovu fazu prilikom ispitivanja posmične čvrstoće korišten je uređaj za izravni posmik tla.



Slika 10. Proces dezintegracije uzorka u trećoj fazi rastrošbe – od 1. do 4. ciklusa

Granulometrija

Nakon naizmjeničnih sušenja i vlaženja uzorci su došli u stanje koje je prikazano na slici 9. Kako bi ih bilo moguće ugraditi u uređaj za izravni posmik tla prvobitno je potrebno odrediti granulometrijski sastav raspadnutog uzorka.

Granulometrijski sastav je pokazatelj masenog udjela pojedinih frakcija (dio neke smjese) zrna u tlu ili kakvom zrnatom materijalu, a koje obuhvaćaju sva zrna određenog promjera. Granulometrijski sastav određen je sijanjem uzorka tla kroz sita različitih otvora.

Uzorci se raspoređuju u pojedine frakcije te se važe ostatak na situ. Na kraju se odredi maseni udio pripadajućih frakcija.



Slika 11. Podjela uzoraka u frakcije

Granulometrijski sastav prikazan je grafom na kojem je na apscisi promjer oka sita u logaritamskome mjerilu, a na ordinati maseni udio zrna što prolaze kroz sito određena promjera oka. Graf je prikazan u rezultatima ispitivanja.

3.4.3. Ispitivanje posmične čvrstoće na uređaju za izravni posmik tla

Uređaj za direktni posmik najjednostavniji je uređaj za ispitivanje čvrstoće tla u dreniranim uvjetima. Pomoću tog se uređaja uzorak tla podvrgava prisilnom smicanju po horizontalnoj ravnini, koja dijeli dvije usporedne kutije u kojima se nalazi uzorak.

Pripremljeno je 5 uzoraka sa jednakom granulometrijom te udjelom vode od 20 %. Uzorci se ugrađuju u kalup od uređaja. Provode se pokusi nanošenjem različitih vertikalnih

opterećenja od 25, 50, 100 i 200 kPa. Svaki od pokusa smicanja provodi se u dvije faze. Prvu fazu čini konsolidacija pod vertikalnim opterećenjem, a drugu fazu smicanje. Nakon nanošenja vertikalnog opterećenja treba pratiti i bilježiti slijeganje uzorka s vremenom. S drugom fazom se može započeti tek kada je utvrđeno da je konsolidacija u prvoj fazi završena.

Iz dobivene konsolidacijske krivulje treba odrediti t_{50} , vremena potrebna za postizanje stupnja konsolidacije od 50%. Ovi će podaci poslužiti za određivanje najmanje brzine smicanja u drugoj fazi. Brzina smicanja važna je kako bi se osiguralo da se višak tlaka vode u uzorku zadrži na nuli tijekom smicanja. U tom će slučaju efektivna naprežanja u uzorku biti jednaka nametnutim ukupnim naprežanjima.



Slika 12. Priprema uzorka za ispitivanje posmične čvrstoće u uređaju za direktno smicanje tla

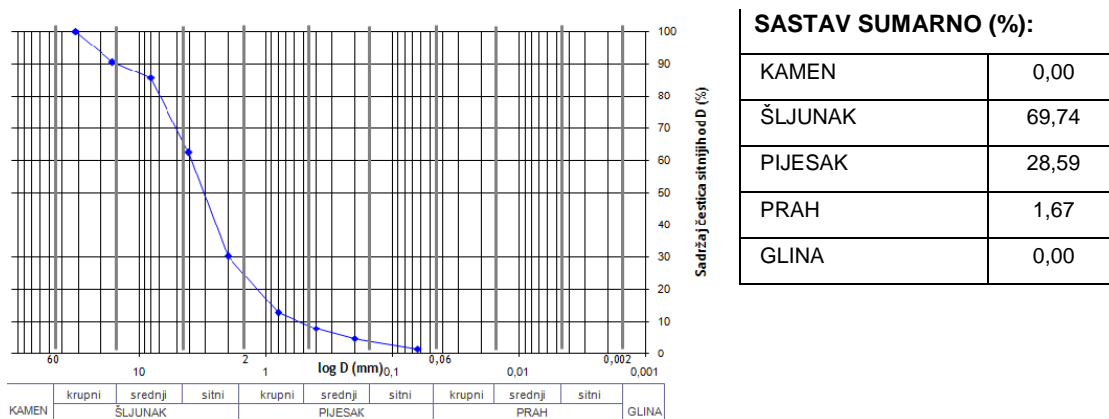
3.5. Rezultati laboratorijskih ispitivanja

Tablica 1. Indeksni parametri uzoraka i parametri posmične čvrstoće

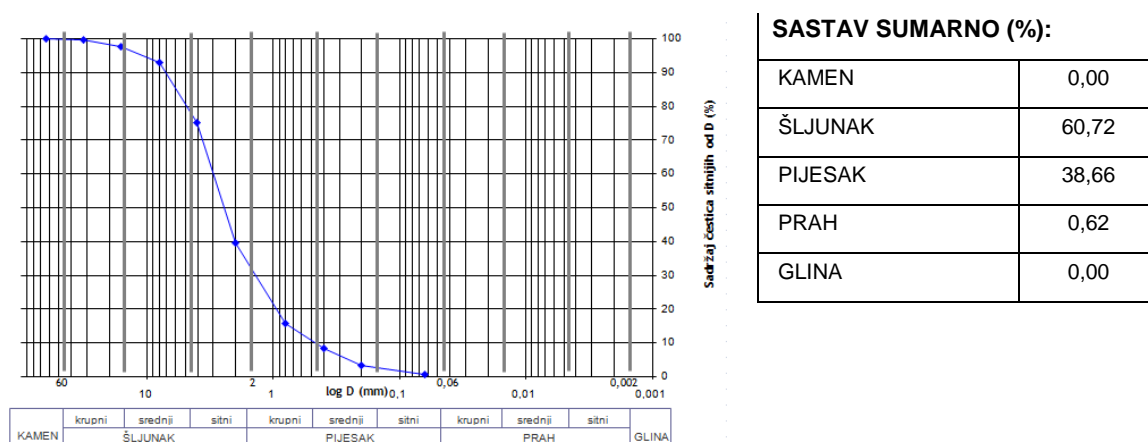
Parametar	Oznaka	Uzorak 20/20	Uzorak 21/24	
Udio karbonata	CaCO ₃ [%]	45,87	56,67	
Vlažnost	w [%]	2,60	10,91	
Upijanje	U _v [%]	9,95	-	
Jedinična težina	γ [kN/m ³]	23,53	17,07	
Gustoća	ρ [Mg/m ³]	2,40	1,74	
Suha gustoća	ρ _d [Mg/m ³]	2,34	1,55	
Gustoća čvrstih čestica	ρ _s [Mg/m ³]	2,64	2,63	
Čvrstoća u točki	I _{s(50)} [MPa]	1,240	-	
Slake test	I _{d2} [%]	92,40	-	
	SDI ₁₀ [%]	92,40	-	
	SDI ₂₅ [%]	73,01	-	
	SDI ₆₀ [%]	44,75	-	
	SDI ₁₂₀ [%]	48,36	-	
	LSI [%]	0,33	-	
Atterbergove granice	W _L [%]	37,63	33,88	
	W _P [%]	19,42	18,45	
	W _S [%]	-	-	
	I _P [%]	18,21	15,43	
Posmična čvrstoća	Ciklus 0	c [MPa]	5,81	0,01
		φ [°]	33,65	35,6
	Ciklus 2(4)	c [MPa]	1,134	-
		φ [°]	26,10	-
	Ciklus 4	c [MPa]	0,0089	-
		φ [°]	35,9	-

U tablici 1 prikazani su rezultati dobiveni ispitivanjem indeksnih parametara koji služe kao pomoćna ispitivanja koja pomažu pri razredbi mekih stijena i lakšem predviđanju ciklusa rastrošbe.

Prema udjelu karbonata u stijenama zaključeno je da oba uzorka pripadaju skupini lapora jer im se postotak karbonata nalazi u intervalu 25%-65%.

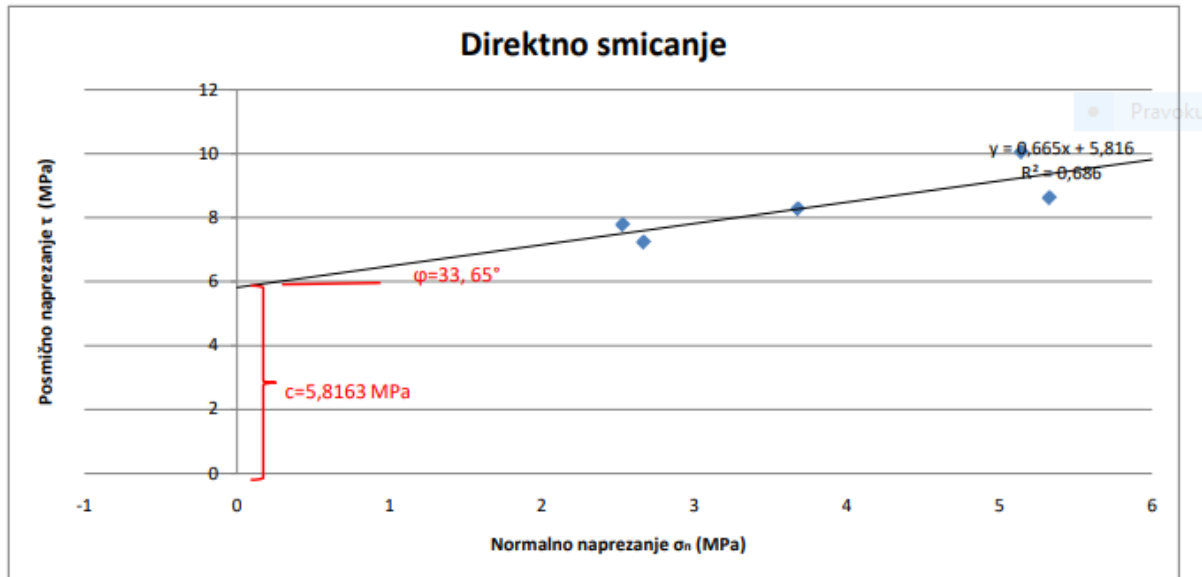


Slika 13. Prikaz granulometrijskog sastava za uzorak 20/20



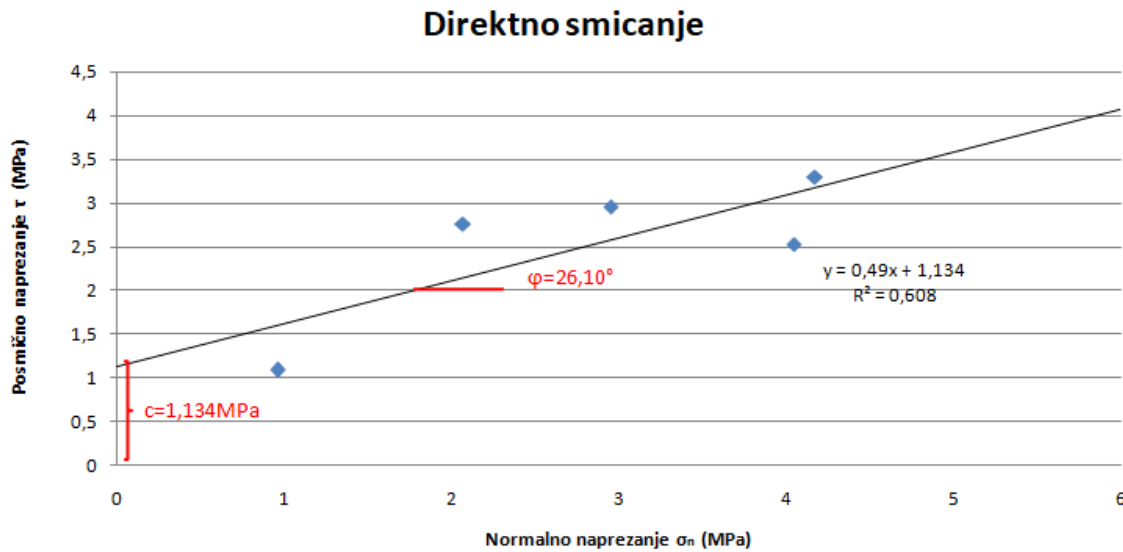
Slika 14. Prikaz granulometrijskog sastava za uzorak 24/21

Izvršena je i granulometrijska analiza na oba uzorka. Prema krajnjim rezultatima i granulometrijskoj krivulji vidljivo je da oba uzorka imaju relativno sličan sastav usprkos tome što je uzorak 20/20 dobiven simuliranjem procesa rastrošbe u trećoj fazi, a uzorak 24/21 uzorkovan je izravno s terena.



Slika 15. Rezultati pokusa direktnog smicanja u uređaju za izravni posmik stijene za intaktni uzorak 20/20

Na slici su prikazani rezultati pokusa direktnog smicanja na intaktnoj stijeni. Kod ovog ispitivanja uzorak je opterećen određenom vertikalnom silom, a kao rezultat izračunavaju se normalno i posmično naprezanje pomoću metode najmanjih kvadrata. Temelji se na Mohr-Coulombovom zakonu za određivanje kohezije i kuta trenja, a postavlja se linearni pravac koji najbolje opisuje izmjerene vrijednosti posmičnog otpora pri lomu. Površine uzorka se mjere prije samog ispitivanja i nakon ispitivanja zbog kontrole, a u proračunu se koriste kontrolirane površine.



Slika 16. Rezultati izravnog posmika u uređaju za direktni posmik stijene za uzorak 20/20 kojemu je simulirana rastrošba – 2. faza rastrošbe

Kod intaktnog uzorka 20/20 na slici je vidljivo je da je aproksimacija Mohr-Coulombovog pravca prilično precizna bez većih odstupanja. Usporedbom s drugim autorima za materijal lapor, vrijednost kuta trenja je očekivana, dok je vrijednost kohezije malo veća od očekivanog.

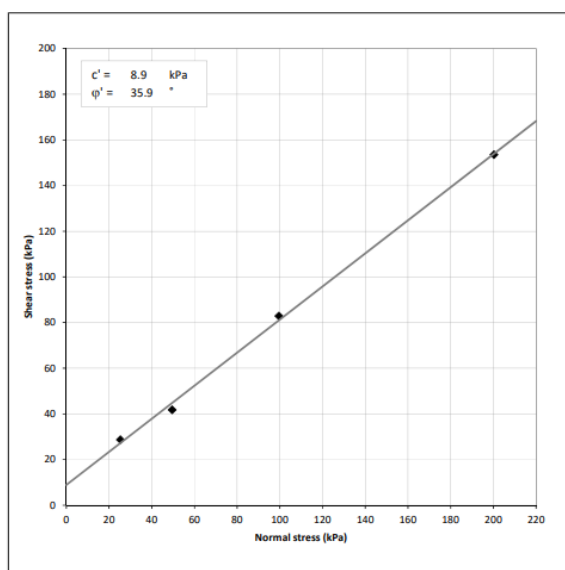
Kod uzorka 20/20 simulirana je rastrošba. U početku je bilo predviđeno dva ciklusa sušenja i vlaženja, no prateći napredak rastrošbe uočeno je da se vjerojatno radi o dijelu stijenske mase koji ima puno veći udio karbonata, a samim time i veću čvrstoću. Uzorak se nije degradirao kako je predviđeno stoga je rastrošba produžena na 4 ciklusa.

Na slici je vidljivo da kod rezultata ima većih odstupanja nego na intaktnom uzorku što upućuje na nepouzdanost ispitivanja i rastrošbe za ove uzorke.

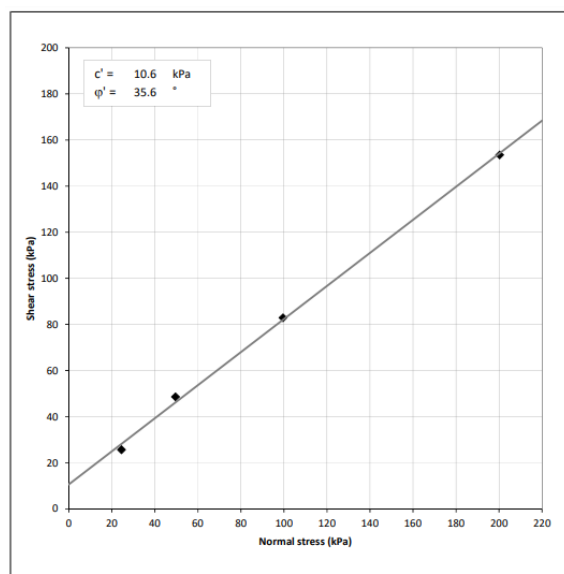
Dolazi do malog smanjenja kuta trenja u odnosu na intaktni uzorak što znači da nije dobiven očekivani pad čvrstoće, a komponenta kohezije se također smanjuje.



Slika 17. Prikaz uzoraka nakon pokusa izravno posmika a) bez mrežice b) s mrežicom



Slika 18. Rezultati posmične čvrstoće za uzorak 20/20- 3. faza rastrošbe



Slika 19. Rezultati posmične čvrstoće za uzorak 24/21

Na slikama 18 i 19 su prikazani rezultati parametara posmične čvrstoće za uzorak 20/20 u trećoj fazi rastrošbe i za uzorak 24/21 koji je uzorkovan izravno s terena. Oba uzorka su ispitana u uređaju za izravni posmik tla.

Ova dva materijala naizgled imaju sličnu konzistenciju, a nakon laboratorijskih istraživanja to se može i potvrditi. Ako se usporede rezultati granulometrijske analize i parametre posmične čvrstoće vidljivi su približni rezultati, što upućuje na to da su rezultati dobiveni simulacijom rastrošbe u laboratoriju u ovom slučaju pouzdani.

Nadalje, ako se usporede uzorci 20/20 druge i treće faze rastrošbe vidljiva je nedosljednost. Uzorci druge, tj faze koja je trebala biti "srednja faza" nisu se raspadali jednakim tempom kao uzorci treće faze stoga je njihova rastrošba produžena na 4 ciklusa. Na kraju imamo dva uzorka 20/20 rastrošena u 4 ciklusa, ali sa različitim krajnjim rezultatom. To upućuje da je bitno koji dio stijene ispituje u laboratoriju jer stijenska masa može imati fragmenata koji odstupaju od većinskih parametara.

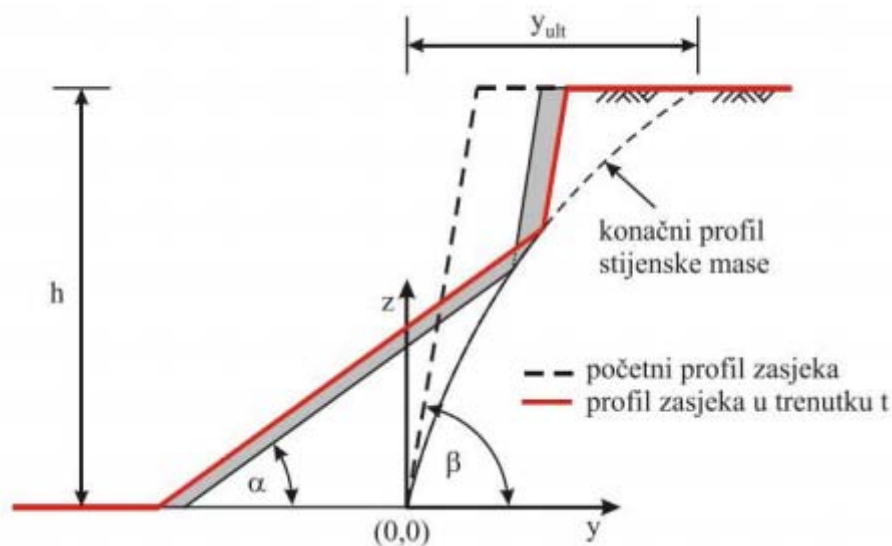
4. ODREĐIVANJE GEOMETRIJE KOSINE U VREMENU

4.1. Fisher-Lehmannov model

Pretpostavke Fisher-Lehmannovog modela su [10]:

- Kosina je homogena, pokos je ravan, nagiba β koji je dovoljno strm da omogućava transport rastrošenog materijala.
- Teren u podnožju i iza pokosa je vodoravan i proteže se dovoljno daleko.
- U svakom vremenskom koraku rastrošba lica zasjeka se odvija ravnomjerno. Veći odroni i odvajanja stijenske mase po diskontinuitetima nisu razmotrena.
- Rastošeni materijal nakuplja se u podnožju u obliku talusa konstantnog nagiba α .
- Ispod akumuliranog sipara stijena je zaštićena od daljnje rastrošbe. Istovremeno u dijelu slobodnog lica pokosa stijena se nastavlja trošiti i erodirati.

Uočljivo je da se oblikuje konveksna granica između akumuliranog sipara i intaktne stijene. U konačnici bi se zasjek nagiba β preoblikovao u kosinu na nagiba α koja tangira konveksnu jezgru intaktne stijene kao što je prikazano na slici.



Slika 20. Fisher-Lehmannov matematički model erozije zasjeka [10]

S obzirom na navedene pretpostavke, izraz za određivanje konveksne jezgre intaktne stijene poprima oblik:

$$y = k \cdot (l + m) \cdot \ln\left[\frac{m}{(m-z)}\right] - k \cdot z \quad (4.1)$$

gdje je: $m = h/c$; $k = (a - ac - b)/c$; $l = b \cdot h/(a - ac - b)$; $a = ctg\alpha$; $b = ctg\beta$; h -visina zasjeka, α - nagib stabilnog pokosa sipara i β – početni nagib zasjeka. Parametar c je konstanta potrebna za egzaktnu derivaciju, a koja predstavlja mjeru rastresitosti rastrošenog materijala:

$$\frac{\text{zapremina stijene}}{\text{zapremina sipara}} = \frac{1-c}{c} \quad (4.2)$$

Konačni položaj vrha pokosa može se odrediti uvrštavanjem $z=h$ u izraz (4.1) koji tada poprima sljedeći oblik:

$$y_{ult} = (ctg\alpha - ctg\beta) \cdot (1 - c) \cdot \frac{h}{c} \cdot \left[\frac{1}{c} \cdot \ln\left[(1 - c)^{-1} - 1\right] + h \cdot ctg\beta\right] \quad (4.3)$$

Odnosno, za pomak nožice sipara koji se može odrediti pomoću izraza:

$$y_s = h \cdot ctg\alpha - y_{ult} \quad (4.4)$$

Osim početne geometrije zasjeka utjecaj na oblikovanje konačne geometrije ima i nepoznati parametar rastresitosti rastrošenog materijala.

Promjena geometrije lica zasjeka u vremenu može se opisati sljedećom funkcijom:

$$y(t) = \begin{cases} h \cdot ctg\beta, & \text{za } t = 0 \\ h \cdot ctg\beta + R_{y,s}, & \text{ako je } 0 < t < (y_{ult} - h \cdot ctg\beta)/R_{y,s} \\ y_{ult}, & \text{ako je } t \geq t_{ult} = (y_{ult} - h \cdot ctg\beta)/R_{y,s} \end{cases} \quad (4.5)$$

gdje je $R_{y,s}$ prosječna godišnja erozija.

4.2. Pojednostavljena metoda određivanja geometrije modela

Tijekom vremena, osim početne geometrije zasjeka na oblikovanje krajnje geometrije utječe rastrošba i erozija, te parametar rastrošenosti materijala.

Prema terenskim istraživanjima uočeno je da je prosječna godišnja erozija na zasjecima na kopnu 5 cm/god, a pomoću ovog podatka određen je i faktor rastresitosti $c=0,4$ [6].

Stoga je moguće pojednostavniti proračun geometrije zasjeka oslanjajući se na postavke Fisher-Lehmannovog modela. Ako znamo da je:

$$\frac{\text{zapremina stijene}}{\text{zapremina sipara}} = \frac{1-c}{1} \quad (4.6)$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{1-c}{1} \quad (4.7)$$

$$A_1 = \frac{A_2}{1-c} \quad (4.8)$$

$$A_1 = 1,67 \cdot A_2 \quad (4.9)$$

$c=0.4$

$R_{y,\text{sgodišnje}} = 5 \text{ cm}$

Budući da imamo ove podatke površine je moguće očitati iz AutoCad-a.

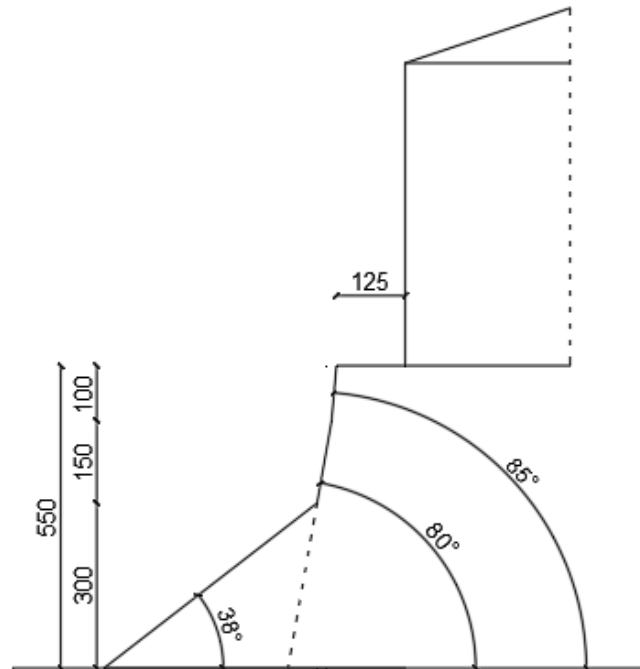
U tablici 2 prikazani su parametri koji su korišteni u proračunu.

Tablica 2. Parametri geometrije zasjeka

Parametar	Oznaka	Vrijednost	Mjerna jedinica
Nagib sipara	α	38	($^{\circ}$)
Nagib pokosa 1	β	80	($^{\circ}$)
Nagib pokosa 2	β	85	($^{\circ}$)
Visina zasjeka	h	5,5	(m)
Koeficijent rastresitosti	c	0,4	/
Prosječna godišnja erozija	$R_{y,s}$	5	(cm/god)

4.3. Grafički prikaz geometrije modela za $\Delta t = 0$

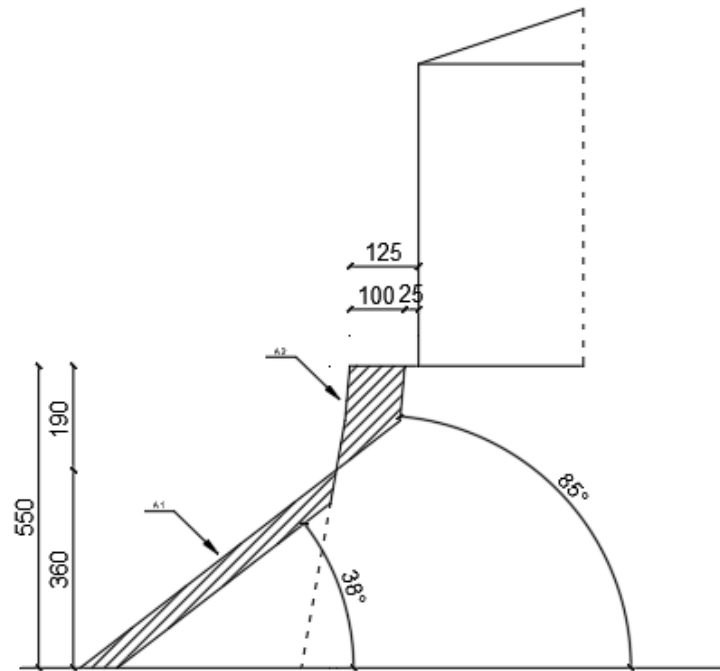
Na slici 21 za vrijeme $\Delta t = 0$ prikazano je trenutno stanje geometrije zasjeka, koje je dobiveno na temelju korištenja pojednostavljenog Fisher-Lehmann modela te parametara koji su prikazani u tablici 2.



Slika 21. Prikaz geometrije zasjeka za trenutno stanje na terenu

4.4. Grafički prikaz geometrije modela za $\Delta t = 20$ god.

Budući da je uočeno da je brzina pomak $R_{y,sgodišnje} = 5$ cm, za vrijeme od 20 godina zaključeno je da će pomak zasjeka biti za 100 cm. Uslijed tog pomaka u vremenu događa se promjena geometrije na način da se površina materijala s vrha zasjeka uslijed rastrošbe nakuplja na donjem dijelu zasjeka, tj. talusu, što je prikazano na slici 22.



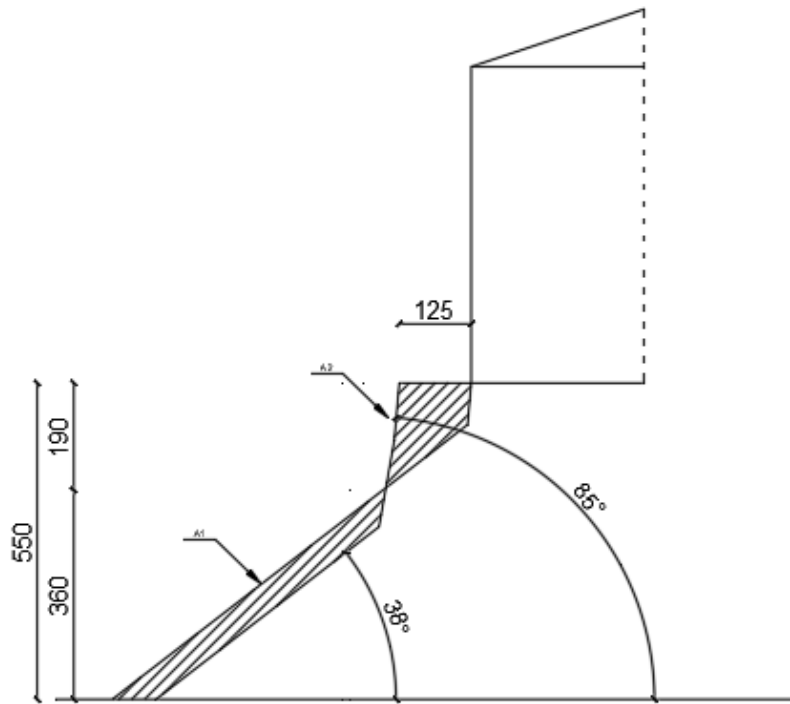
Slika 22. Prikaz geometrije zasjeka za $\Delta t=20$ god.

4.5. Određivanje i grafički prikaz geometrije za Δt kritično

Za Δt kritično odabrano je 25 godina, što se može dokazati vrlo jednostavnim proračunom. Ako je poznato da je brzina pomaka v koji se događa tijekom vremena 5 cm/god, a vrijeme t je 25 godina, slijedi da je prijeđeni put s jednak:

$$\begin{aligned}
 v &= 5 \text{ cm/god} \\
 t &= 25 \text{ god} \\
 s &= v \cdot t = 5 \frac{\text{cm}}{\text{god}} \cdot 25 \text{ god} = 125 \text{ cm} = 1,25 \text{ m} \quad (4.10)
 \end{aligned}$$

S ovim pomakom od 1,25 m kraj vrha zasjeka dolazi do građevine koja se nalazi na zasjeku. To je krajnji granični slučaj čija se stabilnost neće provjeravati u programu jer je jasno da dolazi do potkopavanja građevine.



Slika 23. Prikaz geometrije zasjeka za $\Delta t=25$ god.

5. ODABIR PARAMETARA ZA PRORAČUN STABILNOSTI KOSINE

5.1. Definiranje parametara čvrstoće osnovne stijenske mase

Za definiranje parametara čvrstoće stijene, za proračune stabilizacije u kojima se stijena tretira kao kvazihomogena koriste se [11]:

- rezultati laboratorijskih ispitivanja, provedenih u skladu s preporukama ISRM (ISRM 1979 i 1985)
- definirani indeks GSI (Hoek i dr. 1992, Hoek i dr. 1995, Bienawski 1979), na osnovu ulaznih podataka danih u odgovarajućim tablicama
- Hoek-Brownov kriterij čvrstoće stijenske mase (Hoek 1983, Hoek i Brown 1980 i 1988, Hoek i dr. 1992, Hoek i dr. 1995, Hoek, Carranza-Torres & Corkum, 2002)

5.2. Određivanje parametara čvrstoće stijenske mase (geotehnička sredina 3)

Parametri čvrstoće stijenske mase proračunati su na temelju Hoek-Brownovog kriterija. To je empirijski kriterij gdje se na osnovu određivanja svojstava stijenske mase prema različitim klasifikacijama procjenjuju parametri čvrstoće stijenske mase.

U ovom slučaju parametri su procijenjeni uz pomoć indeksa čvrstoće GSI.

Hoek-Brownov (Hoek, Carranza-Torres & Corkum, 2002) empirijski (modificirani) zakon čvrstoće u najopćenitijem obliku dat je izrazom:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(\frac{m_b \sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a \quad (5.1)$$

Konstante stijenske mase m_b , s i a određuju se na osnovu geološkog indeksa čvrstoće GSI.

$$m_b = m_i e^{\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right)} \quad (5.2)$$

$$s = e^{\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right)} \quad (5.3)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right) \quad (5.4)$$

Konstante stijenske mase m_b i s za poremećenu stijenu (miniranje i slobodne bočne deformacije zbog iskopa) izračunavaju se preko koeficijenta D .

Klasifikacijski parametri za GSI

Između sustava klasifikacija parametara stijenske mase postoje određene korelacije stoga se za GSI klasifikaciju određuje RMR vrijednost.

Klasifikacija je izvršena prema pregledu zasjeka.

Tablica 3. Parametri i pripadajući bodovi za RMR klasifikaciju

Parametar	Područje vrijednosti	Broj bodova	
Jednoosna tlačna čvrstoća	8,65 MPa		1
Indeks kakvoće jezgre RQD	< 25%		3
Razmak diskontinuiteta	< 0.06 cm		5
Stanje diskontinuiteta:			
duljina diskontinuiteta	> 20 m	0	
zijev	0.1 - 1.0 mm	4	
hrapavost	blago hrapave	3	
ispuna	tvrdi <5mm	5	
rastrošenost	srednje rastrošeni	3	
Uvjeti stanje podzemne vode	Vlažno/suho		12

RMR = 36 bodova

GSI = RMR – 5 = 36-5 = 31

Parametri čvrstoće ove stijenske mase određeni su pomoću računalnog programa RocLab. RocLab je dio programskog paketa RocScience koji vrši proračun na temelju Hoek-Brown-ovog kriterija čvrstoće stijenske mase [12].

U program se unose ulazne veličine: jednoosna tlačna čvrstoća, GSI indeks, m_i (koji je ovisan o vrsti stijene koja se ispituje) i DHB(faktor poremećenosti DHB=0). U programu je potrebno zadati jediničnu težinu materijala te da se radi o kosini zadane visine.

Tablica 4. Ulazni podaci za RocLab

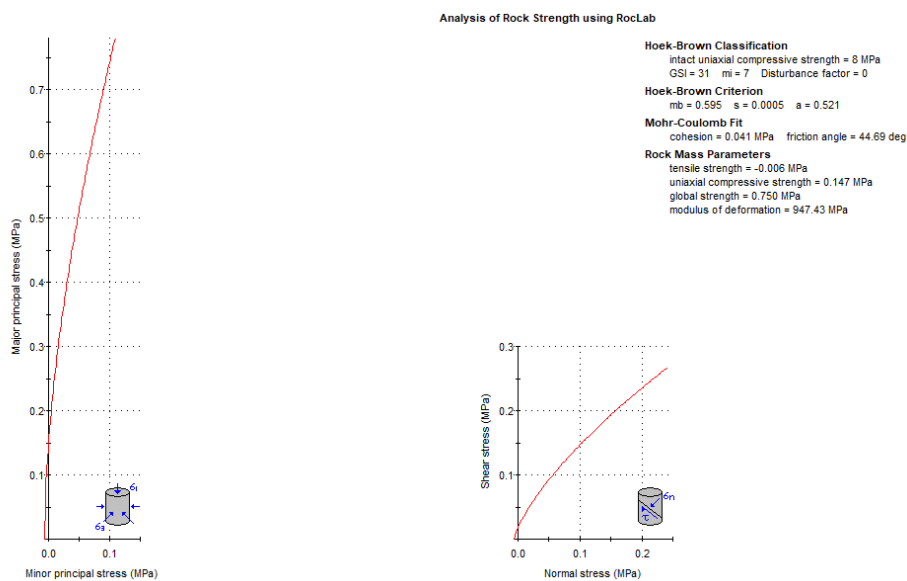
Hoek-Brown klasifikacija		
σ_c	8	MPa
GSI	31	
m_i	7	
D	0	

Tablica 5. Izlazni podaci

Mohr - Coulombovi parametri	
c (MPa)	0,041
φ (°)	44,69
Hoek - Brown parametri	
m_b	0,595
s	0,0005
a	0,521

Hoek-Brown Classification	
sigci	8 MPa
GSI	31
mi	7
D	0
Hoek-Brown Criterion	
mb	0.595
s	0.0005
a	0.521
Failure Envelope Range	
Application:	Slopes
sig3max	0.1091 MPa
Unit Weight	0.02353 MN/m ³
Slope Height	5.5 m
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.041 MPa
phi	44.69 deg
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.006 MPa
sigc	0.147 MPa
sigcm	0.750 MPa
Em	947.43 MPa

Slika 24. Prikaz sveukupnih parametara iz RocLab-a

Slika 25. σ - τ dijagram iz RocLaba

5.2.1. Parametri čvrstoće intaktne stijene

Parametri čvrstoće intaktne stijene koji su dobiveni laboratorijski postupkom direktnog smicanja čiji je postupak i rezultat opisan ranije. Budući da je pokus direktnog smicanja dosta nepouzdan proveden je i proračun parametara čvrstoće stijenske mase prema Hoek-Brownu.

U tablici 5 je prikazana usporedba rezultata intaktne stijene i rezultata čvrstoće stijenske mase korištenjem Hoek Brownovog kriterija.

Tablica 6. Usporedba parametara čvrstoće za stijensku masu

M-C parametri	Intaktna stijena (direktno smicanje)	Stijenska masa (Hoek-Brown kriterij)	Mjerna jedinica
c	5,816	0,041	MPa
ϕ	22,107	44,69	°

Za proračun analize stabilnosti kosine odabrane su vrijednosti proračuna čvrstoće stijenske mase jer predstavljaju kritičniju kombinaciju.

5.3. Definiranje parametara geotehničke sredine 1 (talus)

Ovaj sloj materijala se nalazi u podnožju kosine kao posljedica rastrošbe i erozije gornjeg sloja stijene. Za potrebe proračuna stabilizacije kosine izvršena su potrebna laboratorijska ispitivanja u uređaju za izravni posmik tla na uzorcima 20/20 i 24/21

Dobivene su sljedeće vrijednosti parametara:

Tablica 7. Usporedba parametara posmične čvrstoće za geotehničku sredinu 1

Uzorak	20/20	24/21
c (kPa)	8.9	10.6
ϕ (°)	35.9	35.6
γ (kN/m ³)	-	17,04

Uzorak 20/20 dobiven je trećom fazom rastrošbe, nakon 4 ciklusa sušenja i vlaženja, a uzorak 24/21 je rastrošeni materijal koji je uzet izravno s terena. Usporedbom rezultata ova dva uzorka uočena je sličnost koja upućuje da je rastrošba koja je simulirana u laboratoriju u ovom slučaju pouzdana i relevantna.

Za proračun stabilnosti kosine odabrani su parametri uzorka 24/21.

5.4. Definiranje parametara geotehničke sredine 2

Ovaj sloj materijala se nalazi na gornjoj prednjoj površini kosine te nastaje zbog rastrošbe u vremenu. Debljina ovog sloja materijala određena je prema istraživanjima turskih autora koji predlažu da je debljina sloja jednaka $0,06H$ [13] što bi u ovom slučaju iznosilo 0,33 m. Za odabir parametara geotehničke sredine 2 usporedit će se rezultati dobiveni u drugoj fazi rastrošbe materijala u laboratoriju sa rezultatima koji su dobiveni u ispitivanjima sličnih uzoraka čiji su autori Vlastelica, Mišćević i Pavić [1].

Tablica 8. Usporedba rezultata ispitivanja uzorka 20/20-2. faza rastrošbe sa uzorcima sličnih svojstava iz literature [1]

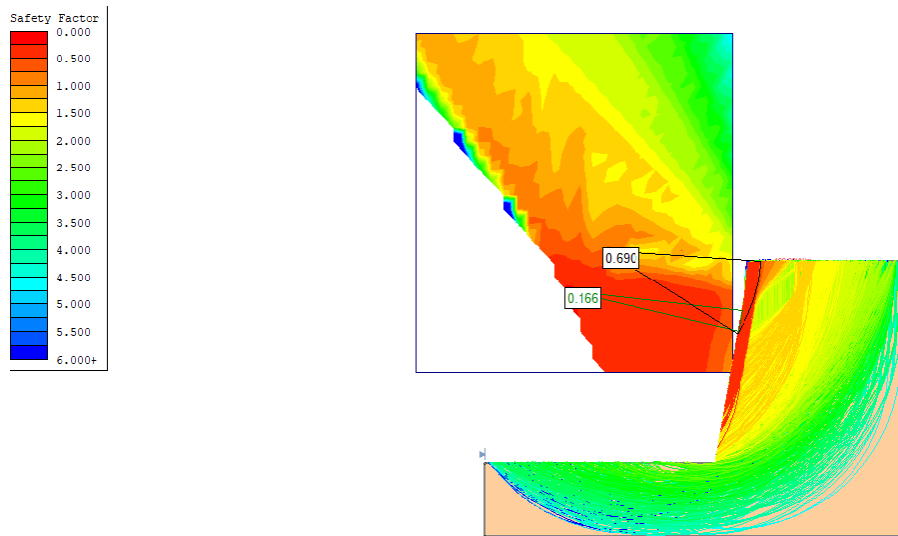
Oznaka uzorka	20/20	DS-6	DS-3
CaCO ₃ (%)	45,87	44,44	54,63
Upijanje (%)	9,95	8,59	8,40
γ_d (kN/m ³)	22,95	21,8	23,5
I _{d2} (%)	92,400	89,75	76,04
I _{d4} (%)	84,99	84,11	42,22
I _{s(50)}	1,240	1,071	0,666
c (MPa)	1,135	0,1	0,1
φ (°)	26,09	36,4	29,7

Usporedbom rezultata osnovnih ispitivanja uzorka 20/20 i druga dva uzorka uočeno je da je najbliži uzorak DS-6. Stoga su za proračun stabilnosti kosine odabrani rezultati parametara posmične čvrstoće uzorka DS-6. Svi rezultati parametara posmične čvrstoće dobiveni su pomoću pokusa direktnog smicanja, te je dobivena kohezija koja je puno veća nego u stvarnosti. Geotehnička sredina 2 je sloj materijala koji je podložan rastrošbi, a vrijednost kohezije koja je dobivena je dosta veća od vrijednosti kohezije koja je odabrana za parametre čvrstoće stijenske mase. To nam sugerira da su dobiveni rezultati nepouzdana.

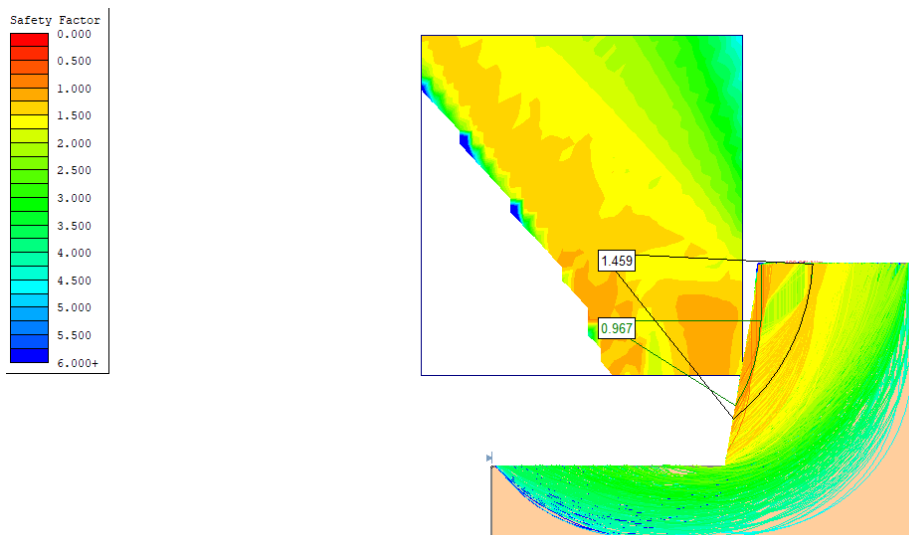
5.4.1. Odabir parametra kohezije za geotehničku sredinu 2 pomoću Slide-a

Usporedbom rezultata kohezije za geotehničku sredinu 2 i stijensku masu uočeno je da je kohezija veća kod geotehničke sredine 2 koja je sloj dijelom površinski.

Stoga će se za parametar kohezije za geotehnički sredinu 2 uzeti prividna kohezija. Prividnu koheziju dobivamo pomoću računalnog programa Slide gdje će biti analizirana kohezija koja daje rezultat faktora sigurnosti $F_s=1,0$. U proračun nije uključen Eurokod.



Slika 26. Prikaz faktora sigurnosti za prividnu koheziju $=0\text{kN/m}^2$



Slika 27. Prikaz faktora sigurnosti za prividnu koheziju $c=5\text{kN/m}^2$

Na slici 26 prikazan je proračun faktora sigurnosti kada je kohezija 0 kPa. Tada je geotehnička sredina 2 nestabilna jer faktor sigurnosti iznosi 0,690. Nakon toga kohezija je povećana na 5 kPa, a faktor sigurnosti zadovoljava uvjet stabilnosti, stoga je odabrana vrijednost od 5 kPa.

5.5. Definiranje parametara geotehničke sredine 4 (površinski sloj)

Parametri površinskog sloja zasjeka predloženi su prema iskustvenim parametrima:

$$\gamma_4 = 17 \text{ kN/m}^3;$$

$$c_{k4} = 2 \text{ kPa};$$

$$\varphi_{k4} = 27^\circ$$

Ako ove podatke provjerimo preko koeficijenta aktivno tlaka K_A dobit će se da je položaj z sljedeći:

$$K_A = tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = tg^2 \left(45^\circ - \frac{27}{2} \right) = 0,375 \quad (5.5)$$

$$z_c = \frac{2c}{\gamma \cdot \sqrt{K_A}} = \frac{2 \cdot 2}{17 \cdot \sqrt{0,375}} = 0,384 \text{ m} \quad (5.6)$$

Debljina površinskog sloja zasjeka je 1m što znači da je potrebno povećati parametre posmične čvrstoće.

Ako odaberemo da je:

$$\gamma_4 = 17 \text{ kN/m}^3;$$

$$c_{k4} = 5 \text{ kPa};$$

$$\varphi_{k4} = 28^\circ$$

Provjeravamo hoće li odgovarati debljini površinskog sloja:

$$K_A = tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = tg^2 \left(45^\circ - \frac{28}{2} \right) = 0,361 \quad (5.7)$$

$$z_c = \frac{2c}{\gamma \cdot \sqrt{K_A}} = \frac{2 \cdot 5}{17 \cdot \sqrt{0,361}} = 0,98 \text{ m} \approx 1 \text{ m} \quad (5.8)$$

Budući da z iznosi približno 1 m usvajamo gornje vrijednosti parametara posmične čvrstoće.

5.6. Projektni pristup i odabrani parametri za analizu globalne stabilnosti kosine

Proračun stabilnosti kosine urađen je prema normi HRN EN 1997-1:2012/NA (Eurokod 7), a korišten je projektni pristup 3.

U tablici 9 su prikazane vrijednosti parcijalnih koeficijenata za projektni pristup 3.

Tablica 9. Vrijednosti parcijalnih koeficijenata za PP3

Parametar Parcijalni koeficijenti	Koeficijent	Projektni pristup 3
Stalno nepovoljno djelovanje	γ_G	1.0
Promjenjivo nepovoljno djelovanje	γ_Q	1.3
Stalno povoljno djelovanje	γ_G	1.0
Promjenjivo povoljno djelovanje	γ_Q	0.0
Izvanredno djelovanje	γ_A	1.0
Parcijalni koeficijenti materijala γ_m		
Tan φ	$\gamma_{\tan\varphi}$	1.25
Efektivna kohezija c'	γ_c	1.25
Jedinična težina tla γ	γ_y	1.0

U tablici 10 su prikazani odabrani parametri stijenske mase za proračun u Slide-u uzimajući u obzir projektni pristup PP3.

Tablica 10. Odabrani parametri stijenske mase za proračun u Slide-u

Geotehnička sredina	Karakteristične vrijednosti		Projektne vrijednosti	
	Geotehnička sredina 1 (talus)	φ_k (°)	35.6	$\varphi_d = \arctg(\operatorname{tg} \varphi_k / 1.25)$
C_k (kPa)		10.6	$C_d = C_k / 1.25$	8.48
Geotehnička sredina 2	φ_k (°)	36.4	$\varphi_d = \arctg(\operatorname{tg} \varphi_k / 1.25)$	30.5
	C_k (kPa)	5	$C_d = C_k / 1.25$	4
Geotehnička sredina 3 (stijenska masa)	φ_k (°)	44.7	$\varphi_d = \arctg(\operatorname{tg} \varphi_k / 1.25)$	38.4
	C_k (kPa)	41	$C_d = C_k / 1.25$	32.8
Geotehnička sredina 4 (površinski sloj)	φ_k (°)	28	$\varphi_d = \arctg(\operatorname{tg} \varphi_k / 1.25)$	23.1
	C_k (kPa)	5	$C_d = C_k / 1.25$	4

5.7. Analiza opterećenja

Opterećenja koja su korištena u proračunu su:

- Vlastita težina
- Dodatno stalno opterećenje
- Potresno opterećenje

Dodatno stalno opterećenje je od građevine koja se nalazi na kosini i iznosi 100 kN/m.

Za potresno opterećenje očitana je maksimalna horizontalna akceleracija $a_{\max} = 0,22g$ iz Karte potresnih područja Republike Hrvatske [14].

Kombinacije opterećenja koje su analizirane kroz proračun:

- Osnovna kombinacija
- Potresna kombinacija (Vlastita težina + potresno djelovanje)

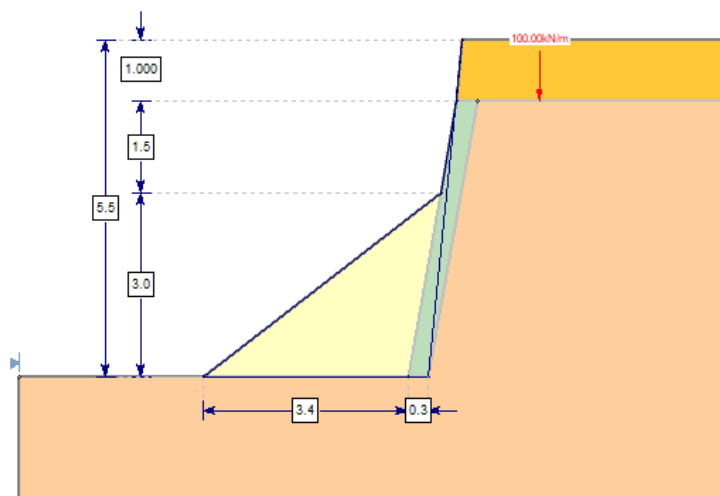
6. ANALIZA GLOBALNE STABILNOSTI ZASJEKA POMOĆU SLIDE-A

6.1. Slide

Za analizu stabilnosti kosine korišten je Slide. To je program namijenjen za analizu stabilnosti kosine i procjenu faktora sigurnosti. Proračun se temelji na metodi graničnih stanja [15].

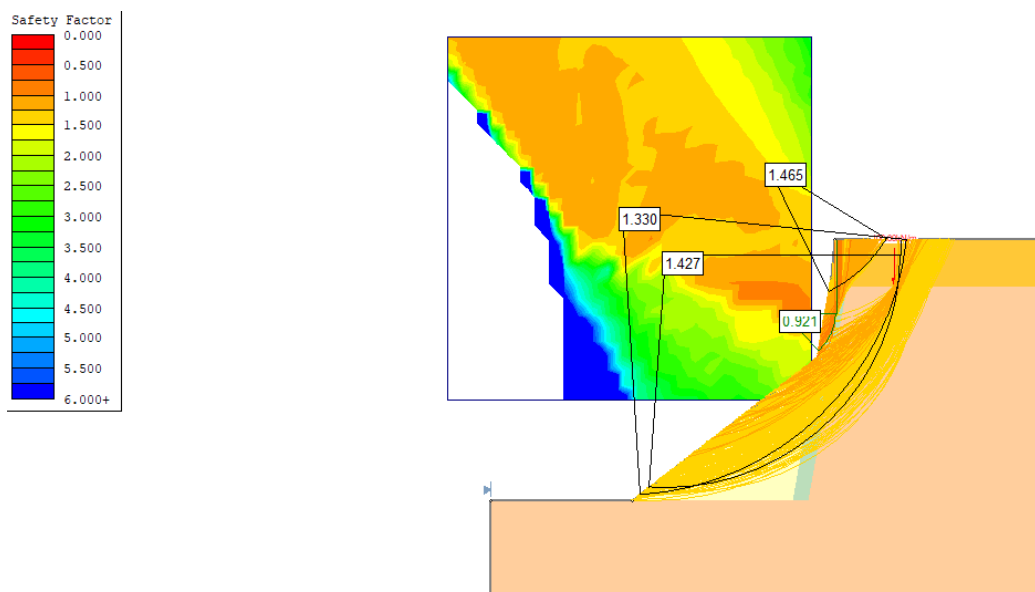
Program ima vrlo jednostavno sučelje i modeli se brzo i lako stvaraju. Prethodno je potrebno izračunati ulazne parametre posmične čvrstoće, geometriju zasjeka, postaviti opterećenje i ostale parametre koji su potrebni. Rezultati se prikazuju u obliku faktora sigurnosti i kritičnih površina. Moguće je promatrati globalnu stabilnost nasipa ili zasjeka kao i kritična lokalna područja. Također, moguće je uključiti i norme po kojima će se proračunavati, a u ovom slučaju to je Eurokod 7, projektni pristup 3.

6.2. Rezultat proračuna globalne stabilnosti za $\Delta t=0$ god.

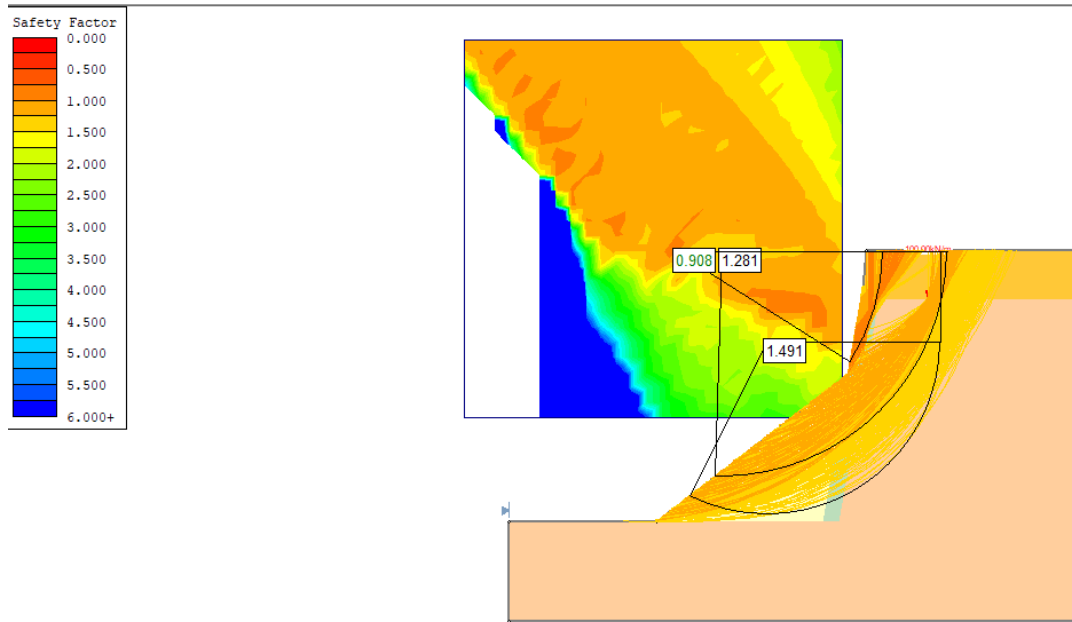


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Ru
Geotehnička sredina 1	[Yellow]	17	Mohr Coulomb	10.6	35.6	None	0
Geotehnička sredina 2	[Light Green]	21.8	Mohr Coulomb	5	36.4	None	0
Geotehnička sredina 3	[Light Orange]	23.53	Mohr Coulomb	41	44.7	None	0
Geotehnička sredina 4	[Orange]	17	Mohr Coulomb	5	28	None	0

Slika 28. Geometrija zasjeka za $\Delta t=0$

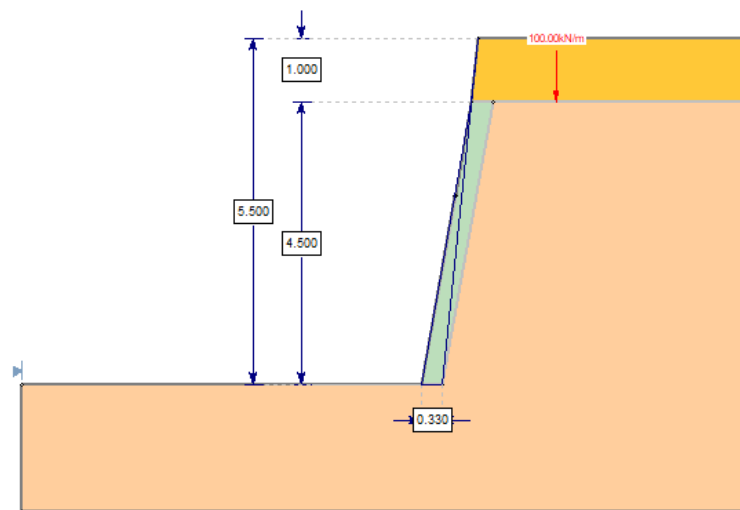


Slika 29. Osnovna kombinacija opterećenja za $\Delta t=0$



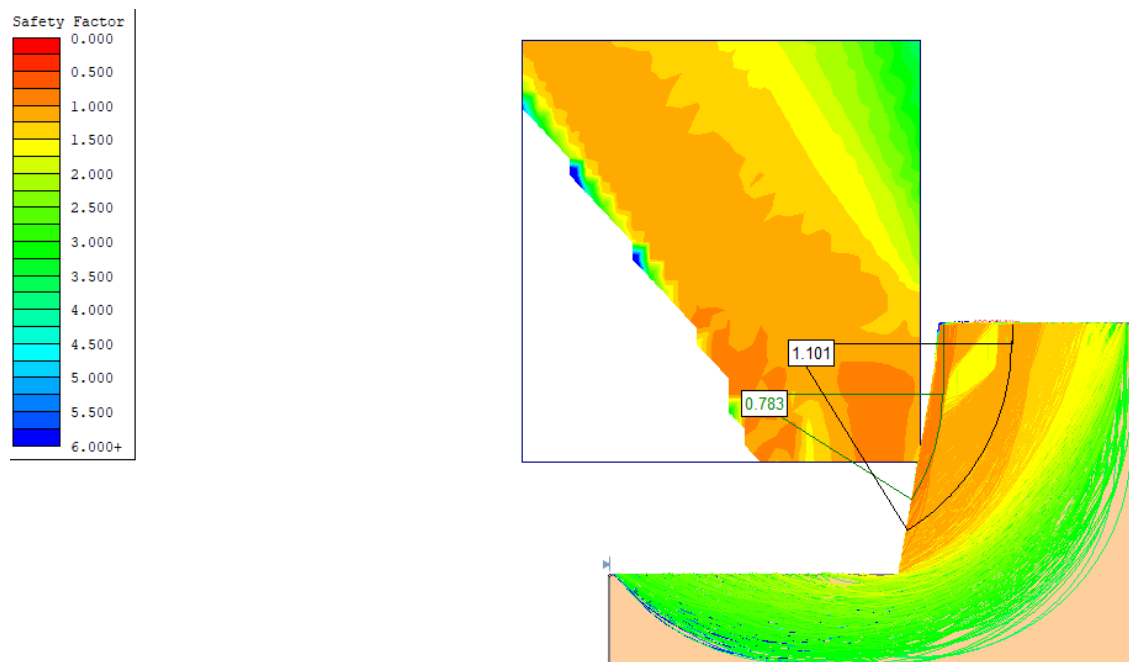
Slika 30. Potresna kombinacija opterećenja za $\Delta t=0$

6.3. Rezultat proračuna globalne stabilnosti za $\Delta t=0$ god. – varijanta bez talusa

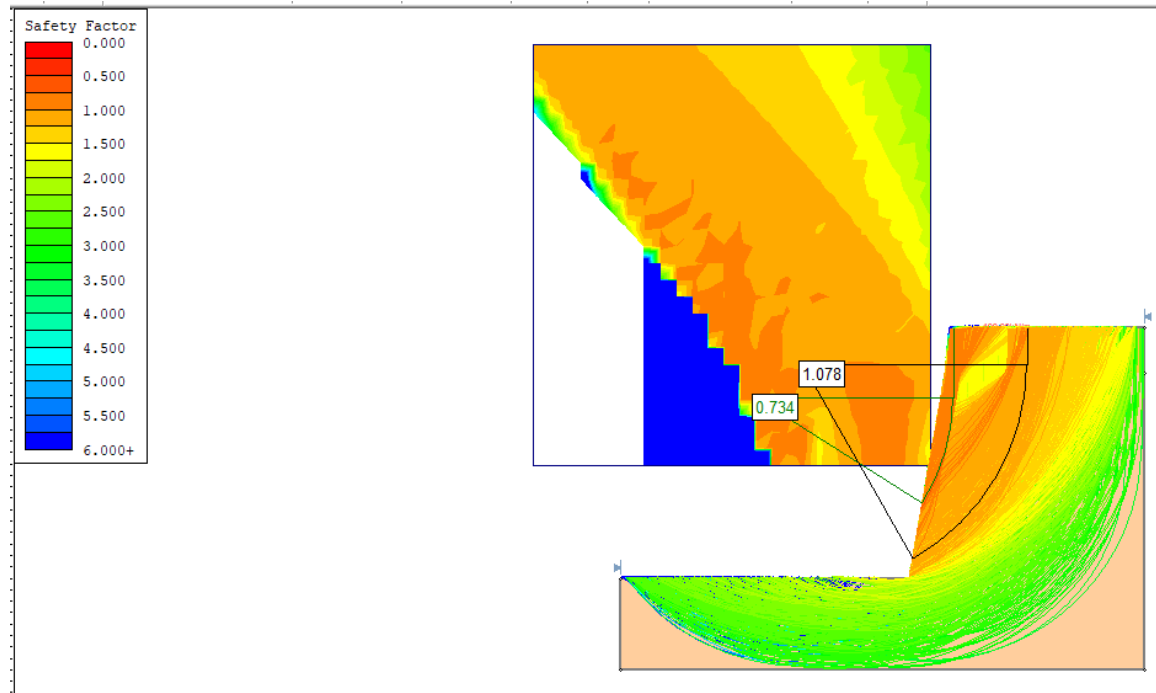


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Ru
Geotehnička sredina 1	[Yellow]	17	Mohr Coulomb	10.6	35.6	None	0
Geotehnička sredina 2	[Green]	21.8	Mohr Coulomb	0	36.4	None	0
Geotehnička sredina 3	[Orange]	23.52	Mohr Coulomb	41	44.7	None	0
Geotehnička sredina 4	[Light Orange]	17	Mohr Coulomb	5	28	None	0

Slika 31. Geometrija zasjeka za $\Delta t=0$ -varijanta bez talusa

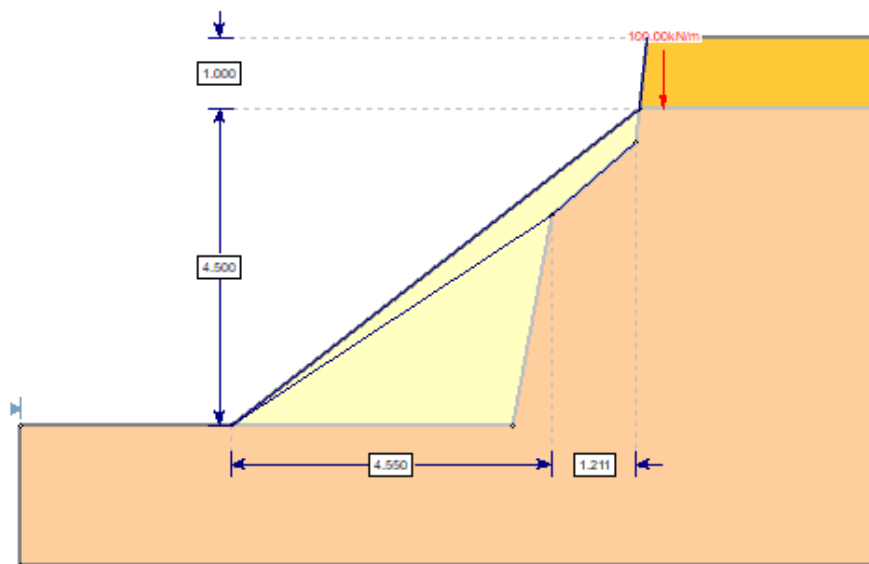





Slika 32. Normalna kombinacija opterećenja za $\Delta t=0$ -varijanta bez talusa



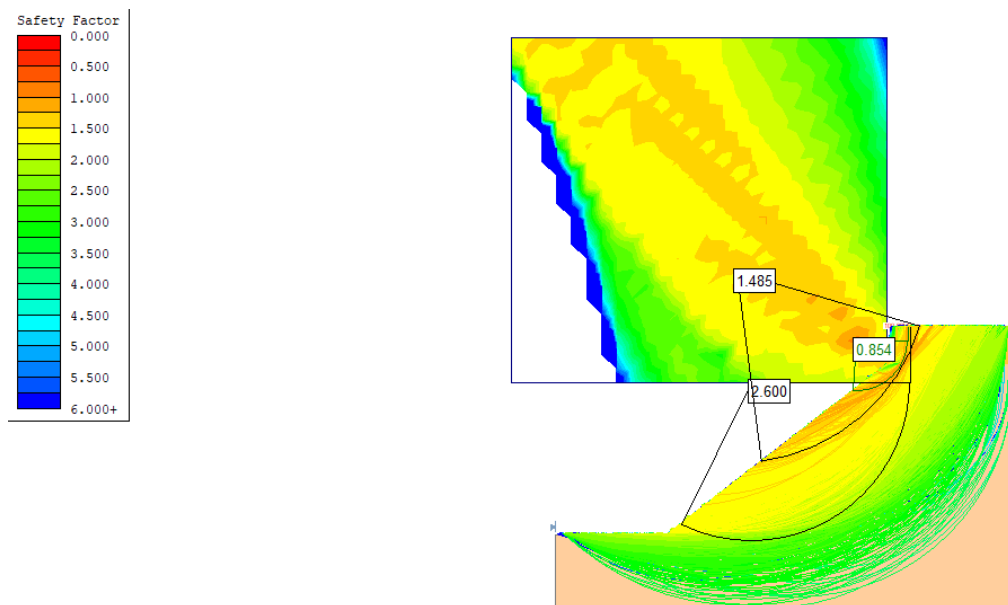
Slika 33. Potresna kombinacija opterećenja za $\Delta t=0$ – varijanta bez talusa

6.4. Rezultat proračuna globalne stabilnosti za $\Delta t=20$ god.

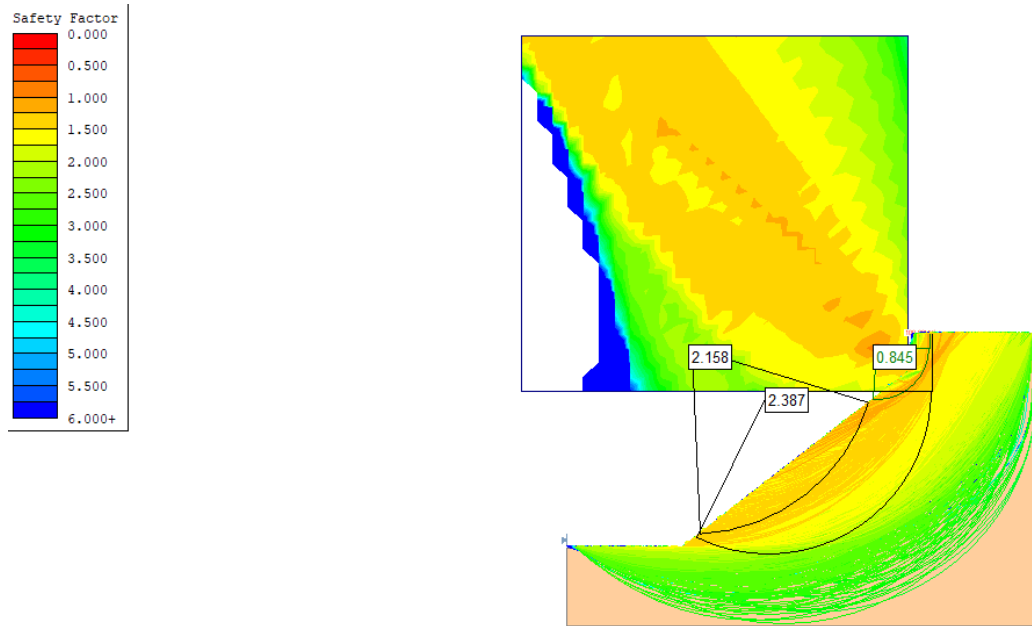


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Ru
Geoteknička sredina 1		17	Mohr-Coulomb	10.6	35.6	None	D
Geoteknička sredina 3		23.53	Mohr-Coulomb	41	44.7	None	D
Geoteknička sredina 4		17	Mohr-Coulomb	5	28	None	D

Slika 34. Geometrija zasjeka za $\Delta t=20$ god.

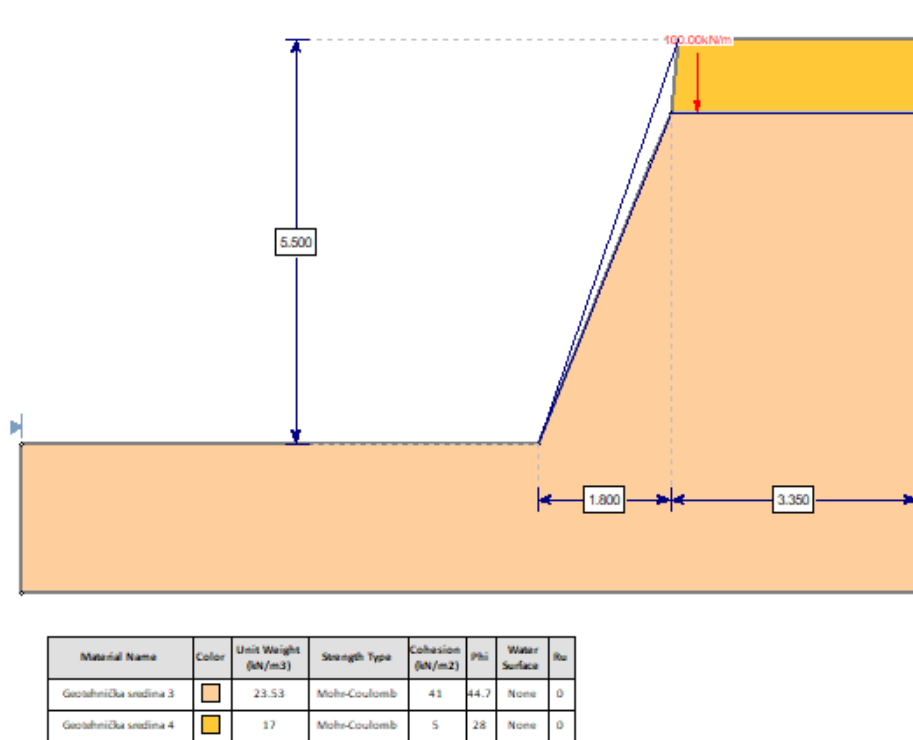


Slika 35. Normalna kombinacija opterećenja za $\Delta t=20$ god.

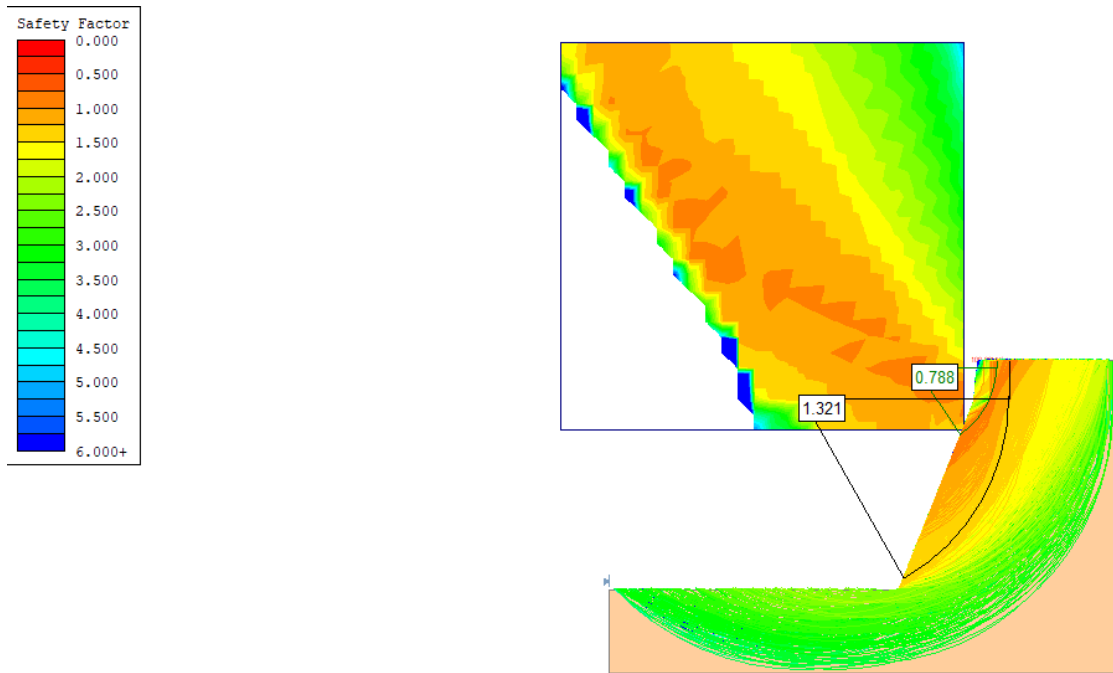


Slika 36. Potresna kombinacija opterećenja za $\Delta t=20$ god.

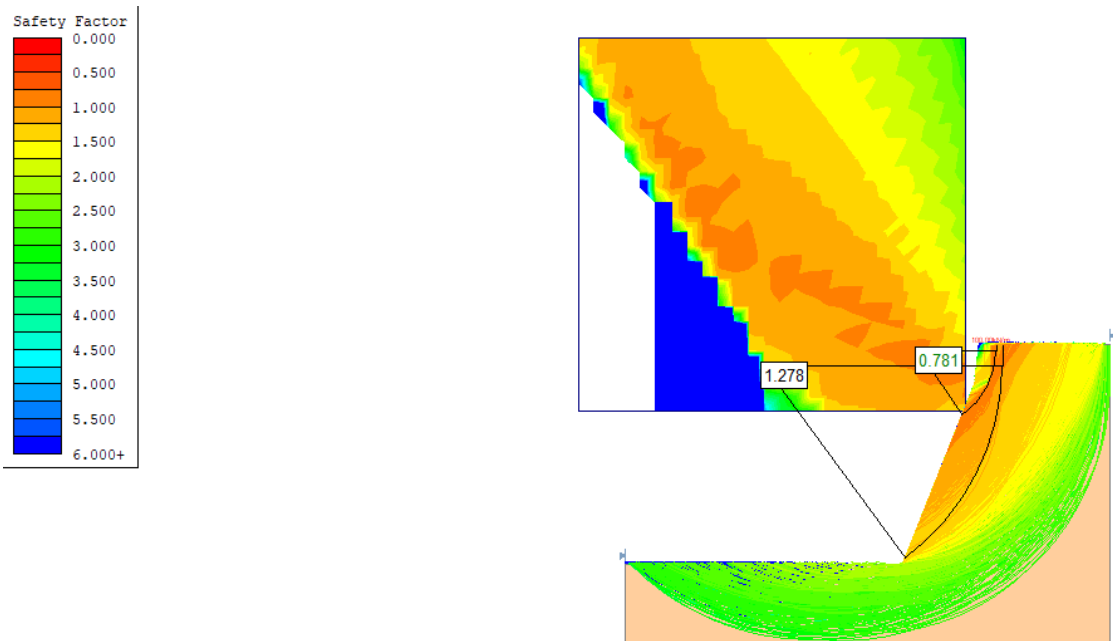
6.5. Rezultat proračuna globalne stabilnosti za $\Delta t=20$ god.- varijanta bez talusa



Slika 37. Geometrija zaszeka za $\Delta t=20$ god. –varijanta bez talusa



Slika 38. Normalna kombinacija opterećenja za $\Delta t = 20$ god.



Slika 39. Potresna kombinacija za $\Delta t = 20$ god.- varijanta bez talusa

6.6. Analiza faktora sigurnosti dobivenih u Slide-u

Tablica 11. Rezultati proračuna faktora sigurnosti

Vremenski period ΔT	Fs- globalna stabilnost Osnovna komb.	Fs (talus) Osnovna komb.	Fs (kritični dio zasjeka) Osnovna komb.	Fs- globalna stabilnost Potresna komb.	Fs (talus) Potresna komb.	Fs (kritični dio) Potresna Komb.
0 god.	1,330	1,427	0,921	1,281	1,491	0,908
0 god.(bez talusa)	1,101	-	0,783	1,078	-	0,734
20 god.	1,485	2,60	0,854	1,385	2,158	0,845
20god.(bez talusa)	1,321	-	0,788	1,278	-	0,781

Faktori sigurnosti za globalnu stabilnost zasjeka su veći od 1,0 u svim varijantama. Talusni materijal koji se nalazi u podnožju zasjeka ima pogodna svojstva posmične čvrstoće, a samim time i velik faktor sigurnosti. Talus u ovom slučaju pomaže "pridržavanju" kosine. Stoga je analizirana i teoretska verzija zasjeka bez talusnog sloja. Tu je vidljivo smanjenje faktora sigurnosti za globalnu stabilnost, ali i dalje ostaje na strani sigurnosti.

S vremenom kako dolazi do trošenja zasjeka materijal s gornje površine se troši i prelazi u podnožje kosine, time se povećava talusni sloj. To objašnjava povećanje faktora sigurnosti u verziji $\Delta T=20$ god. Uočeno je da je najkritičniji dio zasjeka gornji površinski dio koji ima faktor sigurnosti nešto manji od 1,0. Stvaraju se manje nestabilne klizne plohe zbog drugačijih svojstava površinskog sloja zasjeka, te dodatnog opterećenja od građevine

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršena je analiza globalne stabilnosti zasjeka koji se nalazi u Bračkoj ulici u Splitu, odabir parametara koji se koriste za proračun zasjeka na osnovu različitih osnovnih ispitivanja u laboratoriju, simulacije rastrošbe te samog uzorkovanja s terena.

Naglasak je stavljen na simulaciju rastrošbe u laboratoriju s obzirom da je to proces koji kroz vrijeme može bitno utjecati na geometriju i stabilnost zasjeka. U laboratoriju se rastrošba ubrzala naizmjeničnim sušenjem i vlaženjem uzoraka uz druge procese koji se događaju.

Uzorci koji su bili namijenjeni za drugu fazu rastrošbe nisu se dezintegrirali istom brzinom kao uzorci treće faze rastrošbe. Uzorci treće faze rastrošbe uspoređeni su sa sličnim uzorkom koji je uzet s terena, a rezultati su im približni. To dovodi do zaključka da je simulacija rastrošbe u laboratoriju valjana i pouzdana. S druge strane uzorak druge faze rastrošbe koji je veće čvrstoće od očekivanog pokazuje da rezultati mogu i odstupati, ovisno o dijelu stijenske mase koja je izabrana za ispitivanje.

Parametri posmične čvrstoće dobiveni su preko uzoraka iz laboratorija, s terena i preko proračuna, uspoređeni su i izabrana je najoptimalnija opcija.

Dakle, simulacija rastrošbe i ispitivanja posmične čvrstoće daju relativno pouzdane rezultate koje uvijek treba i dodatno provjeriti primjerice s podacima iz literature ili s terena. Dobro bi bilo imati što više uzoraka sa sličnih lokacija kako bi se moglo usporediti raspadanje u laboratoriju, ali to s druge strane zahtijeva više vremena i ulaganja.

Analiza globalne stabilnosti primjera realnog zasjeka temeljena je na Fisher-Lehmannovom modelu koji je pojednostavljen, prikazano je trenutno stanje zasjeka i promjena geometrije u vremenu za 20 i 25 godina. Dalje se nije provjeravalo jer nakon 25 godina zasjek dolazi točno ispod građevine koja se nalazi na njemu, dolazi do potkopavanja što je krajnji slučaj nestabilnosti.

Provjerama stabilnosti u Slide-u utvrđeno je da je sa strane globalne stabilnosti zasjek na strani sigurnosti u svim kombinacijama, ali da postoji manji lokalni dio koji je kritičan, čiji je faktor sigurnosti malo manji od 1. Tu spada površinski prednji sloj zasjeka. Iako dolazi do trošenja stijene s vremenom, te taj površinski sloj prelazi u podnožje zasjeka tj. talus, nije preporučljivo uklanjati talus. Iako je i to dezintegrirani materijal on uvelike "pomaže" stabilnosti zasjeka. Ne treba zanemariti ni vizualnu komponentu. Iako je zasjek prema ovim prognozama globalno stabilan, uvidom na terenu, s kućom koja se nalazi na njemu, ne ostavlja dojam stabilnosti, što sa strane graničnog stanja uporabljivosti nije prihvatljivo.

8. LITERATURA

- [1] Vlastelica G., Mišćević P., Pavić N.,(2016.): Mjerenje posmične čvrstoće meke stijene u uvjetima laboratorijski stimulirane rastrošbe, *Građevinar* 68/12, 955-965.
- [2] Mišćević P., (2015.): *Inženjerska mehanika stijena*, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split.
- [3] Franklin J.A. & Dusseault M.B. (1989.), *Rock engineering*, McGraw-Hill Publishing Company
- [4] Fookes, P.G., Gourley, C.S., Ohikere, C. (1988.): *Rock weathering in engineering time*. *Quar. J. of Engin. Geology*
- [5] Vlastelica G., (2015): *Utjecaj rastrošbe na trajnost zasjeka u mekoj stijeni*, Doktorski rad, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split.
- [6] Mišćević P., Vlastelica G., (2012.): *Stabilnost u vremenu kosine iskopane u laporu*, *Građevinar*, 64/6, 451-461.
- [7] WEB: Google Earth, www.earth.google.com .
- [8] ISRM Suggested Method for Determining Point Load Strength (1985), published in ISRM (2007, Blue Book)
- [9] ISRM Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties – Part 2: Suggested Methods for Determining Swelling and Slake-Durability Index Properties (1977), published in ISRM (2007, Blue Book)
- [10] Vlastelica G., Mišćević P., Biloš T., (2015): *Opažanje i modeliranje erozije zasjeka u mekoj stijeni*, Split, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split.
- [11] Vlastelica G., Mišćević P., Štambuk Cvitanović N., Glibota A.(2018.); *Geomechanical aspects of remediation of quarries in the flysch: Case study of abandoned quarry in Majdan, Croatia*. Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split.
- [12] WEB: Roc Lab, www.roscience.com .
- [13] Ersöz T., Özkose M., Topal T.,(2021); *Effect of disturbed zone thickness on rock slope stability*, Springer Nature B.V. 2021
- [14] WEB: *Karta potresnih područja Hrvatske*, www.seizkarta.gfz.hr.

[15] WEB: Slide, www.roscience.com/software/slide.

Norme:

HRN U.B1.026 Određivanje sadržaja karbonata tla

HRN EN ISO 17892-1:2015 Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Laboratorijsko ispitivanje tla -- 1. dio: Određivanje vlažnosti (ISO 17892-1:2014; EN ISO 17892-1:2014)

HRN EN ISO 17892-2:2015 Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Laboratorijsko ispitivanje tla -- 2. dio: Određivanje prostorne gustoće (ISO 17892-2:2014; EN ISO 17892-2:2014)

HRN EN ISO 17892-3:2016 Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Laboratorijsko ispitivanje tla -- 3. dio: Određivanje gustoće čvrstih čestica (ISO 17892-3:2015, ispravljena verzija 2015-12-15; EN ISO 17892-3:2015)

HRN EN ISO 17892-12:2018 Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Laboratorijsko ispitivanje tla -- 12. dio: Određivanje granice tečenja i granice plastičnosti (ISO 17892-12:2018; EN ISO 17892-12:2018)

HRN B.B8.010 Ispitivanje upijanja vode

HRN EN 17892-4:2016 Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Laboratorijsko ispitivanje tla -- 4. dio: Određivanje granulometrijskog sastava (ISO 17892-4:2016; EN ISO 17892-4:2016)

HRN EN ISO 17892-10:2019 Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Laboratorijsko ispitivanje tla -- 10. dio: Izravni posmik (ISO 17892-10:2018; EN ISO 17892-10:2018)

ISRM Suggested Method for Determining Point Load Strength (1985), published in ISRM (2007, Blue Book)

The Blue Book: "The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring:1974-2006", Edited by R. Ulusay and J.A. Hudson

ISRM Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties – Part 2: Suggested Methods for Determining Swelling and Slake-Durability Index Properties (1977), published in ISRM (2007, Blue Book)

HRN EN 1997-1:2012/NA (Eurokod 7-Geotehničko projektiranje, nacionalni aneks)

HRN EN 1998-5:2011 (Eurokod 8 – Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija; temelji, potporne konstrukcije i geotehnička pitanja)

ZAHVALA

Diplomski rad povezan s radom na projektu UNSAT1 – Eksperimentalna i numerička istraživanja mehanizama u nesaturiranim geomaterijalima kojeg je financirala Hrvatska zaklada za znanost pod brojem UIP-2017-05-3429.

Dio materijala potrebnih za izradu za izradu ovog rada donirala je tvrtka Calucem d.o.o., ovom prilikom im se još jednom zahvaljujemo.

9. PRILOZI



VLAŽNOST TLA/STIJENE

RN: -
DATUM: 25.02.2021.
LOKACIJA/GRAĐEVINA: projekt UNSAT1, Trstenik (vrtić)
OPIS UZOR(A)KA (tip, položaj unutar polaznog uzorka, vizualni opis, poremećenje-gubitak vlage, način uzorkovanja i dr. od značaja)
-lapor

Polazno ispitivanje: **laboratorijska vlažnost**

Ispitano prema HRN EN ISO 17892-1/BS 1377-2

Dopune osnovnog postupka (ISO 17892-1/BS 1377-2) prema:

- ASTM D 2216 - SM ISRM-79 - drugo:

sušenje na _____ °C, oprema _____.

(navesti ako odstupa od specifikacije)

UZORAK	20/20				
OPIS, BUŠOTINA, DUBINA (m)	-				
Pokus br.	1	2			
Posuda br.	62	75			
Bruto masa vlažnog uzorka m_2 (g)	20,80	19,05			
Bruto masa suhog uzorka m_3 (g)	20,58	18,86			
Masa posude m_1 (g)	11,65	11,93			
Masa vode u uzorku $m_2 - m_3$ (g)	0,22	0,19			
Masa suhog uzorka $m_3 - m_1$ (g)	8,93	6,93			
Vlažnost $w=(m_2 - m_3)/(m_3 - m_1)*100$ (%)	2,46	2,74			
Prosječna vrijednost vlažnosti	2,60				
Ekvivalentna vlažnost $w_a=w*(100/p_a)$ gdje je frakcije sitnije od 0,425 mm p_a - udio (% suhe mase) čestica <0,425 mm	2,46	2,74			
(ako se traži indeks tečenja/konzistencije kod ispitivanja Att. granica)					
Sadržaj fluida (voda+soli) ako je značajno prisustvo otopljenih soli u pornoj vodi					
- za poznati maseni udio soli u fluidu p (ppt=mg/g): $w_f \%=1000w/(1000-p(1+w/100))$					
- za poznati sadržaj soli u volumenu q (g/l) i gustoću fluida ρ_f (Mg/m ³): $w_f \%=1000w/(1000-q/\rho_f (1+w/100))$					
Za morsku vodu: $\rho_f = 1,024$ Mg/m ³ , p = 35 ppt mase					

PRIMJEDBE, ODSTUPANJA I DRUGI PODACI

Ispitao: _____ Kontrolirao: _____



VLAŽNOST TLA/STIJENE

RN: -
DATUM: 01.04.2021.
LOKACIJA/GRAĐEVINA: projekt UNSAT1, Trstenik - vrtić

OPIS UZOR(A)KA (tip, položaj unutar polaznog uzorka, vizualni opis, poremećenje-gubitak vlage, način uzorkovanja i dr. od značaja)
- rastrošeni površinski lapor

Polazno ispitivanje: **prirodna vlažnost**

Ispitano prema HRN EN ISO 17892-1/BS 1377-2

Dopune osnovnog postupka (ISO 17892-1/BS 1377-2) prema:

- ASTM D 2216 - SM ISRM-79 - drugo:

sušenje na _____ °C, oprema _____.

(navesti ako odstupa od specifikacije)

UZORAK	24/21				
OPIS, BUŠOTINA, DUBINA (m)	-				
Pokus br.	1	2			
Posuda br.	240	300			
Bruto masa vlažnog uzorka m_2 (g)	109,52	96,32			
Bruto masa suhog uzorka m_3 (g)	100,11	88,13			
Masa posude m_1 (g)	13,10	13,65			
Masa vode u uzorku $m_2 - m_3$ (g)	9,41	8,19			
Masa suhog uzorka $m_3 - m_1$ (g)	87,01	74,48			
Vlažnost $w=(m_2 - m_3)/(m_3 - m_1)*100$ (%)	10,81	11,00			
Prosječna vrijednost vlažnosti	10,91				
Ekvivalentna vlažnost $w_a=w*(100/p_a)$ gdje je frakcije sitnije od 0,425 mm p_a - udio (% suhe mase) čestica <0,425 mm	10,81	11,00			
(ako se traži indeks tečenja/konzistencije kod ispitivanja Att. granica)					
Sadržaj fluida (voda+soli) ako je značajno prisustvo otopljenih soli u pornoj vodi					
- za poznati maseni udio soli u fluidu p (ppt=mg/g): $w_f \%=1000w/(1000-p(1+w/100))$					
- za poznati sadržaj soli u volumenu q (g/l) i gustoću fluida ρ_f (Mg/m ³): $w_f \%=1000w/(1000-q/\rho_f (1+w/100))$					
Za morsku vodu: $\rho_f = 1,024$ Mg/m ³ , p = 35 ppt mase					

PRIMJEDBE, ODSTUPANJA I DRUGI PODACI

Ispitao: _____ Kontrolirao: _____



PRIRODNI KAMEN - UPIJANJE VODE

RN: -
DATUM: 25.02.2021.
LOKACIJA/GRAĐEVINA: projekt UNSAT1, Trstenik (vrtić)

OPIS UZOR(A)KA (tip, položaj unutar polaznog uzorka, vizualni opis, poremećenje uočeno ili izazvano uključujući gubitak vlage)

-lapor

Ispitano prema HRN B.B8.010 (metoda upijanja vode pod atmosferskim pritiskom)

UZORAK	20/20					
BUŠOTINA	-					
DUBINA (m)	-					
Pokus br.	1	2				
Masa suhog uzorka m_s (g)	110,50	163,82				
Masa nakon potpanja m_v (g) (do zasićenja-konst. mase)	121,55	180,04				
Upijanje vode (u % suhe mase) $U_v = (m_v - m_s) / m_s * 100$ (%)	10,00	9,90				
Prosječna vrijednost upijanja vode (%)	9,95					

UZORAK						
BUŠOTINA						
DUBINA (m)						
Pokus br.						
Masa suhog uzorka m_s (g)						
Masa nakon potpanja m_v (g) (do zasićenja-konst. mase)						
Upijanje vode (u % suhe mase) $U_v = (m_v - m_s) / m_s * 100$ (%)						
Prosječna vrijednost upijanja vode (%)						

UZORAK						
BUŠOTINA						
DUBINA (m)						
Pokus br.						
Masa suhog uzorka m_s (g)						
Masa nakon potpanja m_v (g) (do zasićenja-konst. mase)						
Upijanje vode (u % suhe mase) $U_v = (m_v - m_s) / m_s * 100$ (%)						
Prosječna vrijednost upijanja vode (%)						

PRIMJEDBE, ODSTUPANJA I DRUGI PODACI	Ispitao:	Kontrolirao:
--------------------------------------	----------	--------------



GUSTOĆA - METODA MJERENJEM DIMENZIJA/POTAPANJEM U VODU

RN: -	UZORAK: 20/20
DATUM: 05.03.2021.	BUŠOTINA: -
LOKACIJA/GRAĐEVINA: projekt UNSAT1, Trstenik (vrtić)	DUBINA: -
OPIS UZORKA (tip, položaj unutar polaznog uzorka, vizualni opis, poremećenje uočeno ili izazvano uključujući gubitak vlage) -lapor	
Ispitano prema BS 1377 : Part 2 : 1990 : 7.2 metoda s mjerenjem dimenzija / 7.3 metoda potapanjem u vodu	
KORIŠTENNA OPREMA -vaga: -sušionik: -mjerilo duljine:	
POVIJEST UZORKA, PRIPREMA METODA S MJERENJEM DIMENZIJA -rezanje i oblikovanje iz blok-uzorka -cilindričan uzorak; promjer jednak profilu bušenja -cilindričan uzorak; promjer manji od profila bušenja	ULAZNI PODACI -gustoća parafina: $\rho_p = 0,89 \text{ Mg/m}^3$ (za metodu potapanjem u vodu) -vlažnost: $w = \text{ %}$ (za metodu s mjerenjem dimenzija)

METODA MJERENJEM DIMENZIJA	OBLIK UZORKA	PRAVOKUTNA PRIZMA			VALJAK	
Dominantna dimenzija	(mm)	širina B	duljina L	visina H	promjer D	duljina L
Mjerenje broj (razlučivost mjerenja = 0,1 mm)	1					
-za uzorak u obliku prizme izmjeriti B, L, H na svakoj plohi po rubovima i oko sredine	2					
-za cilindrični uzorak čvrstog tla izmjeriti D u dva okomita pravca na rubovima i sredini, te L na tri vertikalne linije s kutnim odklonom 120°	3					
	4					
	5					
	6					
-za cilindričan uzorak mekog tla izmjeriti promjer i duljinu kalupa, eventualno i odaljenost krajeva od ruba kalupa	7					
	8					
Prosjek	(mm)					
Masa uzorka	m (g)					
Gustoća -za prizmu: $\rho = 1000 \text{ m} / (\text{LBH})$ -za cilindar: $\rho = 4000 \text{ m} / (\pi D^2 L)$	(Mg/m ³)					
Gustoća u suhom stanju $\rho_d = 100 \rho / (100+w)$	(Mg/m ³)					
Volumna (jedinična) težina $\gamma = 9,807 \rho$	(kN/m ³)					

METODA POTAPANJEM U VODU	Pokusi br.	1	2	3	4	5
Masa uzorka	m_s (g)	197,67	152,53			
Masa uzorka nakon popunjavanja zračnih šupljina	m_f (g)	197,67	152,53			
Masa parafiniranog uzorka	m_w (g)	200,26	154,61			
Masa voska/parafina	$m_p = m_w - m_f$ (g)	2,59	2,08			
Prividna masa parafiniranog uronjenog uzorka	m_g (g)	115,10	88,60			
Volumen uzorka $V_s = (m_w - m_g) - m_p / \rho_p$	(cm ³)	82,25	63,67			
Gustoća $\rho = m_s / V_s$	(Mg/m ³)	2,40	2,40			
Posuda za vlažnost br.						
Vlažnost	w (%)	2,60	2,60			
Gustoća u suhom stanju $\rho_d = 100 \rho / (100+w)$	(Mg/m ³)	2,34	2,33			
Volumna (jedinična) težina $\gamma = 9,807 \rho$	(kN/m ³)	23,57	23,49			
NAPOMENE, EVENTUALNA ODSTUPANJA OD PROCEDURE S RAZLOZIMA sr.vrijed.= 23,53		Ispitao:		Kontrolirao:		



GUSTOĆA ČVRSTIH ČESTICA - METODA MALOG PIKNOMETRA

RN: -	UZORAK: 20/20
DATUM: 14.04.2021.	BUŠOTINA: -
LOKACIJA/GRAĐEVINA: projekt UNSAT1, Trstenik (vrtić)	DUBINA: -

OPIS UZORKA (tip, položaj unutar polaznog uzorka, vizualni opis, poremećenje uočeno ili izazvano uključujući gubitak vlage)
-lapor

Ispitano prema HRN EN ISO 17892-3 / BS 1377-2 (8.3)

POVIJEST UZORKA, PRIPREMA -procjena tla i min. masa: sitnozrnato, 100 g -djelimično sušenje ispod 50 °C -usitnjavanje tako da prolazi sito 2 mm -dijeljenje (razdjeljivač 7 mm) na dva (pod)uzorka 5-10 g -sušenje u sušioniku na 105-110 °C -ostalo (navesti)	KORIŠTENNA OPREMA -sušionik _____ -vaga OHAUS-EXPLORER 2100 g
---	--

ISPITNI UZORAK BR.	20/20					
PIKNOMETAR BR.	2	9				
MASA PIKNOMETAR + UZORAK + VODA m_3 (g)	83,350	83,500				
MASA PIKNOMETAR + UZORAK m_2 (g)	36,140	36,940				
MASA PIKNOMETRA ISPUNJENOG VODOM m_4 (g)	79,520	79,390				
MASA PIKNOMETRA m_1 (g)	30,010	30,280				
MASA UZORKA $m_2 - m_1$ (g)	6,130	6,660				
MASA VODE U PUNOM PIKNOMETRU $m_4 - m_1$ (g)	49,510	49,110				
MASA DOLIVENE VODE $m_3 - m_2$ (g)	47,210	46,560				
VOLUMEN ČESTICA TLA $(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)$ (ml)	2,300	2,550				
GUSTOĆA ČVRSTIH ČESTICA $\rho_s = \frac{\rho_L(m_2 - m_1)}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)}$ ρ_L - gustoća tekućine u pikn. = 1,00 (Mg/m ³)	2,665	2,612				
PROSJEČNA VRIJEDNOST ρ_s (Mg/m ³)	2,64					
SPECIFIČNA TEŽINA $\gamma_s = g \rho_s = 9,807 \rho_s$ (kN/m ³)	25,88					

PRIMJEDBE, ODSTUPANJA I DRUGI PODACI	Ispitao:	Kontrolirao:
--------------------------------------	----------	--------------



GUSTOĆA ČVRSTIH ČESTICA - METODA MALOG PIKNOMETRA

RN: -	UZORAK: 24/21
DATUM: 14.06.2021.	BUŠOTINA: -
LOKACIJA/GRAĐEVINA: projekt UNSAT1, Trstenik	DUBINA: -

OPIS UZORKA (tip, položaj unutar polaznog uzorka, vizualni opis, poremećenje uočeno ili izazvano uključujući gubitak vlage)
površinski rastrošeni sloj lapora

Ispitano prema HRN EN ISO 17892-3 / BS 1377-2 (8.3)

POVIJEST UZORKA, PRIPREMA -procjena tla i min. masa: sitnozrnato, 100 g -djelimično sušenje ispod 50 °C -usitnjavanje tako da prolazi sito 2 mm -dijeljenje (razdjeljivač 7 mm) na dva (pod)uzorka 5-10 g -sušenje u sušioniku na 105-110 °C -ostalo (navesti)	KORIŠTENNA OPREMA -sušionik _____ -vaga OHAUS-EXPLORER 2100 g
---	--

ISPITNI UZORAK BR.	24/21					
PIKNOMETAR BR.	2	5				
MASA PIKNOMETAR + UZORAK + VODA m_3 (g)	83,410	82,960				
MASA PIKNOMETAR + UZORAK m_2 (g)	36,760	35,350				
MASA PIKNOMETRA ISPUNJENOG VODOM m_4 (g)	79,340	79,190				
MASA PIKNOMETRA m_1 (g)	30,200	29,250				
MASA UZORKA $m_2 - m_1$ (g)	6,560	6,100				
MASA VODE U PUNOM PIKNOMETRU $m_4 - m_1$ (g)	49,140	49,940				
MASA DOLIVENE VODE $m_3 - m_2$ (g)	46,650	47,610				
VOLUMEN ČESTICA TLA $(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)$ (ml)	2,490	2,330				
GUSTOĆA ČVRSTIH ČESTICA $\rho_s = \frac{\rho_L(m_2 - m_1)}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)}$ ρ_L - gustoća tekućine u pikn. = 1,00 (Mg/m ³)	2,635	2,618				
PROSJEČNA VRIJEDNOST ρ_s (Mg/m ³)	2,63					
SPECIFIČNA TEŽINA $\gamma_s = g \rho_s = 9,807 \rho_s$ (kN/m ³)	25,76					

PRIMJEDBE, ODSTUPANJA I DRUGI PODACI	Ispitao:	Kontrolirao:
--------------------------------------	----------	--------------

INDEKS ČVRSTOĆE STIJENE S OPTEREĆENJEM U TOČKI ("POINT LOAD TEST")

RN:	-
DATUM:	08.03.2021.
LOKACIJA/OBJEKT:	projekt UNSAT1, Trstenik (vrtić)
Ispitano u laboratoriju prema SM ISRM : 1985 / ASTM D 5731 : 1995	
OPIS UZORAKA (tip stijene) - lapor	VLAŽNOST, uvjeti čuvanja do ispitivanja - vlažnost zatečena u laboratoriju W ₀ = 2,60%

Na uzorku treba biti:

$L > 0,5 D$; $D > 25$ mm; $D \approx 50 \pm 25$ mm; $0,3 < D/W < 1,0$ (ova vrijednost se preporučuje).

D je razmak između vrhova šiljaka. Prirast sile se nanosi tako da do sloma dođe u vremenu od 10-60 sec.

PLT indeks se računa:

$$I_s = P / De^2$$

$$De^2 = D^2$$

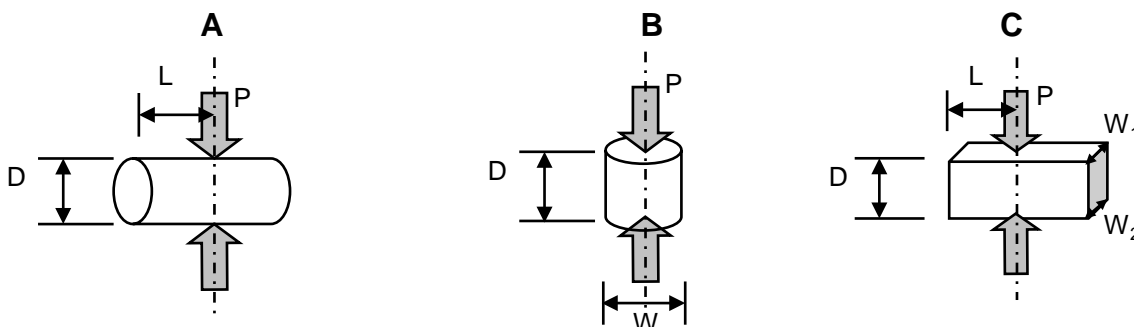
$$De^2 = 4WD/\pi$$

gdje je De – "promjer ekvivalentne jezgre"

za dijametralni pokus A (os ispitnog uzorka/jezgre okomita je na pravac djelovanja sile)

za osni pokus B (os uzorka paralelna pravcu sile) i pokus na blok uzorku ili uzorku nepravilnog oblika C

Korekcija na uzorak od 50 mm: $I_s(50) = F \times I_s$; $F = (De / 50)^{0,45}$



Uzorak	Bušotina	Dubina (m)	Tip pokusa (A, B, C)	Smjer osi opt. prema plohama diskontinuiteta (, ⊥)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	D (mm)	P (kN)	De (mm)	I _s (MPa)	F	I _s (50) (MPa)	Usvojena vrijednost I _s (50) (MPa)
20/20			C	—	63,40	127,60	36,00	5,400	66,162	1,234	1,134	1,399	1,240
			C	—	63,20	150,60	35,00	3,300	69,020	0,693	1,156	0,801	
			C	—	141,50	88,00	49,00	5,100	84,612	0,712	1,267	0,903	
			C	—	137,50	52,40	48,00	5,300	76,177	0,913	1,209	1,104	
			C	—	112,10	117,60	45,00	7,800	81,120	1,185	1,243	1,474	
			C	—	102,20	59,00	46,00	6,900	68,707	1,462	1,154	1,686	
			C	—	114,30	48,60	31,00	4,000	56,700	1,244	1,058	1,317	

PRIMJEDBE

Odobrio:



20/20

REZULTATI ISPITIVANJA

SLAKE TEST - "Vrtige"			DATUM:			01.04.2021.		
Ciklus vrtnje		0	1	2	3	4		
Vrijeme vrtnje = 10 min	Masa (g)	510,15	487,67	471,38	460,09	433,59		
	Oznaka raspadanja		C (22)	C (38)	C (31)	C (17)		
Vrijeme vrtnje = 25 min	Masa (g)	496,56	413,29	362,56	307,24	262,16		
	Oznaka raspadanja		D (69)	D (70)	D (87)	D (82)		
Vrijeme vrtnje = 60 min	Masa (g)	517,15	300,25	231,45	195,15	174,43		
	Oznaka raspadanja		D (60)	D (54)	D (54)	C (46)		
Vrijeme vrtnje = 120 min	Masa (g)	488,92	326,03	236,43	190,65	154,49		
	Oznaka raspadanja		D (190)	D (132)	E (204)	E (212)		

REZULTATI PRORAČUNA

uzorak	CaCO ₃ (%)	indeks osjetljivosti na kalavost (%)			
		Id ₁	Id ₂	Id ₃	Id ₄
20/20	48,64	95,593	92,400	90,187	84,993
		modificirani indeks osjetljivosti na kalavost (%)			
		SDI ₁₀	SDI ₂₅	SDI ₆₀	SDI ₁₂₀
		92,400	73,014	44,755	48,358
		Loss Slake Index (%)			
		LSI ₁	LSI ₂	LSI ₃	LSI ₄
		0,201	0,333	0,425	0,488



GRANICE PLASTIČNOSTI - metoda pomoću Casagrandeovog uređaja

RN:	UZORAK: 20/20
DATUM:	BUŠOTINA:
LOKACIJA/GRAĐEVINA:	DUBINA:

OPIS UZORKA (tip, položaj unutar polaznog uzorka, vizualni opis, poremećenje uočeno ili izazvano uključujući gubitak vlage)

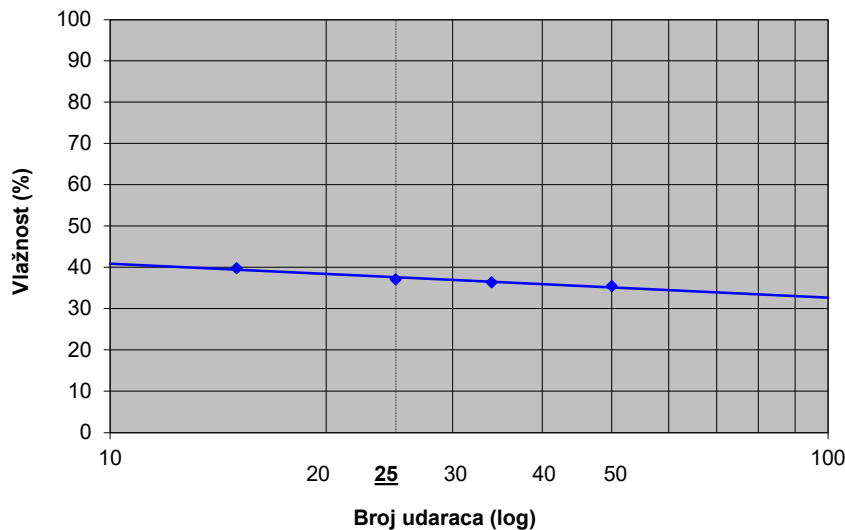
Ispitano prema BS 1377 : Part 2 : 1990 : 4.5/5

Oprema: Casagrandeova treskalica ELE

POVIJEST UZORKA, PRIPREMA	ULAZNI PODACI	
-kako je doneseno (prirodno stanje)	-masa polaznog uzorka m_6 (g)	300.00
-mokro sisanje na situ 0,425 mm	-početna (prirodna) vlažnost w_0 (%)	
-nepoznato	-suha masa čestica krupnijih od 0,425 mm m_7 (g)	
-sušenje na zraku na _____ °C	-suha masa polaznog uzorka $m_d=100/(100+w_0) * m_6$	300.00
-sušenje u sušioniku na _____ °C	-postotak čestica sitnijih od 0,425 mm $p_a=(m_d-m_7)/m_d * 100$	100.00
-ostalo (navesti)	-ekvivalentna vlažnost tla sitnijeg od 0,425 mm $w_a=w_0*100/p_a$	0.00

GRANICA PLASTIČNOSTI w_p	Pokus br.	1	2	3	4	Prosjek
Posuda br.		95	114			(max. razlika dva rezultata iznosi 0,5%)
Masa uzorka i posude vlažno m_2 (g)		12.63	12.54			
Masa uzorka i posude suho m_3 (g)		12.38	12.37			
Masa posude m_1 (g)		11.10	11.49			
Vlažnost $w=(m_2-m_3)/(m_3-m_1)*100$ (%)		19.53	19.32			19.42

GRANICA TEČENJA w_L	Pokus br.	1	2	3	4	5
Broj udaraca		15	25	34	50	
Posuda br.		64	109	69	71	
Masa uzorka i posude vlažno m_2 (g)		16.09	16.46	16.13	16.62	
Masa uzorka i posude suho m_3 (g)		14.80	15.08	14.94	15.30	
Masa posude m_1 (g)		11.56	11.36	11.67	11.58	
Vlažnost $w=(m_2-m_3)/(m_3-m_1)*100$ (%)		39.81	37.10	36.39	35.48	



Granica tečenja (metodom najmanjih kvadrata)	$w_L(\%) = 37.63$
Granica plastičnosti	$w_p(\%) = 19.42$
Indeks plastičnosti $I_p = w_L - w_p$	$I_p(\%) = 18.21$
Indeks tečenja $I_L = (w_a - w_p) / I_p$	$I_L = -1.07$
Indeks konzistencije $I_C = (w_L - w_a) / I_p = 1 - I_L$	$I_C = 2.07$
AC klasifikacija	CH

PRIMJEDBE, ODSTUPANJA I DRUGI PODACI

Odobrio:



GRANICE PLASTIČNOSTI - metoda pomoću Casagrandeovog uređaja

RN:	UZORAK: 24/21
DATUM:	BUŠOTINA:
LOKACIJA/GRAĐEVINA:	DUBINA:

OPIS UZORKA (tip, položaj unutar polaznog uzorka, vizualni opis, poremećenje uočeno ili izazvano uključujući gubitak vlage)

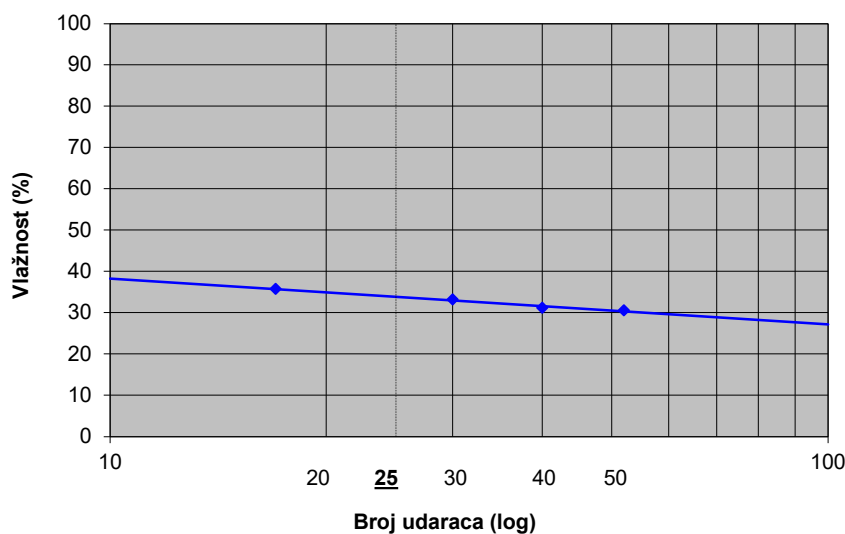
Ispitano prema BS 1377 : Part 2 : 1990 : 4.5/5

Oprema: Casagrandeova treskalica ELE

POVIJEST UZORKA, PRIPREMA	ULAZNI PODACI	
-kako je doneseno (prirodno stanje)	-masa polaznog uzorka m_6 (g)	300.00
-mokro sisanje na situ 0,425 mm	-početna (prirodna) vlažnost w_0 (%)	
-nepoznato	-suha masa čestica krupnijih od 0,425 mm m_7 (g)	
-sušenje na zraku na _____ °C	-suha masa polaznog uzorka $m_d=100/(100+w_0) * m_6$	300.00
-sušenje u sušioniku na _____ °C	-postotak čestica sitnijih od 0,425 mm $p_a=(m_d-m_7)/m_d * 100$	100.00
-ostalo (navesti)	-ekvivalentna vlažnost tla sitnijeg od 0,425 mm $w_a=w_0*100/p_a$	0.00

GRANICA PLASTIČNOSTI w_p	Pokus br.	1	2	3	4	Prosjek
Posuda br.		59	67			(max. razlika dva rezultata iznosi 0,5%)
Masa uzorka i posude vlažno m_2 (g)		13.04	13.89			
Masa uzorka i posude suho m_3 (g)		12.74	13.54			
Masa posude m_1 (g)		11.09	11.67			
Vlažnost $w=(m_2-m_3)/(m_3-m_1)*100$ (%)		18.18	18.72			18.45

GRANICA TEČENJA w_L	Pokus br.	1	2	3	4	5
Broj udaraca		17	30	40	52	
Posuda br.		60	55	123	65	
Masa uzorka i posude vlažno m_2 (g)		14.87	14.24	14.99	14.79	
Masa uzorka i posude suho m_3 (g)		13.98	13.39	14.13	14.01	
Masa posude m_1 (g)		11.49	10.83	11.37	11.46	
Vlažnost $w=(m_2-m_3)/(m_3-m_1)*100$ (%)		35.74	33.20	31.16	30.59	



Granica tečenja (metodom najmanjih kvadrata)	w_L (%) = 33.88
Granica plastičnosti	w_p (%) = 18.45
Indeks plastičnosti $I_p = w_L - w_p$	I_p (%) = 15.43
Indeks tečenja $I_L = (w_a - w_p) / I_p$	I_L = -1.20
Indeks konzistencije $I_C = (w_L - w_a) / I_p = 1 - I_L$	I_C = 2.20
AC klasifikacija	CH

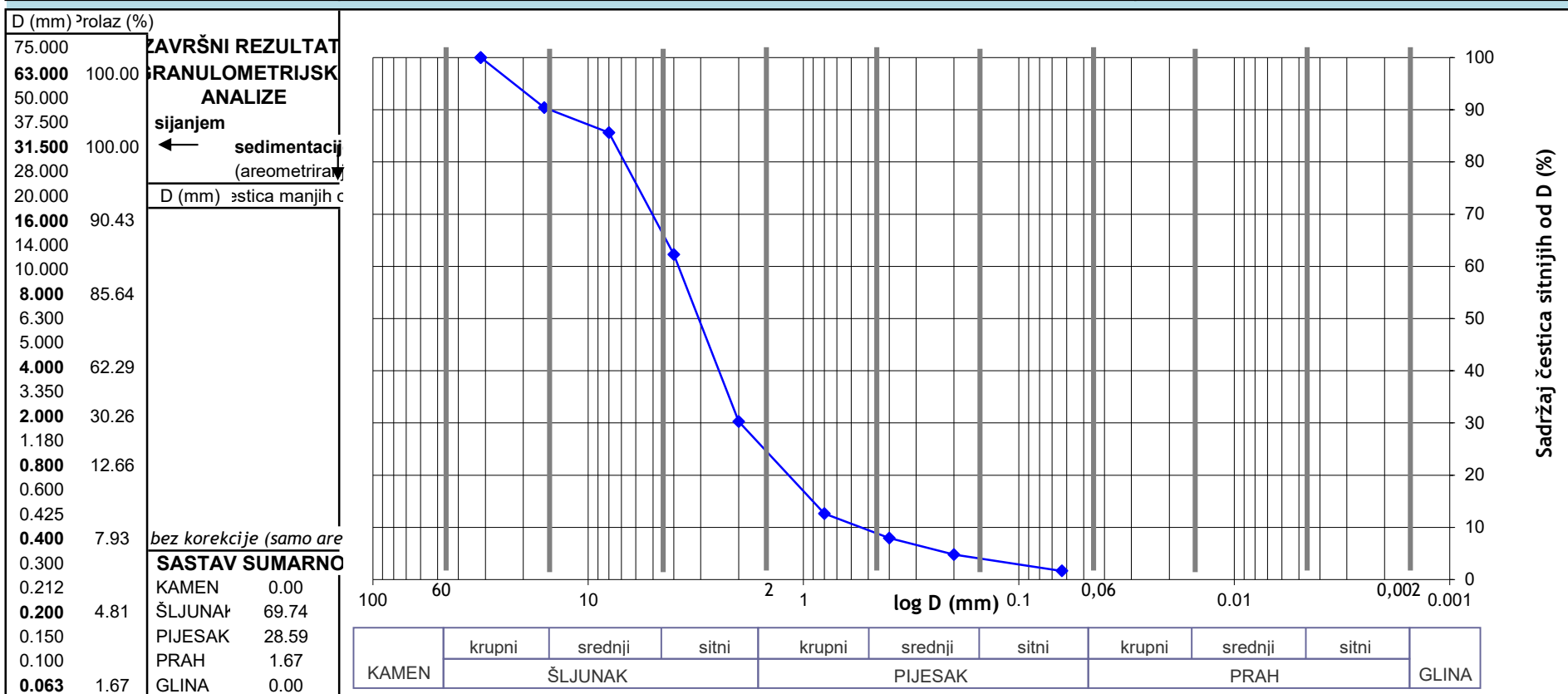
PRIMJEDBE, ODSTUPANJA I DRUGI PODACI

Odobrio:



GRANULOMETRIJSKI SASTAV - DIJAGRAM (METODA MOKROG SIJANJA / METODA SUHOG SIJANJA / SEDIMENTACIJA METODOM POMOĆU AREOMETRA)

UZORAK: 20/20	RN: -	OPIS UZORKA I PRIPREME UZORKA -lapor
BUŠOTINA: -	DATUM: -	
DUBINA: -	LOKACIJA/GRAĐEVINA: projekt UNSAT1, Trstenik (vrtić)	
Max. zrno: D_{max} (mm) = -	Ispitano prema HRN EN ISO 17892-4 / BS 1377-2 (9.2/9.3/9.5)	

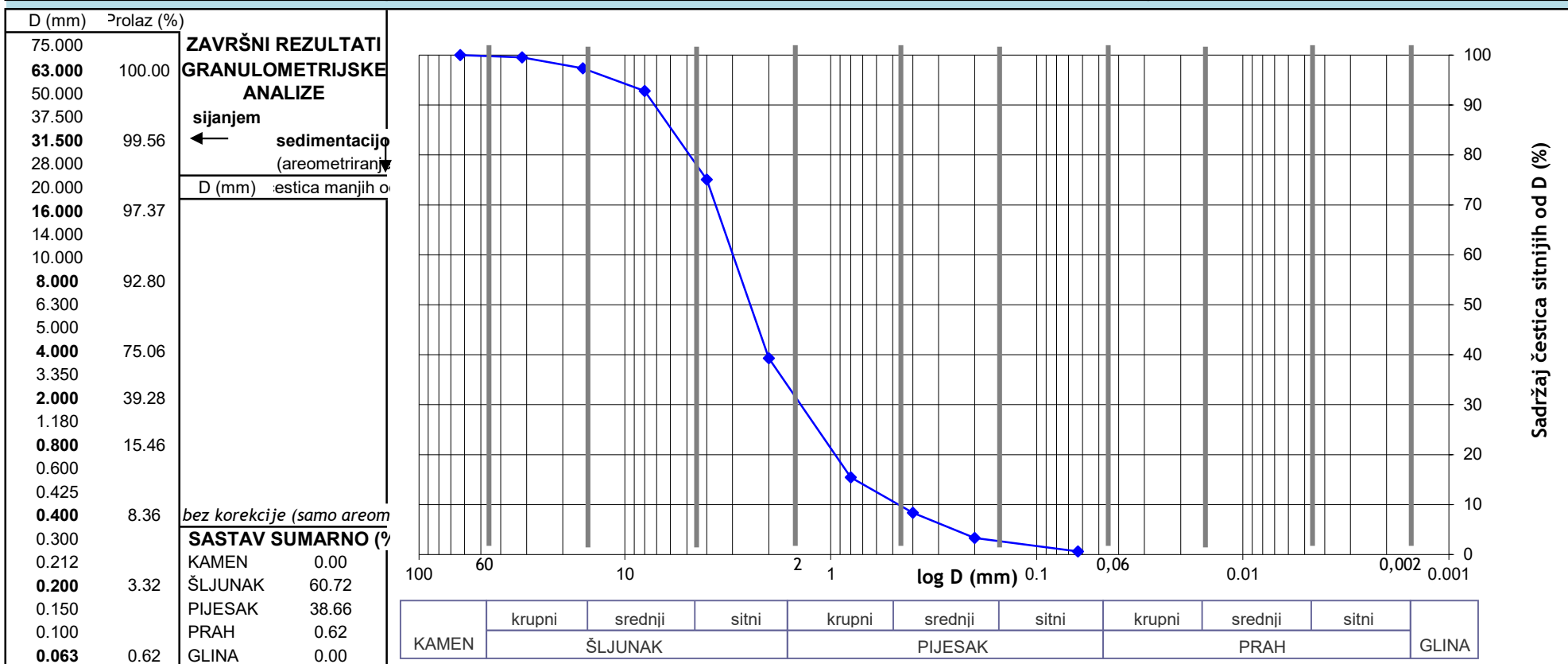


<p>PRIMJEDBE, ODSTUPANJA I DRUGI PODACI</p> <p>Rezultat dobiven nakon (dugotrajnog) potapanja fragmenata u vodi s antikoagulansom i dodatnog usitnjavanja/dezintegracije uz primjenu (samo) gumenog tučka.</p>	<p>Odobrio:</p>
---	-----------------



GRANULOMETRIJSKI SASTAV - DIJAGRAM (METODA MOKROG SIJANJA / METODA SUHOG SIJANJA / SEDIMENTACIJA METODOM POMOĆU AREOMETRA)

UZORAK: 24/21	RN: -	OPIS UZORKA I PRIPREME UZORKA -lapor
BUŠOTINA: -	DATUM: -	
DUBINA: -	LOKACIJA/GRAĐEVINA: projekt UNSAT1, Trstenik (vrtić)	
Max. zrno: D_{max} (mm) = -	Ispitano prema HRN EN ISO 17892-4 / BS 1377-2 (9.2/9.3/9.5)	



PRIMJEDBE, ODSTUPANJA I DRUGI PODACI
 Rezultat dobiven nakon (dugotrajnog) potapanja fragmenata u vodi s antikoagulansom i dodatnog usitnjavanja/dezintegracije uz primjenu (samo) gumenog tučka.

Odobrio:

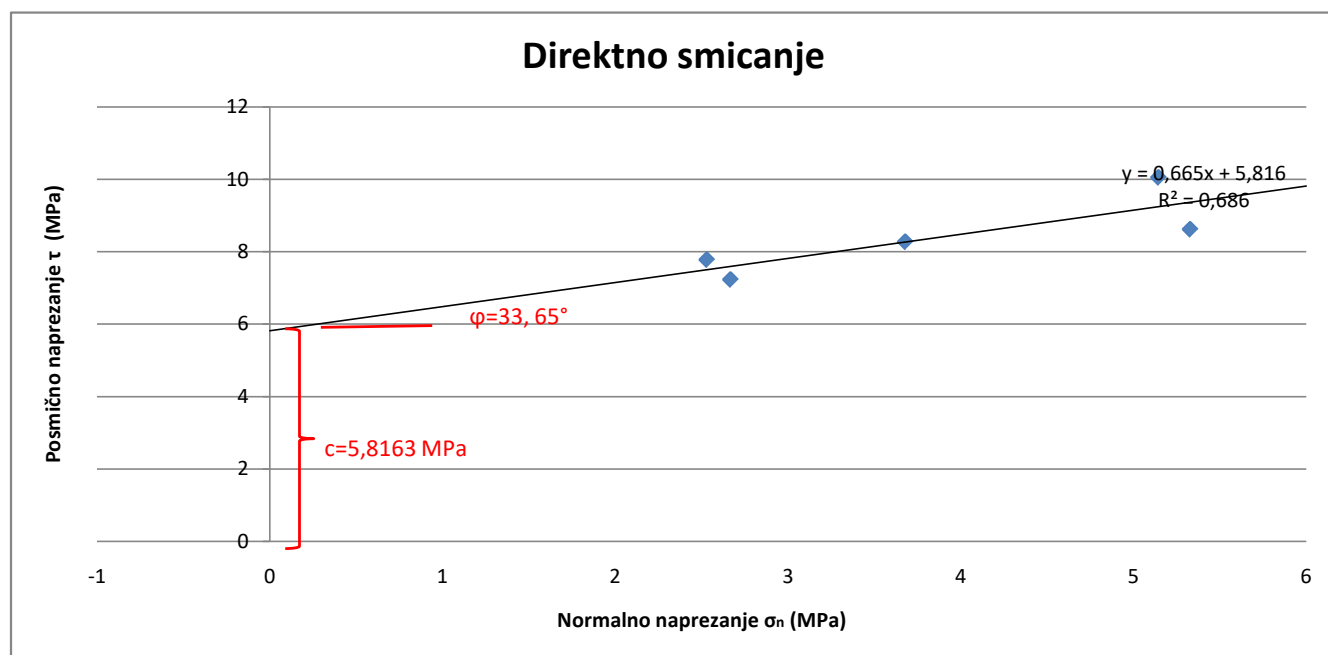
REZULTATI ISPITIVANJA

DATUM: TRAVANJ 2021.
 LOKACIJA/OBJEKT: TRSTENIK SPLIT

UZORAK: 20/20
 OPIS: LAPOR
 CaCO₃: 45,87%

ULAZNE DIMENZIJE								KONTROLA		
REDNI BROJ	Š ₁ (cm)	Š ₂ (cm)	Š _{sred} (cm)	D ₁ (cm)	D ₂ (cm)	D _{sred} (cm)	A (cm ²)	Š _{sred}	D _{sred}	A _{kont} (cm ²)
1	5,65	5,4	5,525	5,8	5,3	5,55	30,66375	5,6	5,7	31,92
2	5,2	4,35	4,775	5,6	5,15	5,375	25,665625	4,85	5,3	25,705
3	5,1	5,2	5,15	5,25	5,1	5,175	26,65125	5,1	5,15	26,265
4	5	4,9	4,95	5,7	5,7	5,7	28,215	4,9	5,55	27,195
5	5,2	4,9	5,05	4,8	4,8	4,8	24,24	4,7	4,55	21,385
6	5,1	4,9	5	5,7	5,7	5,7	28,5	4,9	5,65	27,685

REZULTATI POSMIKA								NAPOMENE
REDNI BROJ	A _{kont} (cm ²)	V (kN)	H (kN)	σ (MPa)	τ (MPa)	c (MPa)	φ (°)	
1	31,92	17	27,5	5,325815	8,615288	5,8163	33,65	
2	25,705	6,5	20	2,528691	7,780587			
3	26,265	7	19	2,665144	7,233962			
4	27,195	10	22,5	3,677147	8,27358			
5	21,385	11	21,5	5,143792	10,05378			
6	27,685	18,5	22,5	0	0			

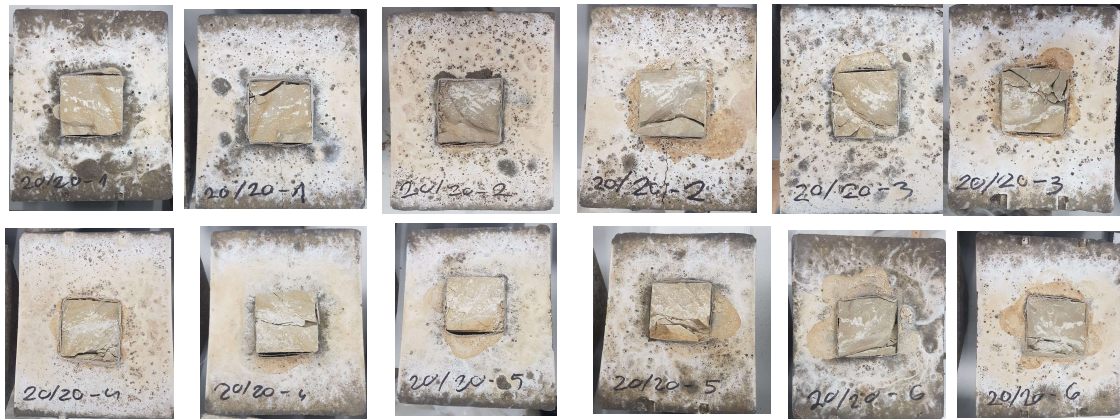
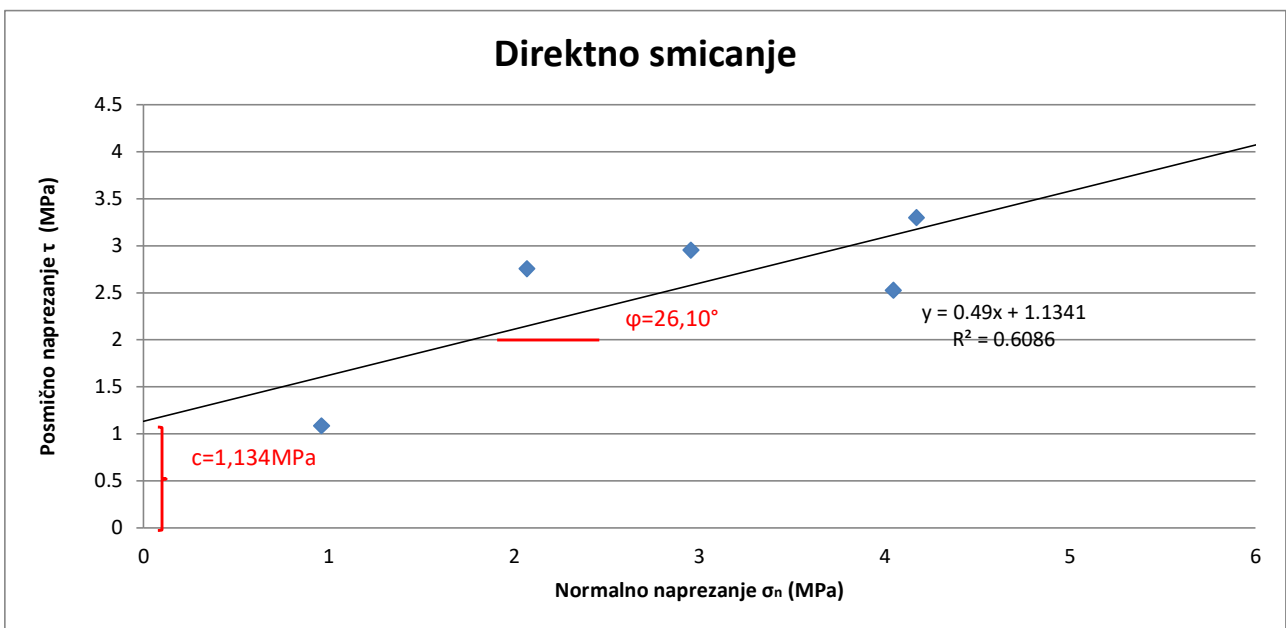


REZULTATI ISPITIVANJA

DATUM:	TRAVANJ 2021.	UZORAK:	20/20-2. faza rastrošbe
LOKACIJA/OBJEKT:	TRSTENIK SPLIT	OPIS:	LAPOR
		CaCO ₃	45.87%

REDNI BROJ	ULAZNE DIMENZIJE							KONTROLA		
	Š ₁ (cm)	Š ₂ (cm)	Š _{sred} (cm)	D ₁ (cm)	D ₂ (cm)	D _{sred} (cm)	A (cm ²)	Š _{sred}	D _{sred}	A _{kont} (cm ²)
1	5.85	5.76	5.805	5.2	5.58	5.39	31.28895	5.825	5.25	30.5813
2	5	5.13	5.065	5.51	5.41	5.46	27.6549	5.65	5.15	29.0975
3	5.68	6.02	5.85	5.39	5.61	5.5	32.175	5.7	5.15	29.355
4	5.28	5.22	5.25	5.6	5.7	5.65	29.6625	5.55	5.225	28.9988
5	5.3	5.4	5.35	5.6	5.25	5.425	29.02375	5.4	5.3	28.62
6	5.21	5.65	5.43	5.35	5.25	5.3	28.779	5.45	5.3	28.885

REDNI BROJ	REZULTATI POSMIKA							NAPOMENE	
	A _{kont} (cm ²)	V (kN)	H (kN)	σ (MPa)	τ (MPa)	c (MPa)	φ (°)		
1	30.58125	3	3.4	0.958805	1.086646	1.134	26.1		
2	29.0975	9.5	18	0	0			ODBAČEN	
3	29.355	9.5	9.5	2.952603	2.952603				
4	28.99875	12	7.5	4.045512	2.528445				
5	28.62	6	8	2.067272	2.756363				
6	28.885	12	9.5	4.169707	3.301018				



DETERMINATION OF SHEAR STRENGTH BY DIRECT SHEAR (in the small shearbox apparatus)

Set of single stage tests - tested in accordance with BS EN ISO 17892-10:2018

TEST REPORT - SUMMARY

Project location	<i>Trstenik - vrtič</i>		
Project reference	<i>UNSAT1</i>	Sample depth (m)	-
Borehole number	-	Sample type	<i>Compacted cohesive</i>
Sample number	<i>20/20</i>	Specimen orientation	
Sample description	<i>rastrošeni laporoviti materijal, 4 ciklusa sušenja i vlaženja</i>		
Particle density (Mg/m ³)	<i>2.64 (Assumed)</i>	Specimens tested submerged	

INITIAL CONDITIONS	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4
Specimen depth (m)	-			
Height (mm)				
Length (mm)	<i>60.0</i>	<i>60.0</i>	<i>60.0</i>	<i>60.0</i>
Width (mm)	<i>60.0</i>	<i>60.0</i>	<i>60.0</i>	<i>60.0</i>
Area (mm ²)	<i>3600.0</i>	<i>3600.0</i>	<i>3600.0</i>	<i>3600.0</i>
Moisture content (measured) (%)	<i>158</i>	<i>159</i>	<i>253</i>	<i>171</i>
Moisture content (trimmings) (%)	<i>18</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>18</i>
Bulk density (Mg/m ³)	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>
Dry density (Mg/m ³)	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>
Voids ratio	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>
Degree of saturation (%)	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>

Voids ratio at the end of consolidation	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>
---	----------------	----------------	----------------	----------------

SHEARING	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4
Rate of displacement (mm/min)	<i>0.040000</i>	<i>0.040000</i>	<i>0.040000</i>	<i>0.040000</i>
Conditions at peak shear stress				
Normal stress (kPa)	<i>50</i>	<i>100</i>	<i>200</i>	<i>25</i>
Shear stress (kPa)	<i>42</i>	<i>83</i>	<i>154</i>	<i>29</i>
Horizontal displacement (mm)	<i>2.42</i>	<i>3.42</i>	<i>4.06</i>	<i>3.46</i>
Vertical deformation (mm)	<i>-0.011</i>	<i>0.093</i>	<i>0.245</i>	<i>0.017</i>

Apparent cohesion (kPa)	<i>8.9</i>
Angle of shearing resistance (°)	<i>35.9</i>

Comments / variations from procedures:

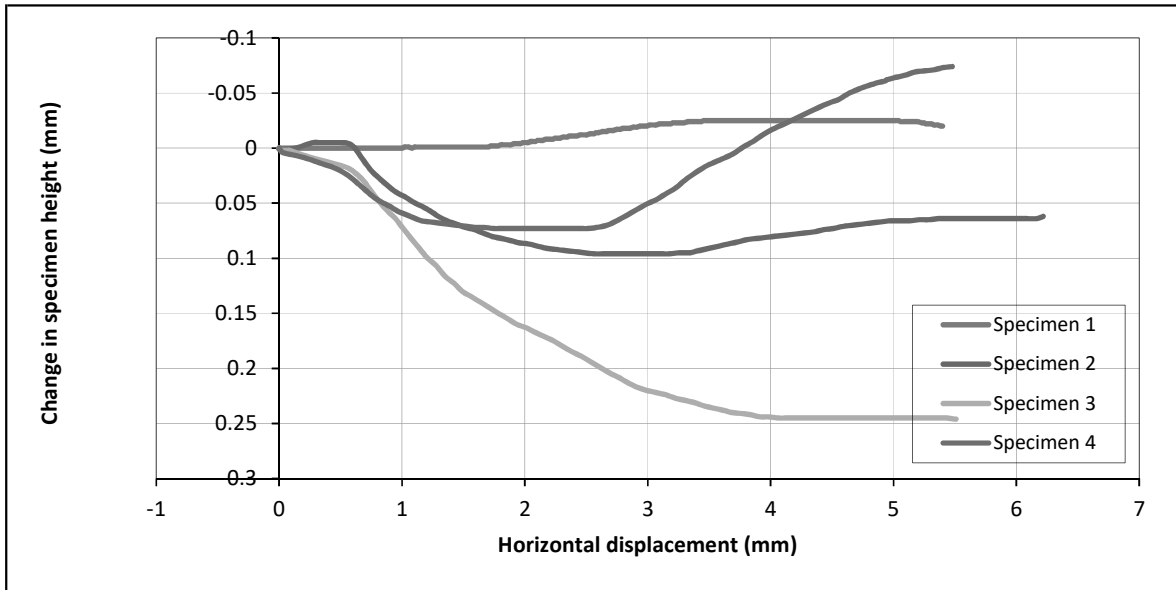
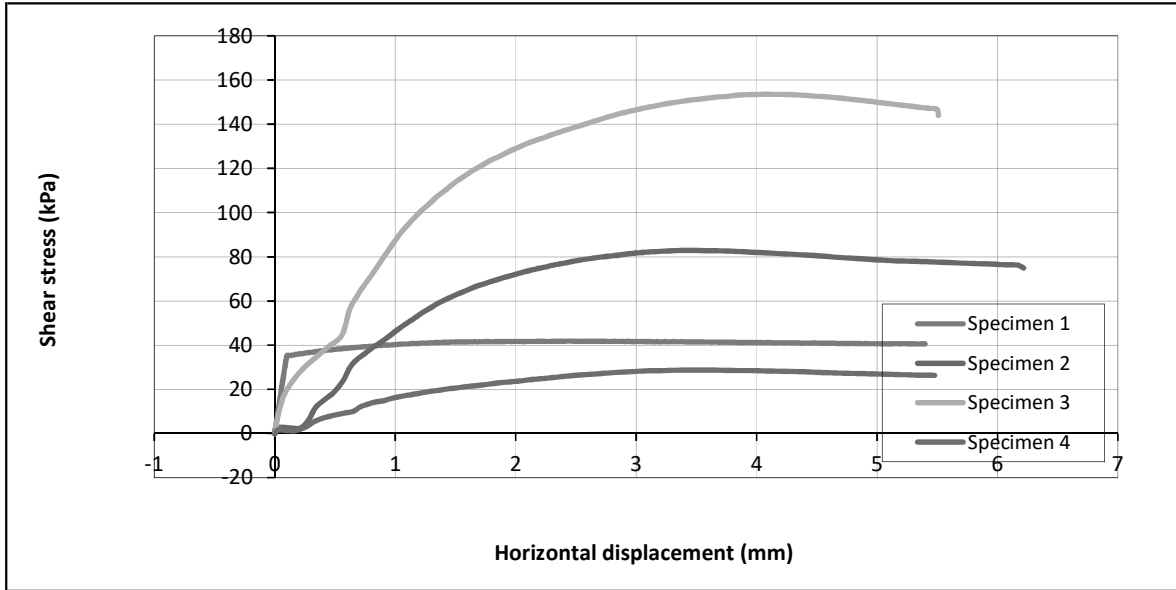
Tested	Checked	Approved
Date	Date	Date

DETERMINATION OF SHEAR STRENGTH BY DIRECT SHEAR (in the small shearbox apparatus)

Set of single stage tests - tested in accordance with BS EN ISO 17892-10:2018

TEST REPORT - SHEARING

Project location	<i>Trstenik - vrtić</i>		
Project reference	<i>UNSAT1</i>	Sample depth (m)	-
Borehole number	-	Sample type	<i>Compacted cohesive</i>
Sample number	<i>20/20</i>	Specimen orientation	



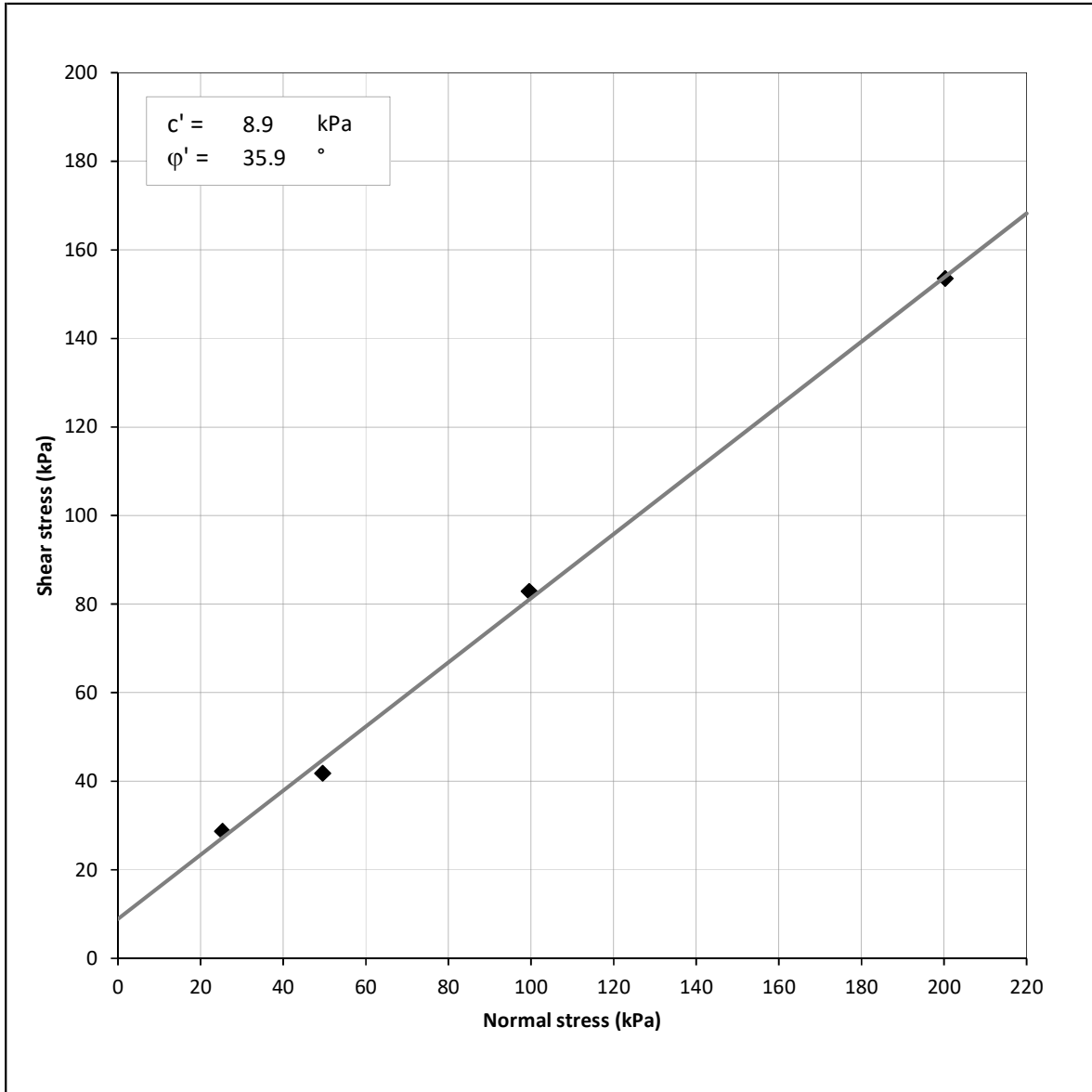
Tested	Checked	Approved
Date	Date	Date

DETERMINATION OF SHEAR STRENGTH BY DIRECT SHEAR (in the small shearbox apparatus)

Set of single stage tests - tested in accordance with BS EN ISO 17892-10:2018

TEST REPORT - SHEARING

Project location	<i>Trstenik - vrtić</i>	Sample depth (m)	-
Project reference	<i>UNSAT1</i>	Sample type	<i>Compacted cohesive</i>
Borehole number	-	Specimen orientation	
Sample number	<i>20/20</i>		



Tested	Checked	Approved
Date	Date	Date

DETERMINATION OF SHEAR STRENGTH BY DIRECT SHEAR (in the small shearbox apparatus)

Set of single stage tests - tested in accordance with BS EN ISO 17892-10:2018

TEST REPORT - SUMMARY

0.5	<i>Trstenik - vrtič</i>		
Project reference	<i>UNSAT1</i>	Sample depth (m)	-
Borehole number	-	Sample type	<i>Compacted cohesive</i>
Sample number	<i>24/21</i>	Specimen orientation	
Sample description	<i>rastrošeni laporoviti materijal, uzokovan na terenu</i>		
Particle density (Mg/m ³)	<i>2.64 (Assumed)</i>	Specimens tested submerged	

INITIAL CONDITIONS	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4
Specimen depth (m)	-			
Height (mm)				
Length (mm)	<i>60.0</i>	<i>60.0</i>	<i>60.0</i>	<i>60.0</i>
Width (mm)	<i>60.0</i>	<i>60.0</i>	<i>60.0</i>	<i>60.0</i>
Area (mm ²)	<i>3600.0</i>	<i>3600.0</i>	<i>3600.0</i>	<i>3600.0</i>
Moisture content (measured) (%)	<i>158</i>	<i>159</i>		
Moisture content (trimmings) (%)	<i>18</i>	<i>18</i>		
Bulk density (Mg/m ³)	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>
Dry density (Mg/m ³)	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>		
Voids ratio	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>		
Degree of saturation (%)	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>		

Voids ratio at the end of consolidation	<i>#VALUE!</i>	<i>#VALUE!</i>		
---	----------------	----------------	--	--

SHEARING	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4
Rate of displacement (mm/min)	<i>0.030000</i>	<i>0.030000</i>	<i>0.030000</i>	
Conditions at peak shear stress				
Normal stress (kPa)	<i>50</i>	<i>100</i>	<i>200</i>	<i>25</i>
Shear stress (kPa)	<i>49</i>	<i>83</i>	<i>154</i>	<i>26</i>
Horizontal displacement (mm)	<i>3.15</i>	<i>3.42</i>	<i>4.06</i>	<i>2.61</i>
Vertical deformation (mm)	<i>-0.036</i>	<i>0.093</i>	<i>0.245</i>	<i>0.016</i>

Apparent cohesion (kPa)	<i>10.6</i>
Angle of shearing resistance (°)	<i>35.6</i>

Comments / variations from procedures:

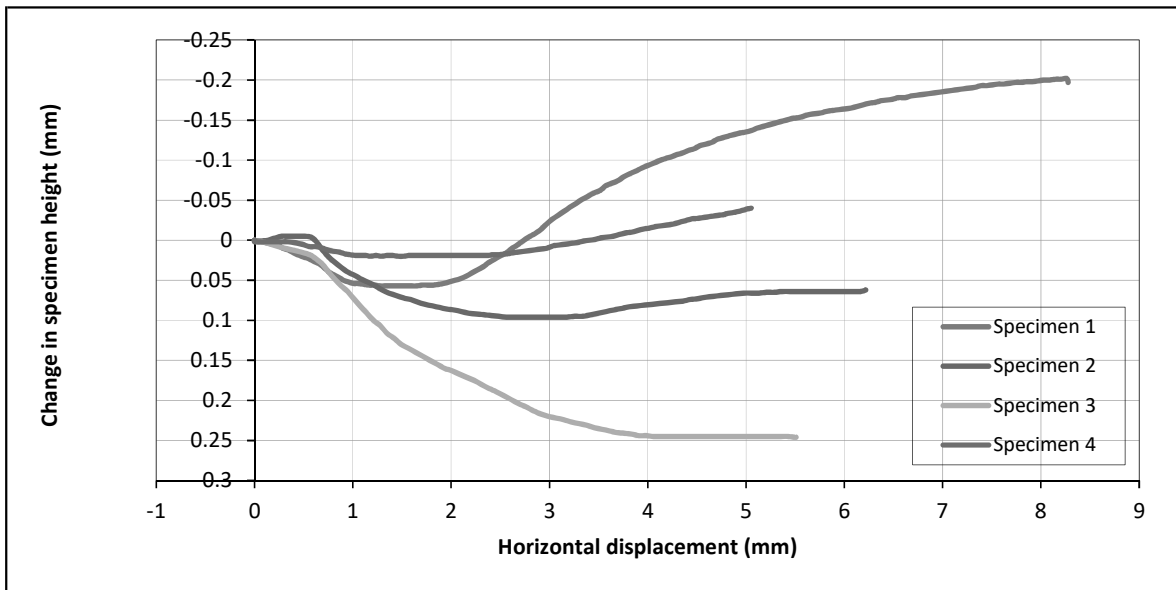
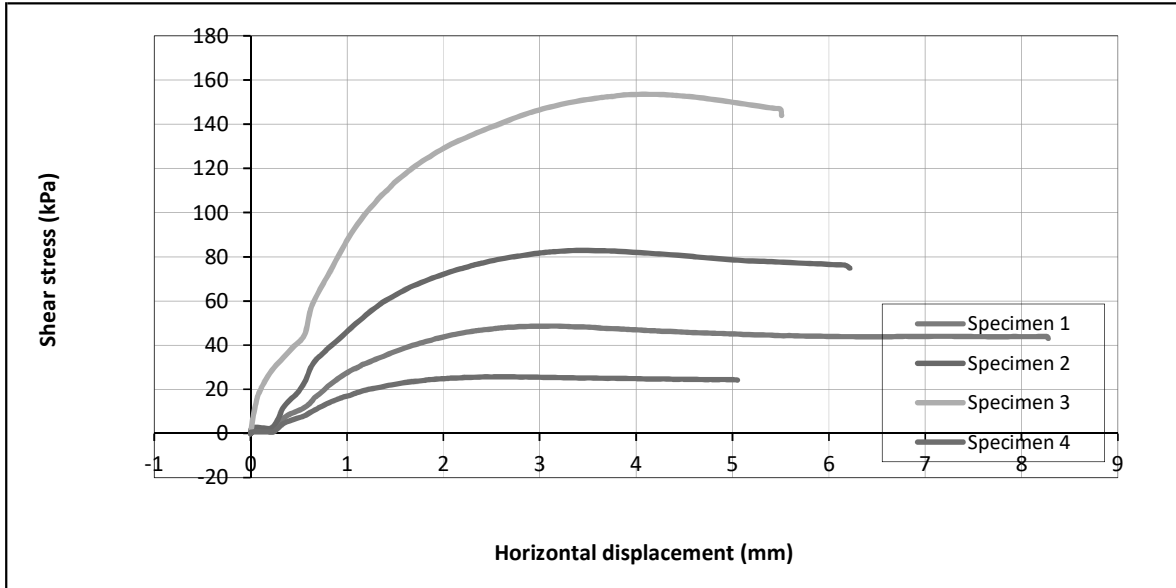
Tested	Checked	Approved
Date	Date	Date

DETERMINATION OF SHEAR STRENGTH BY DIRECT SHEAR (in the small shearbox apparatus)

Set of single stage tests - tested in accordance with BS EN ISO 17892-10:2018

TEST REPORT - SHEARING

0.5	<i>Trstenik - vrtić</i>		
Project reference	<i>UNSAT1</i>	Sample depth (m)	-
Borehole number	-	Sample type	<i>Compacted cohesive</i>
Sample number	<i>24/21</i>	Specimen orientation	



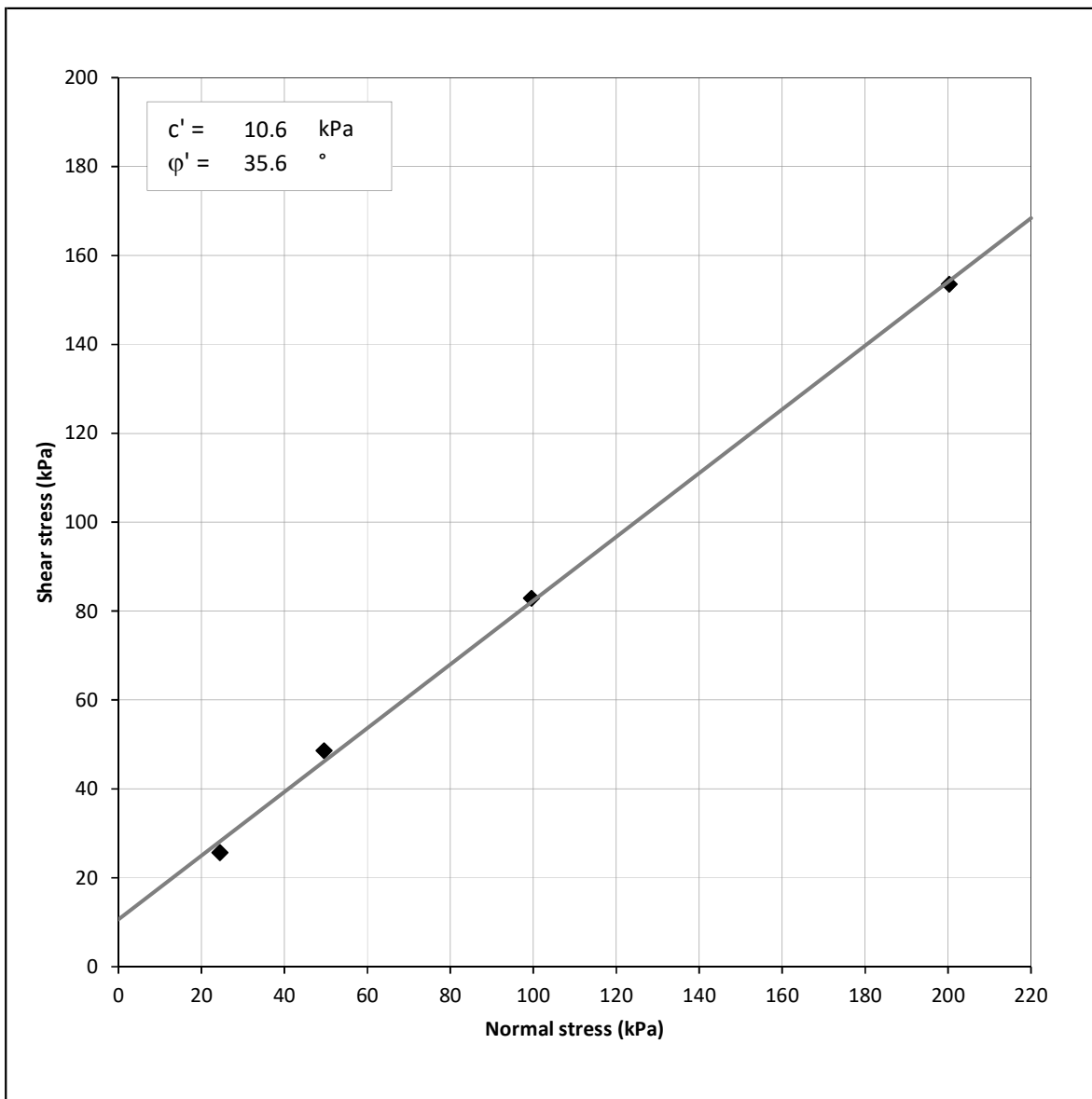
Tested	Checked	Approved
Date	Date	Date

DETERMINATION OF SHEAR STRENGTH BY DIRECT SHEAR (in the small shearbox apparatus)

Set of single stage tests - tested in accordance with BS EN ISO 17892-10:2018

TEST REPORT - SHEARING

0.5	<i>Trstenik - vrtić</i>		
Project reference	<i>UNSAT1</i>	Sample depth (m)	-
Borehole number	-	Sample type	<i>Compacted cohesive</i>
Sample number	<i>24/21</i>	Specimen orientation	



Tested	Checked	Approved
Date	Date	Date

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: Slide1
 Last saved with Slide version: 6.009
 Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
 Date Created: 10.6.2021., 8:18:29

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
 Time Units: days
 Permeability Units: meters/second
 Failure Direction: Right to Left
 Data Output: Standard
 Maximum Material Properties: 20
 Maximum Support Properties: 20

Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 - Design Approach 3

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1.25
Earth resistance	1
Tensile and plate strength	1
Shear strength	1
Compressive strength	1
Bond strength	1
Seismic Coefficient	1

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
 Janbu simplified

Number of slices: 25
 Tolerance: 0.005
 Maximum number of iterations: 50
 Check malpha < 0.2: Yes
 Initial trial value of FS: 1
 Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
 Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
 Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
 Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
 Search Method: Grid Search
 Radius Increment: 10
 Composite Surfaces: Disabled
 Reverse Curvature: Create Tension Crack
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined





Loading

1 Line Load present

Line Load: Line Load

Angle from horizontal: 270 degrees
 Magnitude: 100
 Load Action: Variable

Material Properties

Property	Geotehnička sredina 1	Geotehnička sredina 2	Geotehnička sredina 3	Geotehnička sredina 4
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	17	21.8	23.53	17
Cohesion [kPa]	10.6	5	41	5

Friction Angle [deg]	35.6	36.4	44.7	28
Water Surface	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
-3	0
-3	-2
8.48	-2
8.48	4.5
8.48	5.5
4.23	5.5
4.14	4.5
3.88	3
3.87614	2.99702
0	0

Material Boundary

X	Y
4.48	4.5
8.48	4.5

Material Boundary

X	Y
0	0
3.35	0
3.88	3

Material Boundary

X	Y
3.35	0
3.68	0
4.48	4.5
4.14	4.5

Material Boundary

X	Y
3.35	0
3.87614	2.99702

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: Slide1.1
 Last saved with Slide version: 6.009
 Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
 Date Created: 10.6.2021., 8:18:29

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
 Time Units: days
 Permeability Units: meters/second
 Failure Direction: Right to Left
 Data Output: Standard
 Maximum Material Properties: 20
 Maximum Support Properties: 20

Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 - Design Approach 3

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1.25
Earth resistance	1
Tensile and plate strength	1
Shear strength	1
Compressive strength	1
Bond strength	1
Seismic Coefficient	1

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
 Janbu simplified

Number of slices: 25
 Tolerance: 0.005
 Maximum number of iterations: 50
 Check malpha < 0.2: Yes
 Initial trial value of FS: 1
 Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
 Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
 Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
 Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
 Search Method: Grid Search
 Radius Increment: 10
 Composite Surfaces: Disabled
 Reverse Curvature: Create Tension Crack
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined





Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.11
 1 Line Load present

Line Load: Line Load

Angle from horizontal: 270 degrees
 Magnitude: 100
 Load Action: Variable

Material Properties

Property	Geotehnička sredina 1	Geotehnička sredina 2	Geotehnička sredina 3	Geotehnička sredina 4
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	17	21.8	23.53	17

Cohesion [kPa]	10.6	5	41	5
Friction Angle [deg]	35.6	36.4	44.7	28
Water Surface	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
-3	0
-3	-2
8.48	-2
8.48	4.5
8.48	5.5
4.23	5.5
4.14	4.5
3.88	3
3.87614	2.99702
3.35	0

Material Boundary

X	Y
4.48	4.5
8.48	4.5

Material Boundary

X	Y
3.35	0
3.88	3

Material Boundary

X	Y
3.35	0
3.68	0
4.48	4.5
4.14	4.5

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: Slide2
 Last saved with Slide version: 6.009
 Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
 Date Created: 10.6.2021., 8:41:09

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
 Time Units: days
 Permeability Units: meters/second
 Failure Direction: Right to Left
 Data Output: Standard
 Maximum Material Properties: 20
 Maximum Support Properties: 20

Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 - Design Approach 3

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1.25
Earth resistance	1
Tensile and plate strength	1
Shear strength	1
Compressive strength	1
Bond strength	1
Seismic Coefficient	1

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
 Janbu simplified

Number of slices: 25
 Tolerance: 0.005
 Maximum number of iterations: 50
 Check malpha < 0.2: Yes
 Initial trial value of FS: 1
 Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
 Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
 Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
 Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
 Search Method: Grid Search
 Radius Increment: 10
 Composite Surfaces: Disabled
 Reverse Curvature: Create Tension Crack
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined




Loading

1 Line Load present

Line Load: Line Load

Angle from horizontal: 270 degrees
 Magnitude: 100
 Load Action: Variable

Material Properties

Property	Geotehnička sredina 1	Geotehnička sredina 3	Geotehnička sredina 4
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	17	23.53	17
Cohesion [kPa]	10.6	41	5

Friction Angle [deg]	35.6	44.7	28
Water Surface	None	None	None
Ru Value	0	0	0

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
-3	0
-3	-2
9.15	-2
9.15	4.5
9.15	5.5
5.9	5.5
5.8	4.5
0	0

Material Boundary

X	Y
5.8	4.5
9.15	4.5

Material Boundary

X	Y
0	0
4	0
4.55	3
5.761	4.021
5.8	4.5

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: Slide2.1
 Last saved with Slide version: 6.009
 Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
 Date Created: 10.6.2021., 8:41:09

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
 Time Units: days
 Permeability Units: meters/second
 Failure Direction: Right to Left
 Data Output: Standard
 Maximum Material Properties: 20
 Maximum Support Properties: 20

Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 - Design Approach 3

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1.25
Earth resistance	1
Tensile and plate strength	1
Shear strength	1
Compressive strength	1
Bond strength	1
Seismic Coefficient	1

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
 Janbu simplified

Number of slices: 25
 Tolerance: 0.005
 Maximum number of iterations: 50
 Check malpha < 0.2: Yes
 Initial trial value of FS: 1
 Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
 Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
 Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
 Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
 Search Method: Grid Search
 Radius Increment: 10
 Composite Surfaces: Disabled
 Reverse Curvature: Create Tension Crack
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined



Loading

1 Line Load present

Line Load: Line Load

Angle from horizontal: 270 degrees
 Magnitude: 100
 Load Action: Variable

Material Properties

Property	Geotehnička sredina 3	Geotehnička sredina 4
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	23.53	17
Cohesion [kPa]	41	5

Friction Angle [deg]	44.7	28
Water Surface	None	None
Ru Value	0	0

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
-3	0
-3	-2
9.15	-2
9.15	4.5
9.15	5.5
5.9	5.5
5.8	4.5
5.53075	3.82688
4	2.77556e-017

Material Boundary

X	Y
5.8	4.5
9.15	4.5