

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO

Kandidatka:

NIVES ŠELEKAR

**VPLIV STOPNJE PREKONSOLIDACIJE IN HITROSTI
STRIŽENJA V DIREKTNEM STRIŽNEM APARATU NA
STRIŽNE KARAKTERISTIKE ZEMLJIN**

Diplomska naloga št.: 212/B-GR

**EFFECTS OF OVERCONSOLIDATION RATIOS AND
THE SHEAR RATE ON THE SHEAR STRENGTH OF
SOILS IN THE DIRECT SHEAR APPARATUS**

Graduation thesis No.: 212/B-GR

Mentorica:

doc. dr. Ana Petkovšek

Ljubljana, 22. 09. 2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO

Kandidatka:

NIVES ŠELEKAR

**VPLIV STOPNJE PREKONSOLIDACIJE IN HITROSTI
STRIŽENJA V DIREKTNEM STRIŽNEM APARATU NA
STRIŽNE KARAKTERISTIKE ZEMLJIN**

Diplomska naloga št.: 212/B-GR

**EFFECTS OF OVERCONSOLIDATION RATIOS AND
THE SHEAR RATE ON THE SHEAR STRENGTH OF
SOILS IN THE DIRECT SHEAR APPARATUS**

Graduation thesis No.: 212/B-GR

Mentorica:

doc. dr. Ana Petkovšek

Ljubljana, 22. 09. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana Nives Šelekar izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom »Vpliv stopnje prekonsolidacije in hitrosti striženja v direktnem strižnem aparatu na strižne karakteristike zemljin«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 10.9.2015

Nives Šelekar

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	539.415:624.131.3(497.4)(043.2)
Avtor:	Nives Šelekar
Mentor:	doc. dr. Ana Petkovšek, univ. dipl. Inž. geol.
Naslov:	Vpliv stopnje prekonsolidacije in hitrosti striženja v direktnem strižnem aparatu na strižne karakteristike zemljin
Obseg in oprema:	IX, 32 str., 5 pregl., 25 sl.
Ključne besede:	direktna strižna preiskava, strižna trdnost, prekonsolidacija, hitrost striženja

Izvleček

V diplomski nalogi smo raziskovali, kako različni pogoji striženja vplivajo na rezultate določitve strižne trdnosti v direktnem strižnem aparatu. Strižne preiskave smo izvajali pri različnih hitrostih striženja, brez prekinitve in s prekinitvijo. Preiskovali smo tudi vplive izbranega območja vertikalnih normalnih napetosti ter vplive prekonsolidacije na rezultat preiskave. Material, ki smo ga uporabili v raziskavah je morski sediment iz Luke Koper, ki se črpa iz morskega dna in skladišči na kopnem v začasnih bazenih. Zato se ta sediment imenuje reful. Za identifikacijo refula smo opravili raziskave, s katerimi smo določili vlažnost, gostoto zrn – metoda s piknometrom, zrnnavostno sestavo, Attebergove meje plastičnosti in vpijanje vode po Enslin Neffu. Ugotovili smo, da hitrost striženja in stopnja prekonsolidacije zelo vplivata na rezultate raziskav.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	539.415:624.131.3(497.4)(043.2)
Author:	Nives Šelekar
Supervisor:	assoc. prof. Ana Petkovšek, Ph. D.
Title:	Effects of overconsolidation ratios and the shear rate on the shear strength of soils in the direct shear apparatus
Notes:	IX, 32 p., 5 tab., 25 fig.
Key words:	direct shear test, shear strenght, overconsolidation, shear rate

Abstract

In our thesis we investigated how the shear rate and the overconsolidation ratio (OCR) influence the measured shear strength in the direct shear apparatus. Shear tests were performed also by comparing the influence of low and higher vertical normal stress as well as the temporary breakage during shearing to the test results. The test samples were taken from the temporary lagoons, where the dredged mud from the Port of Koper has been stored. The tests performed to identify the physical properties of the mud included determination of: water content, Atterberg limits, particle density, particle size distribution and water adsorption by Enslin Neff. We found that the the shear rate and the overconsolidation ratio have a large influence on the measured shear strenght in the direct shear apparatus.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč in nasvete pri pisanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorici doc. dr. Ani Petkovšek. Zahvala gre tudi Jasni Smolar in Miranu Mercu za vso pomoč pri delu v laboratoriju.

Posebna zahvala pa gre moji družini, prijateljem in sošolcem za vso podporo in pomoč tekom celotnega študija.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA.....	IV
1 UVOD	1
2 TEORETIČNO OZADJE NALOGE	3
2.1 Strižna trdnost	3
2.2 Prekonsolidacija	5
3 EKSPERIMENTALNI PROGRAM	8
3.1 Direktna strižna preiskava	8
3.2 Priprava preizkušancev	10
3.3 Variante direktne strižne preiskave	10
3.3.1 Direktna strižna preiskava brez prekinitve pri različnih hitrostih striženja	11
3.3.2 Direktna strižna preiskava pri večji obremenitvi	12
3.3.3 Direktna strižna preiskava s prekinitvijo	12
3.3.5 Direktna strižna preiskava na prekonsolidiranem materialu	13
4 LASTNOSTI MATERIALA V RAZISKAVI	14
4.1 Vlažnost refula.....	14
4.2 Ugotavljanje gostote zrn – Metoda s piknometrom	15
4.3 Zrnavostna sestava	15
4.4 Ugotavljanje Atterbergovih meja plastičnosti.....	17
4.5 Vodovpojnost refula.....	17
5 PRIKAZ REZULTATOV STRIŽNIH RAZISKAV	19
5.1 Vpliv hitrosti striženja na strižne karakteristike	19
5.2 Vpliv prekinitve strižne preiskave na strižne karakteristike	21
5.3 Vpliv prekonsolidacije na strižne karakteristike	25
6 ZAKLJUČEK	28

VIRI	31
Ostali viri	32

KAZALO SLIK

Slika 1: Normalne in strižne napetosti v zemljini [1].....	3
Slika 2: Vrhunska in rezidualna strižna trdnost (prirejeno po [3])	4
Slika 3: Shema sistema zrn in por - normalno obtežbo prevzamejo delci zemljine in pora voda [5].....	5
Slika 4: Zemljina obremenjena z efektivno normalno napetostjo a) in njena razbremenitev b).....	6
Slika 5: Količnik por v odvisnosti od efektivne normalne napetosti	6
Slika 6: Strižni aparat med strižno preiskavo (prirejeno po [8]).....	9
Slika 7: Interpretacija rezultatov direktne strižne preiskave [5]	9
Slika 8: Konsolidacijska krivulja prve serije direktne strižne preiskave	11
Slika 9: Potek naraščanja strižne napetosti pri direktni strižni preiskavi s prekinitvijo	12
Slika 10: Areometrsko preiskava.....	16
Slika 11: Zrnava sestava refula	16
Slika 12: Klasifikacija refula.....	17
Slika 13: Enslinov aparat [10]	17
Slika 14: Vodovpojnost refula.....	18
Slika 15: Strižne premice izmerjene pri različnih hitrostih striženja	19
Slika 16: Primerjava strižne trdnosti v odvisnosti od normalne napetosti pri nižji in višji obremenitvi pri hitrosti striženja 0.001 mm/min	20
Slika 17: Rezultat strižne preiskave s prekinitvijo – hitrost striženja 0.001 mm/min	21
Slika 18: Rezultat strižne preiskave s prekinitvijo – hitrost striženja 1 mm/min	22
Slika 19: Primerjava rezultatov posameznih faz pri strižni preiskavi s prekinitvijo ter brez prekinitve – hitrost striženja 1 mm/min	22
Slika 20: Primerjava strižnih premic pri strižnih preiskavah s prekinitvijo ter brez prekinitve – hitrost striženja 0.01 mm/min	24
Slika 21: Primerjava strižnih premic pri strižnih preiskavah s prekinitvijo ter brez prekinitve – hitrost striženja 0.1 mm/min	24
Slika 22: Primerjava rezultatov strižne preiskave na prekonsolidiranih in normalno konsolidiranih preizkušancih	25
Slika 23: Horizontalni pomik pri doseženi vrhunski strižni trdnosti	27
Slika 24: Strižna napetost v odvisnosti od hitrosti striženja ob porušitvi pri normalni napetosti 25 kPa	28
Slika 25: Razlika med 1. in 2.fazo strižne preiskave s prekinitvijo glede na hitrost striženja ..	29

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Variante direktne strižne preiskave.....	10
Preglednica 2: Izračunane vlage pred in po strižni preiskavi	14
Preglednica 3: Rezultati strižne trdnosti pri različnih hitrostih striženja.....	19
Preglednica 4: Rezultati strižne trdnosti pri strižni preiskavi s prekinitvijo.....	23
Preglednica 5: Primerjava rezultatov strižne preiskave na prekonsolidiranem materialu in normalno konsolidiranem materialu pri enaki hitrosti striženja 0.001 mm/min	26

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

Direktna strižna preiskava je ena najbolj pogosto uporabljenih in najstarejših laboratorijskih preiskav za določanje strižne trdnosti zemljin v dreniranih pogojih. Prednost direktne strižne preiskave pred triosnimi preiskavami je, da je direktna preiskava enostavna in hitra ter da jo lahko izvajamo na razmeroma majhnem preizkušancu. Glavna pomankljivost pa je ta, da med preiskavo ne moremo meriti pornega tlaka in da striženje poteka po vnaprej predpostavljeni drsni ploskvi, ki se med preiskavo manjša.

V okviru diplomske naloge smo raziskovali, kako različni pogoji striženja vplivajo na rezultat preiskave, to je na dobljene strižne karakteristike. Raziskovali smo vplive hitrosti striženja, prekonsolidacije in velikosti vertikalne normalne napetosti.

Hitrost striženja mora biti dovolj majhna, da se med preiskavo v zemljini ne tvorijo presežni porni tlaki. V okviru naloge smo raziskali vplive štirih različnih hitrosti striženja, od 1 mm/min do 0.001 mm/min na izmerjene strižne karakteristike. Raziskali smo tudi, kakšno je strižno obnašanje zemljine po prekinitvi preiskave pri različnih hitrostih striženja.

Zemljine, ki so bile v svoji geološki preteklosti izpostavljene večjim normalnim napetostim kot so jim danes, so prekonsolidirane zemljine. Raziskali smo normalno konsolidirane in prekonsolidirane preizkušance in primerjali dobljene rezultate.

Dodatno smo primerjali potek strižnih premic, dobljenih na istovetnih preizkušancih pri striženju v območjih nizkih in visokih vertikalnih normalnih napetosti.

Material, ki smo ga uporabili v raziskavi je morski sediment iz Luke Koper. Nastaja z usedanjem mineralnih delcev na morsko dno, med drugim tudi organskih delcev. Porna voda v morskem sedimentu je slana. Za vzdrževanje varne plovbe je v Luki Koper potrebno redno poglobljanje in čiščenje plovnih poti. To poteka tako, da se s plovnimi črpalnimi bagri morski sediment črpa iz morskega dna in po ceveh transportira na kopno, kjer se nato odlaga v začasne bazene oziroma kasete. V bazenih se trdni delci usedajo, izločena voda pa se vrača nazaj v morje. Ta sediment se imenuje reful. Reful se v kasetah počasi skonsolidira, na površini pa se suši, pri čemer nastaja suha skorja. Reful, ki smo ga uporabili v preiskavah je bil odvzet iz kasete 2, dne 4. 4. 2013. Material ni bil odvzet takoj po črpanju, ampak se je predhodno že delno skonsolidiral.

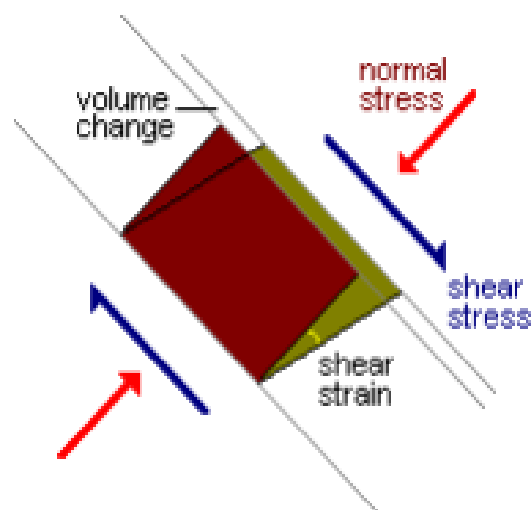
S spremljajočimi preiskavami smo določili indeksne lastnosti refula: vlažnost, gostoto zrn – metoda s piknometrom, zrnastostno sestavo, Atterbergove meje plastičnosti in vpijanje vode po Enslin Neffu.

V diplomski nalogi so najprej predstavljene teoretične osnove vezane na naše raziskovalno delo, nato je podrobneje predstavljen eksperimentalni program. Na koncu so podani rezultati, ki smo jih dobili s preiskavami v direktnem strižnem aparatu in diskusija rezultatov.

2 TEORETIČNO OZADJE NALOGE

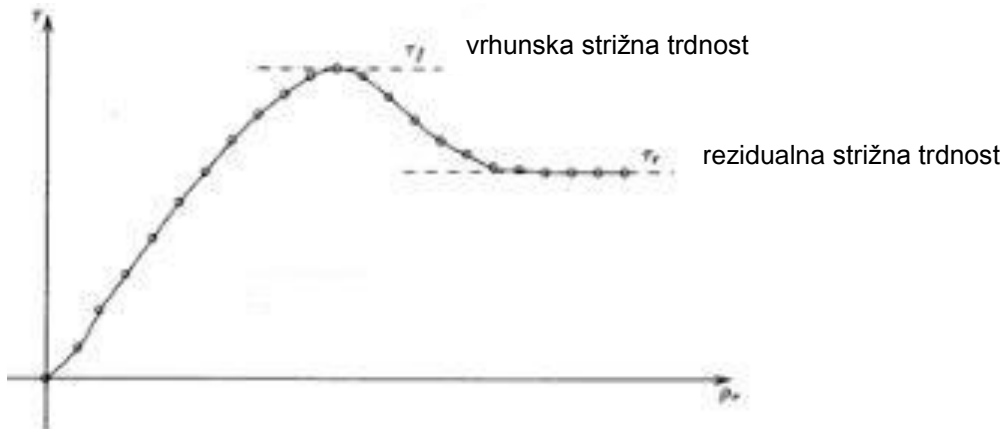
2.1 Strižna trdnost

Zemljina je material, v katerem lahko deluje večosno napetostno stanje. Normalne napetosti delujejo pravokotno na ploskev drsenja in povzročajo volumske spremembe pogojene z obtežbo in konsolidacijo, medtem ko strižne napetosti delujejo na ploskvi vzdolž katere poteka drsenje in preprečujejo porušitev ter lahko tudi povzročijo spremembo volumna zemljine.



Slika 1: Normalne in strižne napetosti v zemljini [1]

Do porušitve pride, ko strižne napetosti na drsni ploskvi presežejo strižni odpor zemljine. Strižna trdnost zemljine je največja strižna napetost, ki jo zemljina lahko prenese. Predstavlja odpor zemljine proti porušitvi [2]. Ločimo vrhunsko, kritično in rezidualno strižno trdnost. Vrhunska strižna trdnost je največja strižna napetost na ploskvi, pri kateri pride do porušitve. Kritična strižna trdnost je strižna napetost, pri kateri se zemljina striže pri konstantnem volumnu. Kadar imamo velike deformacije, ko zdrs poteka že po predhodno ustvarjeni strižni ploskvi, pa govorimo o rezidualni strižni trdnosti.[1]



Slika 2: Vrhunska in rezidualna strižna trdnost (prirejeno po [3])

Strižno trdnost zemljine tvorita dve komponenti, to sta trenje in kohezija. Odvisni sta od vrste in stanja zemljine, njene mineraloške ter granulometrijske sestave in od količnika por [4]. Strižni odpor, ki ga nudi zemljina zaradi trenja med zrnji, se spreminja v odvisnosti od normalne napetosti, ki deluje na strižno ravnino. Kohezija pa je funkcija napetostnega stanja zaradi privlaka vodnih molekul [5].

Zvezo med strižno trdnostjo in normalno napetostjo na porušni ploskvi se da izraziti z linearno enačbo (Coulomb, 1776, cit. po [5]):

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi.$$

V enačbi je:

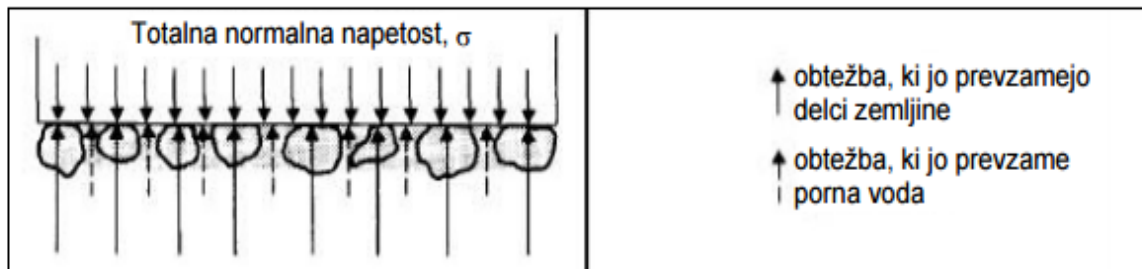
τ_f ...strižna napetost ob poružitvi,

c ...kohezija zemljine,

σ ...totalna normalna napetost na porušni ravnini,

φ ...strižni kot zemljine.

Po teoriji o efektivnih napetostih pa strižna trdnost ni odvisna od totalnih napetosti (Terzaghi, 1925, cit. po [5]). Ker zemljino tvorijo mineralni delci med katerimi so tudi pore, ki so lahko zapolnjene z vodo, z vodo in zrakom ali samo zrakom, totalne normalne napetosti ne prevzamejo samo delci zemljine, temveč tudi porna voda. Del totalne napetosti, ki jo prevzamejo delci zemljine se imenuje efektivna napetost σ' . Del, ki ga prevzame voda, pa poveča porni tlak u .



Slika 3: Shema sistema zrn in por - normalno obtežbo prevzamejo delci zemljine in porena voda [5]

Če normalno napetost na zasičeno zemljino povečamo za $\Delta\sigma$, se poveča tudi poreni tlak u . Povečanje porenega tlaka Δu je v trenutku nanosa obtežbe enako vrednosti $\Delta\sigma$. Terzaghi je na podlagi tega ugotovil, da samo del napetosti, ki deluje na delce zemljine, torej efektivna napetost, povzroča merljive spremembe volumna in trdnosti zemljine. Z enačbo:

$$\sigma' = \sigma - u,$$

je opisano razmerje med totalnimi napetostmi in porenimi tlaki. Z upoštevanjem ugotovitve, da je strižna trdnost odvisna od efektivnih napetosti, je potrebno Coulombovo enačbo modificirati. Ta modificirana enačba se imenuje Mohr-Coulombov zakon porušitve:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \varphi' = c' + (\sigma - u) \tan \varphi'.$$

V enačbi je:

c' ...efektivna kohezija zemljine,

σ' ...efektivna normalna napetost na porušni ravnini,

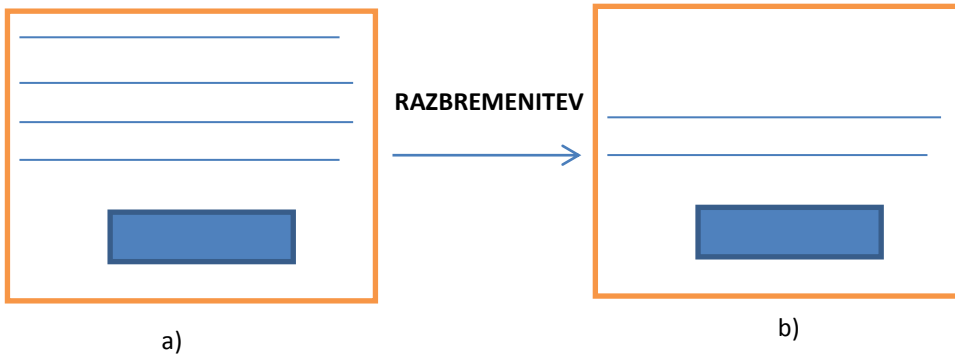
φ' ...efektivni strižni kot zemljine [5].

Karakteristiki strižne trdnosti (c' in φ') lahko določimo z direktno strižno preiskavo (translatorna in obročna strižna preiskava) in triosno strižno preiskavo [1].

2.2 Prekonsolidacija

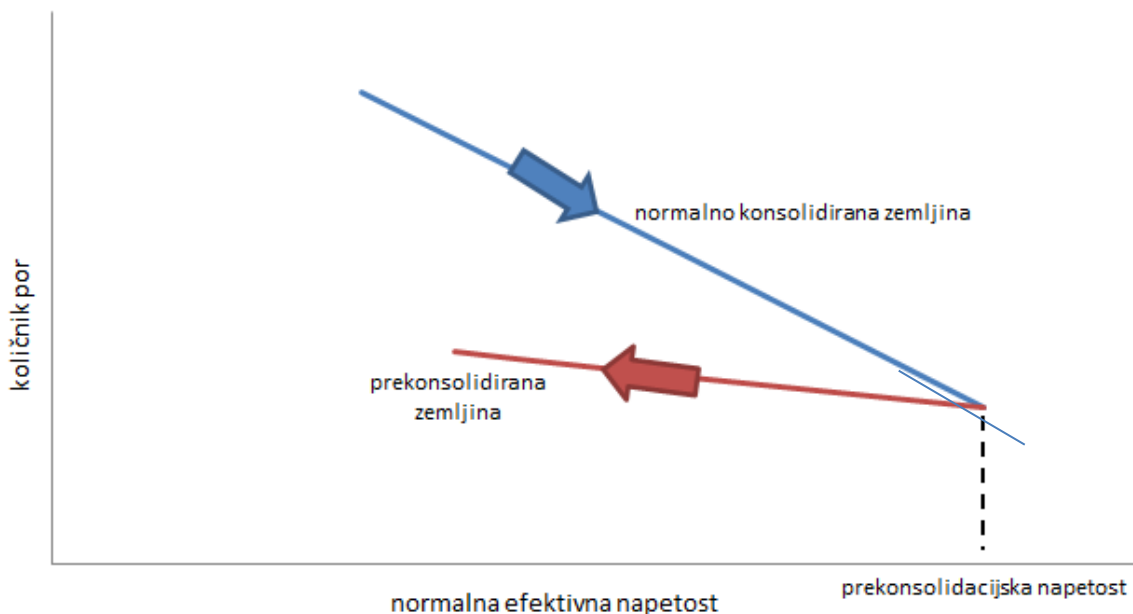
Zemljine razdelimo na normalno konsolidirane in na prekonsolidirane zemljine. Na sliki 4 a) je prikazan delček porozne zemljine, na katerega se s časom nalagajo nove plasti materiala. Zato efektivna normalna napetost na opazovani delček s časom narašča, količnik por pa se zato manjša. Takšna zveza med količnikom por in efektivno normalno napetostjo je značilna

za normalno konsolidirane zemljine. Te zemljine v svoji geološki preteklosti niso bile izpostavljene večjim pritiskom kot so jim sedaj.



Slika 4: Zemljina obremenjena z efektivno normalno napetostjo a) in njena razbremenitev b)

Na sliki 4 b) pa je prikazan isti delček zemljine, ki je bil v geološki preteklosti najprej obremenjen, podobno kot na sliki 4 a), nato pa je bil del obremenitve zgornjih plasti odstranjen, na primer zaradi erozije. Primeri prekonsolidiranih zemljin v naravi so tudi zemljine, ki so bile v preteklosti prekrite z ledeniki ali izpostavljene sušenju. Ker se je zaradi razbremenitve efektivna normalna napetost zmanjšala, se je povečal količnik por, ki pa je manjši kot količnik por pri normalno konsolidirani zemljini pri enaki efektivni normalni napetosti. Količnik por v odvisnosti od efektivne normalne napetosti je prikazan na grafu na sliki 5.



Slika 5: Količnik por v odvisnosti od efektivne normalne napetosti

Prekonsolidirane zemljine so torej bile v svoji geološki preteklosti izpostavljene večjim pritiskom kot so jim sedaj. Največji pritisk kateremu je bila zemljina izpostavljena je definiran kot prekonsolidacijska napetost. Kot razmerje med prekonsolidacijsko napetostjo in napetostjo, ki ji je zemljina izpostavljena sedaj, je definirana stopnja prekonsolidacije:

$$OCR = \frac{p_c}{p_o}$$

V enačbi je:

OCR...stopnja prekonsolidacije,

p_c ...prekonsolidacijska napetost,

p_o ...napetost, ki ji je zemljina izpostavljena sedaj.

Za normalno konsolidirane zemljine znaša stopnja prekonsolidacije 1, za prekonsolidirane zemljine pa več kot 1.

Če prekonsolidirano zemljino obremenimo z večjim pritiskom od prekonsolidacijske napetosti, se bo ta začela obnašati kot normalno konsolidirana zemljina [6].

3 EKSPERIMENTALNI PROGRAM

V okviru diplomske naloge smo izvedli preiskave strižne trdnosti v direktnem strižnem aparatu. Te preiskave so bile konsolidirane drenirane preiskave. Izvedli smo tudi preiskave za identifikacijo zemljine, ki so opisane v poglavju 4.

Preiskave direktnega striga smo izvajali po standardu SIST-TS CEN ISO/TS 17892-10:2004, s tem da smo preizkušance istega vzorca zemljine preiskovali pri različnih hitrostih striženja, pri strižni preiskavi s prekinitvijo in pri strižni preiskavi na prekonsolidiranem materialu. Izvedli smo tudi strižno preiskavo pri višjih normalnih obremenitvah.

3.1 Direktna strižna preiskava

Direktna strižna preiskava je ena izmed najstarejših trdnostih preiskav zemljin, ki je v razširjeni uporabi po celem svetu. Največja prednost direktne strižne preiskave je njena enostavnost. Prednosti pa so še možnosti izvedbe preiskave pri:

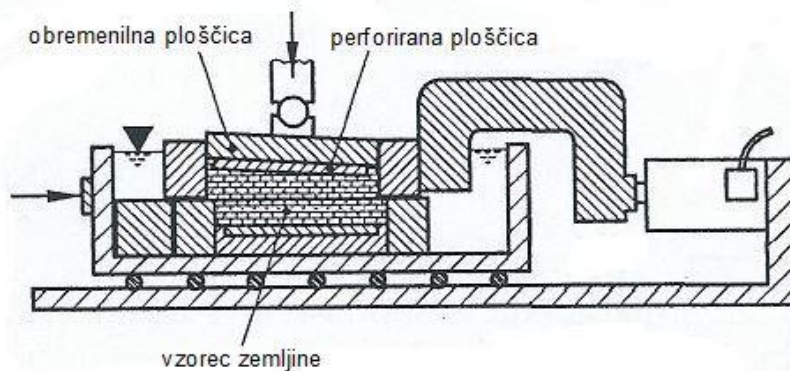
- različni nasičenosti zemljine,
- različnih pogojih dreniranja,
- različnih pogojih konsolidacije.

Slabosti preiskave so naslednje:

- pornih tlakov se ne da nadzorovati,
- porušitev se zgodi le na horizontalni ravnini, katera pa ni nujno najšibkejša,
- neenakomerno napetostno stanje znotraj strižne celice [2],
- vertikalne in horizontalne napetosti so glavne napetosti pred strigom, pri poružitvi pa niso več glavne napetosti [7].

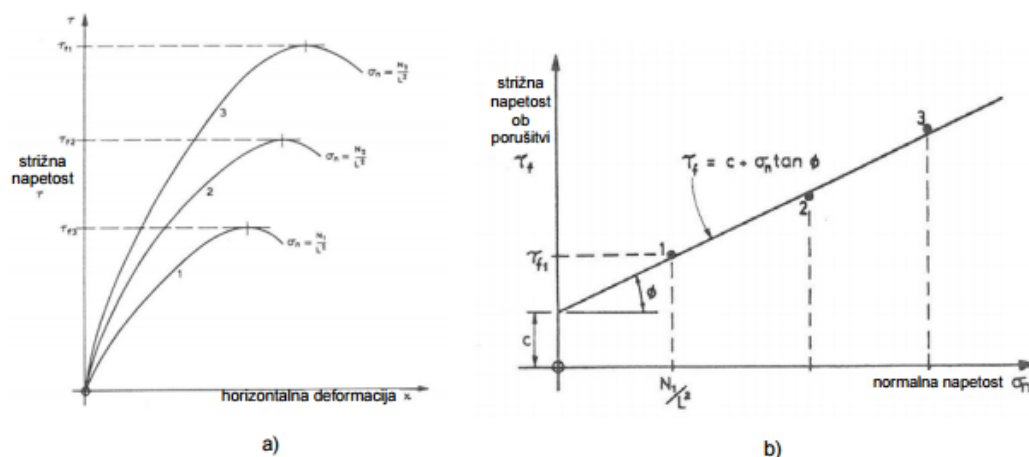
Standard SIST-TS CEN ISO/TS 17892-10:2004 opisuje dve vrsti direktne strižne preiskave, in sicer translatorno (kvadratna ali okrogla strižna celica) in obročno strižno preiskavo. Pri preiskavah, ki smo jih naredili, smo uporabljali translatorno direktno strižno preiskavo s kvadratno strižno celico.

Slika 6 prikazuje sestavo strižnega aparata. Strižna celica je horizontalno razdeljena na dva dela. Zgornja polovica celice je fiksna, spodnja polovica pa se premika v vodoravni smeri.



Slika 6: Strižni aparat med strižno preiskavo (prirejeno po [8])

Ko vzorec vgradimo v strižno celico in vstavimo v strižni aparat, ga najprej obremenimo z vertikalno (normalno) obtežbo σ . Takoj po nanosu obtežbe se začne meriti vertikalni pomik v določenih časovnih intervalih, tako da lahko izrišemo konsolidacijsko krivuljo. Iz konsolidacijske krivulje se nato določi primerna hitrost striženja, da se v zemljini ne ustvarjajo presežni porni tlaki. Po končani konsolidaciji začnemo vzorec strižno obremenjevati. Spodnjo pomično polovico celice vlečemo ali potiskamo s konstantno hitrostjo, dokler ne pride do prestriga vzorca. Med preiskavo merimo strižno silo, horizontalni in vertikalni pomik vzorca. Ko delimo strižno in vertikalno silo s presežkom vzorca, dobimo strižno in normalno napetost na horizontalni porušni ploskvi. Na podlagi teh rezultatov lahko izrišemo graf strižne napetosti v odvisnosti horizontalnega pomika, na podlagi katerega lahko določimo strižno trdnost zemljine pri znani efektivni normalni napetosti. Kohezija in strižni kot zemljine se določita iz grafa strižne trdnosti, v katerem prikazujemo zvezo med izmerjeno največjo strižno napetostjo pri izbrani normalni vertikalni napetosti. Za kakovostno vrednotenje potrebujemo vsaj tri teste direktne strižne preiskave, ki jih izvajamo pri različnih vertikalnih napetostih [1].



Slika 7: Interpretacija rezultatov direktne strižne preiskave [5]

3.2 Priprava preizkušancev

Material, ki smo ga uporabljali pri preiskavah je bil odvzet iz kasete 2, dne 4. 4. 2013. Shranjen je bil v vreči. Pred začetkom vseh preiskav smo ga prestavili v vedro in za vse preiskave uporabljali material iz tega vedra. Pred vsako preiskavo smo ga dobro premešali, da je zopet postal homogen. Preiskave v direktnem strižnem aparatu smo izvedli na naravno vlažnem preizkušancu. Preizkušanec smo vgradili direktno v celico, saj zaradi židke konsistence oblikovanje preizkušanca ni bilo možno.

3.3 Variante direktne strižne preiskave

V preglednici 1 so prikazane različne variante direktne strižne preiskave, ki smo jih izvedli v okviru diplomske naloge. Pri vsaki preiskavi smo izračunali vlago ob vgradnji, torej pred strižno preiskavo in po njej. Rezultati izračunane vlage so prikazani v poglavju 4.1.

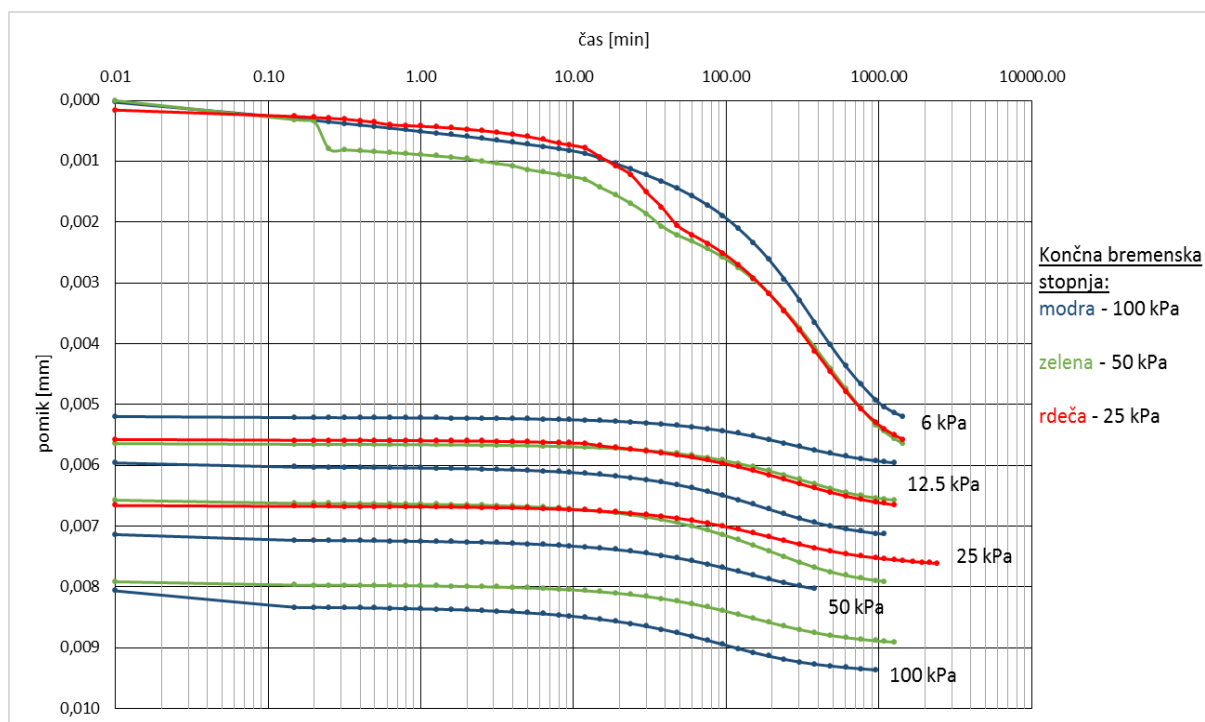
Preglednica 1: Variante direktne strižne preiskave

OZNAKA VZORCA	VRSTA PREISKAVE
LUKA KP KP2 nar vl prepl	direktna strižna preiskava – hitrost 0.001 mm/min
LUKA KP KP2 nar vl prepl 1	direktna strižna preiskava – hitrost 0.01 mm/min
LUKA KP KP2 nar vl prepl 2	direktna strižna preiskava – hitrost 0.1 mm/min
LUKA KP KP2 nar vl prepl 3	direktna strižna preiskava – hitrost 1 mm/min
LUKA KP KP2 nar vl prepl 4	prekinitev d. strižne preiskave po poružitvi za 24 h – hitrost 0.001 mm/min
LUKA KP KP2 nar vl prepl 5	prekinitev d. strižne preiskave po poružitvi za 24 h – hitrost 0.01 mm/min
LUKA KP KP2 nar vl prepl 6	prekinitev d. strižne preiskave po poružitvi za 24 h – hitrost 0.1 mm/min
LUKA KP KP2 nar vl prepl 7	prekinitev d. strižne preiskave po poružitvi za 24 h – hitrost 1 mm/min
LUKA KP KP2 nar vl prepl 8	direktna strižna preiskava – večja obremenitev – hitrost 0.001 mm/min
LUKA KP KP2 nar vl prepl 9	direktni strižna preiskava – prekonsolidacija1 – hitrost 0.001 mm/min
LUKA KP KP2 nar vl prepl 10	direktni strižna preiskava – prekonsolidacija2 – hitrost 0.001 mm/min

3.3.1 Direktna strižna preiskava brez prekinitve pri različnih hitrostih striženja

Hitrost striženja mora biti pri direktni strižni preiskavi dovolj majhna, da je možna disipacija pornih tlakov. V nalogi smo raziskali, kako hitrosti striženja vplivajo na strižne karakteristike. Izvedli smo štiri serije preiskav pri različnih hitrostih, po tri preizkušance za vsako serijo. Najprej smo preizkušance konsolidirali. Konsolidacija je potekala v preplavljenem stanju z vodo iz vodovoda. Obremenitev smo povečevali po stopnjah, in sicer 6 kPa, 12 kPa, 25 kPa, 50 kPa in 100 kPa. Obremenjevanje po stopnjah je bilo potrebno zato, ker zaradi židke narave materiala, ni bila mogoča takojšnja večja obremenitev, saj bi preizkušanec izrinilo iz strižne celice. Preizkušance smo obremenili do končne bremenske stopnje 25 kPa, 50 kPa in 100 kPa. Na podlagi dobljenih rezultatov vertikalnega pomika pri določeni normalni napetosti v odvisnosti od časa smo izrisali konsolidacijske krivulje.

Na sliki 8 je prikazana konsolidacijska krivulja prve serije direktne strižne preiskave. Iz slike je razvidno, da je konsolidacija pri posamezni bremenski stopnji potekala od 6.35 do 40 ur. Konsolidacija je potekala tako dolgo, ker je glavni dejavnik za časovni razvoj konsolidacije vodoprepustnost tal. Pri slabo prepustnem materialu, kakršen je tudi naš, poteka izcejanje porne vode zelo počasi.



Slika 8: Konsolidacijska krivulja prve serije direktne strižne preiskave

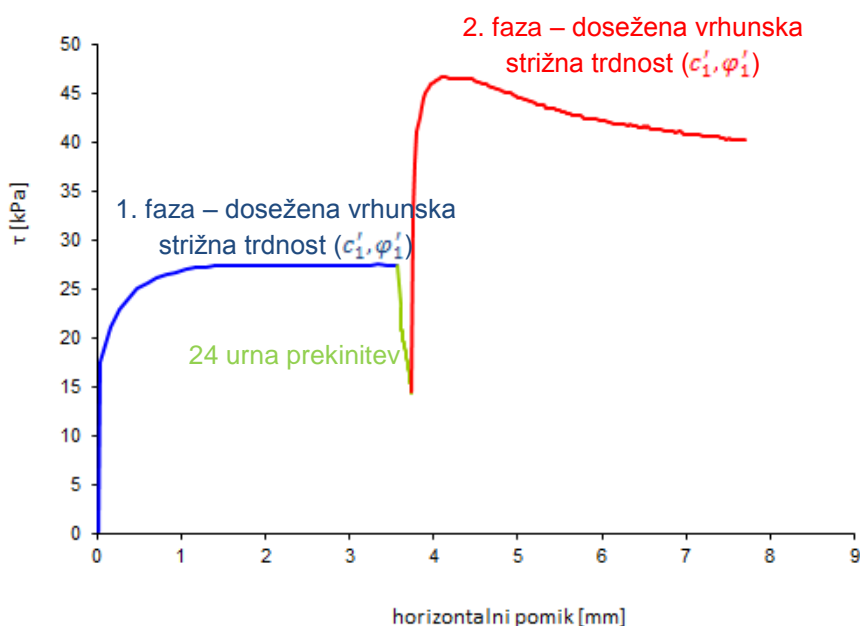
Po končani konsolidaciji smo začeli vzorce strižno obremenjevati, pri normalnih obremenitvah 25 kPa, 50 kPa in 100 kPa. Najmanjšo hitrost striženja 0.001 mm/min smo približno določili iz konsolidacijske krivulje. Pri vsaki naslednji seriji strižnih preiskav smo hitrost striženja povečali za eno dekada: 0.01 mm/min, 0.1 mm/min in 1 mm/min. Na osnovi pridobljenih rezultatov raziskav smo izrisali grafe strižne trdnosti v odvisnosti od normalne napetosti in določili kohezijo ter strižni kot. S primerjavo dobljenih strižnih karakteristik pri različnih hitrostih smo lahko določili, kako hitrost striženja vpliva na izmerjene strižne karakteristike.

3.3.2 Direktna strižna preiskava pri večji obremenitvi

Eno serijo direktne strižne preiskave smo izvedli pri višjih normalnih napetostih 100 kPa, 150 kPa in 200 kPa. To smo naredili zato, ker je pri nižjih obremenitvah lahko napaka meritve večja. Na podlagi rezultatov strižne preiskave pri večji obremenitvi lahko ocenimo, ali se pojavi napaka v meritvah pri nižjih obremenitvah in kako velika je ta napaka.

3.3.3 Direktna strižna preiskava s prekinitvijo

Izvedli smo štiri serije direktnih strižnih preiskav s prekinitvijo, pri katerih je bila pri vsaki seriji hitrost striženja večja. Želeli smo raziskati, kaj se bo zgodilo s strižno trdnostjo po prekinitvi pri določeni hitrosti striženja. Vzorce smo najprej skonsolidirali, in sicer pri enakih bremenskih stopnjah kot pri strižnih preiskavah brez prekinitve.



Slika 9: Potek naraščanja strižne napetosti pri direktni strižni preiskavi s prekinitvijo

Po končani konsolidaciji smo vzorce strižno obremenili. Strižno preiskavo smo prekinili po porušitvi, ki je nastopila pri deformaciji 6 % - 8 %, za približno 24 ur. To fazo smo poimenovali 1. faza, v kateri je že bila dosežena vrhunska strižna trdnost. Med 24 urnim mirovanjem je bil vzorec preplavljen in obremenjen z enako normalno napetostjo kot med 1.fazo strižne preiskave. Po 24 urnem mirovanju smo s strižno preiskavo nadaljevali. To fazo smo poimenovali 2. faza. Na podlagi rezultatov smo izrisali grafe odvisnosti strižne napetosti od horizontalnega pomika in opazovali razvoj strižne napetosti po prekinitvi, pri različnih hitrostih striženja. Izrisali smo tudi grafe odvisnosti strižne trdnosti od efektivne normalne napetosti, in sicer za 1. in 2. fazo posebej. Primerjali smo strižne karakteristike, izmerjene v 1. in 2. fazi ter strižne karakteristike izmerjene pri preiskavi brez prekinitve.

3.3.5 Direktna strižna preiskava na prekonsolidiranem materialu

Namen naloge je bil tudi ovrednotiti vpliv prekonsolidacije na strižne karakteristike. V laboratoriju se prekonsolidiran material ustvari tako, da se ga najprej skonsolidira pri določeni normalni napetosti. Nato se normalno napetost zmanjša in nadaljuje konsolidacijo. Strižno preiskavo se izvede pri zmanjšani efektivni normalni napetosti.

V okviru naloge smo izvedli dve seriji direktne strižne preiskave na prekonsolidiranem materialu. Vzorce smo najprej skonsolidirali. Konsolidacija je potekala v preplavljenem stanju z vodo iz vodovoda. V prvi seriji smo obremenitev postopoma povečevali, do največje bremenske stopnje 200 kPa. Nato smo obremenitev zmanjšali in po končani konsolidaciji pričeli s strižno preiskavo. Preiskava je potekala pri zmanjšanih efektivnih normalnih napetosti 50 kPa, 100 kPa in 150 kPa. Hitrost striženja je znašala 0.001 mm/min. Tako smo dobili tri stopnje prekonsolidacije: 200/50 kPa, 200/100 kPa in 200/150 kPa. Pri drugi seriji smo preizkušance najprej obremenili z efektivno normalno napetostjo 250 kPa. Strižna preiskava je nato potekala pri zmanjšanih efektivnih normalnih napetostih 50 kPa in 150 kPa. S tem smo dobili dve stopnji prekonsolidacije: 250/50 kPa in 250/150 kPa. Na podlagi dobljenih rezultatov smo izrisali grafe odvisnosti strižne napetosti od efektivne normalne napetosti, ki smo jih primerjali z rezultati dobljenimi na normalno konsolidirani zemljini.

Podobne raziskave vpliva prekonsolidacije na strižno trdnost so opisane v članku [9]. Preiskave so izvedli z obročno strižno preiskavo na vzorcih iz dveh različnih zemljin. Zemljini so prekonsolidirali na tri različne stopnje prekonsolidacije: 400/200 kPa, 400/100 kPa in 600/100 kPa. Dobljene rezultate so primerjali z rezultati na normalno konsolidirani zemljini. Njihove ugotovitve, smo v poglavju 5.3 primerjali z dobljenimi rezultati naših raziskav.

4 LASTNOSTI MATERIALA V RAZISKAVI

4.1 Vlažnost refula

Vlažnost refula smo določili po standardu SIST-TS CEN ISO/TS 17892-1:2004. Zaradi nehomogenosti ali lokacije odvzema vzorca (pripovršinski sloji, globlji sloji) je prišlo do pričakovanih raztrosov merjenih vrednosti. Vlago smo določili na začetku preiskav neodvisno od direktne strižne preiskave, pred preiskavo in po končani preiskavi. Vlaga, ki smo jo določili na začetku preiskav znaša $w = 91.7\%$. V preglednici 2 so podane dobljene vlage pred in po strižni preiskavi.

Preglednica 2: Izračunane vlage pred in po strižni preiskavi

OZNAKA VZORCA	PRED STRIŽNO PREISKAVO (%)	PO STRIŽNI PREISKAVI (%)
LUKA KP KP2 nar vl prepl	115.5	40.6
	125.0	45.8
	128.2	50.5
LUKA KP KP2 nar vl prepl 1	129.8	40.9
	137.9	46.5
	126.9	52.0
LUKA KP KP2 nar vl prepl 2	101.3	43.6
	101.7	49.1
	96.6	54.7
LUKA KP KP2 nar vl prepl 3	100.0	45.5
	108.7	66.5
	102.1	57.3
LUKA KP KP2 nar vl prepl 4	135.3	45.9
	106.2	45.7
	107.4	49.3
LUKA KP KP2 nar vl prepl 5	110.1	44.9
	111.7	40.4
	114.9	51.7
LUKA KP KP2 nar vl prepl 6	119.5	42.3
	80.5	49.8
	106.2	52.9
LUKA KP KP2 nar vl prepl 7	107.8	43.4
	94.8	48.5
	98.9	52.6
LUKA KP KP2 nar vl prepl 8	121.1	39.9
	110.3	34.9
	125.5	37.6
LUKA KP KP2 nar vl prepl 9	93.0	38.6
	98.2	39.5
	101.6	41.0
LUKA KP KP2 nar vl prepl 10	105.0	36.8
	112.3	43.6

Začetna vlaga ob vgradnji pred strižno preiskavo nekoliko odstopa od vlage določene na začetku preiskav. Takšen rezultat je pričakovan, saj je vlaga pred preiskavo določena na podlagi suhe mase po strigu. Med samo strižno preiskavo pa del preizkušanca izgubimo, saj se ga nekaj iztisne iz strižne celice, del pa izgubimo tudi pri odvzemu preizkušanca iz strižne celice po končani preiskavi. Zato je vlaga določena na začetku preiskav merodajna. Za vlago določeno po strižni preiskavi pa so vrednosti pričakovano manjše, saj so se vzorci skonsolidirali in iz njih se je iztisnilo nekaj vode. Iz rezultatov je tudi razvidno, da je pri vzorcu, ki je bil obremenjen z večjo normalno obremenitvijo vlaga manjša, saj se je vzorec še bolj skonsolidiral. Vendar pa tako velika izguba vlage po preiskavi ni običajna in je verjetno posledica iztiskanja vode in finih zrn takoj po nanosu vertikalne obremenitve.

4.2 Ugotavljanje gostote zrn – Metoda s piknometrom

Gostoto zrn smo določili v piknometru, po standardu SIST-TS CEN ISO/TS 17892-3:2004. Vzorec smo pripravili tako, da smo ga posušili na zraku do vlage, pri kateri smo lahko naredili svaljke. Svaljke smo dali v piknometer, dolili nekaj destilirane vode in piknometer potresali tako dolgo, dokler ni nastala homogena suspenzija. S postopkom prekuhavanja v vodni kopeli smo iz pripravljenih preizkušancev v piknometru odstranili zrak. Ko so se piknometri ohladili, smo jih do vrha zapolnili z destilirano vodo ter jih stehali skupaj s čepom. V preiskavi nismo uporabili suhega refula, temveč vlažnega, zato smo po končani preiskavi vsebino piknometrov prelili v čašo znane mase in določili suho težo preizkušancev. Izvedli smo tudi umeritev piknometrov, za tekočino smo uporabili destilirano vodo. Izmerjena suha gostota zrnja refula je $\rho_s = 2.785 \text{ t/m}^3$.

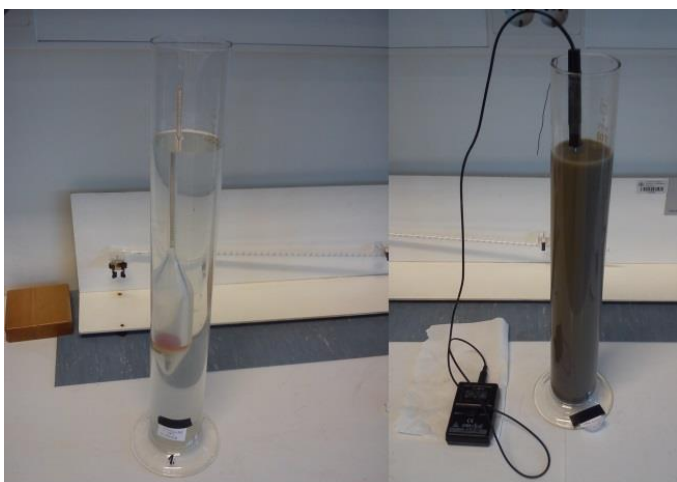
4.3 Zrnava sestava

Raziskava je bila izvedena po standardu SIST/ISO/TS 17892-4:2004. Zrnava sestavo smo določili na naravno vlažnem preizkušancu, in sicer s postopkom mokrega in suhega sejanja, na finih zrnih (<0.063 mm) pa s postopkom areometrije. Najprej smo sejali po mokrem postopku na situ nazivne odprtine 0.063 mm. Ostanek in presejek smo posušili v sušilniku in jim določili maso. Odsejek na situ 0.063 mm smo nato še suho sejali na sejalniku, uporabili smo stavek sit 2, 1, 0.71, 0.5, 0.25, 0.125 in 0.063 mm.

Areometrski preiskava temelji na principu sedimentacije zrn zemljine v vodi. Večji delci se posedajo hitreje in tako lahko preko gostote suspenzije sklepamo na velikost delcev v suspenziji. Pri preiskavi smo uporabili 30 gramov finih zrn (<0.063 mm), ki so bili predhodno posušeni pri temperaturi $100 \pm 5^\circ\text{C}$. Dan pred začetkom preiskave smo pripravili zmes

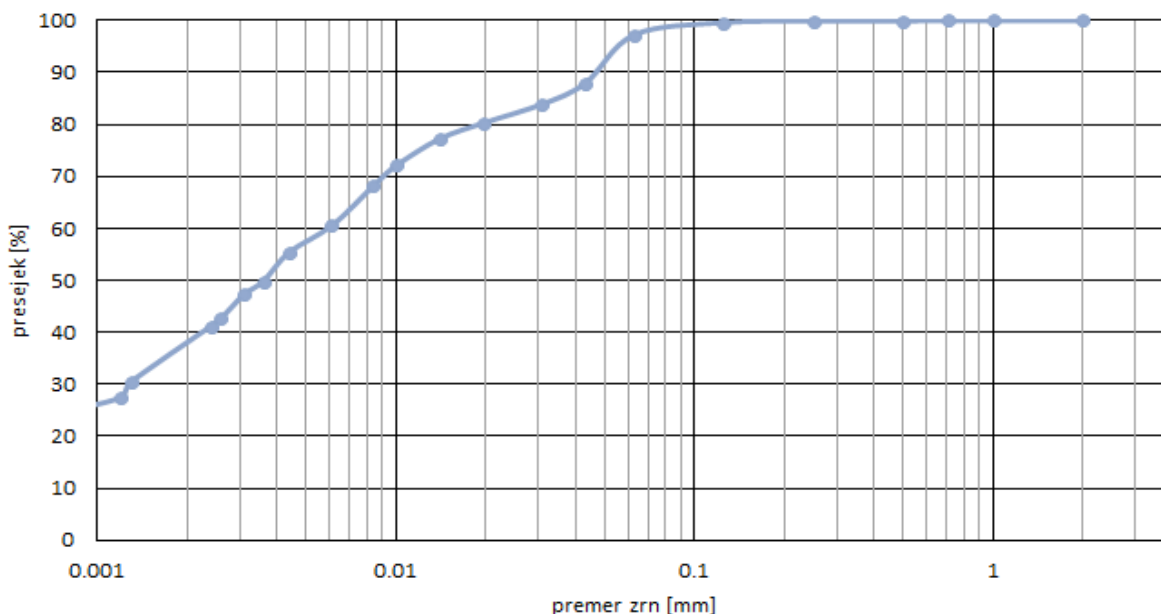
suspenzije preizkušanca in antikoagulacijskega sredstva, le tega smo predhodno raztopili v destilirani vodi. Pred analizo smo to zmes homogeno premešali z mešalnikom, prelili v valj in do oznake 1 l napolnili z destilirano vodo. Valj smo začepili in ročno obračali valj dve minuti, da se je ustvarila homogena suspenzija. Takoj po končanem mešanju smo pričeli meriti čas in hkrati v zmes potopili tudi areometer.

Z njim smo spremljali gostoto zmesi. Vzporedno smo izvajali tudi kontrolno meritev gostote na suspenziji antikoagulacijskega sredstva in destilirane vode. Prvi odčitek gostote in temperature smo izmerili po tridesetih sekundah, nato so sledili odčitki po nekaj minutah, nato po eni uri, osmih urah, enem dnevu itd.



Slika 10: Areometrsko preiskava

Rezultati sejanja in areometrsko preiskave so podani na sliki 11.

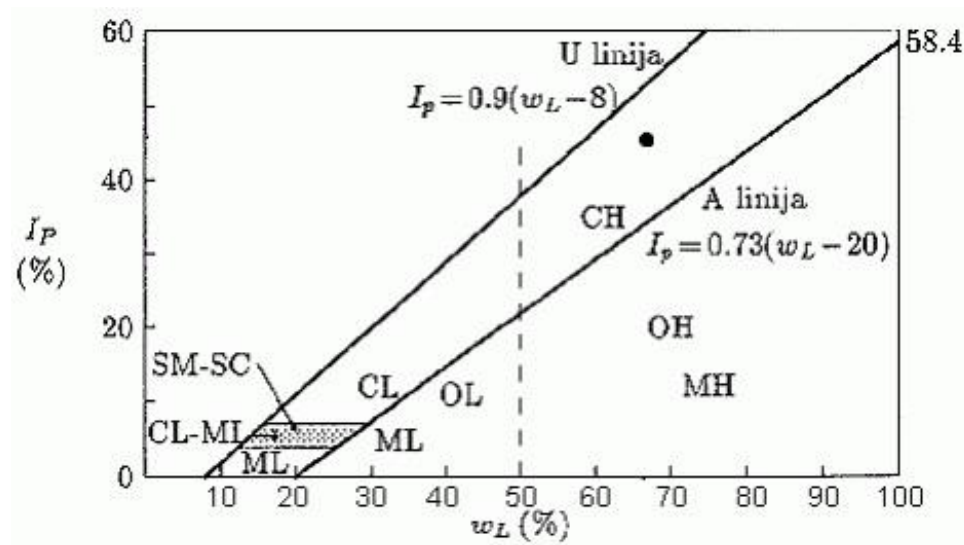


Slika 11: Zrnovostna sestava refula

4.4 Ugotavljanje Atterbergovih meja plastičnosti

Mejo židkosti in mejo plastičnosti smo določili po standardu SIST-TS CEN ISO/TS 17892-12:2004. Rezultata ki smo ju dobili sta naslednja: meja židkosti (w_L) znaša 66.5%, meja plastičnosti (w_P) pa 20.4%. S pomočjo indeksa plastičnosti (I_P) smo zemljino še klasificirali.

Slika 12 prikazuje rezultat klasifikacije zemljine. Glede na indeks plastičnosti in mejo židkosti spada zemljina med visoko plastične zelo stisljive gline (CH).



Slika 12: Klasifikacija refula

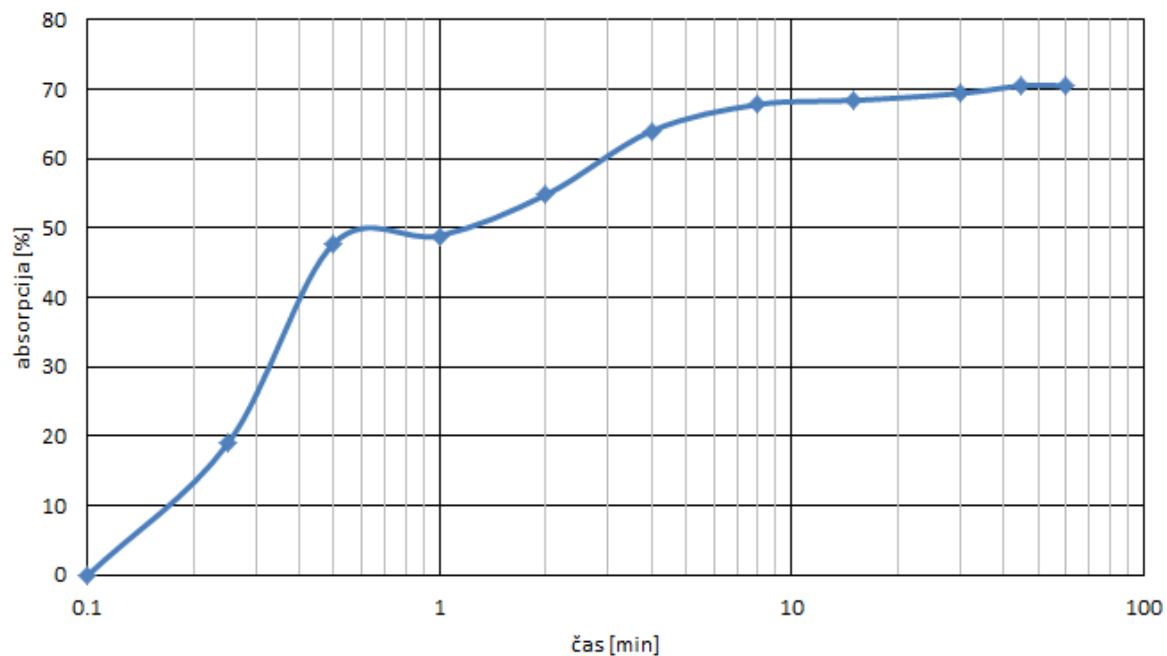
4.5 Vodovpojnost refula

Vodovpojnost zemljine smo določili po Enslin/Neff postopku, podanem v standardu DIN 18132.



Slika 13: Enslinov aparat [10]

Vodovpojnost oziroma absorpcija vode je določena kot masa adsorbirane vode na začetno maso vzorca, pomnoženo s 100. Za vzorec smo uporabili 1 gram finih zrn (< 0.063 mm) predhodno posušenih pri temperaturi $100 \pm 5^\circ\text{C}$. Rezultat je prikazan na sliki 14.

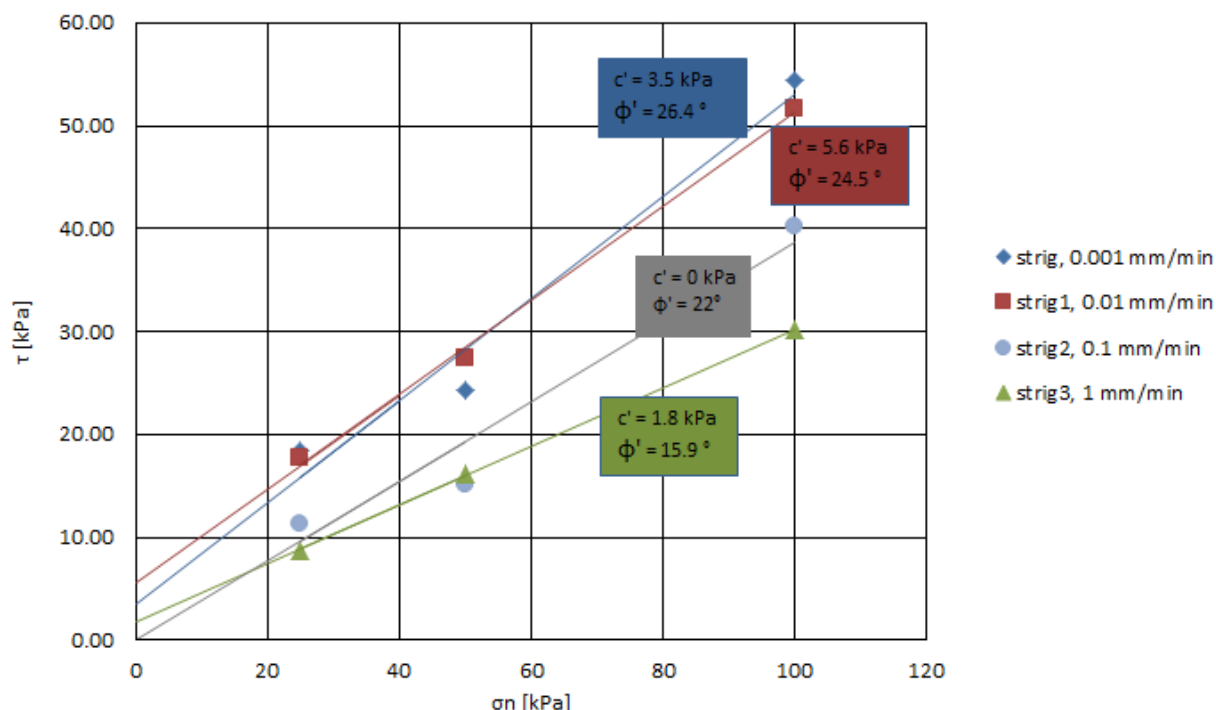


Slika 14: Vodovpojnost refula

5 PRIKAZ REZULTATOV STRIŽNIH RAZISKAV

5.1 Vpliv hitrosti striženja na strižne karakteristike

Na sliki 15 so prikazane strižne premice refula izmerjene pri štirih različnih hitrostih striženja: 0.001 mm/min, 0.01 mm/min, 0.1 mm/min in 1 mm/min. Presečišče z ordinatno osjo nam poda vrednosti kohezije, naklon premice pa je enak tangensu strižnega kota.



Slika 15: Strižne premice izmerjene pri različnih hitrostih striženja

Opazimo lahko, da se naklon premice s povečevanjem hitrosti striženja manjša. Navidezno so vrednosti strižnega kota pri večjih hitrostih striženja manjše.

Preglednica 3: Rezultati strižne trdnosti pri različnih hitrostih striženja

STRIŽNA TRDNOST τ [kPa]				
σ_n [kPa]	0.001 mm/min	0.01 mm/min	0.1 mm/min	1 mm/min
25	18.47	17.67	11.3	8.76
50	24.38	27.43	15.2	16.17
100	54.39	51.58	40.3	30.18

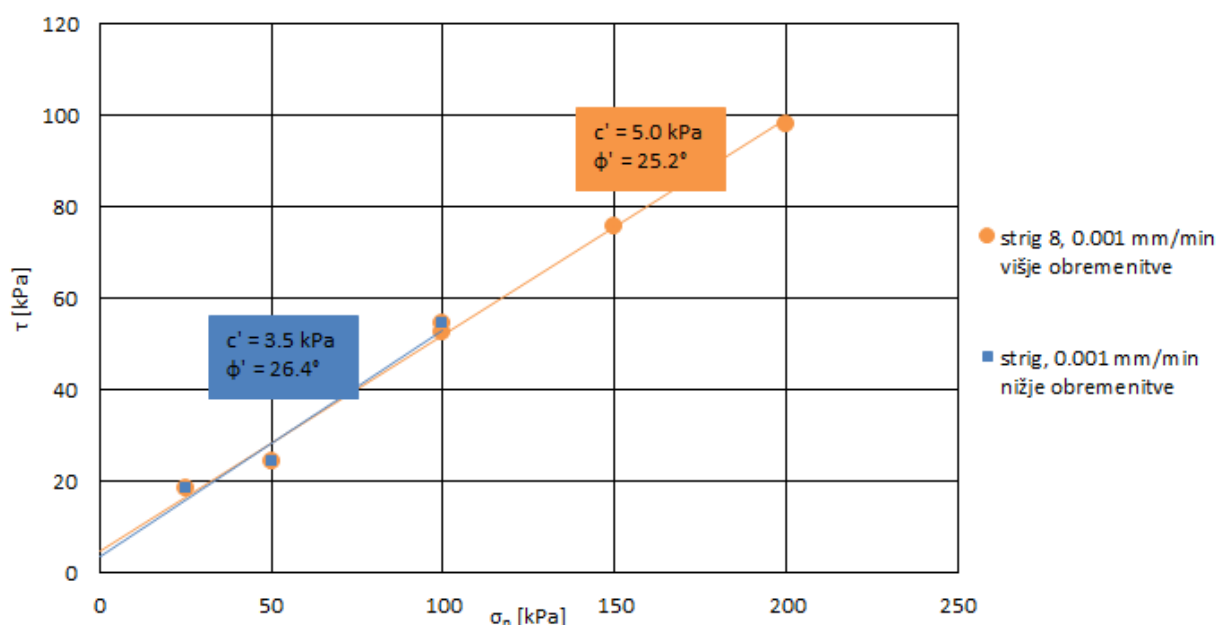
Pri hitrostih 0.001 mm/min in 0.01 mm/min sta vrednosti kohezije in strižnega kota 3.5 kPa, 26.4° in 5.6 kPa, 24.5°, potek strižnih premic je podoben. Pri teh dveh hitrostih sta vrednosti primerljivi. Pri hitrostih 0.1 mm/min in 1 mm/min pa sta vrednosti kohezije in strižnega kota 0

kPa, 22° in 1.8 kPa, 15.9° . Ocenimo lahko, da rezultati pri hitrostih 0.1 mm/min in 1 mm/min niso merodajni, ker se pri velikih hitrostih striženja v preizkušancu ustvarjajo presežni porni tlaki, zato je interpretacija preiskave na sliki 15 za večje hitrosti napačna, saj ne poznamo dejanske velikosti efektivne normalne napetosti ob prestrigu.

V članku [11] so raziskovalci izvedli obročno strižno preiskavo na treh različnih vrstah zemljine pri različnih hitrostih striženja. Prav tako so prišli do ugotovitve, da je strižna trdnost, pri manjši hitrosti striženja večja. Takšen rezultat so dobili za vse tri vrste zemljine.

Z eno serijo strižne preiskave pri višjih normalnih napetostih 100 kPa, 150 kPa in 200 kPa pri hitrosti 0.001 mm/min smo preverili, če pride pri nižjih obremenitvah pri hitrostih, ki so nam dale merodajne rezultate, do napake meritev.

Na sliki 16 vidimo, da se rezultati pri višjih obremenitvah smiselno ujemajo s tistimi pri nižjih obremenitvah. Ko grafu pri nižjih obremenitvah dodamo še vrednosti maksimalne strižne napetosti pri višjih obremenitvah, se potek strižne premice smiselno nadaljuje. Na podlagi teh rezultatov smo ugotovili, da pri nižjih obremenitvah ni prišlo do večje napake meritev in da so dobljeni rezultati merodajni.

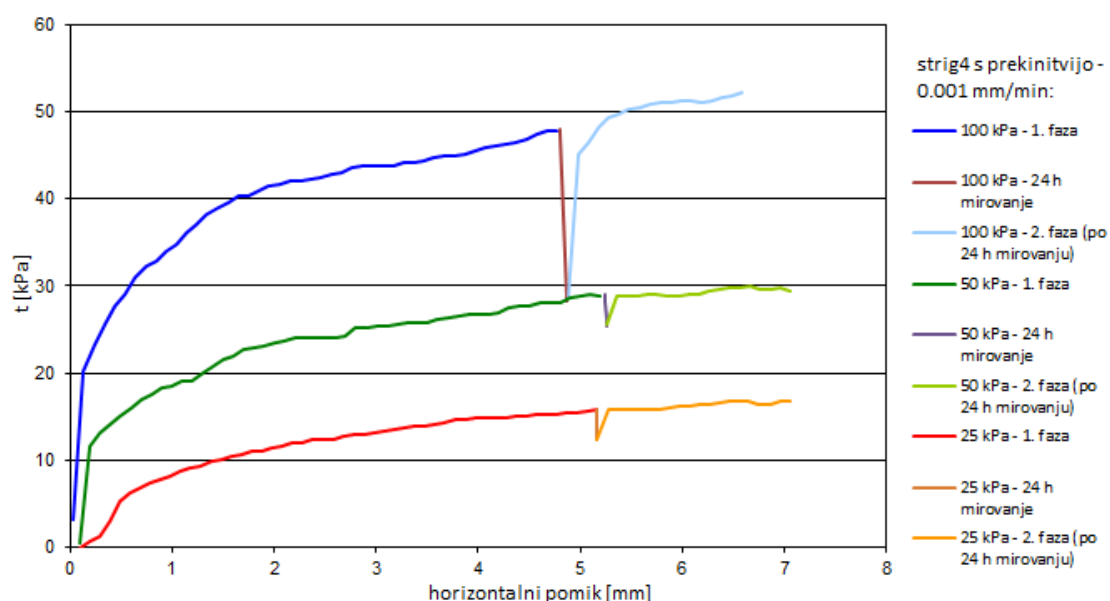


Slika 16: Primerjava strižne trdnosti v odvisnosti od normalne napetosti pri nižji in višji obremenitvi pri hitrosti striženja 0.001 mm/min

5.2 Vpliv prekinitve strižne preiskave na strižne karakteristike

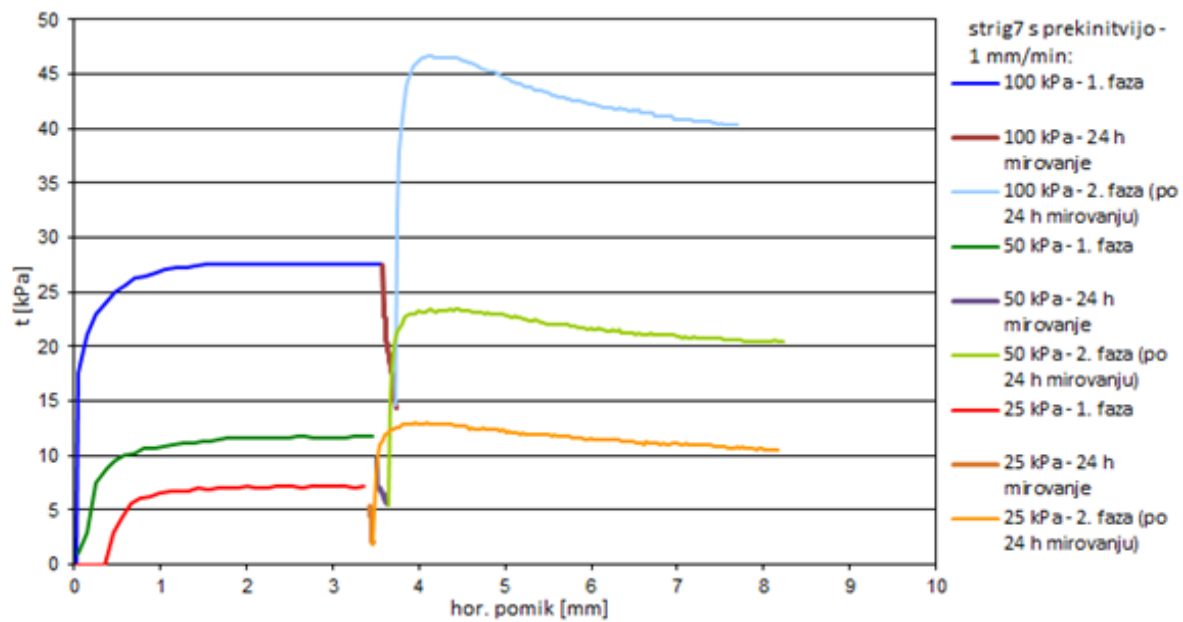
Del preiskav smo izvedli tako, da smo po porušitvi strižno preiskavo prekinili in preizkušance pustili mirovati v preplavljenem stanju, pri enaki normalni napetosti za 24 ur. Po 24. urah smo s strižno preiskavo nadaljevali. Na slikah 17 do 20 so prikazani rezultati strižnih preiskav izvedenih do prekinitve in po njej.

Na sliki 17 vidimo potek naraščanja strižne napetosti med striženjem s hitrostjo 0.001 mm/min. V 1.fazi striženja se strižna napetost povečuje in doseže maksimalno vrednost (pri normalni napetosti 100 kPa) pri približno 4 - 5 milimetrih horizontalnega pomika. Med 24 urnim mirovanjem strižna napetost upade, pri nadaljevanju striženja, v 2.fazi, pa strižna napetost malo naraste, vendar pa je možno krivulje 2.faze smiselno povezati s krivuljo 1.faze. Opazimo lahko, da je velikost upada strižne napetosti med mirovanjem večja pri največji normalni obtežbi.



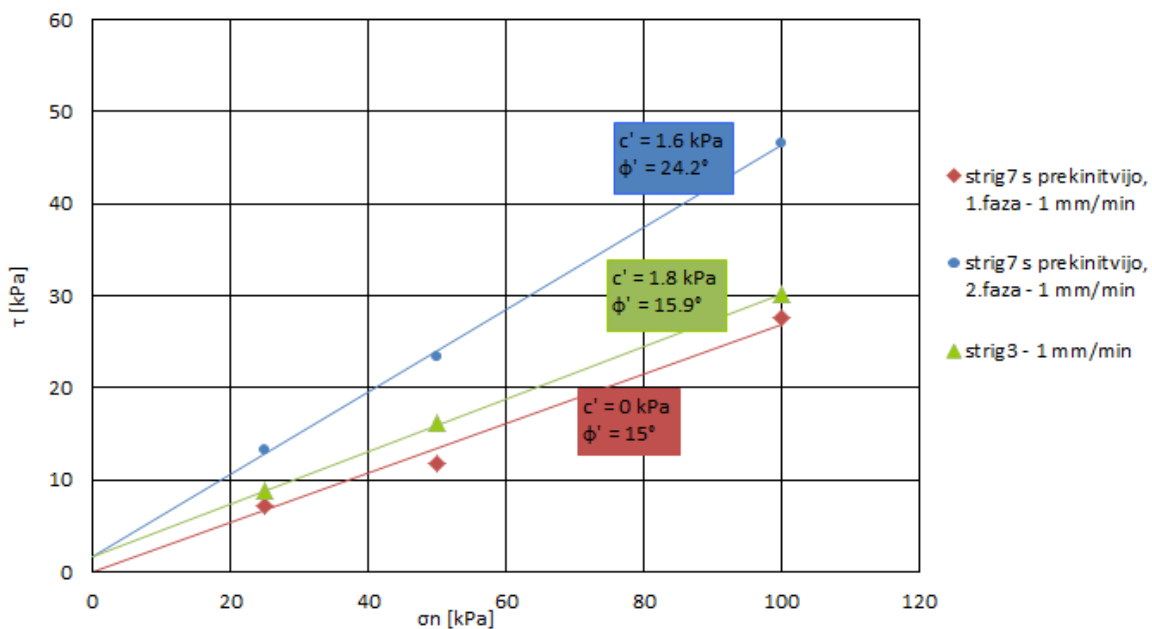
Slika 17: Rezultat strižne preiskave s prekinitvijo – hitrost striženja 0.001 mm/min

Na sliki 18 je prikazan razvoj strižnih napetosti v odvisnosti od horizontalnega pomika pri strižni preiskavi s prekinitvijo pri hitrosti 1 mm/min. V 1.fazi pri normalni napetosti 100 kPa je bila dosežena maksimalna strižna napetost 27.56 kPa. Med 24 urnim mirovanjem je strižna napetost upadla, nato pa v 2.fazi zelo narasla, in sicer na 46.63 kPa. Po doseženi največji vrednosti strižni napetosti je ta malo upadla, in sicer do vrednosti 40.34 kPa.



Slika 18: Rezultat strižne preiskave s prekinitvijo – hitrost striženja 1 mm/min

Če primerjamo rezultate 1. in 2.faze strižne preiskave s prekinitvijo in brez prekinitve na diagramu strižne trdnosti (slika 19), vidimo, da strižna trdnost v 2.fazi izrazito naraste glede na 1.fazo in glede na rezultate strižne preiskave brez prekinitve.



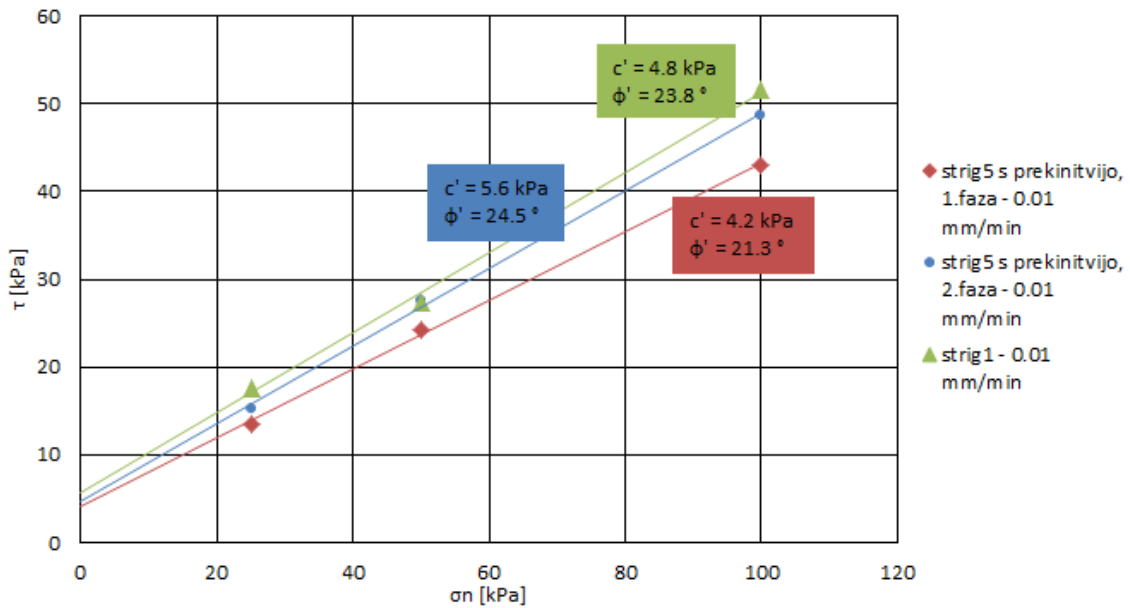
Slika 19: Primerjava rezultatov posameznih faz pri strižni preiskavi s prekinitvijo ter brez prekinitve – hitrost striženja 1 mm/min

Že v poglavju 5.1 smo videli, da je pri hitrosti 1 mm/min rezultat preiskave obremenjen z napako, ki izvira iz nepoznavanja dejanske efektivne normalne napetosti, saj se pri tej hitrosti striženja ustvarjajo presežni porni tlaki, katerih velikost pa ne poznamo. Pri strižni preiskavi s prekinitvijo se strižna trdnost v 2.fazi zelo poveča, iz česar lahko sklepamo, da so se preizkušanci med mirovanjem dobro zdrenirali, k dodatnemu dreniranju pa verjetno prispeva tudi ustvarjena drsna ploskev. Rezultat, ki ga dobimo v 2.fazi, je primerljiv z rezultati strižne preiskave brez prekinitve pri majhni hitrosti striženja.

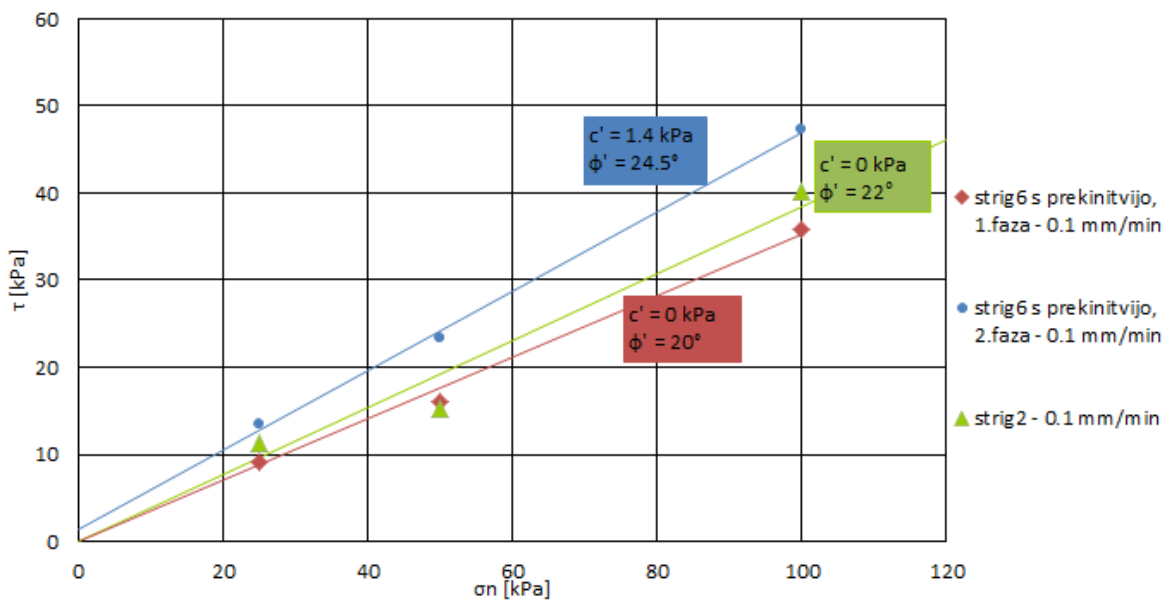
V preglednici 4 so prikazani vsi rezultati preiskav strižne trdnosti pri strižni preiskavi s prekinitvijo, na slikah 20 in 21 pa je podana primerjava rezultatov še za hitrosti striženja 0.01 mm/min in 0.1 mm/min. V preglednici 4 je prikazana razlika strižne trdnosti v odstotkih med 1. in 2.fazo striženja pri določeni hitrosti striženja. Rezultati kažejo, da se relativne razlike v prirastu strižne trdnosti med prvo in drugo fazo povečujejo s povečevanjem hitrosti striženja. To lahko pripišemo temu, da se pri večji hitrosti striženja ustvarijo večji presežni porni tlaki, ki pa se med mirovanjem zmanjšajo. Presežni porni tlaki se zmanjšajo zato, ker se je med mirovanjem preizkušanelec dobro zdreniral. Vidimo, da so z vedno večjo hitrostjo rezultati strižne napetosti v 1.fazi vedno manjši. Na primer pri normalni napetosti 25 kPa znašajo 15.77 kPa, 13.5 kPa, 9.14 kPa in 7.25 kPa. V 2.fazi pa so vrednosti strižne napetosti med sabo primerljivejše in znašajo 16.72 kPa, 15.3 kPa, 13.4 kPa in 13.2 kPa.

Preglednica 4: Rezultati preiskav pri strižni preiskavi s prekinitvijo

HITROST STRIŽENJA	σ_n [kPa]	τ - 1.faza [kPa]	τ - 2.faza [kPa]	razlika v odstotkih [%]
	25	15.77	16.72	5.7
0.001 mm/min	50	28.91	29.91	3.3
	100	47.84	52.21	8.4
	25	13.5	15.3	11.8
0.01 mm/min	50	24.29	27.56	11.9
	100	42.97	48.63	11.6
	25	9.14	13.4	31.8
0.1 mm/min	50	16.03	23.3	31.2
	100	35.93	47.3	24
	25	7.25	13.2	45.1
1 mm/min	50	11.8	23.44	49.7
	100	27.56	46.63	40.9



Slika 20: Primerjava strižnih premic pri strižnih preiskavah s prekinitvijo ter brez prekinitve – hitrost striženja 0.01 mm/min

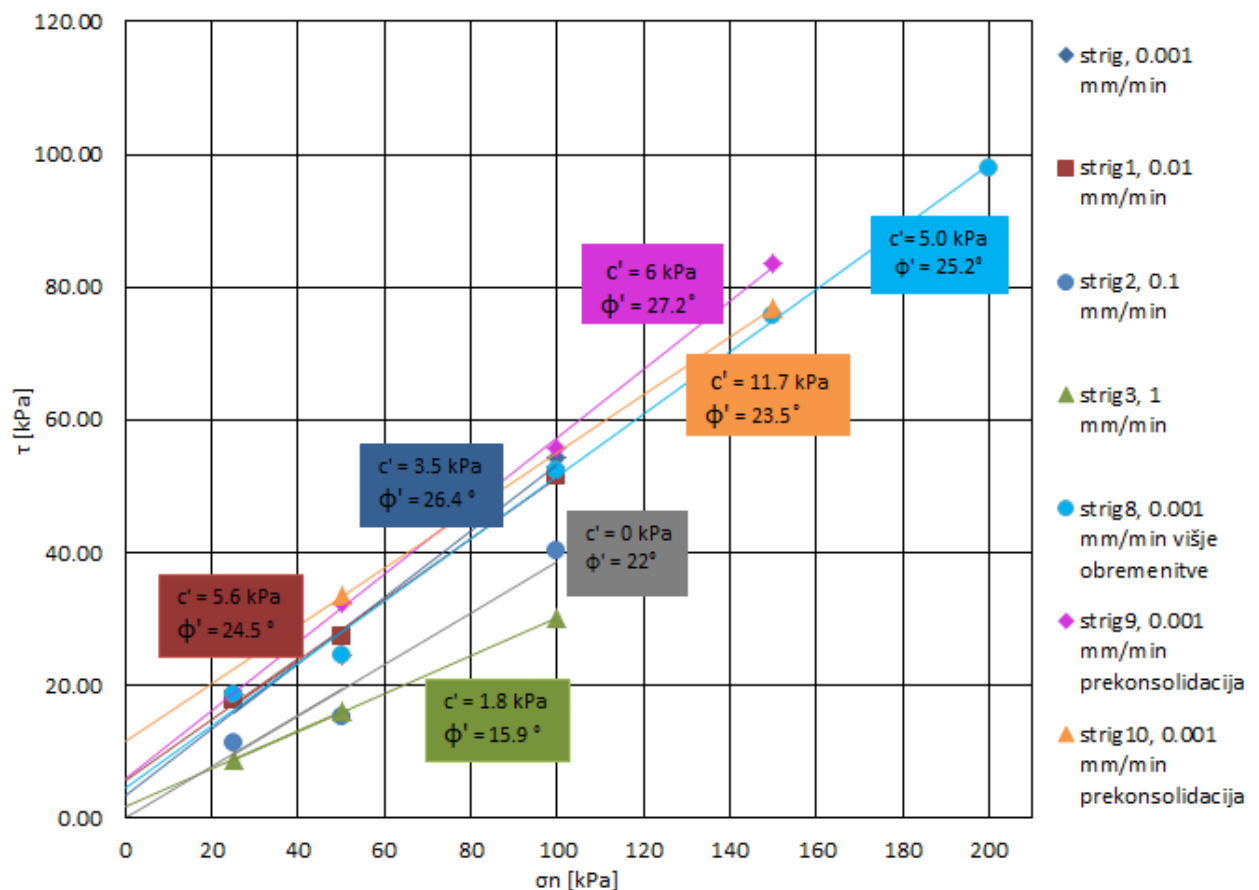


Slika 21: Primerjava strižnih premic pri strižnih preiskavah s prekinitvijo ter brez prekinitve – hitrost striženja 0.1 mm/min

5.3 Vpliv prekonsolidacije na strižne karakteristike

S strižno preiskavo na prekonsolidiranem materialu smo ovrednotili, kako prekonsolidacija vpliva na vrhunsko strižno trdnost zemljine, v primerjavi z rezultati dobljenimi s preiskavami na normalno konsolidiranem materialu.

Na sliki 22 je prikazana strižna trdnost v odvisnosti od normalne napetosti za prekonsolidirane in normalno konsolidirane preizkušance. Iz primerjave je razvidno, da so dobljene vrednosti strižnih trdnosti pri strižni preiskavi na prekonsolidiranem materialu večje, v primerjavi s strižnimi trdnostmi dobljenimi pri strižnih preiskavah na normalno konsolidiranem materialu.



Slika 22: Primerjava rezultatov strižne preiskave na prekonsolidiranih in normalno konsolidiranih preizkušancih

V preglednici 5 so prikazane vrednosti strižnih napetosti pri strižni preiskavi na prekonsolidiranem materialu v odvisnosti od efektivnih normalnih napetosti in vrednosti strižnih napetosti pri strižni preiskavi na normalno konsolidiranem materialu. Razlika med strižno napetostjo dobljeno pri preiskavah izvedenih pri efektivni normalni napetosti 50 kPa znaša 24.8 % pri 200/50 kPa in 27.0 % pri 250/50 kPa. Pri 100 kPa znaša razlika 6.0 %. Pri

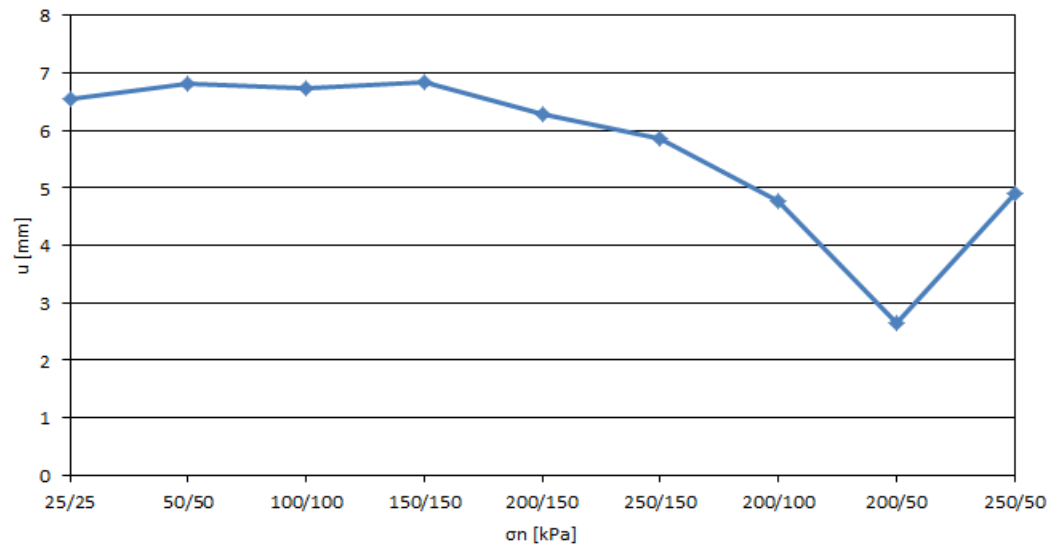
150 kPa pa je razlika pri 200/150 kPa 9.6 %, pri 250/150 kPa pa znaša 1.4 %. Pri strižni preiskavi na prekonsolidiranem materialu izvedenem pri efektivni normalni napetosti 50 kPa pri 250/50 kPa je razmerje med strižno trdnostjo in efektivno normalno napetostjo največje in znaša 0.668, medtem ko je pri ostalih efektivnih normalnih napetostih to razmerje manjše. Od tod sledi, da je vrednost strižne trdnosti pri stopnji prekonsolidacije 5 (250/50 kPa) večja, kot pri stopnjah prekonsolidacije 4, 2, 1.7 in 1.3 (200/50, 200/100, 250/150 in 200/150 kPa).

Preglednica 5: Primerjava rezultatov strižne preiskave na prekonsolidiranem materialu in normalno konsolidiranem materialu pri enaki hitrosti striženja 0.001 mm/min

	σ_n [kPa]	τ [kPa]
Prekonsolidiran material	200/50	32.4
	200/100	55.8
	200/150	83.7
	250/50	33.4
	250/150	76.8
Normalno konsolidiran material	50/50	24.4
	100/100	52.4
	150/150	75.7

V že omenjenem članku [9] so s preiskavami ugotovili, da pri prekonsolidiranem materialu dosežemo vrhunsko strižno trdnost pri manjših horizontalnih pomikih kot pa pri normalno konsolidiranem materialu. Najmanjši horizontalni pomik je bil dosežen pri največji stopnji prekonsolidacije.

Na sliki 23 je prikazano, pri kolikšnem horizontalnem pomiku je bila dosežena vrhunška strižna trdnost v našem primeru. Vidimo, da horizontalni pomik pri prestrigu z večanjem stopnje prekonsolidacije upada, nato pa se pri največji stopnji prekonsolidacije 250/50 kPa vrednost zviša. S tem se naši rezultati popolnoma ne ujemajo z ugotovitvami dobljenimi v zgoraj omenjenem članku.

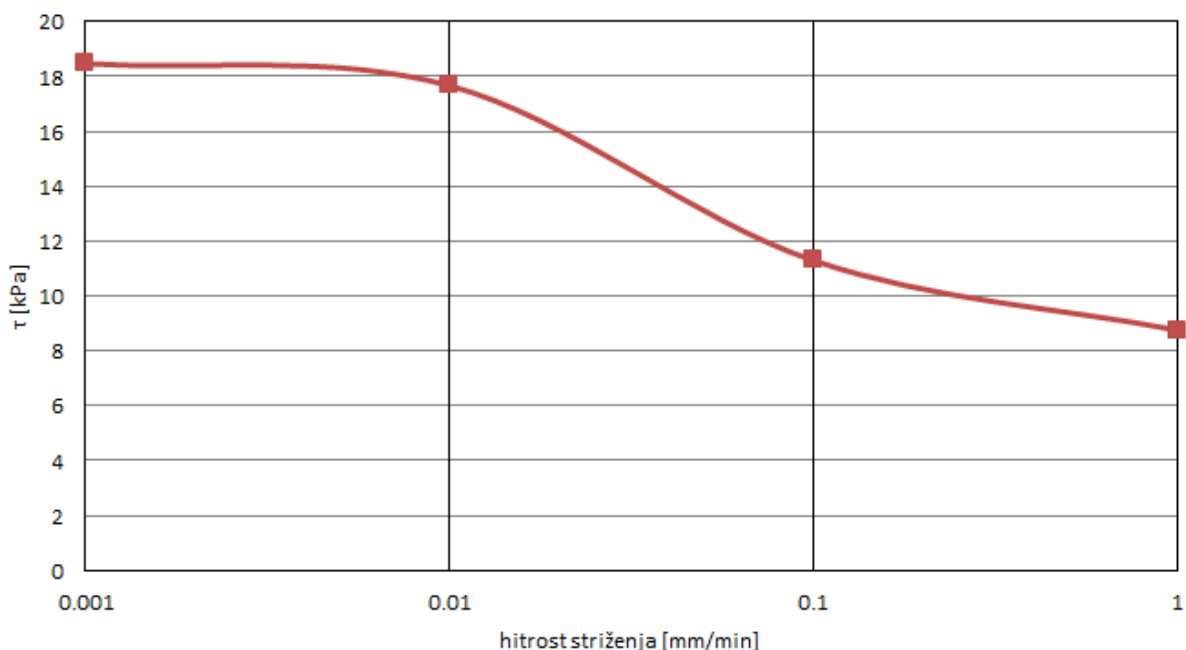


Slika 23: Horizontalni pomik pri doseženi vrhunski strižni trdnosti

6 ZAKLJUČEK

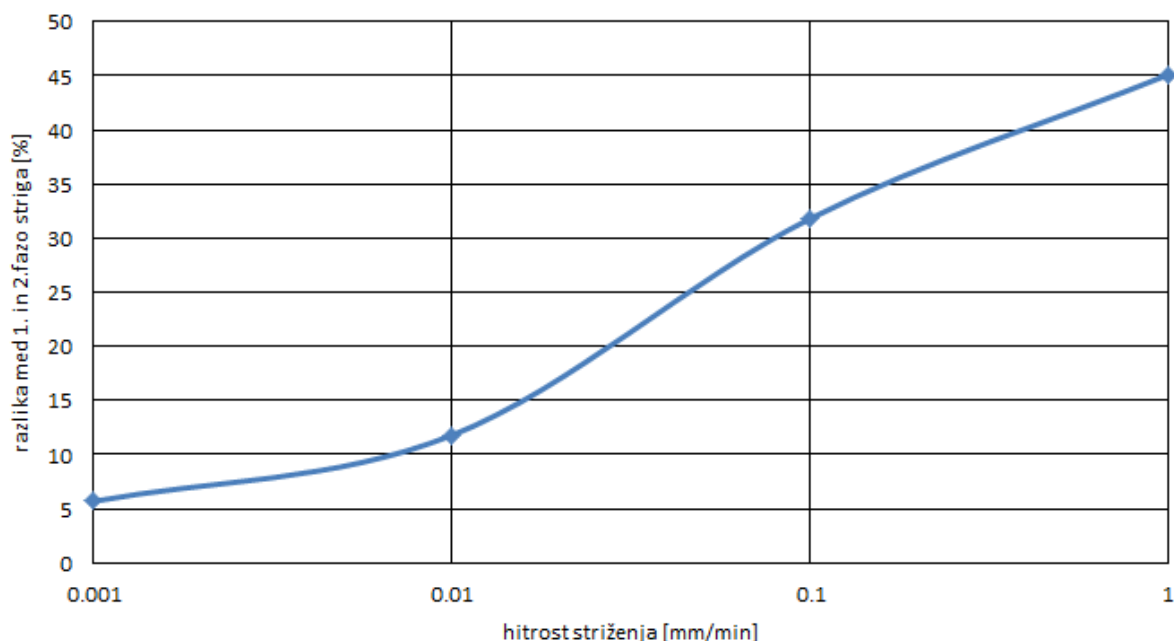
S serijo strižnih raziskav smo ugotavljali, kako pogoji izvajanja raziskave vplivajo na rezultate določanja strižne trdnosti. Ugotovili smo, da z naraščanjem hitrosti striženja izmerjene strižne karakteristike upadajo. Pri hitrostih striženja 0.01 mm/min in 0.001 mm/min ni bilo ugotovljenih velikih razlik, nasprotno pa so velike razlike nastopile v primerjavi s hitrostmi 0.1 mm/min in 1 mm/min.

Na sliki 24 je prikazano zmanjševanje strižne napetosti pri porušitvi z večanjem hitrosti striženja, pri efektivni normalni napetosti 25 kPa. Vidimo, da pri hitrostih 0.001 mm/min in 0.01 mm/min ni velikih razlik. Pri hitrostih 0.1 mm/min in 1 mm/min pa strižna napetost vidno upade. Ker mora biti hitrost striženja dovolj majhna, da se ne tvorijo presežni porni tlaki, lahko sklepamo, da so se pri večjih hitrostih striženja tvorili presežni porni tlaki, ki so posledično zmanjšali strižni odpor.



Slika 24: Strižna napetost v odvisnosti od hitrosti striženja ob porušitvi pri normalni napetosti 25 kPa

Pri strižnih preiskavah s prekinitvijo smo ugotovili, da se vrhunska strižna trdnost v 2.fazi striženja poveča. Na sliki 26 je prikazano, kako hitrost striženja vpliva na večanje razlike v strižni trdnosti med fazama 1 in 2, pri normalni efektivni napetosti 25 kPa. Povečanje je zelo majhno pri hitrosti striženja 0.001 mm/min in se povečuje z večanjem hitrosti striženja. Vrednosti strižne trdnosti izmerjene v 2.fazi striženja so primerljive z rezultati dobljenimi pri preiskavi izvedeni pri dovolj majhni hitrosti striženja.



Slika 25: Razlika med 1. in 2.fazo strižne preiskave s prekinitvijo glede na hitrost striženja

Glede na to lahko sklepamo, da se presežni porni tlaki, ki se ustvarijo zaradi prevelike hitrosti striženja, po mirovanju zmanjšajo in s tem se strižna trdnost poveča. Presežni porni tlaki se v času mirovanja zmanjšajo, ker se preizkušanci med mirovanjem dobro zdrenirajo. Verjetno je, da k dodatnemu dreniranju prispeva tudi ustvarjena drsna ploskev.

S strižno preiskavo na prekonsolidiranem materialu smo ugotovili, da se strižna trdnost prekonsolidiranega materiala poveča, glede na normalno konsolidiran material. Z medsebojno primerjavo razmerja med strižno in efektivno normalno napetostjo ugotovimo, da je bila največja strižna trdnost dosežena pri največji stopnji prekonsolidacije (250/50 kPa) in da se z manjšo stopnjo prekonsolidacije zmanjša. Ugotovili smo tudi, da pri prekonsolidiranem materialu dosežemo vrhunsko strižno napetost pri manjšem horizontalnem pomiku, kot pa pri normalno konsolidiranem materialu. Horizontalni pomik, pri katerem je dosežena vrhunsko strižna napetost, je s stopnjo prekonsolidacije upadal, nato pa se je pri največji stopnji prekonsolidacije povečal, kar pa je lahko tudi posledica anomalije pri preiskavi.

»Ta stran je namenoma prazna.«

VIRI

- [1] Mehanika tal, laboratorijske vaje - lastnosti zemljin. 5.vaja: Strižna trdnost zemljin. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Katedra za mehaniko tal z laboratorijem. Str.1-3
<http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/VKI-UNI/MT/Vaje%20in%20priloge/5%20laboratorijska%20%20vaja.pdf> (Pridobljeno 21.7.2015)
- [2] Das, B. M. 2006. Principles of Geotechnical Engineering – Fifth edition. Canada: Nelson. Str.311, 315-320
<http://www.engineersdaily.com/2014/01/principles-of-geotechnical-engineering.html>
(Pridobljeno 17.8.20015)
- [3] Mehanika tal, predavanja: Preiskave trdnosti zemljin. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Katedra za mehaniko tal z laboratorijem.
<http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/Gradiva%20za%20vec%20predmetov/MT%20-%20TLA%C8NE%20in%20DIREKTNE%20STRI%8ENE%20PREISKAVE.pdf>
(Pridobljeno 21.7.2015)
- [4] Nonveiller, E. 1989. Mehanika tla i temeljenje građevina – 3. izdanje. Zagreb: Školska knjiga. Str.238
- [5] Golčman Ribič, S. 2012. Vpliv volumske deformacije pri različnih napetostnih stanjih na strižno trdnost kemične sadre. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Str.9, 10, 9-11, 62
- [6] Maksimović, M. M. 2008. Mehanika tla - četrto izdanje. Beograd, AGM knjiga. Str. 121
- [7] Tiwari, B. 2008. Measurement of shear strenght parameter of soil with shear test. Str.1
http://faculty.fullerton.edu/btiwari/geotech_Lab/mainpage_files/other/Direct%20Shear.pdf (Pridobljeno 30.7.2015)

- [8] SIST-TS CEN ISO/TS 17892-10:2004. Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Laboratorijsko preskušanje zemljin – 10.del: Neposredni strižni preizkus (ISO/TS 17892-10:2004). Str.7
- [9] Gratchev B., I., Sassa, K. 2015. Shear Strenght of Clay at Different Shear Rates. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 141(5)
[doi: 10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001297](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001297)
- [10] Dagarin, P. 2014. Raba stranskih produktov izgorevanja premoga za zasipe kanalov in geosond. Diplomaska naloga. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Str.8
http://drugg.fgg.uni-lj.si/5021/1/BOG079_Dagarin.pdf (Pridobljeno 21.7.2015)
- [11] Vithana, S. B., Nakamura, S., Kimura, S., Gibo, S. 2012. Effects of overconsolidation ratios on the shear strength of remoulded slip surfacesoils in ring shear. Engineering Geology 131-132, 29-36
[doi:10.1016/j.enggeo.2012.01.015](https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.01.015)

Ostali viri

Standardi

SIST-TS CEN ISO/TS 17892-4:2004. Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Laboratorijsko preskušanje zemljin – 4.del: Ugotavljanje zrnastostne sestave (ISO/TS 17892-4:2004)

SIST-TS CEN ISO/TS 17892-3:2004. Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Laboratorijsko preskušanje zemljin – 3.del: Ugotavljanje gostote zrn – Metoda s piknometrom (ISO/TS 17892-3:2004)

SIST-TS CEN ISO/TS 17892-1:2004. Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Laboratorijsko preskušanje zemljin – 1.del: Ugotavljanje vlažnosti (ISO/TS 17892-1:2004)

SIST-TS CEN ISO/TS 17892-12:2004. Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Laboratorijsko preskušanje zemljin – 12.del: Ugotavljanje Atterbergovih meja plastičnosti (ISO/TS 17892-12:2004)