Međulaboratorijsko usporedbeno ispitivanje indeksnih pokazatelja bentonitnih glina

Demoli, Dino

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:212160

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-27**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb

SVEUĻILIĠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOĠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij rudarstva

MEĐULABORATORIJSKO USPOREDBENO ISPITIVANJE INDEKSNIH POKAZATELJA BENTONITNIH GLINA

Diplomski rad

Dino Demoli

R 146

Zagreb, 2017.

Sveuļiliġte u Zagrebu Diplomski rad

Rudarsko-geoloġko-naftni fakultet

MEđULABORATORIJSKO USPOREDBENO ISPITIVANJE INDEKSNIH POKAZATELJA BENTONITNIH GLINA

DINO DEMOLI

Diplomski rad izraĽen: Sveuļiliġte u Zagrebu
Rudarsko-geoloġko naftnom fakultetu
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Saġetak

U ovome radu opisana je provedba meĽulaboratorijska ispitivanja te su usporedno prikazani rezultati ispitivanja indeksnih pokazatelja na uzorcima bentonitne gline sukladno zahtjevima norma u akreditiranom laboratoriju tvrtke Geokon-Zagreb d.d. i laboratoriju Rudarsko-geoloġko naftnog fakulteta u Zagrebu. Rezultati ispitivanja dobivena u ova dva laboratorija meĽusobno su usporeĽeni te analizirani i usporeĽeni s preporuļenim vrijednostima glinene komponente za ugradnju u glinene geosintetiļke barijere. Ispitivanja su provedena na tri vrste bentonitne gline. Dvije bentonitne gline su bile u formi granula dok je jedna bila u formi praha. Rezultati meĽulaboratorijskih ispitivanja pokazali su veliku bliskost dobivenih rezultata meĽulaboratorijske poredbe, dok usporeĽujuĺi rezultate s preporuļenim vrijednostima glinene komponente za ugradnju u glinene geosintetiļke barijere neġto ispod ili na granici danih vrijednosti.

Kljuļne rijeļi: meĽulaboratorijska ispitivanja, indeksni pokazatelji, bentonitna glina, glinene geosintetiļke barijere

Diplomski rad sadrġi: 41 stranica, 21 slika, 10 tablica, 15 referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjiġnica Rudarsko-geoloġko-naftnog fakulteta

Pierottijeva 6, Zagreb.

Voditelj: Dr. sc. Dubravko DomitroviĺĹ, docent RGNF
PomoĺĹ pri izradi: Dr. Sc. Helena Vuļenoviĺ, asistentica

Ocjenjivaļi: Dr. sc. Dubravko DomitroviĺĹ, docent RGNF
Dr. sc. Biljana KovaļeviĺĹ ZeliĺĹ, red. prof. RGNF
Dr. sc. Ćelimir VeinoviĺĹ. docent RGNF

Datum obrane: 17. veljaļe 2017.

University of Zagrebu
Faculty of Mining,Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

INTERLABORATORY COMPARATIVE TESTS OF INDEX INDICATORS FOR BENTONITE CLAY

DINO DEMOLI

Thesis completed at: University of Zagrebu
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Institute of Mining and Geotehnical
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

This paper contains description of the interlaboratory research and the index properties test results of bentonite clay samples gathered in accordance with the requirements of the accredited laboratory of Geokon-Zagreb d.d., and the laboratory of the Faculty of Mining, Geology, and Petroleum Engineering in Zagreb. The results of the research accumulated by the two laboratories mentioned above have been compared, analyzed, and then related to the recommended values for the mineral component of clay geosynthetic barriers. Tests were conducted on three types of bentonite clay. Two types of bentonite clay were in granular form and one was in the powdered form. Test results obtained by two laboratories show a strong closeness between the results of the interlaboratory comparison. However, comparing the results with the recommended values of the clay geosynthetic barriers are somewhat under the limit or at the given value.

Keywords: interlaboratory comparison, index properties, bentonite clay, Clay Geosyntetic Barrier

Thesis contains: 41 pages, 21 figures, 10 tables, 15 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Libery of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb.

Supervisor: PhD Dubravko Domitrović, Assistent Professor
Technical support and assistance: PhD. Helena Vuļenović, Assistant

Reviewers: PhD Dubravko Domitrović, Assistent Professor
PhD Biljana Kovaļević Zelić, Associate Professor
PhD Çelimir Veinović. Assistent Professor

Date of defense: February 17, 2017.

SADRŽAJ

POPIS SLIKA II
POPIS TABLICA III
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SI JEDINICE IV
1 UVOD 1
2 MEĐULABORATORIJSKA ISPITIVANJA 3
3 BENTONITNA GLINA 6
3.1. Općenito o bentonitnim glinama 6
3.2 Geosintetičke glinene barijere (GCL) 8
4. Fizikalna svojstva bentonitne gline 11
4.1 Granulometrijski sastav tla 11
4.2 Gustoća čvrstih čestica 15
5 INDEKSNI POKAZATELJI BENTONITNE GLINE 17
5.1. Granice plastičnosti 17
5.3 Indeks slobodnog bubrenja 24
5.4 Indeks gubitka fluida 27
6 ANALIZA REZULTATA LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA 30
6.1. Fizikalna svojstva 30
6.2 Analiza indeksnih pokazatelja 31
7 ZAKLJUČAK 38
8 LITERATURA 40

POPIS SLIKA

Slika 2-1 Grafiļki prikaz preciznosti i odstupanja mjeranja 4
Slika 3-1. Troslojna graĽa smektita (DomitroviĺÍ 2012) 6
Slika 3-2 Primjer ugradnje GCL-a u pokrovni zaģtitni sustav odlagaliģta otpada (Von Maubeuge 2002) 8
Slika 3-3 Naļini spajanja GCL-a (DomitroviĺÍ 2012) 9
Slika 4-1 Ispitni uzorci 11
Slika 4-2 Granulometrijska krivulja za uzorak 16-002-001 12
Slika 4-3 Granulometrijska krivulja za uzorak 16-003-001 13
Slika 4-4 Granulotrijska krivulja za uzorak 13-001-025 14
Slika 4-5 Pjeģčana kupelj za provoĽenje ispitivanja 15
Slika 5-1 Casagrandeov ureĽaj 18
Slika 5-2 Mjerenje sposobnosti upijanja u laboratoriju RGN fakulteta 20
Slika 5-3 Mjerenje sposobnosti upijanja u laboratoriju Geokon-Zagreb 21
Slika 5-4 Indeks slobodnog bubrenja 24
Slika 5-5 UreĽaj za ispitivanje gubitka fluida (Geomehaniļki laboratorij RGNF) 28
Slika 5-6 UreĽaj za ispitivanje gubitka fluida (Geomehaniļki laboratorij Geokon-Zagreb) 28
Slika 6-1 Prikaz rezultata Attebergovih granica na dijagramu plastiļnosti 32
Slika 6-2 Rezultati sposobnosti upijanja za uzorak 16-002-001 33
Slika 6-3 Rezultati sposobnosti upijanja za uzorak 16-003-001 34
Slika 6-4 Rezultati sposobnosti upijanja za uzorak 13-001-025 34
Slika 6-5 Rezultata sposobnosti bubrenja 36
Slika 6-6 Indeks gubitka fluida 37

POPIS TABLICA

Tablica 2-1 Plan provedbe ispitivanja.....5
Tablica 3-1 Preporuļene vrijednosti bentonitne komponente.....7
Tablica 4-1 Rezultati sijanja za uzorak 16-002-001.....12
Tablica 4-2 Rezultati sijanja za uzorak 16-003-001.....13
Tablica 4-3 Rezultati sijanja za uzorak 13-001-025.....14
Tablica 4-4 Rezultati ispitivanja gustoĺe ļvrstih ļestica.....16
Tablica 5-1 Rezultati ispitivanja granica plastiļnosti.....19
Tablica 5-2 Sposobnost upijanja vode (Geomehaniļki laboratorij RGNF).....22
Tablica 5-4 Rezultati ispitivanja indeksa slobodnog bubrenja (Geomehaniļki laboratorij RGNF).....25
Tablica 5-5 Rezultati ispitivanja indeksa slobodnog bubrenja (Geomehaniļki laboratorij Geokon-Zagreb).....26

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SI JEDINICE

Oznaka	Jedinica	Opis
k	m/s	- hidrauliļka propusnot
c_u	-	- koeficijent zakrivljenosti
c_e	-	- koeficijent jednoliļnosti
w_p	%	- granica plastiļnosti
w_l	%	- granica teļenja
I_p	-	- indeks plastiļnosti
ρ_s	Mg/m^3	- gustoĺa ļvrstih ļestica
m_s	g	- masa suhog uzorka
$m_{pw,t}$	g	- masa piknometra s vodom

1 UVOD

Niska cijena, jednostavna i brzina ugradnje, vrlo niska hidrauliļna provodljivost samo su neki od razloga sve veĺe uporabe glinenih geosintetiļkih barijera (eng. Clay Geosyntetic Barriers, skraĺeno GBR-C ili Geosyntetic Clay Liner, skraĺeno GCL) u raznim podruļjima graditeljstva i zaģtite okoliģa odnosno gdje postoji potreba za brtvenim sustavima. Ova umjetno proizvedena hidrauliļna barijera sastoji se od sloja bentonitne gline koja se uglavnom nalazi izmeĽu dva sloja geotekstila. U veĺini sluļajeva geotekstil je nosiva komponenta, dok je bentonitna glina brtvena, nepropusna barijera.

Glavni mehanizam koji osigurava nisku hidrauliļnu provodljivost bentonitne gline je svojstvo bubrenja. Bentonitne gline spadaju u skupinu bubrivih tala, gdje su glavni sastojci minerali glina smektitne skupine pri ļemu se dominantno pojavljuje mineral montmorillionit.

Kako je riječ o proizvodu koji ima ulogu kontrole procjeĽivanja tekuĺina i plinova u sklopu razliļitih objekata neophodno je dobro poznavati njegova svojstva te je potrebno provoditi detaljne analize kako cjelovitog proizvoda tako i brtvene komponente zasebno. Primjerice, procjedne tekuĺine iz odlagališta otpada su vrlo toksiļne i po okoliģ ļesto iznimno opasne. Obzirom na mjesto primjene, glinena geosintetiļka komponenta mora zadovoljili unaprijed propisane kriterije za ugradnju. Osiguranje kvalitete glinene geosintetiļke barijere provodi se propisanim laboratorijskim postupcima. Kontrola kvalitete provodi se tijekom same proizvodnje (MQC ï Manufacturing Quality Control) sukladno zahtjevima norme ASTM D 5889 kao i tijekom ugradnje (CQA ï Construction Quality Control) sukladno zahtjevima norme ASTM D 6495. Navedeni sustav propisuje vrste ispitivanja i njihov minimalni broj u odnosu na koliļinu proizvoda. Ovisno o vrsti objekta, mjestu ugradnje, vrsti glinene geosintetiļke barijere planirani sustav nadzora i kontrole kvalitete moģe biti zasebno definiran.

U radu su prikazani rezultati ispitivanja metoda koje se ujedno koriste prilikom kontrole kvalitete GCL-a. Ispitivanja su provedena paralelno u Geomehaniļkom laboratoriju tvrtke Geokon-Zagreb i Geomehaniļkom laboratoriju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta. Rezultati ispitivanja dobivena u ova dva laboratorija meĽusobno su usporeĽeni te analizirani i usporeĽeni s rezultatima drugih studija.

Ispitivanja su provedena na tri vrste bentonitne gline. Dvije bentonitne gline su bile u formi granula dok je jedna bila u formi praha.

2 MEĐULABORATORIJSKA ISPITIVANJA

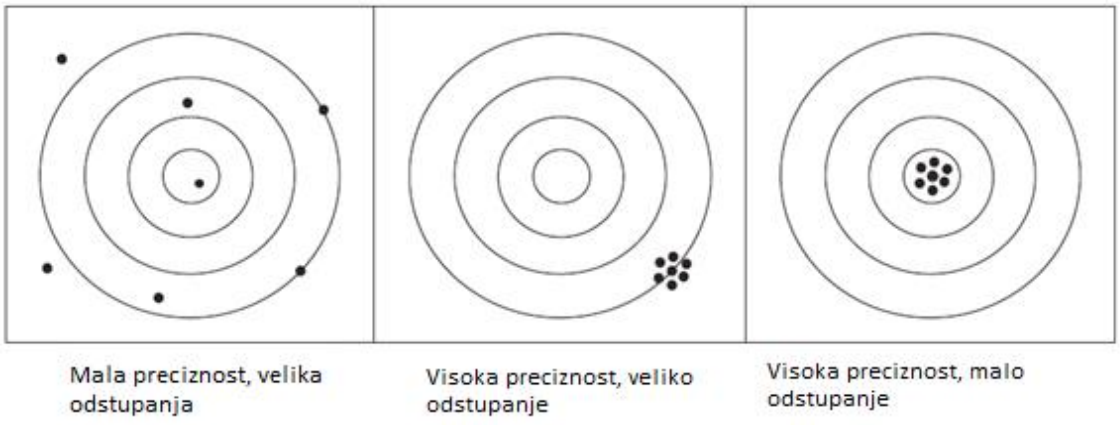
MeĽulaboratorijska ispitivanja su laboratorijska ispitivanja koja se provode na istim uzorcima u razliį itim laboratorijima. Usporedba ovako dobivenih rezultata provodi se kako bi se postigli sljedeĺ i ciljevi:

- Validacija ispitnih postupaka i odreĽivanje nesigurnosti rezultata. UtvrĽivanje karakteristike uzorka namijenjenog kao referenti materijal.
- Procjena pouzdanosti rezultata ispitivanja onih laboratorija koji sudjeluju u meĽulaboratorijskim ispitivanjima.

Organizacija meĽulaboratorijskih ispitivanja provodi se ovisno o ģeljenim ciljevima. Zahtjevi su propisani meĽunarodnim standardima (ISO 5725-2, ISO Guide 35, ISO 13528). Svi rezultati su povjerljivi, tako da niti jedan laboratorij ne bi smio imati rezultate drugih. Na temelju individualno dobivenih rezultata laboratoriji odluį uju o moguĺ im popravnim radnjama kako bi se unaprijedili postupci ispitivanja. (www.compalab.org).

Ispitivanje koje je provedeno na istim uzorcima pri istim okolnostima, ne mora nuģno dati iste rezultate. Mnogo razliį itih faktora, izuzevģi sluį ajne varijance navodno identiį nog uzorka, utjeį u na rezultate ispitivanja, ukljuį ujuĺ i: osoba koja provodi ispitivanje, koriģtena oprema, kalibracija opreme te laboratorijski uvjeti (temperatura, vlaģnost zraka, kakvoĺ a zraka itd.). Varijabilnost izmeĽu rezultata dobivenih od strane razliį itih osoba koja provode ispitivanje i razliį ite opreme obiį no Í e biti veĺ a nego kada ista osoba provodi ispitivanje koristeĺ i istu opremu.

Opći izraz za izražavanje bliskosti dobivenih rezultata ističnoj vrijednosti ili referentnoj vrijednosti je točnosti. ASTM kvantifikaciju uspješnosti neke metode ispitivanja prikazuje pomoću dvije veličine: preciznost i odstupanje, odnosno te su dvije veličine obvezni dio svake ASTM ispitne metode. Odstupanje kvantificira razliku između izmjerene veličine i stvarne vrijednosti, dok je preciznost raspršenosti mjerenja oko prosječne vrijednosti (slika 2-1).



Slika 2-1 Grafički prikaz preciznosti i odstupanja mjeranja

Standardna metoda za određivanje kvalitete ispitivanja prema američkim standardima propisana je normom ASTM E691 *Standard Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method.* Norma definira minimalne zahtjeve koje je potrebno provesti da bi rezultati dobiveni međulaboratorijskim ispitivanjem bili valjani. Primjerice, kao minimalni broj nezavisnih laboratorija koji moraju sudjelovati navodi se broj šest, te svaki ispitni uzorak treba imati po tri mjerenja. Također, ispitni uzorak treba biti homogeniziran i ispitan prije distribucije ostalim laboratorijima (Germaine i Germaine 2009).

U ovom radu su prikazana je usporedba rezultata ispitivanja bentonitne gline provedenih različitim ispitnim metodama i uzorcima, te je plan ispitivanja prikazan u tablici 2-1. Korišteni su rezultati ispitivanja dva laboratorija, što nije u skladu s normom ASTM E691. Međutim, ovako provedena usporedna ispitivanja poslužit će za procjenu pouzdanosti rezultata ispitivanja ova dva laboratorija, pogotovo uzimajući u obzir da je bentonitna glina,

nestandardan i izuzetno zahtjevan materijal za ispitivanje u geomehaničkom laboratoriju (Domitrović i dr. 2012; Kovačević Zelić i dr. 2007).

Tablica 2-1 Plan provedbe ispitivanja

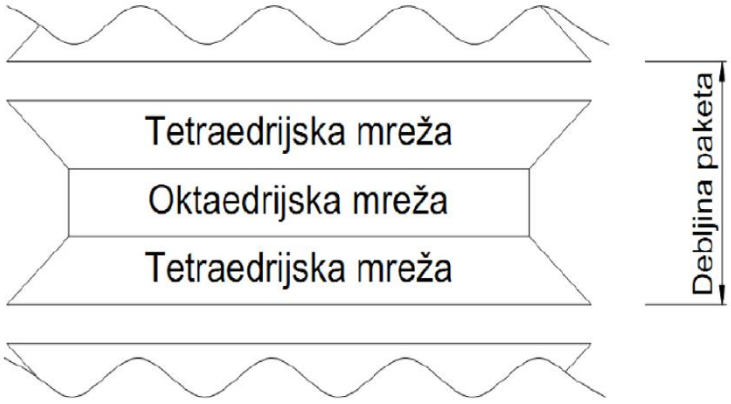
Uzorak		16-002-001		16-003-001		13-001-025	
Laboratorij		**RGNF**	**GZ**	**RGNF**	**GZ**	**RGNF**	**GZ**
Vrsta ispitivanja	Granulometrijski sastav tla	Da	Ne	Da	Ne	Da	Ne
	Gustoća čvrstih čestica	Ne	Da	Ne	Da	Ne	Da
	Atterbergove granice plastičnosti	Da	Ne	Da	Ne	Da	Ne
	Sposobnost upijanja vode	Da	Da	Da	Da	Da	Da
	Indeks slobodnog bubrenja	Da	Da	Da	Da	Da	Da
	Indeks gubitka fluida	Da	Da	Da	Da	Da	Da

3 BENTONITNA GLINA

3.1. Općenito o bentonitnim glinama

Bentonitna glina ļesto se susreĆe pod nazivom bentonit ģto je industrijski pojam. Sastoji se pretežno od minerala montmorillonita. Naziv bentonit dobio je ime po utvrdi Fort Benton u saveznoj drģavi Wyoming, gdje je prvi put i pronaĽen. Nastaje alteracijom piroklastiļnih stijena. Transformacija iz vulkanskog pepela u bentonit odvija se uglavnom u morskoj i slatkoj vodi. Ako se proces nastajanja bentonita odvijao u slanoj vodi, nastaju natrijski bentoniti, a ako se proces odvijao u slatkoj kalcijski bentoniti.

Mineral montmorillonit spada u smektitnu grupu, te ļini uglavnom od 60 do 90% njenog sastava. Montomorillonit kristalizira u monoklinskom sustavu, te u troslojnom paketu (slika 3-1.) dio silicija iz SiO_4-tetraedara ļesto je zamijenjen aluminijem, a dio aluminija iz oktaedarskog sloja zamijenjen je Mg^{2+}, Fe^{3+} itd. (Vrkljan 2011). Osim montmorillonita, u znaļajnoj koliļini zastupljeni su plagioklasi, ilit, zeolit, a kao akcesorni minerali sluģe kvarc, tinjci i klorit. Bentonitna glina se prema dominantnom kemijskom sastavu dijeli u dvije skupine: natrijsku i kalcijsku bentonitnu glinu.



Slika 3-1. Troslojna graĽa smektita (DomitroviĆ 2012)

Bentonitne gline danas imaju ģiroku primjenu. Kako se radi o prirodnom materijalu, neģkodljivom za okoliģ u posljednjih se nekoliko desetljeĆa uļestalije primjenjuju u sve veĆim koliļinama. U primjeni se posebno istiļu natrijske bentonitne gline zbog velike

sposobnosti bubrenja. U kontaktu s vodom pa ļak i uslijed poveĺane vlaġnosti zraka, natrijske bentonitne gline bubre i do 15 puta u odnosu na dehidratizirano stanje. Bubrenjem se popunjavaju pore osiguravajuĺi time vrlo malu hidrauliļku i plinsku provodljivost odnosno omoguĺavajuĺi primjenu bentonitne gline kao brtvene barijere u razliļitim inġenjerskim zahvatima. Zbog navedenih svojstava, bentonitne gline se kao brtvena komponenta upotrebljavaju i u glinenim geosintetiļkim barijerama (DomitroviĺÓ 2012).

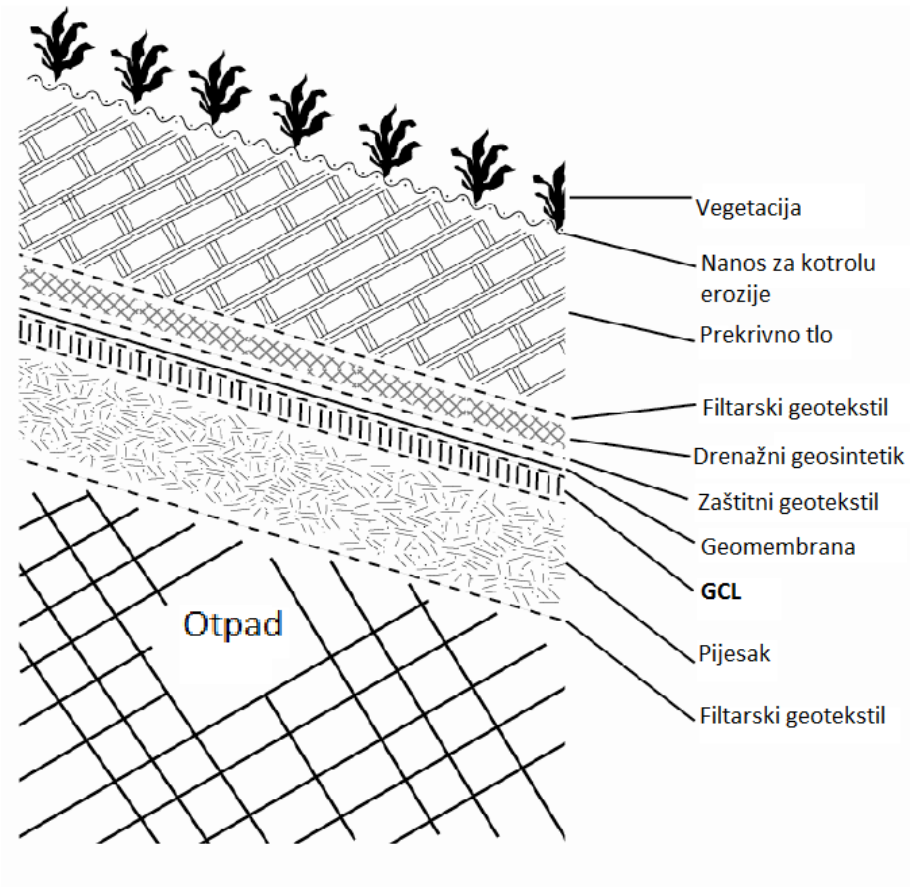
U ovom diplomskom radu, osim provjere pouzdanosti i bliskosti rezultata dvaju laboratorija takoĽer je ispitano zadovoljavaju li uzorci preporuļene vrijednosti za ugradnju materijala u geosintetiļku glinenu barijeru: Pri tome su korigġtene preporuļene vrijednosti prema DGGT (2002) i von Maubeuge (2002) koje su prikazane u tablici 3-1.

Tablica 3-1 Preporuļene vrijednosti bentonitne komponente

Vrsta ispitivanja	**Norma**	**Preporučene vrijednosti**	
		DGGT 2002	von Maugeuge 2002
Indeks slobodnog bubrenja	ASTM D 5890	>20 ml	>24 ml
Indeks gubitka fluida	ASTM D5891	< 18 ml	< 18 ml
Sposobnost upijanja vode	DIN 18132	Ó450%	Ó600%
Propusnost	ASTM D 5084	Ò10^{-9} m/s	Ò10^{-9} m/s

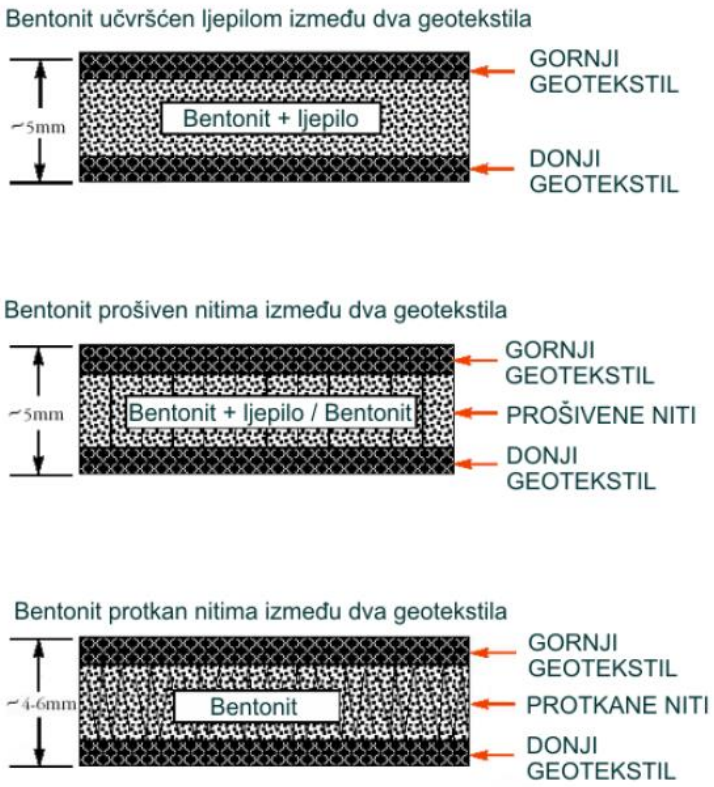
3.2 Geosintetičke glinene barijere (GCL)

Zadnjih desetljeća, projektanti u geotehnici i zaštiti okoliša pokazuju sve veći interes za korištenjem glinenih geosintetičkih barijera kao alternativa zbijenim glinama, bilo da je riječ o cestogradnji, područjima geotehnike i hidrotehnike, odlagalištima komunalnog otpada itd. Razlog sve veće uporabe geosintetičkih glinenih barijera je u njenoj jako niskoj hidrauličnoj propusnosti ($k<10^{-10}$ m/s) i niskoj cijeni (Bouazza 2002). Kako bi se zaštitio okoliš (tlo, voda, zrak) od opasnih tvari prisutnih u odlagalištu, ona se danas grade po suvremenim principima koja između ostalog uključuju izgradnju pokrovnog i temeljnog zaštitnog sustava odlagališta otpada (slika 3-2). Njihova je svrha sprječavanje dotoka oborinskih i površinskih voda u odlagalište, te otjecanja procjedne tekućine koja u sebi sadrži toksične tvari u temeljno tlo i okoliš (Strgar i dr. 2010).



Slika 3-1 Primjer ugradnje GCL-a u pokrovni zaštitni sustav odlagališta otpada (Von Maubeuge 2002)

Geosintetiļka glinena barijera se sastoji od tankog sloja natrijske ili kalcijske bentonitne gline te slojeva geotekstila odnosno geomembrane. Bentonitna glina ima ulogu nepropusne barijere, dok su slojevi geotekstila nosiva komponenta. Slojevi geotekstila su ļesto povezani protkanim tekstilnim nitima ili mogu biti proġiveni pomoĺu neprekinutih tekstilnih niti rasporeĽenih u paralelne redove (tzv. armirane glinene geosintetiļke barijere). Upotrebljavaju se joġ i nearmirane geosintetiļke glinene barijere gdje je bentonitna glina pomijeġana s ljepilom topivim u vodi te ugraĽena izmeĽu dva sloja geotekstila, ali je njegova upotreba ograniļena na ravne terene i kosine malog nagiba (Bouazza 2002). Na slici 3-3 prikazan je naļin spajanja GCL-a. Kako bi se poboljġala brtvena svojstva glinenih geosintetiļkih barijera ļesto im se dodaje i geomembrana.



Slika 2-3 Naļini spajanja GCL-a (DomitroviĹ 2012)

Zbog brzog razvoja tehnologije i fleksibilnosti proizvodnje, postoje razliļite vrste glinenih geosintetiļkih barijera, odnosno glinene geosintetiļke barijere s razliļitim svojstvima ovisno o mjestu upotrebe. Primarne razlike izmeĽu pojedinih glinenih

geosintetiļkih barijera su u sastavu bentonitne gline (kalcijska ili natrijska) zatim, formi bentonitne gline (prah u odnosu na granule), naļinu vezanja geoteksitla (tkani ili netkani) te postupci spajanja GCL-a (Bouazza 2002).

4. Fizikalna svojstva bentonitne gline

Detaljan plan istraģivanja prikazan je u tablici 2-1. Istraģivanja su provedena na tri različ ite bentonitne gline (laboratorijske oznake uzoraka: 16-002-001, 16-003-001 i 13-001-025). Pri tome je uzorak laboratorijske oznake 16-003-001 bio u obliku sitnijih granula odnosno praha dok su uzorci 13-001-025 i 16-002-001 bili u obliku krupnijih granula (slika 4-1). Ispitivanja fizikalnih svojstava bentonitne gline provedena su s ciljem karakterizacije uzoraka bentonitne gline te nisu paralelno provedena u oba laboratorija. Od fizikalnih svojstava bentonite gline utvrĽen je granulometrijski sastav granula u Geomehaničkom laboratoriju RGN fakulteta, te gustoća čvrstih čestica odreĽena u Geomehaničkom laboratoriju tvrtke Geokon-Zagreb.

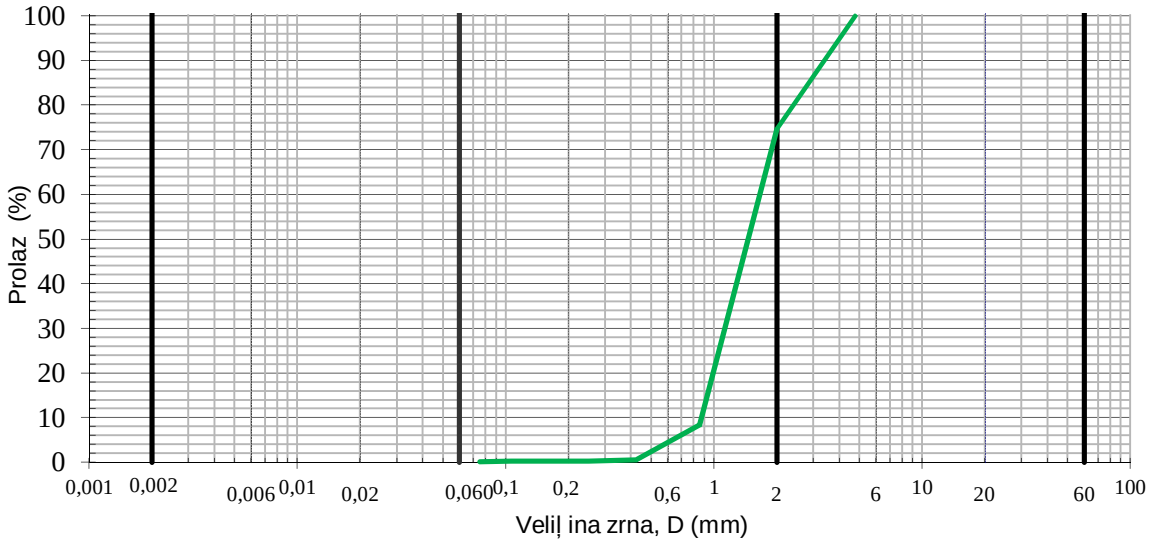
Slika 3-1 Ispitni uzorci

4.1 Granulometrijski sastav tla

Ispitivanje granulometrijskog sastava granula bentonitne gline provedeno je sijanjem. Ispitivanje je provedeno sukladno normi CEN ISO/TS 17892. Prvo su odvojeni reprezentativni uzorci te su osušeni tokom 48 sati na temperaturi od 60°C. Nakon toga izvagane su mase suhih uzoraka koje su zatim prosijane kroz sita definirana navedenom normom. Kao rezultat dobivena je odgovarajuća granulometrijska krivulja, te na temelju nje izračunat koeficijent zakrivljenosti c_c i koeficijent jednoličnosti c_u. Tablice 4-1, 4-2, 4-3 prikazuju rezultate sijanja, dok slike 4-2, 4-3, 4-4 prikazuju granulometrijske krivulje.

Tablica 4-1 Rezultati sijanja za uzorak 16-002-001

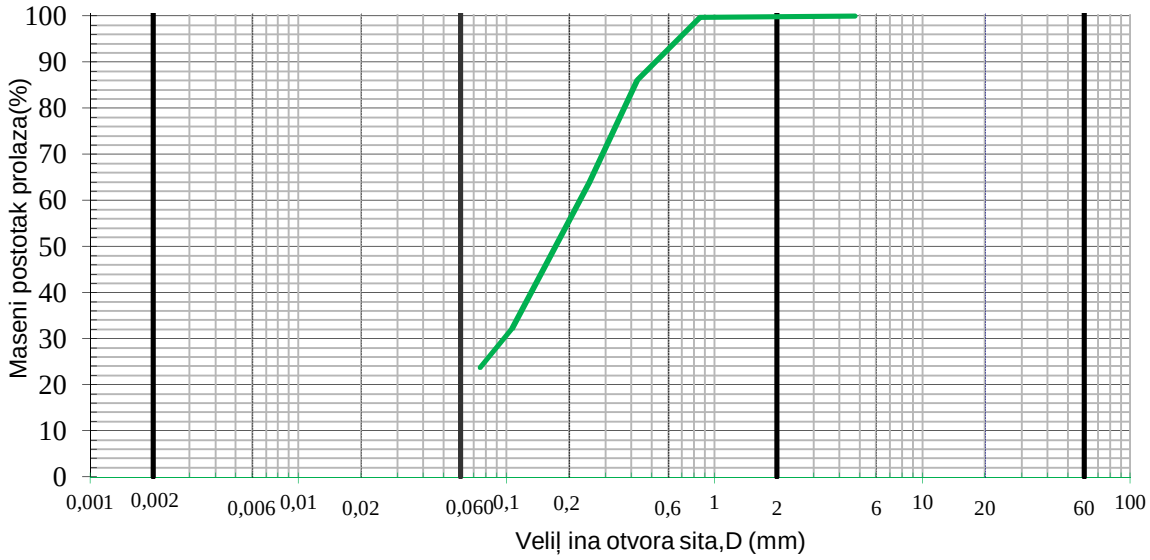
Uzorak	**16-002-001**		
Masa suhog tla za sijanje (g)	107,09		
Otvor sita (mm)	Masa uzorka na situ (mm)	Postotak ostatka na situ (%)	Kumulativni postotak prolaza (%)
4,75	0,00	0,00	100,00
2,0	26,96	25,18	74,82
0,850	71,24	66,52	8,30
0,425	8,32	7,77	0,53
0,250	0,22	0,21	0,33
0,106	0,05	0,05	0,28
0,075	0,06	0,06	0,22
Dno	0,24	0,22	0,00



Slika 4-2 Granulometrijska krivulja za uzorak 16-002-001

Tablica 4-2 Rezultati sijanja za uzorak 16-003-001

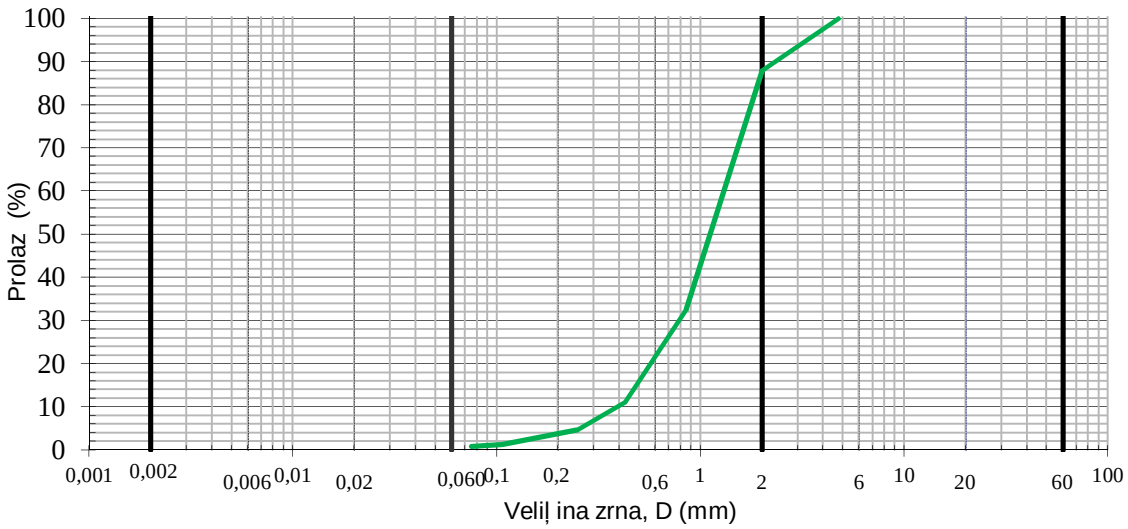
Uzorak	**16-003-001**		
Masa suhog tla za sijanje (g)	199,54		
Otvor sita (mm)	Masa uzorka na situ (mm)	Postotak ostatka na situ (%)	Kumulativni postotak prolaza (%)
4,75	0,00	0,00	100,00
2,0	0,05	0,04	99,96
0,850	0,18	0,15	99,81
0,425	16,62	13,67	86,14
0,250	26,95	22,17	63,97
0,106	38,71	31,84	32,13
0,075	10,06	8,28	23,85
Dno	29,00	23,85	0,00



Slika 4-3 Granulometrijska krivulja za uzorak 16-003-001

Tablica 4-3 Rezultati sijanja za uzorak 13-001-025

Uzorak	**13-001-025**		
Masa suhog tla za sijanje (g)	137,18		
Otvor sita (mm)	Masa uzorka na situ (mm)	Postotak ostatka na situ (%)	Kumulativni postotak prolaza (%)
4,75	0,00	0,00	100,00
2,0	16,62	12,12	87,88
0,850	75,95	55,37	32,52
0,425	29,30	21,36	11,16
0,250	8,84	6,44	4,72
0,106	4,65	3,39	1,33
0,075	0,56	0,41	0,92
Dno	1,26	0,92	0,00



Slika 4-4 Granulotrijska krivulja za uzorak 13-001-025

4.2 Gustoća čvrstih čestica

Ispitivanje gustoće čvrstih čestica tla provedeno je u Geomehaničkom laboratoriju tvrtke Geokon - Zagreb. Postupak ispitivanje je proveden sukladno normi ASTM D854 na sva tri uzorka, po dvije probe. Koristila se metoda grijanja uzorka (eng. *heating method*) u pješčanoj kupelji na piknometrima obujma 250 ml (slika 4-5).

Slika 4-5 Pješčana kupelj za provođenje ispitivanja

Prije početka ispitivanja uzorci su osušeni na 60°C tijekom 48 sati. Iako je normom preporučena masa za glinene uzorke 30±5 g, radi izrazitog svojstva bubrenja bentonitne gline uzeta je masa od 11 g koja je dodana u piknometar zajedno s demineraliziranom vodom. Postupak uklanjanja mjehurića zraka iz suspenzije trajao je 4 sata, piknometar je zatim napunjen do vrha demineraliziranom vodom te izvagan. Gustoća čvrstih čestica izračunata je prema formuli:

$$\rho_s = \frac{m_s \cdot \rho_{w,T}}{m_s + m_{pw,T} - m_{psw,T}} \qquad (4\text{-}1)$$

gdje je: m_s masa suhog uzorka (g), $\rho_{w,T}$ gustoća vode pri određenoj temperaturi (Mg/m^3), $m_{pw,T}$ masa piknometra napunjen vodom (g), $m_{psw,T}$ masa piknometra s uzorkom i vodom. Tablica 4-4 prikazuje dobivene vrijednosti ispitivanja.

Tablica 4-4 Rezultati ispitivanja gustoće čvrstih čestica

Laboratorijski broj	**16-002-001**	
Piknometar broj	Piknometar 1	Piknometar 2
Masa uzorka (g)	11	11
Masa piknometra + voda (g)	492,62	492,35
Masa piknometra + voda + uzorak (g)	499,58	499,34
Gustoća čvrstih čestica (Mg/m^3)	2,72	2,74
Prosječna gustoća čvrstih čestica tla (Mg/m^3)	**2,73**	

Laboratorijski broj	**16-003-001**	
Piknometar broj	Piknometar 1	Piknometar 2
Masa uzorka (g)	11	11
Masa piknometra + voda (g)	491,89	491,66
Masa piknometra + voda + uzorak (g)	498,91	498,35
Gustoća čvrstih čestica (Mg/m^3)	2,76	2,77
Prosječna gustoća čvrstih čestica tla (Mg/m^3)	**2,77**	

Laboratorijski broj	**13-001-025**	
Piknometar broj	Piknometar 1	Piknometar 2
Masa uzorka (g)	11	11
Masa piknometra + voda (g)	492,64	492,35
Masa piknometra + voda + uzorak (g)	499,80	499,52
Gustoća čvrstih čestica (Mg/m^3)	2,86	2,87
Prosječna gustoća čvrstih čestica tla (Mg/m^3)	**2,86**	

5 INDEKSNI POKAZATELJI BENTONITNE GLINE

Ispitivanja indeksnih pokazatelja tri uzorka bentonitne gline (16-002-001, 16-003-001 i 13-001-025) provedena su sukladno međunarodnim normama u Geomehaničkom laboratoriju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu.

5.1. Granice plastičnosti

Ispitivanje je provedeno sukladno normi ISO/TS 17892-1. Parametri dobiveni ovom vrstom ispitivanja, odnosno granice plastičnosti i granica tečenja koriste se za klasifikaciju i identifikaciju koherentnih tala. Granica tečenja se određuje pomoću uređaja s pokretnom mjedenom zdjelicom standardiziranog oblika i tzv. Casagrandeovog aparata (slika 5-1). Pomoću ekscentra na osovini, zdjelica se podiže na visinu od 1 cm s koje slobodno pada na podlogu. Na uzorku se načini standardizirani žlijeb posebnim nožem. Pokretana ručno ili automatski, zdjelica brzinom od 2 udarca u sekundi udara o podlogu, dok se žlijeb ne sastavi na duljini od 12 mm. Broj udaraca ne smije biti manji od 10, niti veći od 50. Ispitivanje se ponavlja na više uzoraka (4 do 5) istog materijala, a kojima se postepeno dodaje voda (tj. povećava se vlažnost). Za svaki se uzorak odredi vlažnost, *w*. Rezultati se unose na dijagram *w* (% - lin. mjerilo) i *N* (broj udaraca - log mjerilo), interpretira se pravac. Vlažnost koja prema tom pravcu odgovara broju od 25 udaraca je granica tečenja, w_L.

Slika 5-1 Casagrandeov ureĽaj

Za odreĽivanje granice plastiļnosti ne treba poseban aparat. Uzorak se pripremi u mekoplastiļnom stanju. Grumeni materijala se valjaju, na neupijajuĺoj podlozi (primjerice, staklenoj ploļi), u valjļiĺe promjera 3 mm. Valjļiĺi bi se, kod te debljine, trebali poļeti kidati ili pucati. Ako se to ne dogaĽa, valjļiĺi se ponovno stiģĺu u grumenļiĺe i pokus se ponavlja. Tim se postupkom uzorku pomalo oduzima voda (smanjuje vlaģnost). Valjļiĺe koji su poļeli pucati na 3 mm spremamo u zatvorenu posudu, a zatim ih vaģemo i stavljamo suģiti da odredimo vlaģnost. Tako dobijemo granicu plastiļnosti - w_p.

U tablici 5-1 prikazane su granice plastiļnosti dobivene u Geomehaniļkom laboratoriju RGN fakulteta.

Tablica 5-1 Rezultati ispitivanja granica plastiļnosti

Laboratorijski broj	**16-002-001**			
Broj uzorka	1	2	3	4
Vlaģnost uzorka (%)	343,8	357,1	361,7	391,3
Broj udaraca (N)	38	27	23	19
Granica tečenja W_L (%)	**364,5**			
Broj uzorka	1	2	3	
Vlaģnost uzorka (%)	40,4	42,1	44,7	
Granica plastičnosti W_p (%)	**42,4**			
Indeks plastičnosti I_p	**322,1**			

Laboratorijski broj	**16-003-001**			
Broj uzorka	1	2	3	4
Vlaģnost uzorka (%)	331,1	305,4	364,2	366,9
Broj udaraca (N)	38	31	23	15
Granica tečenja W_L (%)	**347,0**			
Broj uzorka	1	2	3	
Vlaģnost uzorka (%)	39,9	40,53	40,0	
Granica plastičnosti W_p (%)	**40,1**			
Indeks plastičnosti I_p	**306,9**			

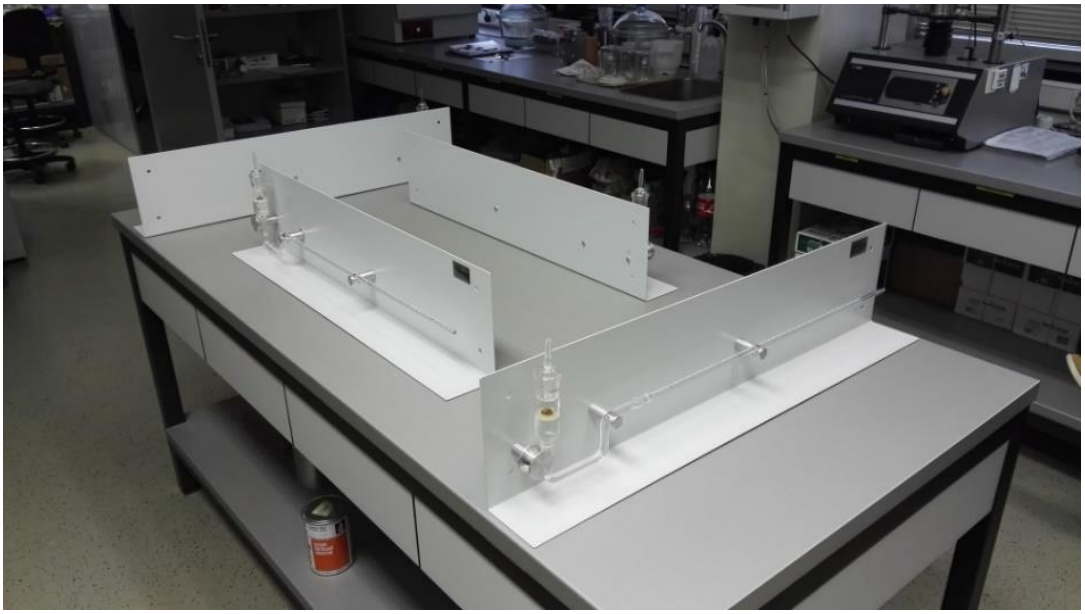
Laboratorijski broj	**13-001-025**			
Broj uzorka	1	2	3	4
Vlaģnost uzorka (%)	397,1	410,3	414,1	419,6
Broj udaraca (N)	42	30	18	13
Granica tečenja W_L (%)	**410,5**			
Broj uzorka	1	2	3	
Vlaģnost uzorka (%)	42,5	40,3	45,6	
Granica plastičnosti W_p (%)	**42,8**			
Indeks plastičnosti I_p	**367,7**			

5.2 Sposobnost upijanja vode

Laboratorijsko ispitivanje sposobnosti upijanje vode izvodi se prema normi DIN 18132. Kapacitet upijanja prvenstveno ovisi o specifiļnoj povrģini ļestica tla, sadrģaju i vrsti glinenih minerala te o njihovoj aktivnosti (von Maubeuge 2004). Postupak ispitivanje se provodi na prethodno usitnjenom uzorku bentonitne gline koji je prosijan kroz sito otvora 70 ε m te osuģenom na 60°C tijekom 48 sati.

Ispitivanje je zapoļeto tako da je 0,1 g pripremljenog uzorka usipano pomoĺu staklenog lijevka na staklenu filtar ploļicu ureĽaja. Volumen upijanja mjeren je u intervalima od 30 sekundi do 24 sata. Obzirom da dolazi i do isparavanja vode iz ureĽaja, prilikom mjerenja se koristi i referentni ureĽaj kojim se mjeri volumen isparene tekuĺine. Postotak upijene vode definiran je kao odnos mase upijene vode i mase suhog uzorka. Sposobnost upijanja vode predstavlja postotak upijene vode nakon 24 sata (1440 min). Kao ispitna tekuĺina upotrjebljena je demineralizirana voda.

Ispitivanje je provedeno na sva tri uzorka u oba laboratorija: Geomehaniļkom laboratoriju RGN fakulteta (slika 5-2) i Geomehaniļkom laboratoriju tvrtke Geokon (slika 5-3).



Slika 5-2 Mjerenje sposobnosti upijanja u laboratoriju RGN fakulteta

Slika 5-3 Mjerenje sposobnosti upijanja u laboratoriju Geokon-Zagreb

Rezultati dobiveni u Geomehaniļkom laboratoriju RGN fakulteta prikazani su u tablici (5-2), dok tablica (5-3) prikazuje rezultate dobivene u Geomehaniļkom laboratoriju Geokon-Zagreb.

Tablica 5-2 Sposobnost upijanja vode (Geomehaniļki laboratorij RGNF)

Laboratorijski broj	**13-001-025**			
Vrijeme oļitavanja (min)	Aparatura br.1 (%)	Aparatura br.2 (%)	Aparatura br.3 (%)	Referentna (%)
0,5	140	140	140	0
1	165	175	175	0
2	200	215	215	0
4	245	260	260	0
8	300	320	320	0
15	360	385	390	0
30	450	475	480	0
60	560	595	595	0
120	700	735	740	10
240	840	880	865	50
360	925	965	940	105
1440	1380	1395	1350	495
Sposobnost upijanja (%)	**439,8 %**			

Laboratorijski broj	**16-002-001**			
Vrijeme oļitavanja (min)	Aparatura br.1 (%)	Aparatura br.2 (%)	Aparatura br.3 (%)	Referentna (%)
0,5	85	95	140	0
1	110	125	175	0
2	135	156	140	0
4	172	193	173	0
8	215	242	218	0
15	268	295	271	0
30	343	375	345	0
60	440	476	441	0
120	570	615	560	10
240	730	765	730	50
360	840	880	845	105
1440	1422	1460	1402	572
Sposobnost upijanja (%)	**428 %**			

Laboratorijski broj	**16-003-001**			
Vrijeme oļitavanja (min)	Aparatura br.1 (%)	Aparatura br.2 (%)	Aparatura br.3 (%)	Referentna (%)
0,5	140	140	140	0
1	165	175	175	0
2	200	215	215	0
4	245	260	260	0
8	300	320	320	0
15	360	385	390	0
30	450	475	480	0
60	560	595	595	0
120	700	735	740	10
240	840	880	865	50
360	925	965	940	105
1440	1380	1395	1350	495
Sposobnost upijanja (%)	**448,3 %**			

Tablica 5-3 Sposobnost upijanja vode (Geomehaniļki laboratorij Geokon-Zagreb)

13-001-025			**16-002-001**			**16-003-001**		
Vrijeme oļitavanja (min)	Aparatura br.1 (%)	Referentna (%)	Vrijeme oļitavanja (min)	Aparatura br.1 (%)	Referentna (%)	Vrijeme oļitavanja (min)	Aparatura br.1 (%)	Referentna (%)
0,5	110	0	0,5	140	0	0,5	120	0
1	150	0	1	155	0	1	180	0
2	200	0	2	175	0	2	210	0
4	220	0	4	205	0	4	225	0
8	250	0	8	235	0	8	250	0
15	275	0	15	280	0	15	290	0
30	345	5	30	360	10	30	380	0
60	415	40	60	415	50	60	420	50
120	520	70	120	510	60	120	530	70
240	660	120	240	640	120	240	660	130
360	750	150	360	705	125	360	720	135
1440	1350	450	1440	1270	420	1440	1310	440
Sposobnost upijanja %)	**450 %**		**Sposobnost upijanja %)**	**425 %**		**Sposobnost upijanja (%)**	**435 %**	

5.3 Indeks slobodnog bubrenja

Indeks slobodnog bubrenja koristi se za ispitivanje svojstava glinenih materijala povezanih s njihovim brtvenim svojstvima te za kontrolu kvalitete proizvodnje glinenih geosintetiļkih barijera. OdreĽivanje indeksa slobodnog bubrenja bentonitne gline provedeno je na pripremljenom samljevenom uzorku priļemu je 100% uzorka proģlo kroz sito veliļine otvora 70 εm. Uzorak je pripremljen suģenjem na temperaturi od 60°C tijekom 48 sati. Ispitivanje je provedeno sukladno normi ASTM D 5890. Ukupna masa uzorka od 2,00 g dodaje se postupno po 0,1 g svakih 10 minuta u menzuru kapaciteta 100 ml ispunjenu demineraliziranom vodom. Nakon ģto je proģlo ukupno 18 sati od zavrģetka usipanja oļitan je volumen nabubrenog uzorka.

Na slici 5-4 prikazana je aparatura za provoĽenje ispitivanja. Ispitivanje je provedeno na sva tri uzorka, po tri zasebna mjerenja u Geomehaniļkom laboratoriju RGN fakulteta i Geomehaniļkom laboratoriju tvrtke Geokon te su rezultati prikazani u tablici 5-4.

Slika 4-4 Indeks slobodnog bubrenja

Tablica 5-4 Rezultati ispitivanja indeksa slobodnog bubrenja (Geomehaniļki laboratorij RGNF)

Geomehanički laboratorij RGN fakultet			
Laboratorijski br.		**16-002-001**	
Mjerenje	Menzura 1	Menzura 2	Menzura 3
Temperatura suspenzije (°C°)	22,6	22,6	22,7
pH suspenzije	7,0	7,0	7,0
Volumen bubrenja (mL/2g)	28	27	28
Prosječni volumen bubrenja (mL/2g)	**27,6**		
Laboratorijski br.		**16-003-001**	
Mjerenje	Menzura 1	Menzura 2	Menzura 3
Temperatura suspenzije (°C°)	23,3	23,3	23,4
pH suspenzije	7,5	7,5	7,5
Volumen bubrenja (mL/2g)	23	23	23
Prosječni volumen bubrenja (mL/2g)	**23,0**		
Laboratorijski br.		**13-001-025**	
Mjerenje	Menzura 1	Menzura 2	Menzura 3
Temperatura suspenzije (°C°)	23,0	23,0	22,9
pH suspenzije	7,5	7,5	7,5
Volumen bubrenja (mL/2g)	28	28	28
Prosječni volumen bubrenja (mL/2g)	**28,0**		

Tablica 5-5 Rezultati ispitivanja indeksa slobodnog bubrenja (Geomehaniļki laboratorij Geokon-Zagreb)

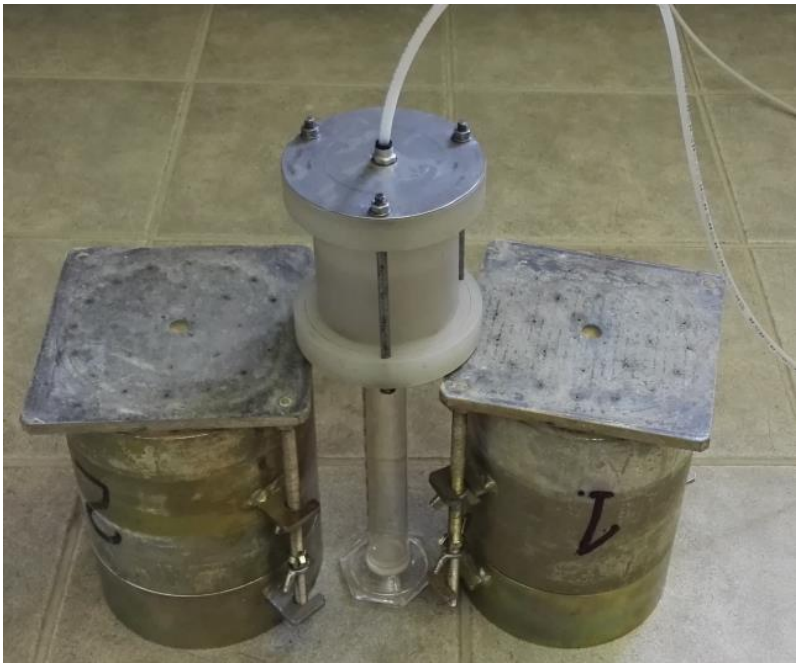
Geomehanički laboratorij Geokon-Zagreb			
Laboratorijski br.		**16-002-001**	
Mjerenje	Menzura 1	Menzura 2	Menzura 3
Temperatura suspenzije (°C°)	23,0	23,0	23,0
pH suspenzije	7,6	7,6	7,6
Volumen bubrenja (mL/2g)	28	29	28
Prosječni volumen bubrenja (mL/2g)	**28,3**		
Laboratorijski br.		**16-003-001**	
Mjerenje	Menzura 1	Menzura 2	Menzura 3
Temperatura suspenzije (°C°)	22,8	22,8	22,9
pH suspenzije	7,5	7,6	7,6
Volumen bubrenja (mL/2g)	24,5	24,5	24,3
Prosječni volumen bubrenja (mL/2g)	**24,4**		
Laboratorijski br.		**13-001-025**	
Mjerenje	Menzura 1	Menzura 2	Menzura 3
Temperatura suspenzije (°C°)	23,0	23,0	23,0
pH suspenzije	7,5	7,5	7,5
Volumen bubrenja (mL/2g)	28	28,5	28
Prosječni volumen bubrenja (mL/2g)	**28,2**		

5.4 Indeks gubitka fluida

Ispitivanje gubitka fluida se provodi prema normi ASTM D 5891 kojom se omoguć uje određivanje gubitka fluida kroz film materijala formiran na filtar papiru iz suspenzije glinovitog tla kako bi se dokazala uporabivost tog tla u svrhu smanjenja propusnosti u geotehničkim glinenim barijerama. (Kovač ević Zelić i dr. 2007).

Određivanje indeksa gubitka fluida bentonitne gline provedeno je na pripremljenom samljevenom uzorku sa 100% prolaza kroz sito veličine otvora 70 μm. Ispitivanje je provedeno sukladno normi ASTM 5891, gdje znači da je 22,5±0,01 g pripremljenog uzorka izmiješano sa 350±5 ml demineralizirane vode u menzuri kapaciteta 500 ml. Nakon 16 sati suspenzija je prelivena u cilindar s filtar papirom. Nakon uspostavljanja tlaka u cilindru od približno 700 kPa, započinje se mjeriti vrijeme i količina tekućine u menzuri. Nakon što je proteklo 7,5 minuta, prva menzura koja se nalazi ispod cilindra se zamjenjuje drugom. U drugoj menzuri sakupljana je tekućina daljnjih 22,5 minute. Volumen gubitka fluida se dobije kao dvostruka vrijednost volumena tekućine očitanog u drugoj menzuri. Na slici 5-5 i 5-6 prikazana je aparatura za ispitivanje gubitka fluida, te dobiveni rezultati u tablici 5-5.

Slika 5-5 UreĽaj za ispitivanje gubitka fluida (Geomehaniļki laboratorij RGNF)



Slika 5-6 UreĽaj za ispitivanje gubitka fluida (Geomehaniļki laboratorij Geokon-Zagreb)

Tablica 5-5 Rezultati indeksa gubitka fluida

Geomehanički laboratorij RGN fakulteta			
Laboratorijska oznaka	**16-002-001**	**16-003-001**	**13-001-025**
Volumen tekuĺine nakon 7,5 min (ml)	3	2	3,5
Volumen tekuĺine nakon 22,5min (ml)	8,5	8,0	8,5
Indeks gubitak fluida (ml)	**17**	**16**	**17**
Geomehanički laboratorij Geokon			
Laboratorijska oznaka	**16-002-001**	**16-003-001**	**13-001-025**
Volumen tekuĺine nakon 7,5 min (ml)	6	6	5
Volumen tekuĺine nakon 22,5min (ml)	8	9	8,2
Indeks gubitak fluida (ml)	**16**	**17**	**16,5**

6 ANALIZA REZULTATA LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA

6.1. Fizikalna svojstva

Granulometrijski sastav

Na temelju rezultata sijanja provedenog prema normi CEN ISO/TS 17892 moģe se zaključ iti kako je navedeno.

Uzorak broj: **16-002-001**

Uzorak sadrģi 25,2% granula odnosno zrna velič ine sitnog ģljunka, 74,6% zrna velič ine pijeska (71,1% krupnog, 3,4% srednje krupnog te 0,1% sitnog). Zrna velič ine praha i gline sadrģi 0,2 %. Prema obliku granulometrijske krivulje izrač unati su koeficijenti zakrivljenosti C_c= 0,98 i jednolič nosti C_u=1,98. Prema tome, radi se o jednoliko graduiranom materijalu gdje dominiraju zrna velič ine krupnog pijeska.

Uzorak broj: **13-001-025**

Prosijani uzorak bentonitnih granula sadrģi 12,1% zrna velič ine sitnog ģljunka, 86,9% zrna velič ine pijeska, od č ega 67,9% krupnog, 16,5% srednje krupnog te 2,6% sitnog pijesak. Prah i glina zastupljeni su s 0,9%. Koeficijent zakrivljenosti iznosi C_c=1,14 dok je koeficijent jednolič nosti C_u=3,61. Kao i kod uzoraka 16-002-001, riječ je o jednoliko graduiranom materijalu gdje dominiraju zrna velič ine krupnog pijeska.

Uzorak broj: **16-003-001**

Uzorak sadrģi neznatan udio zrna velič ine sitnog ģljunka (svega 0,4%), 76,2% š ine zrna velič ine pijeska (8,2% krupnog pijeska, 38,9% srednje krupnog te 30% sitnog pijeska). Udio zrna velič ine gline i praha iznosi 23,8%. Kao i kod predhodnih uzoraka, rieč je o jednoliko graduiranom materiju gdje prevladavaju zrna velič ine pijeska.

Gustoća čvrstih čestica

Rezultati su dobiveni ispitivanjem provedenim u Geomehaničkom laboratoriju tvrtke Geokon-Zagreb:

Uzorak: 16-002-001 ρ_s = 2,73 Mg/m^3

16-003-001 ρ_s = 2,77 Mg/m^3

13-001-025 ρ_s = 2,86 Mg/m^3

Rezultati ukazuju da se gustoća čvrstih čestica ispitivanih uzoraka u određenoj mjeri razlikuju. Uzorci 16-002-001 i 16-003-001 se razlikuju za svega 0,04 Mg/m^3. Razmatrajući rezultate od ostalih studija, primjerice za Volclay (Domitrović 2012) ρ_s = 2,70 Mg/m^3, bentonitne gline iz studije (Andali i dr. 2012) ρ_s = 2,75 Mg/m^3 dobiveni rezultati su bliski s rezultatima dobivenim na uzorcima 16-002-001 i 16-003-001.

Znatnije odstupanje vrijednosti gustoće čvrstih čestica primijećeno je na uzorku 13-025-001. Nije poznat razlog ovom odstupanju uzorka 13-001-025 međutim treba navesti da su sva tri uzorka bentonitne gline različitog porijekla. Pretpostavlja se da bi ispitivanja mineraloškog i kemijskog sastava dala detaljniju sliku o ovom uzorku.

6.2 Analiza indeksnih pokazatelja

Atterbergove granice

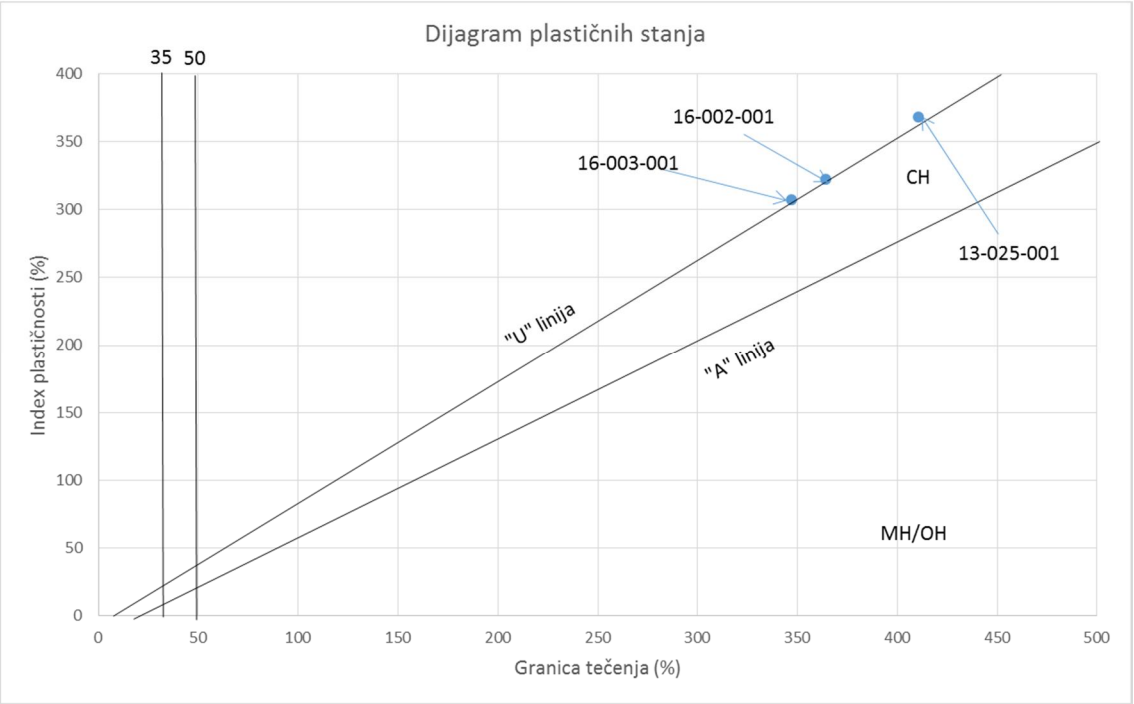
Ispitivanje je provedeno sukladno normi ISO/TS 17892 u Geomehaničkom laboratoriju RGN fakulteta. U tablici 5-1 prikazanje su vrijednosti indeksa plastičnosti i granice tečenja.

Uzorak: 16-002-001 Granica tečenja W_L=364,5 % . Indeks plastičnosti I_p=322,1 %

16-003-001 Granica tečenja W_L=347,0 % . Indeks plastičnosti I_p=306,9 %

13-001-025 Granica tečenja W_L=410,5 % . Indeks plastičnosti I_p=367,7 %

Rezultati ispitivanja prikazani su na dijagramu plastičnosti (slika 6-1).

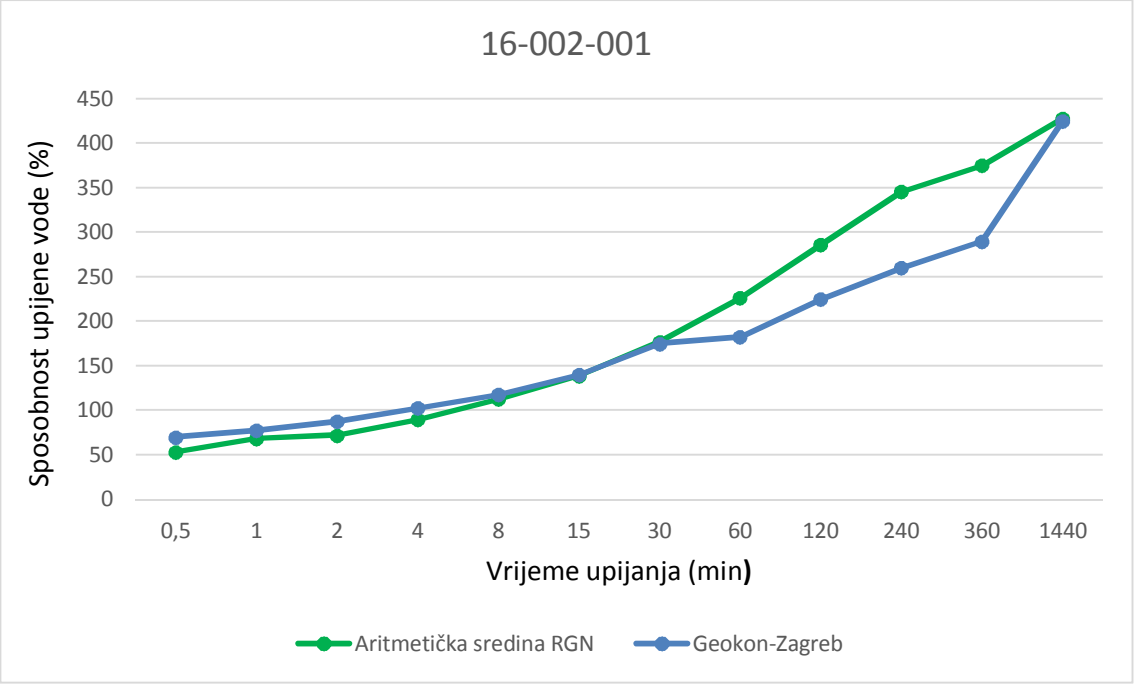


Slika 6-1 Prikaz rezultata Attebergovih granica na dijagramu plastiļ nosti

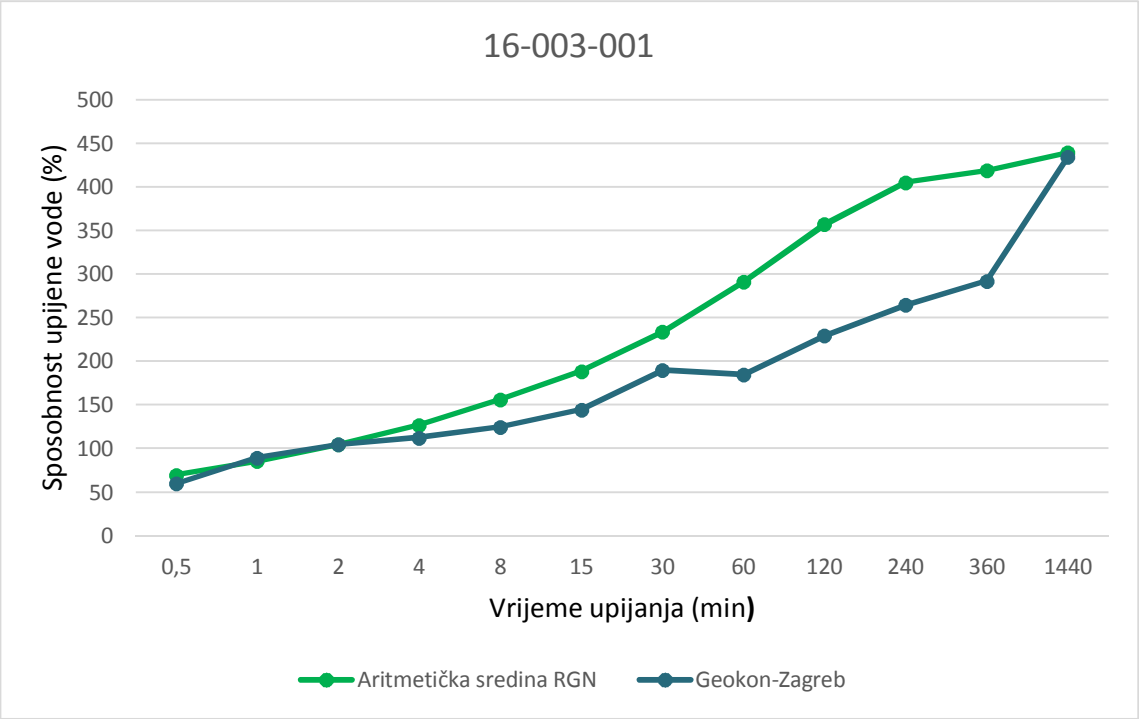
Svi ispitani uzorci se na temelju dobivenih rezultata i na temelju klasifikacijskog dijagrama klasificiraju kao bentonitna glina visoke plastiļ nosti, klasifikacijske oznake CH.

Sposobnost upijanja vode

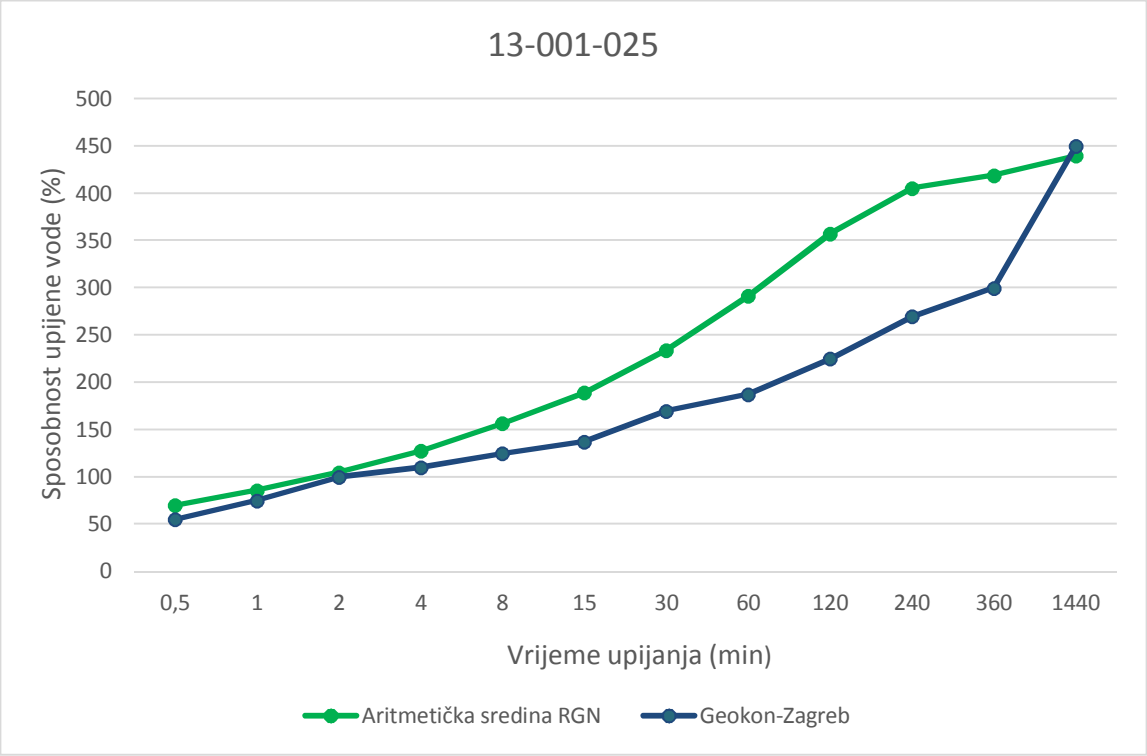
Laboratorijsko ispitivanje kapaciteta upijanje vode izvodi se prema normi DIN 18132, te je provedeno meĽulaboratorijsko usporedno ispitivanje. U laboratoriju RGN fakulteta za svaki su uzorak napravljena tri mjerenja, dok je u laboratoriju Geokon-Zagreb napravljeno jedno mjerenje radi manjka opreme. Za svaki uzorak izraļunata je srednja vrijednost upijanja te prikazana na dijagramu zajedno s rezultatom dobivenim u laboratoriju Geokon-Zagreb (slika 6-2, 6-3, 6-4).



Slika 5-2 Rezultati sposobnosti upijanja za uzorak 16-002-001



Slika 6-3 Rezultati sposobnosti upijanja za uzorak 16-003-001



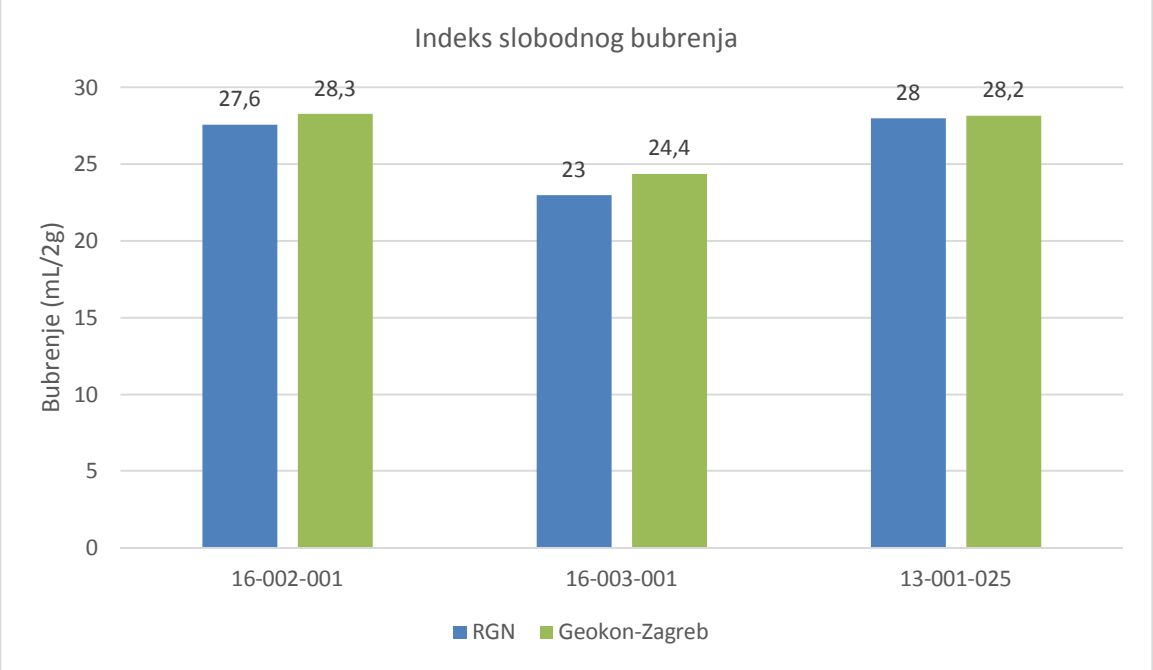
Slika 6-4 Rezultati sposobnosti upijanja za uzorak 13-001-025

UspoređujuĆi rezultate dobivene međulaboratorijskim usporednim ispitivanjima, krajnje dobivene vrijednosti su bliske. Međutim, interpretacijom krivulja dobivenih rezultata uočava se Ărazilaģenjeñ. Kod uzorka 16-002-001 ono nastaje nakon 30 minuta mjerenja upijanja, dok za uzorke 16-003-001 i 13-001-025 već nakon 4 minute.

Prema minimalnoj dopuģtenoj vrijednosti za ugradnju bentonitne gline u geosintetičke glinene barijere koja iznosi 450% prema DGGT-u te stroģem kriteriju danom od von Maubeuge s iznosom od 600% , jedino se rezultat uzoraka 13-001-025 (450%) dobiven u Geokon-Zagreb nalazi na granici.

Indeks slobodnog bubrenja

Ispitivanje slobodnog bubrenja provodi se prema normi ASTM D 5890, te je provedeno međulaboratorijsko ispitivanje na sva tri zadana uzorka. Dobiveni rezultati prikazani su na slici 6-5.



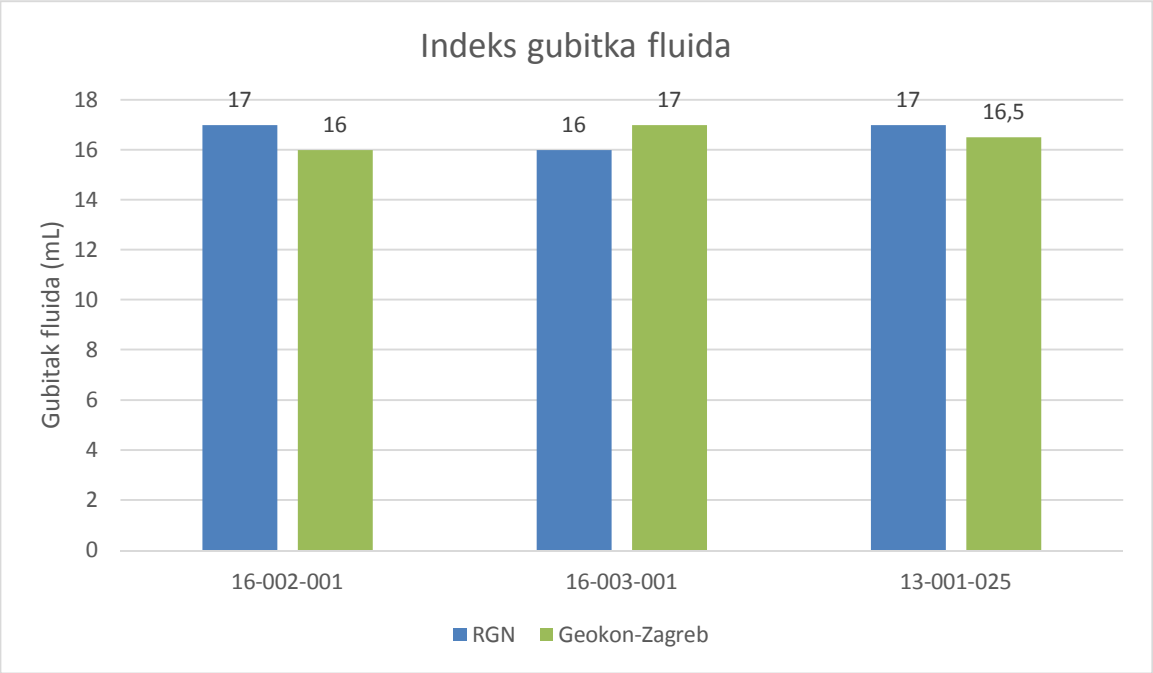
Slika 6-5 Rezultata sposobnosti bubrenja

Analizirajući dobivene rezultate indeksa slobodnog bubrenja međulaboratorijskim ispitivanjem uočava se bliskost dobivenih vrijednosti kod uzorka 16-002-001 i 13-001-25 dok je razlika kod uzorka 16-003-001 nešto iznad 5%.

Uspoređujući dobivene rezultate s rezultatima drugih studija, primjerice Volclay bentonitne (Domitrović 2012) gdje je dobivena vrijednost slobodnog bubrenja 31,0 mL/2g, te gline korištene u ispitivanju pogodnosti za ugradnju u geosintetičke glinene barijere (Strgar i dr 2010) s vrijednošću od 30,0 mL/2, rezultati poprimaju manje vrijednosti, osobito uzorak 16-003-001 koji je na granici mogućnosti uporabe za glinene geosintetičke barijere od 24 mL (von Maubeuge 2002). Preostala dva uzorka imaju znatno više vrijednosti od potrebnih (tablica 3-1).

Indeks gubitka fluida

Ispitivanje indeksa gubitka fluida se provodi prema normi ASTM D 5891, te je provedeno meĽulaboratorijsko usporedno ispitivanje za sva tri ispitna uzorka. Dobiveni rezultati prikazani su na slici 6-6.



Slika 6-6 Indeks gubitka fluida

Iz slike 6-6 primjeĺuje se bliskost rezultata dobiveni u geomehaniļkom laboratoriju RGN fakulteta i laboratorija Geokon-Zagreb. Dobiveni rezultati zadovoljavaju preporuļene vrijednosti dane u tablici 3-1 (<18ml).

7 ZAKLJUČAK

U ovome radu prikazana su istraživanja provedena na tri različita uzorka bentonitne gline. Dva uzorka su bila u formi granula dok je jedan bio u formi sitnih granula odnosno praha. Rezultati istraživanja poslužili su u dvije svrhe: provjera točnosti, odnosno preciznosti rezultata provedenim međulaboratorijskim ispitivanjem te usporedba dobivenih rezultata s preporučenim vrijednostima za ugradnju materijala u geosintetičku glinenu barijeru prema DGGT (2002) i von Maubeuge (2002) koje su dane u tablici 3-1.

U prvom koraku pristupilo se karakterizaciji uzoraka bentonitne gline. Ova ispitivanja nisu paralelno provedena u oba laboratorija. U svrhu karakterizacije uzoraka bentonitne gline provedena su ispitivanja fizikalnih svojstava bentonite gline (granulometrijski sastav granula utvrđen je u Geomehaničkom laboratoriju RGN fakulteta, te gustoća čvrstih čestica u Geomehaničkom laboratoriju tvrtke Geokon-Zagreb) i granica plastičnosti (granica tečenja i indeks plastičnosti utvrđeni su u Geomehaničkom laboratoriju RGN fakulteta).

Na temelju granulometrijske analize svi su uzorci klasificirani kao jednoliko graduirane granule veličine zrna pijeska. Valja napomenuti da se radi o uzorcima izrazito velike plastičnosti (granica tečenja uzoraka se kreće od 364,5 % do 410,5% a indeks plstičnosti od 306,9% do 367,7%) te s izraženim svojstvom bubrenja, te je kao takav vrlo „nezahvalan“ materijal nad kojim se provodi ispitivanje. Gustoća čvrstih čestica uzoraka bentonitne gline 16-002-001 i 16-003-001 iznosila je 2,73 i 2,77 g/cm^3 i ove vrijednosti se mogu smatrati bliskima prijašnjim studijama provedenim na različitim vrstama bentonitnih glina. Neštо veća vrijednost gustoće čvrstih čestica dobivena je za uzorak 13-001-025 (2,86 g/cm^3). Pretpostavlja se da bi ispitivanja mineraloškog i kemijskog sastava dala detaljniju sliku o ovom uzorku.

U drugom koraku provedena su međulaboratorijska ispitivanja indeksnih pokazatelja bentonitne gline (sposobnost upijanja vode, indeks slobodnog bubrenja i indeks gubitka fluida). Navedene metode se koriste prilikom kontrole kvalitete GCL-a. Ispitivanja su provedena paralelno u Geomehaničkom laboratoriju tvrtke Geokon-Zagreb i Geomehaničkom laboratoriju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta.

Dobiveni rezultati međulaboratorijskog ispitivanja, koje je rađeno sukladno zahtjevima norme ASTM E691 (osoba koja provodi ispitivanje, korištena oprema, kalibracija opreme

te laboratorijski uvjeti: temperatura, vlaġnost zraka, kakvoĺa zraka itd.) su veoma bliski te nema veĺeg odstupanja (>5%) vrijednosti.

UsporeĽujuĺi dobivene rezultate s preporuļenim vrijednostima za ugradnju materijala u geosintetiļku glinenu barijeru danu u tablici 3-1, granice za indeks slobodnog bubrenja te indeksa gubitka fluida zadovoljavaju svi ispitni uzorci, dok za ispitivanje sposobnosti upijanja vode jedino uzorak 13-001-025 zadovoljava niġu granicu od 450%.

8 LITERATURA

Andal, M., Chandrasekhar, M., Viswanadh, K. (2012.): Hydraulic conductivity of gcl with bentonite ï silica fume matrix, Journal of Urban and Environmental Engineering, volume 2, Pages 109-112

Bouazza, A. (2002): Geosynthetic Clay Liners, Geotextiles and Geomembranes 20, Elsevier Science, Pages 3-17

Germaine, T.D, Germaine, V. (2009.): Geotechnical Laboratory Measurements for Engineers, by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Pages 7-11

Strgar H., Kovaļeviĺ Zeliĺ, B., Mileusniĺ, M. (2010.): Laboratory testing of bentonite for liner applications, University of Zagreb, Faculty of mining, geology and petroleum engineering

Von Maubeuge P., Coulson P., Hedrich F. (2002.): Landfill cap design with geosynthetic clay liners

Vrkljan, M. (2011.): Opĺa mineralogija i petrologija, Rudarsko-geologko-naftni fakultet, Zagreb, stranica 46-47

Domitroviĺ, D. (2012.): Utjecaj bubrenja bentonitne gline na njezina mehaniļka svojstva, Doktorska disertacija, RGN-fakultet, Zagreb

Domitroviĺ, D., Vuļenoviĺ, H., Kovaļeviĺ Zeliĺ, B. (2012.): Ispitivanje svojstava bentonita kao inģenjerske barijere u odlagaliġtima radioaktivnog otpada. Rudarsko-geologki-naftni zbornik, volumen 24, str. 19-27.

Kovaļeviĺ Zeliĺ, B., Domitroviĺ, D. i Veinoviĺ, Ç. (2007.): Laboratorijska ispitivanja bentonitnih glina za potrebe projektiranja i izgradnje odlagaliġta. Rudarsko-geologki-naftni zbornik, volumen 19, str. 99-110.

ASTM D 854: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.

ASTM D 5890: Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners.

ASTM D 5891: Standard Test Method for Fluid Loss of Clay Component of Geosynthetic Clay Liners.

ASTM E691: Standard Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method.

ISO/TS 17892-4:2004 describes methods for the determination of the particle size distribution of soil samples.

DIN 18132: Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte - Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens.

What is CompaLab doing: http://www.compalab.org/pages/what-is-compalab/what-is-compalab.html (22.9.2016.)