

# Ispitivanje neporemećenog uzorka rezidualnog tla uređajem za prstenasto smicanje

---

**Glavaš, David**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:362604>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-28**



image not found or type unknown

*Repository / Repozitorij:*

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



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**David Glavaš**

**Ispitivanje neporemećenog uzorka rezidualnog tla uređajem za  
prstenasto smicanje**

**Završni rad**

**Rijeka, 2024.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Prijediplomski sveučilišni studij  
Mehanika tla i stijena**

**David Glavaš  
JMBAG: 0114037683**

**Ispitivanje neporemećenog uzorka rezidualnog tla uređajem za  
prstenasto smicanje**

**Završni rad  
Rijeka, 09/2024.**

## IZJAVA

Završni/Diplomski rad izradio/izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom/mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

\_\_\_\_\_  
David Glavaš

Ime i prezime

U Rijeci, 2.9.2014.

## IZJAVA

Završni rad izrađen je u sklopu znanstvenog projekta

**Istraživanje klizišta korištenjem uređaja za prstenasto smicanje**

Voditelj projekta	doc. dr. sc. Martina Vivoda Prodan
Šifra projekta	ZIP-UNIRI-1500-1-22
Financijer projekta	<u>Sveučilište u Rijeci</u>
Pravna nadležnost	<u>Republika Hrvatska</u>

U Rijeci, 28.08.2023.

Mentor:



---

## **Zahvala**

Zahvaljujem se svom mentoru doc.dr.sc. Martini Vivodi Prodan na dopuštenju za rad u Laboratoriju za geotehniku Građevinskog fakulteta Rijeka za korištenje uređaja i na stručnoj pomoći pri obradi rezultata. Također, zahvaljujem se i laborantu Juraju Stelli na pomoći pri radu s uređajem.

## Sažetak

Tema ovog završnog rada je ispitivanje neporemećenog uzorka rezidualnog tla uređajem za prstenasto smicanje. Rad će se fokusirati na način ispitivanja neporemećenog uzorka rezidualnog tla , uključujući pripremu uzorka , provođenja ispitivanja i interpretacije rezultata. U prvom dijelu rada opisan je povijesni razvoj uređaja te njegov koncept i sastavni dijelovi dok drugi dio opisuje sam postupak ispitivanja i analizu dobivenih rezultata neporemećenog uzorka rezidualnog tla sa klizišta Krbavčići u Istri koje je nastalo nakon dužeg razdoblja obilnih kiša na području pretežno izgrađenom od flišne stijenske mase.

U svrhu izrade rada provedeno je ispitivanje u uređaju za prstenasto smicanje modela ICl-1. Uzorak je ugrađen u posmičnu ćeliju, obavljena je saturacija, provedena konsolidacija te smicanje uz prirast posmičnog pomaka u dreniranim uvjetima.

Ključne riječi: Uređaj za prstenasto smicanje , konsolidacija , saturacija , posmični pomak , čvrstoća rezidualnog tla.

## **Abstract**

The topic of this final paper is determining the strength of residual soil using a ring shear device. The paper will focus on the testing methodology, including sample preparation, conducting the test, and interpreting the results. The first part of the paper describes the historical development of the device, its concept, and components, while the second part outlines the testing procedure and analysis of the obtained results from the undisturbed residual soil sample from the Krbavčiči landslide in Istria that occurred after a prolonged period of heavy rainfall in an area predominantly composed of flysch rock masses.

For the purpose of this work, testing was conducted using the ICI-1 model ring shear apparatus. The sample was placed in the shear cell, saturation was performed, consolidation was carried out, and shear testing was conducted with incremental shear displacement under drained conditions.

Keywords: Ring shear device, consolidation, saturation, shear displacement, residual soil strength.



## **SADRŽAJ:**

<b>1.UVOD</b> .....	1
<b>2.POVIJEST PRSTENASTOG UREĐAJA</b> .....	2
<b>3. STRUKTURA I KONCEPT UREĐAJA</b> .....	4
3.1 Posmična ćelija .....	7
3.2 Održavanje nedreniranih uvjeta .....	8
3.3 Mjerenje pornog tlaka .....	9
3.4 Sustav nadzora .....	9
3.5 Koncept uređaja .....	11
<b>4.POSTUPAK ISPITIVANJA</b> .....	14
4.1 Uzorkovanje .....	14
4.1.1 Klizište Krbavčići .....	15
4.1.2 Dizajn kalupa za uzorkovanje neporemećenih uzoraka .....	17
4.1.3 Postupak uzorkovanja .....	18
4.2 Pripremanje uzorka .....	19
4.3 Podešavanje razmaka .....	20
4.4 Saturacija uzorka .....	21
4.5 Konsolidacija uzorka .....	21
4.6 Smicanje uzorka .....	22
4.6.1 Test kontrole brzine .....	23
4.7 Deinstalacija .....	24

<b>5. REZULTATI ISPITIVANJA .....</b>	<b>24</b>
5.1 Rezultati konsolidacije .....	24
5.2 Rezultati smicanja .....	25
<b>6. GRANULOMETRIJSKA ANALIZA .....</b>	<b>29</b>
6.1 Sijanje.....	29
6.2 Areometriranje .....	30
<b>7. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>32</b>

## **POPIS SLIKA**

Slika 1. Uređaj za prstenasto smicanje

Slika 2. Prijenosni uređaj za prstenasto smicanje , model ICL-1

Slika 3. Mehanička struktura uređaja (ICL-1)

Slika 4. Nadzorna jedinica

Slika 5. Kontrolna jedinica

Slika 6. Sustav za deaeriranje

Slika 7. Skica posmične ćelije

Slika 8. Senzorske i testne vrijednosti u softverskoj aplikaciji

Slika 9. Koncept dizajna uređaja

Slika 10. Uvjeti naprezanja u kosini i uređaju za prstenasto smicanje

Slika 11. . Tipični graf pravca efektivnog naprezanja za nedrenirani postupak ispitivanja u uređaju za prstenasto smicanje

Slika 12. Geološka karta sjevernog poluotoka Istre s prikazom klizišta Krbavčići i nedavnih klizišta koje ga okružuju

Slika 13. Fliš stijenska masa sa vertikalnom izmjenom pješčenjaka i prahovnjaka na kosini

Slika 14. Mjesečna količina oborina za 1978. i 1979. godinu i prosječna količina oborina za razdoblje od 1961-2017 zabilježenih na kišomjeru

Slika 15. Prikupljanje uzoraka tla blizu površine pomoću opreme za neporemećeno uzorkovanje tla

Slika 16. Nabijanje kalupa u tlo

Slika 17. Ispunjeni kalup sa postavljenim držačem okvira

Slika 18. Ugrađivanje neporemećenog uzorka u posmičnu ćeliju

Slika 19. Ugradnja uzorka

Slika 20. Mjerenje visine

Slika 21. Snimka zaslona softvera

Slika 22. Vertikalni pomak u vremenu tijekom konsolidacije

Slika 23. Pomični tlak u odnosu na posmični pomak tijekom smicanja

Slika 24. Efektivno normalno naprežanje u odnosu na posmični pomak tijekom smicanja

Slika 25. Posmično naprežanje u odnosu na posmični pomak tijekom smicanja

Slika 26. Vertikalni pomak kroz vrijeme tijekom smicanja

Slika 27. Sita različitih dimenzija

Slika 28. Uronjeni hidrometar

Slika 29. Granulometrijska krivulja ispitanog uzorka

## 1. UVOD

U području građevinskog i geotehničkog rada potrebno je provesti ispitivanje rezidualnog tla za svrhu dobivanja analize značajka tla. Analizom određujemo parametre čvrstoće i nosivost, poroznost, gustoću i propusnost tla koji služe za stvaranje planova u svrhu osiguranja građenih objekata od potencijalne pojave sloma tla ili klizišta. Slom tla može nastati u više slučajeva a najčešći je prekomjerno opterećenje tla, dok su ostali promjene vodnog stanja te geološke ili ljudske aktivnosti. Klizište se javlja poremećajem stabilnosti zbog kojeg je došlo do klizanja tla, tj. kretanja površinskoga sloja zemlje. [1]

Ispitivanja tla provode se na određenim uređajima koji simuliraju i analiziraju ponašanje tla pod određenim vrstama statičkih ili dinamičkih opterećenja. U priloženom radu ispitivanje je modificirano te se provodi u uređaju za prstenasto smicanje na neporemećenom uzorku rezidualnog tla simulirajući nastajanje posmične površine klizišta i njegovo ponašanje nakon sloma. Ovaj uređaj može simulirati i porast pornog tlaka uslijed infiltriranja padalina te dinamička opterećenja uslijed potresa, pri čemu postoji kontinuirano mjerenje razvoja pornog tlaka, mobiliziranog posmičnog otpora te posmične deformacije. [2]

Cilj ovog rada je bio modificirati postojeću proceduru ispitivanja na neporemećenim uzorcima, uzorkovati neporemećeni uzorak rezidualnog tla s područja klizišta te ga ugraditi u uređaj za prstenasto smicanje i ispitati pod konstantnom brzinom smicanja u dreniranim uvjetima.

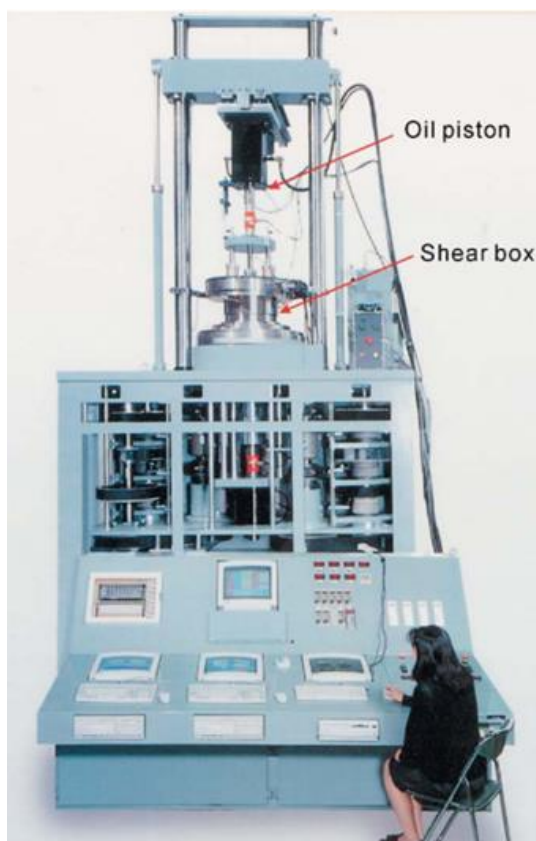
## 2. POVIJEST PRSTENASTOG UREĐAJA

Uređaj za prstenasto smicanje primarno je dizajniran za istraživanje rezidualne posmične otpornosti mobilizirane duž klizne plohe pri velikim posmičnim pomacima u klizištima zbog mogućnosti neograničene deformacije uzorka. [3]

Takvu konfiguraciju uređaja s prstenastim smicanjem uveo je Hvorslev 1939. (Hvorslev 1939.) godine. Njegov uređaj smicao je uzorak na unaprijed definiranoj površini smještenoj između gornjeg i donjeg dijela prstena. [3]

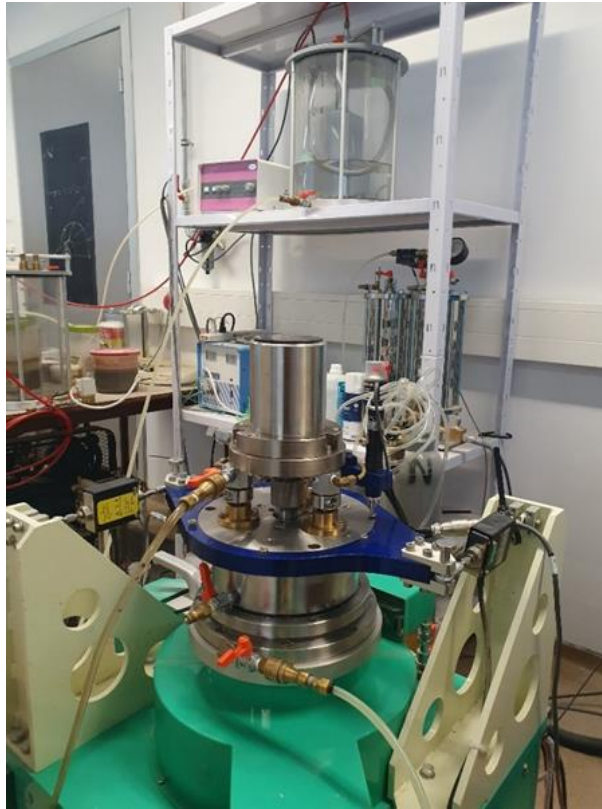
Najpoznatiji i najprihvaćeniji uređaj za prstenasto smicanje opisan je od strane Alana W. Bishopa 1971. godine (Bishop et al. 1971.). Takav uređaj je osmišljen za proučavanje intervala nakon vrha krivulje posmične čvrstoće i pomaka krivulje s naglaskom na rezidualnu čvrstoću koja se razvija u sporim glinovitim klizištima. [3] Ovaj model ostaje najprihvaćeniji zbog njegove jednostavnosti, pouzdanosti i široke primjenjivosti.

Sassa i njegovi suradnici (Sassa et al. 2004) razvili su sedam različitih modela uređaja za prstenasto smicanje od 1992. godine. Ovi modeli imaju oznaku „DPRI“, prema kratici Instituta za istraživanje prevencije katastrofa (eng. Disaster Prevention Research Institute), te su numerirani od 1 do 7. DPRI-1 bio je izvorni uređaj za prstenasto smicanje velike brzine, koristio je konvencionalni motor za kontrolu brzine smicanja i nije mogao osigurati cikličko smicanje. Prvi uređaj sa dinamičkim opterećenjem bio je DPRI-3 koji je razvijen u svrhu simuliranja seizmičkog opterećenja. Nakon DPRI-3, razvijen je niz modela s dinamičkim opterećenjem s dodatnim različitim značajkama (DPRI-4, DPRI-5, DPRI-6, DPRI-7) koji omogućuju simulaciju statičkih i dinamičkih opterećenja u nedreniranim uvjetima. (Slika 1.) [3]



Slika 1. Uređaj za prstenasto smicanje [3]

Naredni cilj razvoja uređaja bio je poboljšati performanse uz istovremeno smanjenje troškova i dimenzija uređaja. Taj cilj je postignut 2010. godine, kada je razvijen noviji, prijenosni uređaj za prstenasto smicanje, model ICL-1 (slika 2). Uređaj je nastao u sklopu hrvatsko-japanskog znanstvenog projekta financiranog od SATREPS (eng. Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development) i JICA/JST "Identifikacija rizika i planiranje korištenja zemljišta za ublažavanje katastrofa od klizišta i poplava u Hrvatskoj". ICL-1 ima sposobnost održavati nedrenirano stanje do 1MPa purnog tlaka i normalno opterećenje do 1MPa, što ga čini izuzetno pogodnim za istraživanje velikih i dubokih klizišta. [6]



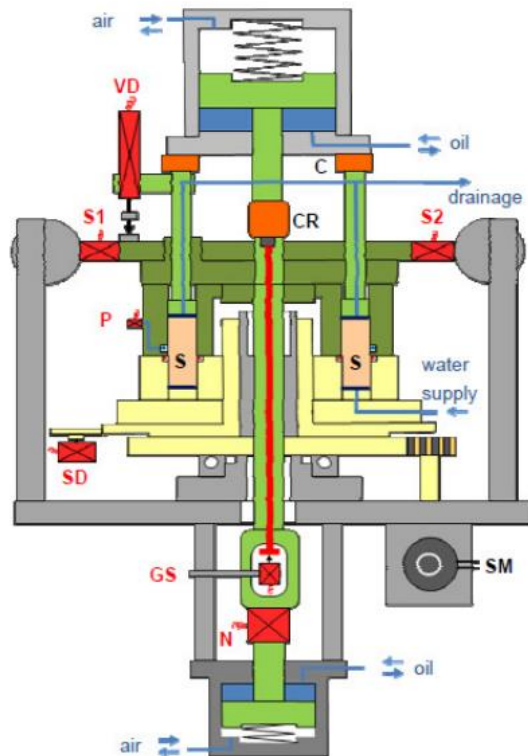
Slika 2. Prijenosni uređaj za prstenasto smicanje , model ICL-1

### 3. STRUKTURA I KONCEPT UREĐAJA

Dimenzije prijenosnog uređaja za prstenasto smicanje ICL-1 su tlocrtna dimenzija 50 x 50 cm i visina 95 cm, s maksimalnom težinom do 100 kg, što omogućuje lakši prijenos. [6] Ovaj uređaj ima smanjene dimenzije zahvaljujući manjim posmičnim brzinama i novom sustavu opterećenja, gdje se normalno naprezanje opterećuje povlačenjem središnje osi uređaja.

Također, ICL-1 može proizvesti veća normalna naprezanja i porni tlak u usporedbi s prethodnim modelima koji su vertikalnu silu nanosili na uzorak pomoću velikih okvira. Na slici 3. prikazana je mehanička struktura modela ICL-1 .[2]

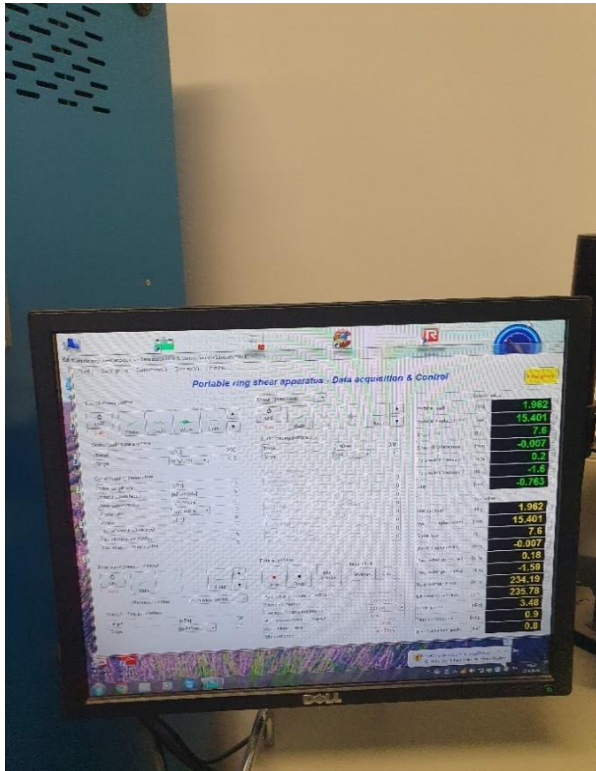




Slika 3. Mehanička struktura uređaja (ICL-1) ; (S – uzorak, CR – prsten za povezivanje, C – spoj, N – ćelija za opterećenje normalnim naprezanjem; S1,S2 – ćelija za opterećenje posmičnim naprezanjem, P – mjerac pornog tlaka, GS – senzor za razmak između gornjeg i donjeg dijela posmične ćelije, VD – mjerac vertikalnog pomaka, SD – mjerac posmičnog pomaka) [6]

Prijenosni model ICL-1 podijeljen je na više zasebnih dijelova uređaja zbog lakšeg transporta: [2]

- Instrumentna jedinica (Posmična ćelija, 3 servo motora – za normalno i posmično naprezanje te za kontrolu razmaka, senzori za vertikalni i posmični pomak , mjeraci pornog tlaka , mjerne ćelije za normalno naprezanje i 2 mjerne ćelije za otpornost na smicanje) (slika 2.)
- Nadzorna jedinica (slika 5.)
- Kontrolna jedinica – za kontrolu i snimanje podataka, pomoću softverske aplikacije „Portable ring shear apparatus – Data acquisition and control – Version 3.0.4308.18666) (slika 4.)
- Sustav za deaeriranje (slika 6.) s kontrolom pornog tlaka



Slika 4. Kontrolna jedinica



Slika 5. Nadzorna jedinica



Slika 6. Sustav za deaeriranje

### 3.1 Posmična ćelija

Ključni dio uređaja za prstenasto smicanje je posmična ćelija. (slika 7.) Prije ugradnje uzorka, gornji i donji dio prstena se spajaju. Tijekom ispitivanja, uzorak se opterećuje preko prstenaste ploče povezane s uljnim klipom. [2] Donji dio ćelije rotira se u oba smjera, dok je gornji dio fiksiran pomoću dviju ćelija za opterećenje posmičnim naprezanjem, koje istovremeno bilježe otpor smicanju. U trenutku kad dođe do posmičnog sloma, prstenasto oblikovan uzorak smiče se rotacijskim kretanjem donjeg dijela uređaja, koji se okreće zajedno s rotacijskom jedinicom, dok je gornji dio fiksiran time stvarajući posmičnu deformaciju uzorka.



Slika 7. Skica posmične ćelije [2]

Unutarnji promjer ćelije za smicanje iznosi 10 cm, vanjski 14 cm, a posmična površina je  $75,36 \text{ cm}^2$ . Visina posmične ćelije sastoji se od dva dijela. Donji dio ćelije,  $h_1$ , sastoji se od poroznog materijala i gumenog prstena, i može biti visok 16,3 cm, 13,3 cm ili 10,3 cm, ovisno o broju poroznih metalnih dijelova. Gornji dio ćelije,  $h_2$ , ovisi o promjeni volumena uzorka tijekom konsolidacije. [2]

Minimalna visina uzorka nakon konsolidacije trebala bi biti između 33 i 40 mm, što je otprilike 2 cm iznad gumenog ruba. Visina uzorka ovisi o njegovim karakteristikama, a ako uzorak nije dovoljno visok, ploča za opterećenje neće moći doći do uzorka, te se normalno naprezanje ne može primijeniti. [6]

Na ploči za opterećenje i bazi posmične ćelije pričvršćeno je osam metalnih filtera koji omogućuju drenažu. Kako bi se spriječilo klizanje između dviju polovica uzorka unutar posmične ćelije, osam noževa je također postavljeno u ploču za opterećenje i bazu ćelije. Drenaža je omogućena kada su gornji i donji ventili otvoreni tijekom konsolidacije i u dreniranim uvjetima. Ako su ventili zatvoreni, uspostavljaju se nedrenirani uvjeti. [2]

### **3.2 Održavanje nedreniranih uvjeta**

Jedan od ključnih izazova tijekom konsolidacije i smicanja kod ovog uređaja je spriječiti propuštanje vode i uzorka kroz praznine između gornjeg i donjeg dijela posmične ćelije. Ovaj problem riješen je ugradnjom gumenih rubova na donji par rotirajućih prstena posmične ćelije. Gumeni rubovi su fiksirani pomoću teflonskih prstena i prstena od nehrđajućeg čelika. [3]

U slučaju oštećenja ili trošenja, gumeni rubovi se jednostavno mogu zamijeniti novima, odvijanjem teflonskih i nehrđajućih prstena. Postoje dva tipa gumiranih rubova koji se mogu koristiti: jedan debljine 2 mm i indeksom tvrdoće  $90^\circ$ , te drugi debljina 3 mm i indeksom tvrdoće  $65^\circ$ . [6]

Visoka površinska glatkoća gumenih rubova i jednaka visina vanjskih i unutarnjih prstena iznimno su važni. Time se pri postavljanju ćelije za smicanje, gumeni rubovi premazuju teflonskim sprejem i silikonskom mašću koja se stavlja i na unutarnji i vanjski prsten gornjeg dijela ćelije kako bi se umanjilo trenje i spriječila mogućnost curenja vode. [2]

### **3.3 Mjerenje pornog tlaka**

Praćenje pornog tlaka obavlja se pomoću dva mjerača pornog tlaka (PPT1 i PPT2) koji su povezani s ventilima smještenim na žlijebu. Žlijeb, dimenzija 4x4 mm proteže se duž cijelog opsega gornjeg vanjskog prstena posmične ćelije. Smješten je 3 mm iznad površine smicanja i prekriven je s dva metalna filtera. Između ovih filtera nalazi se papirnati filter, koji sprječava nakupljanje čestica prljavštine u vanjskom filteru. [3]

Mjerač tlaka manjeg kapaciteta, PPT1, smješten je na bočnom ventilu gornjeg vanjskog dijela ćelije za smicanje. Veći mjerač tlaka manjeg kapaciteta, PPT2, povezan je na lijevi ventil na razini žlijeba.

### **3.4 Sustav nadzora**

U sustavu nadzora nalaze se dva računala. Na instrumentalnoj jedinici se nalaze svi senzori i mjerni uređaji koji su direktno povezani s nadzornom jedinicom, na kojoj se prikazuju vrijednosti senzora. Ove vrijednosti su stvarne i mjere se izravno na uzorku u posmičnoj ćeliji. Nadzorna jedinica je isto spojena i s kontrolnom jedinicom na kojoj se prikazuju testne vrijednosti, koje se razlikuju od senzorskih vrijednosti. (slika 8.)

Sensor value		
Vertical load	[kN]	-1.54
Vertical displacement	[mm]	-1.02
Shear load	[N]	-169.1
Shear displacement	[mm]	0.000
Pore water pressure	[kPa]	8.2
Pore water pressure	[kPa]	1.9
Control pressure	[kPa]	-4
Gap	[mm]	-0.019

Test value		
Vertical load	[kN]	-1.54
Vertical displacement	[mm]	-1.02
Shear load	[N]	-169.1
Shear displacement	[mm]	0.000
Pore water pressure	[kPa]	8.2
Pore water pressure	[kPa]	1.9
Total normal stress	[kPa]	-192.6
Effective normal stress	[kPa]	-194.5
Shear stress	[kPa]	-104.0
Total friction angle	[deg]	28.4
Effective friction angle	[deg]	28.1

Slika 8. Senzorske (ljubičasti okvir) i testne (plavi okvir) vrijednosti u softverskoj aplikaciji [2]

Uzorku se dodaje opterećenje pomoću ploče za opterećenje koju pomiče vertikalni cilindar za opterećenje, VLC (eng. Vertical Loading Cell). Vertikalno opterećenje mjeri se pomoću ćelije za opterećenje normalnim naprezanjem (N). (slika 3.) [2]

Posmično opterećenje koje djeluje na površinu smicanja prati se pomoću ćelija za opterećenje posmičnim naprezanjem, koji pridržavaju gornju posmičnu ćeliju u horizontalnom položaju kao što je prikazano na slici 3.

Posmična otpornost izračunava se iz mjerenih vrijednosti u ćelijama za opterećenje posmičnim naprezanjem koji sprječavaju rotaciju gornje polovice u odnosu na opterećenje smicanjem na ravnini smicanja.

Horizontalni pomak ( $D_s$ ) tijekom smicanja prati se pomoću rotacijskog mjerača pomaka, dok se testne vrijednosti izračunavaju pomoću brojača. [2]

Vertikalni pomak uzorka ( $D_v$ ) mjeri se mjeračem pomaka, koji prati pomak ploče za opterećenje. Ovaj senzor je instaliran na VLC i tijekom smicanja i rotacije treba ga zaštititi od oštećenja. Maksimalni vertikalni pomak koji može izmjeriti iznosi 25 mm. [2]

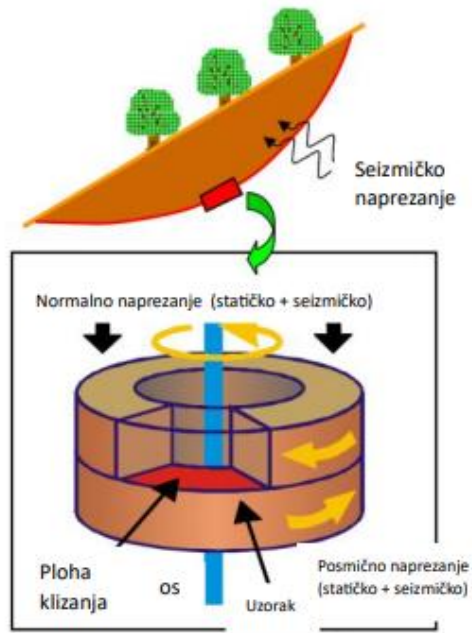
Praćene vrijednosti se pohranjuju u osobno računalo smješteno u kontrolnoj jedinici. Za upravljanje i zapisivanje podataka koristi se softverska aplikacije „(Portable ring shear apparatus - Data acquisition and control - Version3.0.4308.18666)“. Datoteke praćenih vrijednosti koriste se kao ulazni podatci za daljnju analizu. [2]

### **3.5 Koncept uređaja**

Temeljni koncept uređaja za prstenasto smicanje je simuliranje stvaranja i formiranja posmične površine klizišta i kretanja uzorka nakon sloma. (slika 9.) Također, prati posljedice nastale zbog mobiliziranog posmičnog otpora kao i posmični pomak nakon sloma te generirani porni tlak.[2]

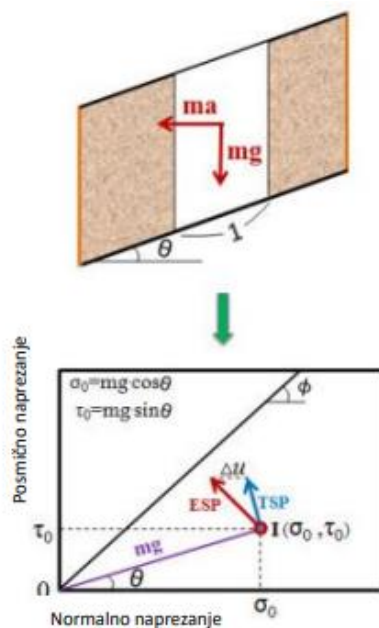
Uzorci se uzimaju iz sloja tla u kojem je prethodno došlo do klizanja ili iz sloja u kojem se može formirati površina klizanja u budućnosti. Taj uzorak se postavlja u posmičnu ćeliju koja je podijeljena na statični gornji i rotirajući donji dio.

Na uzorak se nanose sva naprezanja koji djeluju na potencijalnu površinu klizanja, normalna i posmična naprezanja uslijed gravitacije, dinamička naprezanja uslijed potresa te generirani porni tlakovi. Kada uzorak dođe do sloma, unutar posmične ćelije će se razviti površina smicanja, a donji dio ćelije će se početi rotirati.



Slika 9. Koncept uređaja za prstenasto smicanje [4]

Na slici 10 vidljivo je da vertikalno naprezanje koje djeluje na nagib jest masa tla pomnožena s gravitacijom,  $mg$ . Normalno naprezanje zbog gravitacije je  $\sigma_0 = mg \times \cos(\theta)$ , a posmično naprezanje  $\tau_0 = mg \times \sin(\theta)$ , gdje je  $\theta$  kut kosine. Početno stanje naprezanja na kosini prije kiše ili potresa je  $I(\sigma_0, \tau_0)$ . [4]



Slika 10. Uvjeti naprezanja u kosini i uređaju za prstenasto smicanje [4]



Pri pojavi potresa akceleracije  $a$ , primjenjuje se seizmička sila  $m a$ , time uzrokovan pomak točke naprezanja s točke I za vrijednost  $m a$ , a često se razvija i prekomjerni porni tlak  $\Delta u$ , kao što je prikazano na slici 10. Trag naprezanja tijekom seizmičkog opterećenja može se prikazati ili kao ukupni trag naprezanja (TSP) ili kao efektivni trag naprezanja (ESP).

U zasićenim tlima, porni tlak raste tijekom smicanja zbog smanjenja volumena uzrokovanog drobljenjem zrna ili lomljenjem čestica. U tom procesu, trag naprezanja nastavlja se spuštati duž granice sloma dok se ne postigne stanje dinamičke ravnoteže. Kada se dostigne stanje ravnoteže, drobljenje zrna i smanjenje pornog tlaka prestaju, a posmični pomak se odvija uz stalnu otpornost na smicanje, koja je poznata kao otpornost na smicanje u stanju dinamičke ravnoteže. [4]

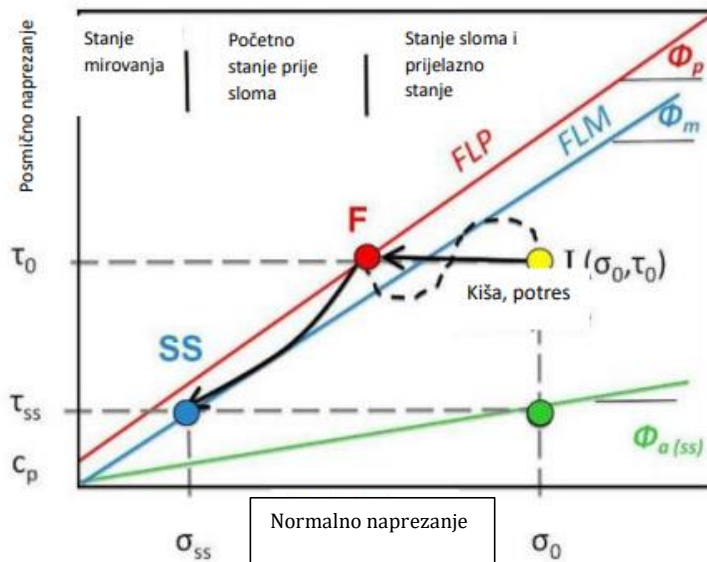
$$\tau_{ss} = \sigma_{ss} \cdot \tan \varphi_m = \sigma_o \cdot \tan \varphi_a(ss), \quad [4]$$

gdje  $\tau_{ss}$  i  $\sigma_{ss}$  predstavljaju posmično i normalno opterećenje u stanju dinamičke ravnoteže, dok je  $\varphi_a(ss)$  koeficijent trenja u stanju dinamičke ravnoteže.

Time se koeficijent trenja u stanju dinamičke ravnoteže izražava omjerom posmičnog opterećenja u stanju dinamičke ravnoteže  $\tau_{ss}$  i početnog normalnog opterećenja koji djeluje na površinu klizanja  $\sigma_o$ :

$$\tan \varphi_a(ss) = \tau_{SS} / \sigma \quad [4]$$

Na slici 11. Prikazan je pravac efektivnog naprezanja u tri različita stanja (stanje mirovanja, početno stanje prije sloma, stanje sloma i prijelazno stanje).



Slika 11. Tipični trag efektivnog naprezanja za nedrenirani postupak ispitivanja u uređaju za prstenasto smicanje [4]

## 4. POSTUPAK ISPITIVANJA

Poremećeni uzorci korišteni u ispitivanjima u uređaju za prstenasto smicanje mogu biti suhi ili potpuno zasićeni vodom, a za svaki od njih primjenjuju se različite procedure.

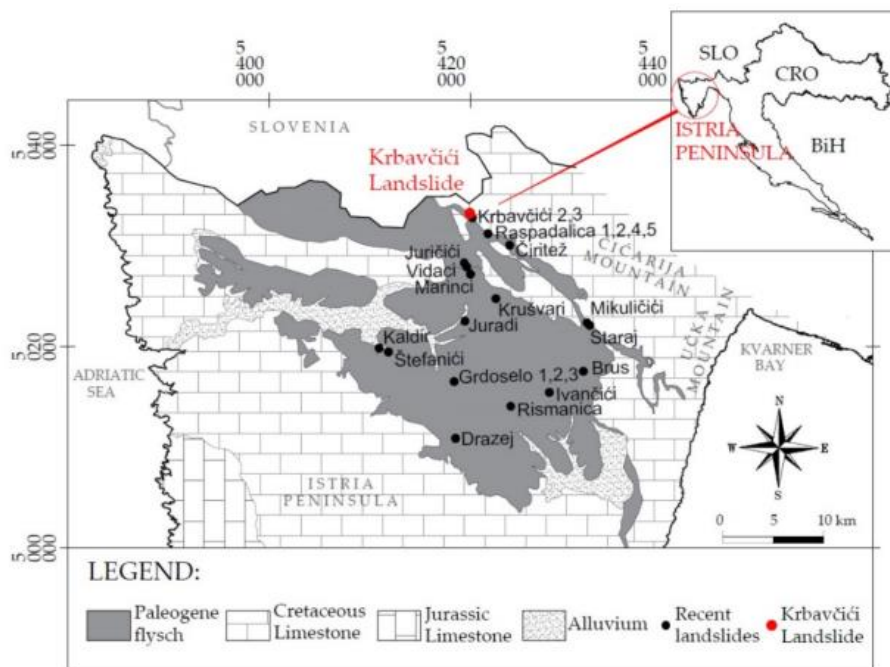
U sljedećim cjelinama opisan je cjelokupni postupak ispitivanja neporemećenog uzorka tla uključujući uzorkovanje i opis lokacije, priprema uzorka, podešavanje razmaka, provođenje saturacije, konsolidacije i smicanja te deinstalacija uzorka. Važno je napomenuti da je sam postupak ovog ispitivanja prilagođen zbog korištenja neporemećenog uzorka u uređaju za prstenasto smicanje.

### 4.1 Uzorkovanje

Uzorkovanje jest postupak prikupljanja uzoraka s određenog područja u svrhu daljnjeg analiziranja u laboratoriju. U svrhu našeg ispitivanja uzorak je uzet sa nožice klizišta Krbavčići blizu Buzeta, Istra. Ova lokacija je izabrana kako bi se dobile detaljnije karakteristike rezidualnog tla na području zahvaćenom klizanjem.

#### 4.1.1 Klizište Krbavčići

Klizište Krbavčići dogodilo se u siječnju 1979, godine nakon dužeg razdoblja obilnih kiša. Nalazi se u blizini grada Buzeta, u Hrvatskoj, gdje je područje izgrađeno od flišne stijenske mase. (slika 12.) Takva stijenska masa je vrlo podložna vremenskim utjecajima, koje dovodi do raspadanja materijala, promjeni geotehničkih svojstava i smanjenju posmične čvrstoće. [1]



Slika 12. Geološka karta sjevernog poluotoka Istre s prikazom klizišta Krbavčići i nedavnih klizišta koje ga okružuju [1]

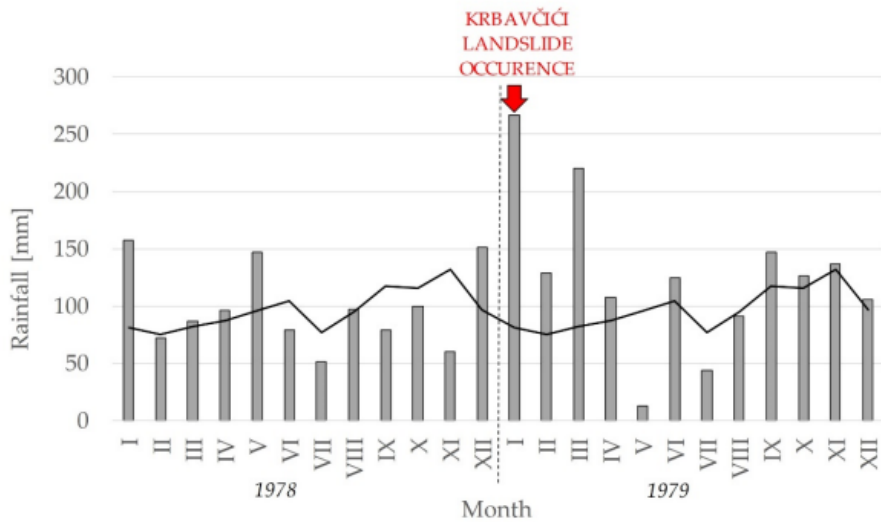
Flišna stijenska masa može imati različita fizikalna i mehanička svojstva ovisno o svojoj litološkoj podjeli i stupnju trošenja. Procesi trošenja su posebno izraženi kod određenih članova poput glinjaka, škriljevaca i prahovnjaka dok je kod drugih, kao što su pješčenjaci i škriljevci, suprotno što ih čini mnogo otpornije na egzogene sile. (slika 13.) [1]



Slika 13. Flišna stijenska masa sa vertikalnom izmjenom pješčenjaka i prahovnjaka na pokosu [1]

Dugotrajni oborinski događaji su ključni za pokretanje klizišta, dok kratki i intenzivni oborinski procesi imaju veću ulogu u procesima erozije. Povećanjem ukupnih oborina očekuju se vlažniji prethodni uvjeti što može imati negativne posljedice na stabilnost kosina.

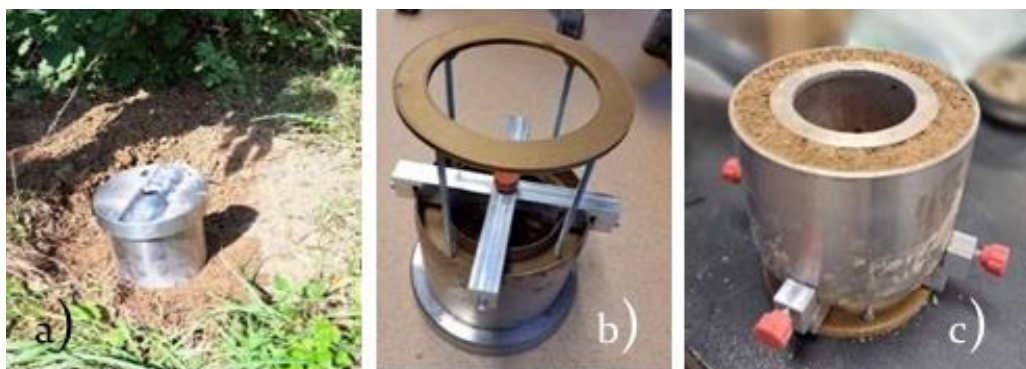
Klizište Krbavčići je trenutno neaktivno i nije se kretalo posljednjih 44 godina. Reaktivacija klizišta je moguća pod uvjetima dugotrajnih oborina i rasta razine podzemne vode ili u slučaju daljnjeg trošenja stijenske mase duž postojećih površina klizanja.[1] Na slici 14. prikazan je histogram mjesečne količine oborina za 1978. i 1979. godinu te prosječna količina oborina za razdoblje od 1961-2017 na području klizišta Krbavčići zabilježenih na kišomjeru.



Slika 14. Mjesečna količina oborina za 1978. i 1979. godinu (histogram) i prosječna količina oborina za razdoblje od 1961-2017 zabilježenih na kišomjeru (neprekidana linija) [1]

#### 4.1.2 Dizajn kalupa za uzorkovanje neporemećenih uzoraka

Kalup za uzorkovanje neporemećenih uzoraka dizajniran je zajedno s istiskivačem u siječnju 2024. godine. Istiskivač je isprantan u Hidrotehničkom laboratoriju Građevinskog fakulteta u Rijeci pomoću 3D printera koristeći PLA materijal dok su dva prstena povezana navojnom šipkom i M5 maticama. (slika 15b). [9]



Slika 15. Prikupljanje uzoraka tla blizu površine pomoću opreme za neporemećeno uzorkovanje tla: a) uzorkovanje na terenu , b) istiskivač za uzorke , priprema površine uzorka [9]

### **4.1.3 Postupak uzorkovanja**

Površinski slojevi tla su podložni promjenama i mogu biti poremećeni te je potrebno obaviti iskop kako bi se došlo do neporemećenog sloja prije samog uzorkovanja. Iskop se obavlja pomoću ručnog alata i proces se odvija sve dok se ne dostigne neporemećeno i dovoljno vlažno područje tla. Na takvo tlo se postavlja novo dizajnirani kalup za uzorkovanje koji se nabija gumenim čekićem dok se potpuno ne ispuni tlom.(slika 16.) Kalup se zatim vadi zajedno s uzorkom pazeći da ne bi došlo do remećenja uzorka i omotava se potrebnom zaštitnom folijom kako bi se spriječilo isušivanje. Prevozi se do laboratorija s pažnjom i skladišti se u određenim uvjetima kako ne bi izgubio svoja početna svojstva, sve do početka ispitivanja.



Slika 16. Nabijanje kalupa u tlo



Slika 17. Ispunjeni kalup sa postavljenim držačem okvira

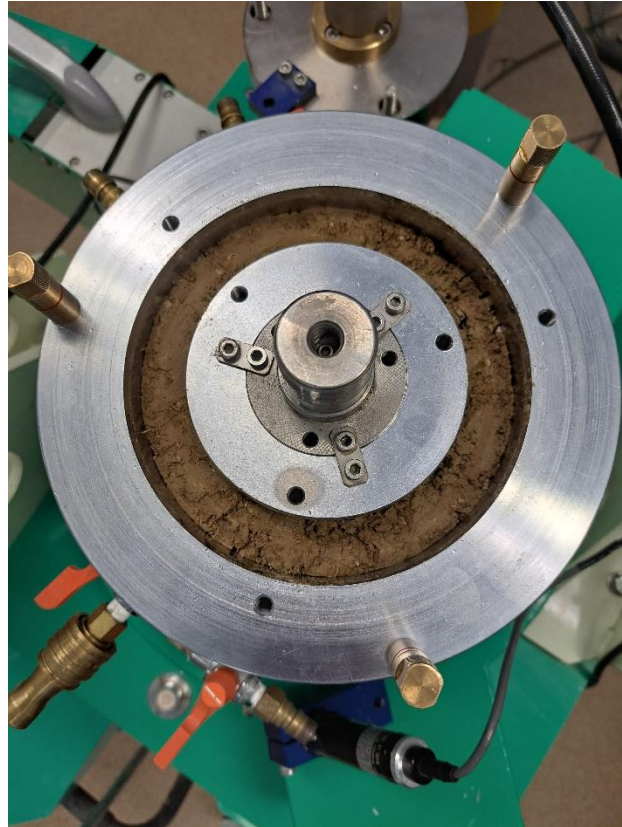
## 4.2 Pripremanje uzorka

Prije testiranja uzorak je potrebno pažljivo pripremiti kako bi se postigla potpuna zasićenost neporemećenog uzorka. To se ostvaruje vizualnom inspekcijom gdje se uklanja sva nečistoća ili vanjske čestice koje bi mogle poremetiti proces ispitivanja. Potom se neporemećeni uzorak polako utiskuje u pripremljenu posmičnu ćeliju gdje se provodi saturacija, konsolidacija i naposljetku smicanje (slika 18a). [9]



Slika 18. Ugrađivanje neporemećenog uzorka u posmičnu ćeliju: a) tijekom procesa istiskivanja b) na početku ispitivanja [9]

Ako je potrebno, unutar posmične ćelije se višak uzorka odstranjuje kako bi omogućio urednu ugradnju i nesmetan daljnji proces ispitivanja. Uzorak se ravna nožićem do visine gdje je ploča za nanošenje pravilno poravnata, niti prenisko niti iznad površine. (slika 19.)



Slika 19. Ugradnja uzorka

#### **4.3 Podešavanje razmaka**

Za podešavanje razmaka potrebno ga je prvo postaviti na vrijednost 0 kako bi se spriječio bilo kakav oblik propuštanja vode i uzorka. Zatim, vrijednost razmaka se prilagođava nanošenjem vertikalnog opterećenja od 0,8 do 1,5 kN između gornjeg i donjeg para prstena i gumenih rubova. [2]



Vrijednost razmaka je potrebno održavati konstantnim tijekom cijelog ispitivanja kako bi se održali uvjeti neodvodnje i spriječilo curenje vode i uzorka tijekom smicanja velikom brzinom. U svrhu ovog ispitivanja, korištena je vrijednost vertikalnog opterećenja od 1,0 kN. Također, prije svakog ispitivanja potrebno je provesti ispitivanje curenja vode i trenja ruba gume.

#### 4.4 Saturacija uzorka

Nakon što je razmak prilagođen, kroz uzorak u posmičnoj ćeliji propušta se ugljični dioksid. Dovod ugljičnog dioksida je omogućen donjom, a odvodi se gornjom drenažnom cijevi. Kroz uzorak se propušta i odzračena voda kako bi se izbjegao bilo kakav zrak u posmičnoj ćeliji, a postupak je identičan kao i kod provođenja ugljičnog dioksida. Završetkom ovog procesa uzorak je potpuno saturiran i ispitivanje se može nastaviti.

Na uzorku se provodi i provjera stupnja saturacije pomoću  $Bd$  vrijednosti koja u ovom ispitivanju nije provedena. Formulira se kao:

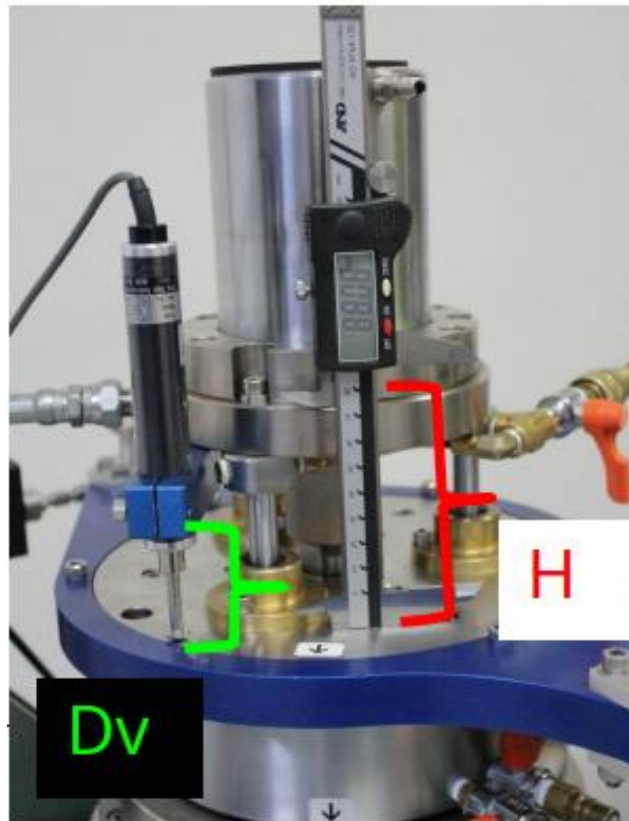
$$Bd = \Delta u / \Delta \sigma \quad [2]$$

gdje je  $\Delta u$  povećanje poreznog tlaka, a  $\Delta \sigma$  povećanje normalnog naprezanja. Za potpuno zasićene uzorke njegova vrijednost je veća od 0,95. [2]

#### 4.5 Konsolidacija uzorka

Kad je uzorak potpuno saturiran na njega treba primijeniti početno stanje naprezanja tla. Uzorak bi trebao biti normalno konsolidiran pod unaprijed normalnim i posmičnim naprezanjem.

Proces konsolidacije se smatra završenim kada porezni tlak nestane, to jest kada je njegova vrijednost 0 i kada se vertikalni pomak umiri. Prije sljedećeg koraka ispitivanja potrebno je izmjeriti visinu vertikalne deformacije ( $Dv$ ). (slika 20.)



Slika 20. Mjerenje visine ; H – visina mjerena ručno, Dv – Vertikalni pomak [2]

#### 4.6 Smicanje uzorka

Nakon obavljene konsolidacije započinje postupak smicanja. Uzorak tla može se ispitivati u dreniranim, nedreniranim ili djelomično dreniranim uvjetima. Drenirani uvjet se postiže otvorenim gornjim ventilom, dok se nedrenirano stanje postiže držanjem ventila zatvorenim. Također može se ispitivati i u statičkim i dinamičkim uvjetima.

Postoje tri načina kojim se može nanositi posmično naprezanje: Kontrola posmičnog naprezanja, kontrolom brzine ili kontrolom pomaka. Test kontrole brzine koristi se za dobivanje parametra tla, dok se test kontrole naprezanja koristi za simulaciju klizišta, a nanose se putem servo-upravljačkog motora (slika 21). [2] U svrhu ovog ispitivanja neporemećenog uzorka korišten je test kontrole brzine smicanja.



Slika 21. Snimka zaslona softvera ; Kontrola normalnog naprezanja (crni okvir), kontrola posmičnog naprezanja (crveni okvir), kontrola porenog tlaka (plavi okvir) i prikupljanje podataka (zeleni okvir) [5]

#### 4.6.1 Test kontrole brzine smicanja

Test kontrole brzine smicanja služi kao osnovni test za dobivanje parametra tla. Kod nedreniranog ispitivanja, u stanju ravnoteže, moguće je odrediti normalna i posmična naprezanja, kao i mobilizirani i vršni kut trenja. Kod sitnozrnastih materijala sa niskom propusnošću, poreni tlak se sporije generira, pa je potrebno koristiti manju brzinu smicanja. [2] Brzina smicanja, koja se izražava u cm/s, ostaje konstantna tijekom cijelog ispitivanja dok maksimalna vrijednost brzine smicanja uređaja za prstenasto smicanje modela ICI-1 iznosi 5,4 cm/s.

## **4.7 Deinstalacija**

Prije same deinstalacije potrebno je smanjiti sva naprezanja na 0 kPa, putem računalnog upravljanja ili ručno. Zatim se provjerava položaj donjeg prstena, koji mora biti pravilno postavljen kako bi se spriječila eventualna oštećenja. Nakon toga, postavljaju se sigurnosni vijci, deinstalira se senzor vertikalnog pomaka i cilindar vertikalnog opterećenja, te se uklanjaju ćelije za opterećenje posmičnim naprezanjem. Uzorak se uklanja usisivačem ili ručno, ovisno o potrebi za daljnjim ispitivanjem uzorka. Na kraju, razmak se isključuje pomoću opcije „Gap control“, a vanjski i unutarnji prsteni se uklanjaju i pažljivo čiste od nakupljenih čestica tla.

## **5. REZULTATI ISPITIVANJA**

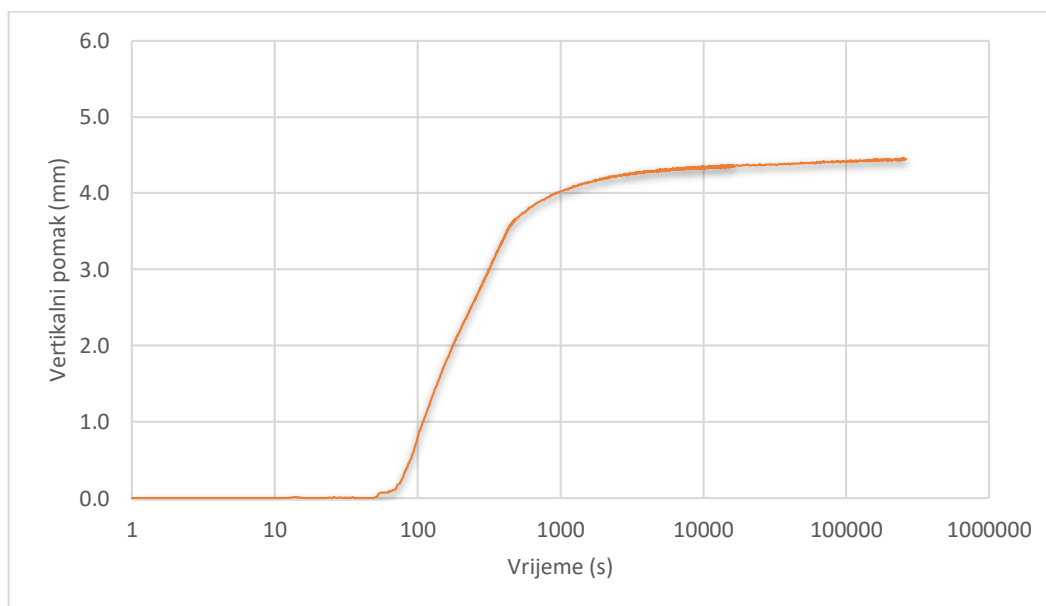
Testne vrijednosti dobiveni ispitivanjem kontroliraju se i zapisuju pomoću softverske aplikacije u kontrolnoj jedinici. Priprema podataka u ovom završnom radu odrađena je u Office programu Excelu.

U sljedećem tekstu prikazani su obrađeni rezultati ispitivanja neporemećenog uzorka provedenog u uređaju za prstenasto smicanje u dreniranim uvjetima uz konstantni prirast brzine smicanja; prikaz njegovog ponašanja kroz grafove i podatci tijekom cjelokupnog ispitivanja.

### **5.1 Rezultati konsolidacije**

Tijekom konsolidacije neporemećenog uzorka postavljeno je normalno naprezanje. Pri nanošenju normalnog opterećenja, uzorak je imao početnu visinu koja se smanjivala i naprezanje, koje se povećavalo kroz vrijeme do tražene vrijednosti. Potpuna konsolidacija je postignuta u trenutku kada nije bilo prirasta vertikalnog pomaka.

U prikazanom grafu (slika 22.) može se vidjeti odnos vertikalnog pomaka tijekom vremena te trenutak kada je dostigao konstantu. Vertikalni pomak je iznosio 4.45mm na kraju konsolidacije.

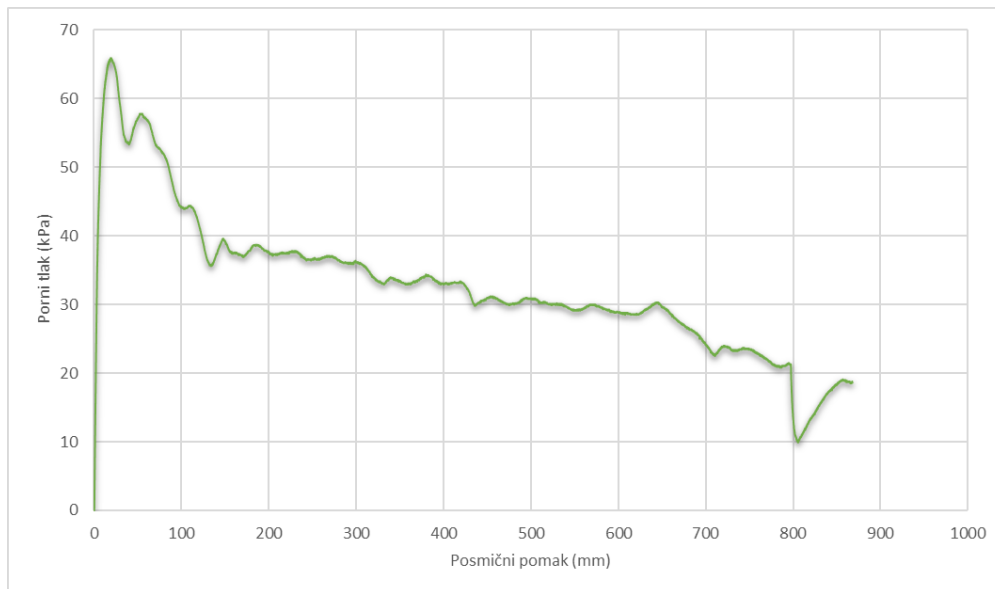


Slika 22. Vertikalni pomak u vremenu tijekom konsolidacije

## 5.2 Rezultati smicanja

Završetkom konsolidacije, uzorak se ispituje smicanjem uz konstantan prirast brzine. Brzina smicanja korištena u ispitivanju je iznosila  $v = 0,01$  cm/s.

Slika 23. prikazuje graf odnosa pornog tlaka u vremenu tijekom smicanja. Može se primijetiti kako porni tlak dostiže svoju najveću vrijednost te se postepeno smanjuje povećanjem posmičnog pomaka, ali ne prelazi maksimalnu vrijednost koju je dosegno na početku.

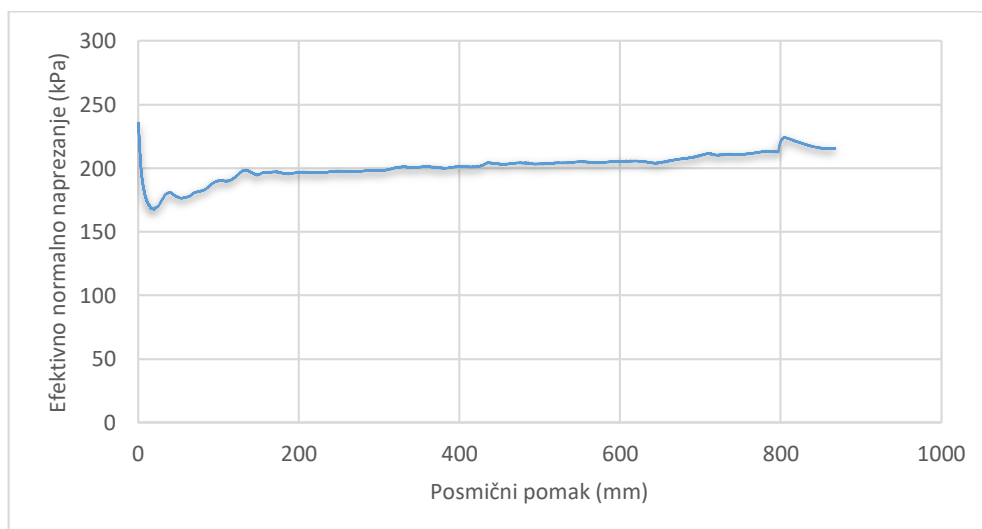


Slika 23. Porni tlak u odnosu na posmični pomak tijekom smicanja

Slika 24. prikazuje graf efektivnog normalnog naprezanja u odnosu na posmični pomak. Efektivno normalno naprezanje je stvarno naprezanje koje djeluje na uzorku tla i dobiva se koristeći formulu :

$$\sigma' = \sigma - u \quad [6]$$

gdje je  $\sigma'$  efektivno normalno naprezanje,  $\sigma$  normalno naprezanje i  $u$  porni tlak. Prikazom grafa može se vidjeti početna vrijednost efektivnog normalnog naprezanja te njegovo variranje tijekom smicanja.

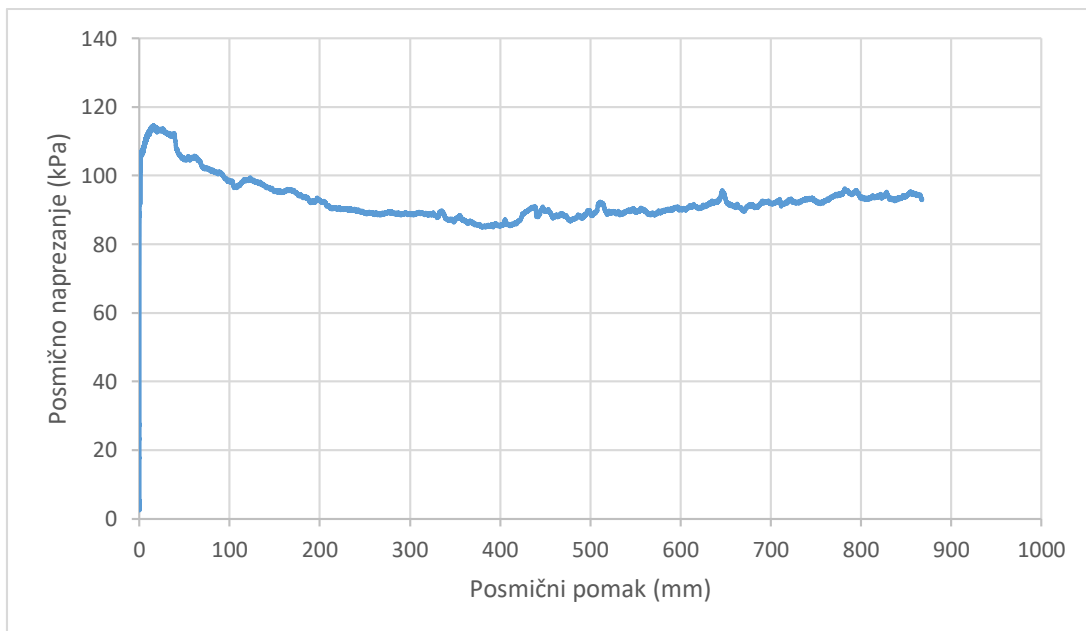


Slika 24. Efektivno normalno naprezanje u odnos na posmični pomak tijekom smicanja

Slika 25. prikazuje graf posmičnog naprezanja u odnosu na posmični pomak tijekom smicanja uzorka, gdje se može u samom početku primijetiti da posmično naprezanje dostiže svoju maksimalnu vrijednost koja kroz povećanje posmičnog pomaka opada. Smicanje se nastavlja sve dok posmično naprezanje ne dosegne stanje dinamičke ravnoteže, odnosno ima konstantni otpor smicanju tijekom vremena.

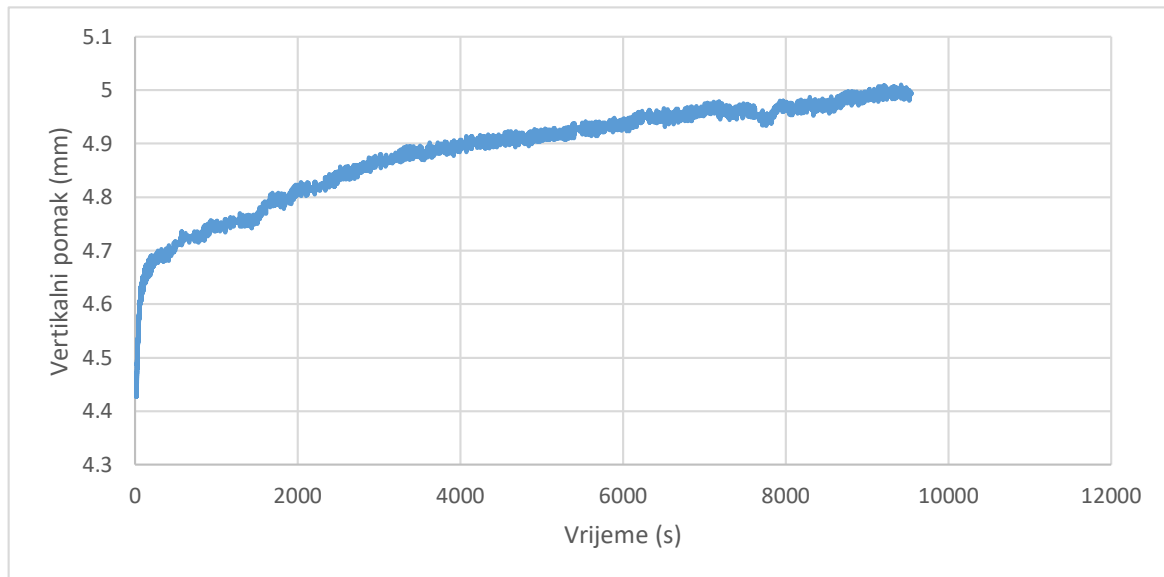
Tijekom ispitivanja neporemećenog uzorka, stanje dinamičke ravnoteže postignuto je pri posmičnom pomaku od 649,05 mm nakon čega nisu zabilježena značajnija odstupanja od posmičnog naprezanja stabiliziranog na 93,23 kPa.

Na posmičnom pomaku od 16,439 mm, neporemećeni uzorak dostiže svoju vršno posmično naprezanje od 114,49 kPa.



Slika 25. Posmično naprezanje u odnosu na posmični pomak tijekom smicanja

Slika 26. prikazuje graf vertikalnog pomaka u vremenu tijekom smicanja. Ovakav graf daje uvid u ponašanje uzorka tijekom ispitivanja, u kojem se vertikalni pomak povećava, odnosno uzorak se komprimira tijekom cijelog postupka smicanja.



Slika 26. Vertikalni pomak kroz vrijeme tijekom smicanja



## 6. GRANULOMETRIJSKA ANALIZA

Svako tlo sadrži čestice određene veličine i oblika. Čestice se grupiraju u raspone veličina, a raspodjela veličina čini granulometrijski sastav tla. Granulometrijski sastav tla osnovni je opisni parametar tla, a koristi se tijekom procjene fizikalnih i mehaničkih svojstava tla. [8]

Određivanje granulometrijskog sastava provodi se granulometrijskom analizom. Krupne frakcije utvrđuju se sijanjem dok se sitne frakcije određuju hidrometrijskom analizom ili taloženjem. U svrhu ovog rada provedeno je ispitivanje uzorka mokrim prosijavanjem za veće frakcije i aerometriranje za manje.

### 6.1 Sijanje

Sijanje je postupak u kojem se uzorku tla određuju udjeli čestica pijeska i šljunka. Uzorak se postavlja na gornje sito poredanih od sita najvećeg promjera prema situ najmanjeg (slika 27). Svako sito u nizu predstavlja određenu dimenziju čestica i omogućuje prosijavanje uzorka prema veličini čestica. Taj postupak se ponavlja sve dok se ne dostigne posljednje sito dimenzije 0,063 mm.

U ovom ispitivanju je korišten kombinirani uzorak, sadrži veće i manje čestice, zbog čega je potrebno provesti mokro prosijavanje. Postupak je sličan suhom uz dodatak korištenja vode kako bi se uklonile sve sitne čestice sakupljene na situ. Prije početka prosijavanja potrebno je izračunati masu suhog uzorka i nakon ispitivanja, masu uzorka koji se zadržao na svakom situ. Početna suha masa korištenog uzorka iznosila je 296.12 g.

Rezultati ispitivanja se najčešće prikazuju u grafičkom obliku, kao granulometrijska krivulja (slika 29). Pomoću nje se vizualno mogu odrediti parametri kao što su koeficijent zakrivljenosti i koeficijent jednolikosti. [7]



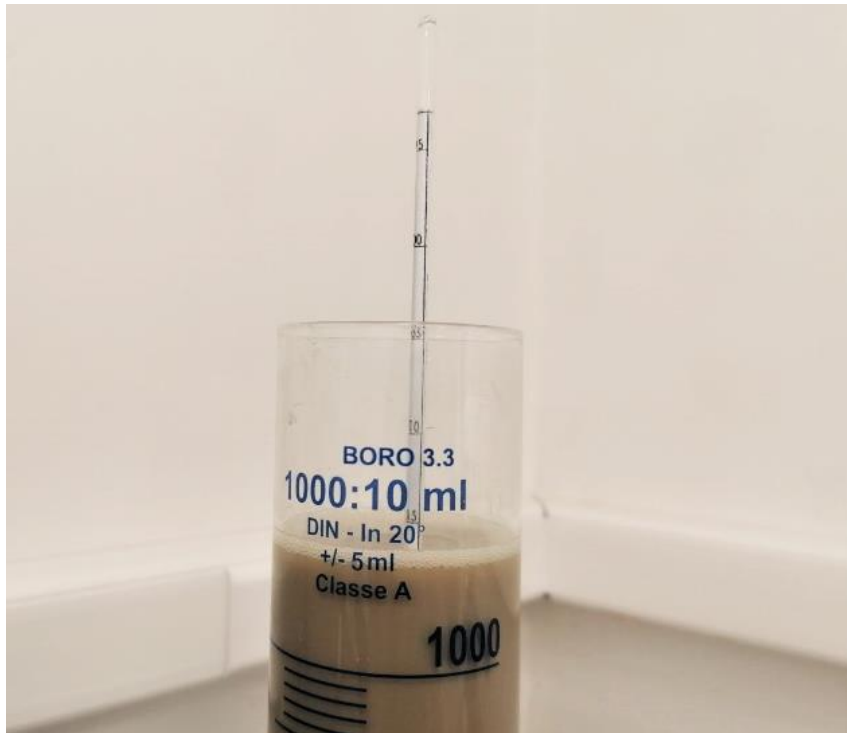
Slika 27. Sita različitih dimenzija [7]

## 6.2 Areometriranje

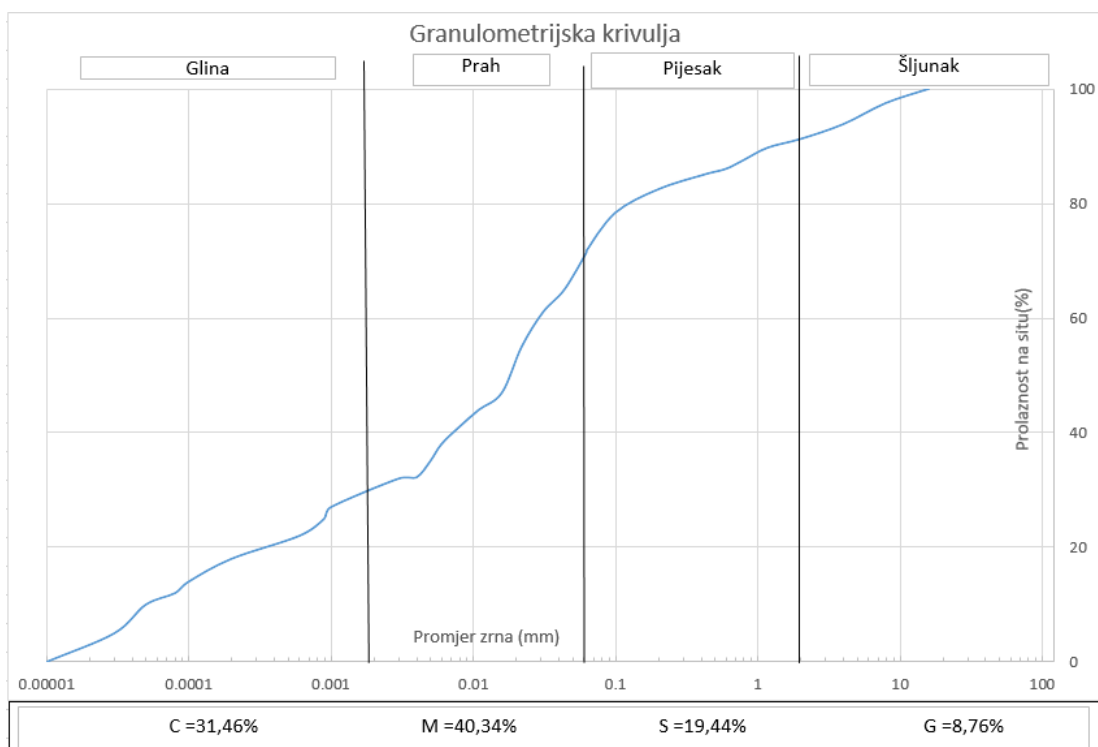
Areometriranje je postupak određivanja udijela čestica praha i gline u tlu. Naziva se tako po areometru, instrumentu koji se koristi za mjerenje gustoće tekućine, odnosno suspenzije tla.

Postupak je određen Stokesovim zakonom koji se temelji na laminarnom tečenju. Zrna koja imaju promjer veći od 0,2 mm, koji slobodno padaju u fluidu zbog svoje težine mogu stvoriti turbulentno tečenje pa prema tome jednadžba ne vrijedi. Također, zrna manja od 0,002 mm ponašaju se u skladu s Brownovim kriterijem tečenja što znači da niti za njih ne vrijedi Stokesova jednadžba. Prema tome, ovu metodu moguće je koristiti u intervalu promjera zrna od 0,002 do 0,2 mm. [8]

Mjerenje se temelji na svojstvu uzorka pomiješanog s otopinom antikoagulansa pri čemu se hidrometar, kalibrirani plovak, uranja u menzuru (slika 28). Što je gustoća u njoj veća, plovak će manje uranjati. Rezultati mjerenja se određuju u određenim intervalima, vizualnom analizom i zapisuju se u određenu tablicu. Podatci koji se zapisuju tijekom procesa ispitivanja su: Datum, vrijeme, temperatura i očitavanje hidrometra (Rt).



Slika 28. Uronjeni hidrometar [7]



Slika 29. Granulometrijska krivulja ispitanog uzorka

## 7. ZAKLJUČAK

Tijekom izrade završnog rada provedeno je ispitivanje smicanja uzorka uzetog sa područja klizišta Krbavčići, Smicanje se provodilo u uređaju za prstenasto smicanje modela ICl-1, gdje su se analizirali podatci i ponašanja uzorka tijekom konstantne brzine smicanja u dreniranim uvjetima. Time se dobio uvid o ponašanju uzorka odnosno promjene normalnog naprezanja, efektivnog naprezanja i pornog tlaka sa prirastom posmičnog pomaka.

Takav model uređaja se pokazao efikasnim i pouzdanim za ispitivanja zbog mogućnosti kontroliranja posmičnog i normalnog opterećenja te bilježenja vertikalnih i posmičnih pomaka tijekom deformacije uzorka, što je potrebno za shvaćanje ponašanja tla pod različitim opterećenjima. Iako je uređaj veoma efikasan jedini nedostatak mu je nemogućnost ugradnje neporemećenog uzorka tla, te time nije moguće ispitivanje parametra čvrstoće neporemećenog tla.

Dobiveni podatci u uređaju daljnje su obrađeni kako bi se dobio bolji uvid o cjelokupnom ponašanju neporemećenog uzorka tijekom ispitivanja. Podatci dobiveni ispitivanjem prikazuju se na grafovima koji sadržavaju promjenu vertikalnog pomaka tijekom konsolidacije i smicanja, te promjenu efektivnog i ukupnog naprezanja u odnosu na posmični pomak neporemećenog uzorka.

Na samome kraju ovog rada dana je detaljna modificirana procedura za ispitivanje neporemećenog uzorka tla koristeći uređaj za prstenasto smicanje gdje je po prvi puta korišten kalup za uzorkovanje neporemećenog uzorka, a također je prvi put izvedena i ugradnja neporemećenog uzorka u uređaj za prstenasto smicanje.

Važno je naglasiti da su dodatna ispitivanja neporemećenih uzoraka potrebna za potvrdu ispravnosti te naposljetku i za određivanje čvrstoće uzorka. Čvrstoću dobivenu dodatnim ispitivanjem potrebo je usporediti s onom dobivenom ispitivanjem na poremećenim uzorcima, kako bi se procijenila opravdanost daljnjih ispitivanja.

## LITERATURA:

- [1] Martina Vivoda Prodan and Željko Arbanas, Analysis of the Possible Reactivation of the Krbavcici Landslide in Northern Istria, Croatia, Faculty of Civil Engineering, University of Rijeka, Published: 31 July 2020
- [2] Oštrić Maja, Vivoda Martina, Ljutić Kristijan, PORTABLE RING SHEAR APPARATUS - ICL 1 Manual, Kyoto, 2012.
- [3] Kyoji Sassa · Hiroshi Fukuoka · Gonghui Wang · Naohide Ishikawa, Undrained dynamic-loading ring-shear apparatus and its application to landslide dynamics, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Gokasho, 611-0011 Uji Kyoto, Japan, Published online: 27 February 2004
- [4] Loi, D.H., Jayakody, S.H.S., Sassa, K. (2023). Teaching Tool “Undrained Dynamic Loading Ring Shear Testing with Video”, Published: 11 January 2023
- [5] Maja Oštrić, Kristijan Ljutić, Martin Krkac, Hendy Setiawan, Bin He, Kyoji Sassa, Undrained Ring Shear Tests Performed on Samples from Kostanjek and Grohovo Landslide, Kyoto, Japan, January 2012
- [6] Maja Ostric, Development of Portable Undrained Ring Shear Apparatus and Its Application, Department of Civil and Earth Resources Engineering Kyoto University, Japan, September 2013
- [7] Geotech d.o.o, istražni radovi, granulometrijska analiza , 2015
- [8] Vlasta Szavits-Nossan, Mehanika tla i stijena, Klasifikacija tla i GRANULOMETRIJSKI SASTAV TLA , 1973
- [9] Martina Vivoda Prodan, Josip Peranić, Vedran Jagodnik, Hendy Setiawan, Željko Arbanas, Influence of precipitation and soil conditions on the Krbavčići Landslide reactivation (Istria Peninsula, Croatia), ReSyLAB—Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region

## Procedura ispitivanja

TESTNA LISTA PROVJERE			PROŠIRENA LISTA PROVJERE (s objašnjenjima)
0. OPĆE INFORMACIJE			0. OPĆE INFORMACIJE
1	Podatak		Trenutni datum (testiranja)
2	Svojstva gumenog ruba (°/mm)		Materijalna svojstva gumenog ruba izražena u stupnjevima i širini u milimetrima
4	Uzorak		Vrsta uzorka tla
5	Vrsta smicanja		Vrsta smicanja - Kontrola brzine/Kontrola napona (monotono, ciklično)
6	Stanje drenaže		Uvjeti drenaže - drenirano/nedrenirano
7	Priprema uzorka		Metoda pripreme uzorka; suho ili zasićeno
1. UZORKOVANJE			1. UZORKOVANJE
Provjera	Zadatak	Napomene	
	Iskop tla	Obavlja se kako bi došlo do neporemećenog sloja tla. Iskop se obavlja pomoću alata.	Iskop rezidualnog tla .
	Nabijanje kalupa u tlo	Oprezno nabijanje kako ne bi došlo do remećenja uzorka.	Kalup nabiti u tlo alatima dok se potpuno ne ispuni.
	Postavljanje istiskivača	Oprezno utiskivanje da ne dođe do remećenja uzorka.	Istiskivač nabiti u ispunjeni kalup.
	Zaštitna folija - zaštititi od isušivanja	Uzorak se omotava zaštitnom folijom kako ne bi došao u kontakt sa vanjskim utjecajima prije početka ispitivanja	Zaštititi uzorak zaštitnom folijom protiv isušivanja.
2. PRIPREMA UZORKA			2. PRIPREMA UZORKA
Provjera	Zadatak	Napomene	
	Vizualna inspekcija	Ukloniti bilo kakva onečišćenja i vanjske čestice.	Uzorak pregledati vizualno da nema nečistoća ili vanjskih čestica (kamenja).
	Izmjeri hc	hc= [mm]	Izmjeriti visinu cuttera hc - mjerenje vrijednosti pomoću digitalnog mjerila
	Odredi her	her= [mm]      her = hc - hs [mm]	Mjera her - količina viška uzorka (indeks er - excess removal) ; hs - visina uzorka nakon
	Uklanjanje viška uzorka	Količinu dobivenu izračunom ukloniti kako bi uzorak uredno stao u uređaj.	Odrezati višak uzorka kako bi uredno stao u uređaj.
3. PRIPREMA POSMIČNE ČELIJE			3. PRIPREMA POSMIČNE ČELIJE
Provjera	Zadatak	Napomene	
	Teflon	Nanositi se teflon na rubove uređaja kako bi se spriječila mogućnost curenja vode.	Nanesite teflon na unutarnji i vanjski rub uređaja.
	Filter papir	Spriječava nakupljanje čestica prljavštine	Stavite filter papir na porozni metalni sloj.
	Mast	Maže se unutarnji i vanjski prsten da se smanji trenje i propusnost vode.	Namažite unutarnji i vanjski prsten.

4. PRILAGODBA RAZMAKA			
Provjera	Zadatak	Napomene	
	Zavrti unutarnji prsten	Zavrti unutarnji prsten s 3 vijka.	
	Izmjeri $h_1$	$h_1 =$ [mm]	
	Prilagodite razmak ručno na 0	Razmak je isključen	
	Ručno provjerite je li unutarnji prsten u kontaktu	U ovom trenutku razmak se može pokrenuti samo ako je to potrebno. Obično se to mora učiniti nakon što se provede nekoliko testova, a razmak se posljedično poremeti. Pogledajte prošireni dio ove liste provjere.	
	Vanjski prsten i LS labav		
	AR - zavrti 6x		
	Pokreni Razmak	$F_v =$ [kN]	Gap dobitak poz. $x =$
	Stopiraj Razmak	Razmak = [mm]	#N/D [mm]
	Zavrti 3x LS		
	Ukloni AR		
5. UGRADNJA UZORKA (GAP je ISKLJUČEN tijekom postavljanja uzorka)			
Provjera	Zadatak	Napomene	
	Zaštite rupe	Rupe kutje za smicanje zaštitite trakom.	
	Ugraditi uzorak	Polako ugraditi u uređaj i zagladiti površinu uzorka.	
	Mjera $h_0$	$h_0 =$ [mm] $h_{50} = 67 + h_1 - h_0 - x$ [mm] $h_{50} =$ [mm]	Mjera $h_0$ udaljenost od vrha gornjeg prstena do izgrađene površine uzorka pomoću digitalnog
	Filter pap. & maramice - izmjerite suhu t	Izmjerite suhu težinu filterarskih papira i maramica prije nego što ih stavite na izrađeni uzorak.	
	Filter pap. & maramice - staviti na uzorak	Stavite filter papir na vrh uzorka i maramice ako je ugrađen sitnozrnati materijal.	
	Mast LP	Prije postavljanja ploče za punjenje podmažite je.	
	Stavite LP - 9 vijaka s otvorenim 02	Ugradite ploču za punjenje pomoću 9 vijaka, s ventilom (02) otvorenim kako biste omogućili odvod	
	VLC 3 vijka + prsten	Ugradite cilindar okomitog opterećenja (VLC) zavrtnjem 3 vijka i prstena.	
	Mjera $H_{55}$	$H_{55} =$ [mm] $h_{55} = h_1 + H_{55} - 77,05 - x$ [mm] $h_{55} =$ [mm]	Izmjerite visinu $H_{55}$ pomoću digitalnog mjera. (Indeks SS - ogledna postavka)
	VDS + zaštitite kabel	$D_v =$ [mm]	Instalirajte senzor okomitog pomaka (VDS) s dužim vijkom koji ga postavlja približno na nultu
	Odvijte i izvadite 3 x LS	Odvijte i izvadite sigurnosne vijke (3 zlatna).	
	Instalirajte SLC	Ugradite ćelije za opterećenje posmika, zakrenite ih da podesite položaj.	
	GAP uključen	Razmak = [mm]    (Trebalo bi biti isto kao u koraku 2.)	Razmak Uključen kada završi (provjerite vrijednost razmaka).

6. CO <sub>2</sub> i H <sub>2</sub> O (odzračena voda) zasićenje		
Provjera	Zadatak	Napomene
	CO <sub>2</sub> od ventila 05 -> do ventila 02, 03, 04a & b i ponovno do 02, van.	
	Deaired H <sub>2</sub> O od ventila 05 unutra -> do ventila 02, 03, 04a&b i ponovno 02, van.	
	Zatvorite ventil za dovod vode (05) i ostavite ga priključenim	
	Instalirajte PPT1&2 i ispraznite ih	
	Reset u=0 kPa	
7. OSTVARIVANJE KONTAKTA FILTER PAPIRA I UZORKA -drenirano		
Provjera	Zadatak	Napomene
	Otvorite ventil 02	
	$\sigma = F_v = 0$ reset	
	$\sigma > xx$ kPa	$\sigma =$ [kPa] $D_v =$ [mm]
	Zatvorite ventil 02	
8. KRUŽENJE VODE (gravitacijski tok)		
Provjera	Zadatak	Napomene
	Deaired H <sub>2</sub> O od ventila 05 u SB.	
	Ispustite vodu iz SB na ventilu 02	
	H <sub>BC</sub> mjera	H <sub>BC</sub> = [mm] h <sub>BC</sub> =h <sub>1</sub> +H <sub>BC</sub> -77,05-x [mm] h <sub>BC</sub> = [mm]
	D <sub>v</sub>	D <sub>v</sub> = [mm]

6. CO <sub>2</sub> i H <sub>2</sub> O (odzračena voda) zasićenje		
<b>OPĆA NAPOMENA: Koristite 05 dovod za in-smjer, i 02 &amp; 03, 04 a&amp;b za out-smjer</b>		
CO <sub>2</sub> opskrba dolazi iz CO <sub>2</sub> spremnik iz kojeg je spojen na ventil 05. Potrebno je otvoriti ventil na CO <sub>2</sub> spremnik do 5 l/min i zatim provjerite je li CO <sub>2</sub> izlazi iz svakog ventila kutije za smicanje, počevši i završavajući na ventilu 02.		
Dovod odzračene vode dolazi iz vakuumske spremnika iz kojeg je spojen na ventil 05 kutije za smicanje. Potrebno je otvoriti ventil za zrak u spremniku za vakuum kako bi se omogućio gravitacijski protok, a zatim cirkulirati odzračenu vodu na svakom ventilu kutije za smicanje, počevši i završivši na ventilu 02.		
Kada se Shear Box napuni odzračenom vodom, zatvorite ventil za dovod vode (05), air ga nemojte uklanjati. U slučaju kada vrijednost Bd nije dovoljno visoka, potrebna je cirkulacija vode, a ako se dovod vode prekine u ovom koraku, moguće je da se zrak infiltrira unutar SB tijekom ponovnog spajanja dovoda vode. Kako bismo to izbjegli, nakon provjere vrijednosti Bd (korak 7) moramo ukloniti zrak za dovod vode.		
Ugradite pretvarače pomog tlaka (mali na ventil 03, a veliki na ventil 04a). Kada su PPT-ovi spojeni na ventile, otvorite drenažne ventile PPT-a dok ne izađe nekoliko kapi vode, zatim ponovno postavite u=0.		
7. OSTVARIVANJE KONTAKTA FILTER PAPIRA I UZORKA -drenirano		
U ovom procesu, ventil 02 je otvoren.		
Normalno naprezanje treba se poništiti na kutiji za praćenje kako bi se primijenilo opterećenje točne vrijednosti kako bi došlo do kontakta filter papira i uzorka i ploče za punjenje.		
Ručno nanosite opterećenje do 25 kPa za sitnozrnati zemljani materijal ili do 30 kPa za pjeskoviti materijal.		
Zatvorite ventil 02 a nakon što tlak u porama padne na nulu (normalna naprezanja smanjit će se s vremenom)		
8. KRUŽENJE VODE (gravitacijski tok)		
Dovod odzračene vode dolazi iz vakuumske spremnika iz kojeg je spojen na ventil 05 kutije za smicanje. Potrebno je otvoriti ventil za zrak na vakuumske spremniku kako bi se omogućio gravitacijski protok i zatim cirkulirati odzračena voda kroz ventil 02.		
Izmjerite visinu H <sub>BC</sub> prije B <sub>d</sub> mjerenje vrijednosti pomoću digitalnog mjerača. (Indeks BC - Prije konsolidacije)		
Izmjerite visinu vertikalne deformacije prije B <sub>d</sub> mjerenje vrijednosti.		



9. B <sub>d</sub> MJERENJE VRIJEDNOSTI -nedreniran									
Provjera	Zadatak	Napomene							
	Ventil 02 mora biti zatvoren								
	Daljiinski UKLJUČEN								
	Obrazac za prikupljanje podataka	α=	Info.	Normalan				[Hz]	
	Početne ispitne vrijednosti (σ, u1, u2)								
	START Prikupljanje podataka								
Ispunite tablicu za izračun B <sub>d</sub> vrijednosti	σ dano	σ	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	Δσ	Δu <sub>1</sub>	Δu <sub>2</sub>	B <sub>d1</sub>	B <sub>d2</sub>
	0								
	50								
	100								
	150								
	200								
	250								
	300								
	350								
	400								
	450								
	500								
	550								
	600								
	650								
	700								
	750								
	800								
	850								
	900								
950									
1000									
	Nagib=	[kPa/s]			Prosijek B <sub>d</sub> =				
	STOP prikupljanje podataka								
9. B <sub>d</sub> MJERENJE VRIJEDNOSTI -nedreniran									
Ventil 02 mora biti zatvoren.									
Daljinsko uključenje (i normalno i smično naprezanje).									
Ispunite ploču obrasca podataka za prikupljanje podataka podacima prikladnim za ovaj specifični test									
B <sub>d</sub> je opterećen primjenom opterećenja u koracima od 50 kPa i mjerenjem generiranog pornog tlaka na 2 pretvarača pornog tlaka. To se mora učiniti u nedreniranim uvjetima kako bi se stvorio porni tlak. B <sub>d</sub> vrijednost ovisi o faktoru korekcije gumenog ruba (α).									
<b>B<sub>d</sub> = Δu / Δσ</b>									
Brzina opterećenja (vrijednost nagiba u kPa/s) ovisi o svojstvima tla. Za sitnozmate materijale niske propusnosti bolje su sporije brzine (npr. <b>nagib 0,1 ili 0,25 kPa u sec.</b> ). Prvo primijenite 50 kPa, zatim upišite vrijednosti u <sub>1</sub> i u <sub>2</sub> i izračunajte vrijednost B <sub>d</sub> za ovo opterećenje. Učinite isto za σ=100, 150, 200 kPa. Nastavite s većim naprezanjima ako je potrebno. Vrijednost B <sub>d</sub> treba biti 0,91-0,95 za pjeskovite materijale, a 0,95 do 1 za sitnozmate materijale. Nakon što je mjerenje B <sub>d</sub> završeno, možemo osloboditi porni tlak drenažom kroz ventil 02 i dodatno kroz ventil 05 (za sitnozmate materijale), započinjući na taj način proces konsolidacije.									
Zaustavi prikupljanje podataka nakon B <sub>d</sub> mjerenje vrijednosti je završeno.									
10. KONSOLIDACIJA -drenirano									
Provjera	Zadatak	Napomene							
	Obrazac za prikupljanje podataka	Informacija	Normalan				[Hz]		
	START Prikupljanje podataka								
	Otvoreni ventil 02 (+ 05 dodatnih)								
	Konsolidirati na izračunati σ <sub>0</sub>	σ kontrola stresa	σ=	kPa	nagib=	kPa/sek			
	Konsolidirati u izračunato τ <sub>0</sub>	τ kontrola naprezanja	τ=	kPa	nagib=	kPa/sek			
	Zatvorite ventil 02 (i 05) nakon što se tlak u porama smanji.								
	STOP prikupljanje podataka								
	H <sub>AC</sub> mjera	H <sub>AC</sub> =	[mm]	h <sub>AC</sub> =h <sub>1</sub> +H <sub>AC</sub> -77,05-x	[mm]	h <sub>AC</sub> =	[mm]		
	D <sub>v</sub>	D <sub>v</sub> =	[mm]						
10. KONSOLIDACIJA -drenirano									
Ispunite ploču obrasca podataka za prikupljanje podataka podacima prikladnim za ovaj specifični test i započnite prikupljanje podataka.									
Ventil 02 mora se otvoriti. Ako imamo sitnozmati materijal, prikladno je ispustiti i kroz ventil 05.									
Izračunajte i postavite početnu normalu i smična naprezanja (σ <sub>0</sub> , τ <sub>0</sub> ). Za ispitivanje kontrole brzine τ <sub>0</sub> =0. Brzina opterećenja [kPa/sec] ovisi o svojstvima materijala.									
Proces konsolidacije je završen kada porni tlak nestane (u=0). U tom trenutku zatvorite odvodne ventile (02 i 05).									
Zaustavite prikupljanje podataka kada proces konsolidacije završi.									
Izmjerite visinu H <sub>AC</sub> prije smicanja, pomoću digitalnog kalipera. (Indeks AC - Nakon konsolidacije).									
Izmjerite visinu vertikalne deformacije prije smicanja.									

11. SMICANJE		
Provjera	Zadatak	Napomene
	Uklonite 05 dovod vode	
	Provjerite je li LS 3x izvađen	
	VDS zaštićeno	
	Zatvorite ventil 04a (PPT2) (opcionalni)	
	<b>Waiting for input</b>	<b>Waiting for input</b>
	Valve 02 has to be closed	
	Obrazac za prikupljanje podataka	Informacija
	START Prikupljanje podataka	Zaštita: cm
	POČNI kontrolu stresa	
	STOP prikupljanje podataka	
	H <sub>AS</sub> mjera	H <sub>AS</sub> = [mm] h <sub>AS</sub> =h <sub>1</sub> +H <sub>AS</sub> -77,05-x [mm] h <sub>AS</sub> = [mm]
	D <sub>v</sub>	D <sub>v</sub> = [mm]
12. DEINSTALACIJA		
Provjera	Zadatak	Napomene
	Otpustite $\sigma$ & $\tau$ na nulu	
	Provjerite položaj LR (rotirajte)	
	Vijak LS 3x	
	Deinstalirajte VDS, VLC, odspojite SLC	
	Uklonite uzorak, filter papir i maramice	
	Razmak do 0	
	Razmak ISKLJUČEN	
	Uklonite OR i IR	

## 11. SMICANJE

Uklonite cijev za dovod vode s ventila 05 zbog uklanjanja svih prepreka rotaciji donje ploče (LP).  
Ponovno provjerite jesu li pričvrtni vijci odvrnuti i uklonjeni te je li senzor okomitog pomaka zaštićen.

Ventil 04 mora biti zatvoren tijekom ispitivanja, tako da se pomi tlakovi mogu mjeriti samo pomoću PP

**Waiting for input** **Waiting for input**

Valve 02 has to be closed during test

Ispunite ploče obrasca podataka za prikupljanje podataka i kontrolu stresa s podacima prikladnim za ovaj specifični test i započnite prikupljanje podataka.

Pokrenite kontrolu stresa nakon što ste sve provjerili i pripremili u prethodnim koracima.

Zaustavi prikupljanje podataka nakon  $\sigma_{ss}$  i  $\tau_{ss}$  je postignuto

Izmjerite visinu H<sub>AS</sub> prije deinstalacije, pomoću digitalnog čeljusti. (Index AS - Nakon stresa)

Izmjerite visinu vertikalne deformacije prije demontaže.

## 12. DEINSTALACIJA

Otpuštanje naprezanja računalnim upravljanjem ili ručno na 0 [kPa]

Provjerite položaj donjeg prstena i okrenite ga ako nije u ispravnom položaju – dovodni ventil

Stavite sigurnosne vijke (3x zlatne) prije uklanjanja ploče za punjenje

Deinstalirajte senzor vertikalnog pomaka, cilindar vertikalnog opterećenja i odspojite čelije za optereć

Uklonite uzorak usisivačem ili ručno (ako je potrebno izvršiti mjerenje uzorka) i stavite ga u posudu za uzorke.

Smanjite razmak na 0 tipkom Gap Control (uključeno 5.0)

Razmak ISKLJUČEN

Uklonite vanjski i unutarnji prsten i očistite ih.

13.OSNOVNE MJERE			
Provjera	Zadatak	Napomene	
	Mjerenje 1 (cijeli uzorak)	$m_c =$ [g]	Posuda za uzorke + 2 fiter papira + 4 maramice - (suhe)
		$m_a =$ [g]	Posuda za uzorke + uzorak + 2 fiter papira + 4 maramice - (mokre)
	Mjera 2 (mala porcija)	$m_{c1} =$ [g]	Šalica za uzorak 1
		$m_{a1} =$ [g]	Čaša za uzorak 1 + mokri uzorak
		$m_{b1} =$ [g]	Čaša za uzorak 1 + suhi uzorak
		$m_{c2} =$ [g]	Šalica za uzorak 2
		$m_{a2} =$ [g]	Čaša za uzorak 2 + mokri uzorak
		$m_{b2} =$ [g]	Čaša za uzorak 2 + suhi uzorak
		$w_1 =$	
		$w_2 =$	

13. OSNOVNA MJERENJA

Osnovna mjerenja za kasnija ispitivanja specifičnih parametara tla. Nakon testa, stavite cijeli uzorak (s filter papirom i maramicama) u posudu za uzorke i izmjerite ( $m_a$ ). Težina ladice za uzorke i filter papira i maramica je  $m_c$ . Masa tla dobiva se oduzimanjem ovih vrijednosti,  $m = m_a - m_c$ . Stavite malu količinu mokrog uzorka u čašicu za uzorak kako biste izračunali vrijednost sadržaja vode. Izmjerite težinu čaše za uzorke i mokrog uzorka zajedno ( $m_{a1}$  i  $m_{a2}$ ). Stavite posude za uzorke u pećnicu na 105 °C 24 sata. Nakon što je sušenje završeno, izmjerite težinu posuda za uzorke i suhih uzoraka ( $m_{b1}$  i  $m_{b2}$ ).