

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: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij rudarstva

**MEĐULABORATORIJSKO USPOREDBENO ISPITIVANJE INDEKSNIH
POKAZATELJA BENTONITNIH GLINA**

Diplomski rad

Dino Demoli

R 146

Zagreb, 2017.

Sveučilište u Zagrebu

Diplomski rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

MEĐULABORATORIJSKO USPOREDBENO ISPITIVANJE INDEKSNIH
POKAZATELJA BENTONITNIH GLINA

DINO DEMOLI

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko naftnom fakultetu
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

U ovom radu opisana je provedba međulaboratorijska 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-geološko naftnog fakulteta u Zagrebu. Rezultati ispitivanja dobivena u ova dva laboratorija međusobno su uspoređeni te analizirani i uspoređeni s preporučenim vrijednostima glinene komponente za ugradnju u glinene geosintetičke 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 međulaboratorijskih ispitivanja pokazali su veliku bliskost dobivenih rezultata međulaboratorijske poredbe, dok uspoređujući rezultate s preporučenim vrijednostima glinene komponente za ugradnju u glinene geosintetičke barijere nešto ispod ili na granici danih vrijednosti.

Ključne riječi: međulaboratorijska ispitivanja, indeksni pokazatelji, bentonitna glina, glinene geosintetičke barijere

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

Jezik izvornika: Hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb.

Voditelj: Dr. sc. Dubravko Domitrović, docent RGNF
Pomoć pri izradi: Dr. Sc. Helena Vučenović, asistentica

Ocjenjivali: Dr. sc. Dubravko Domitrović, docent RGNF
Dr. sc. Biljana Kovačević Zelić, red. prof. RGNF
Dr. sc. Ćelimir Veinović, docent RGNF

Datum obrane: 17. veljače 2017.

INTERLABORATORY COMPARATIVE TESTS OF INDEX INDICATORS FOR
BENTONITE CLAY

DINO DEMOLI

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Institute of Mining and Geotechnical
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 Geosynthetic 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, Assistant Professor
Technical support and assistance: PhD. Helena Vučković, Assistant

Reviewers: PhD Dubravko Domitrović, Assistant Professor
PhD Biljana Kovačević Zelić, Associate Professor
PhD Ćelimir Veinović, Assistant 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 i vrstih ljestica.....	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 Grafič ki prikaz preciznosti i odstupanja mjerenja	4
Slika 3-1. Troslojna građa smektita (Domitrović 2012)	6
Slika 3-2 Primjer ugradnje GCL-a u pokrovni zaštitni sustav odlagališta otpada (Von Maubeuge 2002)	8
Slika 3-3 Načini spajanja GCL-a (Domitrović 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 Granulometrijska krivulja za uzorak 13-001-025	14
Slika 4-5 Pješčana kupelj za provođenje ispitivanja	15
Slika 5-1 Casagrandeov uređaj	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 Uređaj za ispitivanje gubitka fluida (Geomehanički laboratorij RGNF)	28
Slika 5-6 Uređaj za ispitivanje gubitka fluida (Geomehanički laboratorij Geokon-Zagreb)	28
Slika 6-1 Prikaz rezultata Atterbergovih granica na dijagramu plastičnosti	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 Rezultati sposobnosti bubrenja	36
Slika 6-6 Indeks gubitka fluida	37

POPIS TABLICA

Tablica 2-1 Plan provedbe ispitivanja.....	5
Tablica 3-1 Preporučene 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 gustoće i vrstih i estica	16
Tablica 5-1 Rezultati ispitivanja granica plastičnosti	19
Tablica 5-2 Sposobnost upijanja vode (Geomehanički laboratorij RGNF)	22
Tablica 5-4 Rezultati ispitivanja indeksa slobodnog bubrenja (Geomehanički laboratorij RGNF).....	25
Tablica 5-5 Rezultati ispitivanja indeksa slobodnog bubrenja (Geomehanički laboratorij Geokon-Zagreb).....	26

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SI JEDINICE

Oznaka	Jedinica	Opis
k	m/s	- hidraulička propusnost
c_u	-	- koeficijent zakrivljenosti
c_e	-	- koeficijent jednoličnosti
w_p	%	- granica plastičnosti
w_l	%	- granica tečenja
I_p	-	- indeks plastičnosti
	Mg/m ³	- gustoća i vrstičestica
m_s	g	- masa suhog uzorka
$m_{pw,t}$	g	- masa piknometra s vodom

1 UVOD

Niska cijena, jednostavna i brzina ugradnje, vrlo niska hidraulična provodljivost samo su neki od razloga sve veće uporabe glinenih geosintetičkih barijera (eng. Clay Geosynthetic Barriers, skraćeno GBR-C ili Geosynthetic Clay Liner, skraćeno GCL) u raznim područjima graditeljstva i zaštite okoliša odnosno gdje postoji potreba za brtvenim sustavima. Ova umjetno proizvedena hidraulična barijera sastoji se od sloja bentonitne gline koja se uglavnom nalazi između dva sloja geotekstila. U većini slučajeva geotekstil je nosiva komponenta, dok je bentonitna glina brtvena, nepropusna barijera.

Glavni mehanizam koji osigurava nisku hidrauličnu provodljivost bentonitne gline je svojstvo bubrenja. Bentonitne gline spadaju u skupinu bubrežnih tala, gdje su glavni sastojci minerali glina smektitne skupine pri čemu se dominantno pojavljuje mineral montmorillonit.

Kako je riječ o proizvodu koji ima ulogu kontrole procjeđivanja tekućina i plinova u sklopu različitih objekata neophodno je dobro poznavati njegova svojstva te je potrebno provoditi detaljne analize kako cjelovitog proizvoda tako i brtvene komponente zasebno. Primjerice, procjedne tekućine iz odlagališta otpada su vrlo toksične i po okolišu esto iznimno opasne. Obzirom na mjesto primjene, glinena geosintetička komponenta mora zadovoljiti unaprijed propisane kriterije za ugradnju. Osiguranje kvalitete glinene geosintetičke barijere provodi se propisanim laboratorijskim postupcima. Kontrola kvalitete provodi se tijekom same proizvodnje (MQC ili Manufacturing Quality Control) sukladno zahtjevima norme ASTM D 5889 kao i tijekom ugradnje (CQA ili Construction Quality Control) sukladno zahtjevima norme ASTM D 6495. Navedeni sustav propisuje vrste ispitivanja i njihov minimalni broj u odnosu na količinu proizvoda. Ovisno o vrsti objekta, mjestu ugradnje, vrsti glinene geosintetičke barijere planirani sustav nadzora i kontrole kvalitete može biti zasebno definiran.

U radu su prikazani rezultati ispitivanja metoda koje se ujedno koriste prilikom kontrole kvalitete GCL-a. Ispitivanja su provedena paralelno u Geomehaničkom laboratoriju tvrtke Geokon-Zagreb i Geomehaničkom laboratoriju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta. Rezultati ispitivanja dobivena u ova dva laboratorija međusobno su uspoređeni te analizirani i uspoređeni 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

Međulaboratorijska ispitivanja su laboratorijska ispitivanja koja se provode na istim uzorcima u različitim laboratorijima. Usporedba ovako dobivenih rezultata provodi se kako bi se postigli sljedeći ciljevi:

- Validacija ispitnih postupaka i određivanje nesigurnosti rezultata. Utvrđivanje karakteristike uzorka namijenjenog kao referenti materijal.
- Procjena pouzdanosti rezultata ispitivanja onih laboratorija koji sudjeluju u međulaboratorijskim ispitivanjima.

Organizacija međulaboratorijskih ispitivanja provodi se ovisno o željenim ciljevima. Zahtjevi su propisani međunarodnim 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 odlučuju o mogućim popravnim radnjama kako bi se unaprijedili postupci ispitivanja. (www.compalab.org).

Ispitivanje koje je provedeno na istim uzorcima pri istim okolnostima, ne mora nužno dati iste rezultate. Mnogo različitih faktora, izuzevši slučajne varijance navodno identičnog uzorka, utječu na rezultate ispitivanja, uključujući: osoba koja provodi ispitivanje, korigirana oprema, kalibracija opreme te laboratorijski uvjeti (temperatura, vlažnost zraka, kakvoća zraka itd.). Varijabilnost između rezultata dobivenih od strane različitih osoba koja provode ispitivanje i različitih opreme obično će biti veća nego kada ista osoba provodi ispitivanje koristeći istu opremu.

Opći izraz za izražavanje bliskosti dobivenih rezultata stvarnoj vrijednosti ili referentnoj vrijednosti je točnost. 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 mjerenja

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 i vrstih i estica	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 jest se susreće pod nazivom bentonit što je industrijski pojam. Sastoji se pretežno od minerala montmorillonita. Naziv bentonit dobio je ime po utvrđi Fort Benton u saveznoj državi Wyoming, gdje je prvi put i pronađen. Nastaje alteracijom piroklastičnih 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 čini uglavnom od 60 do 90% njenog sastava. Montmorillonit kristalizira u monoklinskom sustavu, te u troslojnom paketu (slika 3-1.) dio silicija iz SiO_4 -tetraedara jesto je zamijenjen aluminijem, a dio aluminija iz oktaedarskog sloja zamijenjen je Mg^{2+} , Fe^{3+} itd. (Vrkljan 2011). Osim montmorillonita, u značajnoj količini zastupljeni su plagioklasi, ilit, zeolit, a kao akcesorni minerali služe kvarc, tinjci i klorit. Bentonitna glina se prema dominantnom kemijskom sastavu dijeli u dvije skupine: natrijsku i kalcijsku bentonitnu glinu.



Slika 3-1. Troslojna građa smektita (Domitrović 2012)

Bentonitne gline danas imaju široku primjenu. Kako se radi o prirodnom materijalu, neškodljivom za okoliš u posljednjih se nekoliko desetljeća uvelike primjenjuju u sve većim količinama. U primjeni se posebno ističu natrijske bentonitne gline zbog velike

sposobnosti bubrenja. U kontaktu s vodom pa lak i uslijed povećane vlažnosti zraka, natrijske bentonitne gline bubre i do 15 puta u odnosu na dehidratizirano stanje. Bubrenjem se popunjavaju pore osiguravajući time vrlo malu hidrauličku i plinsku provodljivost odnosno omogućavajući primjenu bentonitne gline kao brtvene barijere u različitim inženjerskim zahvatima. Zbog navedenih svojstava, bentonitne gline se kao brtvena komponenta upotrebljavaju i u glinenim geosintetičkim barijerama (Domitrović 2012).

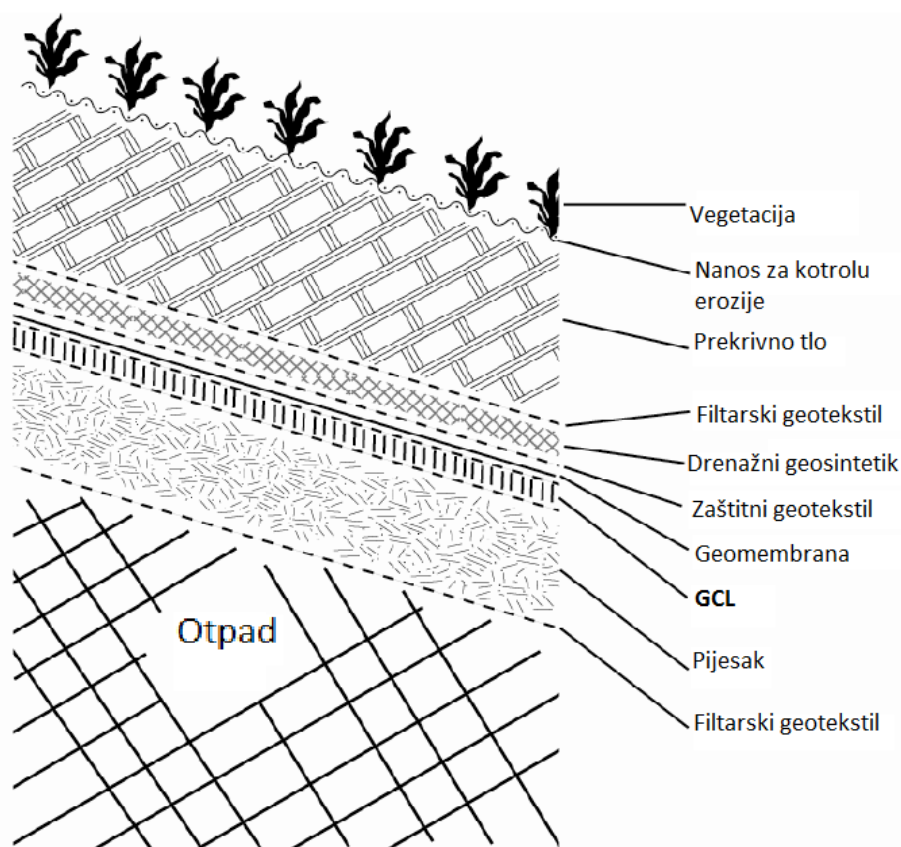
U ovom diplomskom radu, osim provjere pouzdanosti i bliskosti rezultata dvaju laboratorija također je ispitano zadovoljavaju li uzorci preporučene vrijednosti za ugradnju materijala u geosintetičku glinenu barijeru: Pri tome su korištene preporučene vrijednosti prema DGGT (2002) i von Maubeuge (2002)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

Tablica 3-1 Preporučene vrijednosti bentonitne komponente

Vrsta ispitivanja	Norma	Preporučene vrijednosti	
		DGGT 2002	von Maubeuge 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

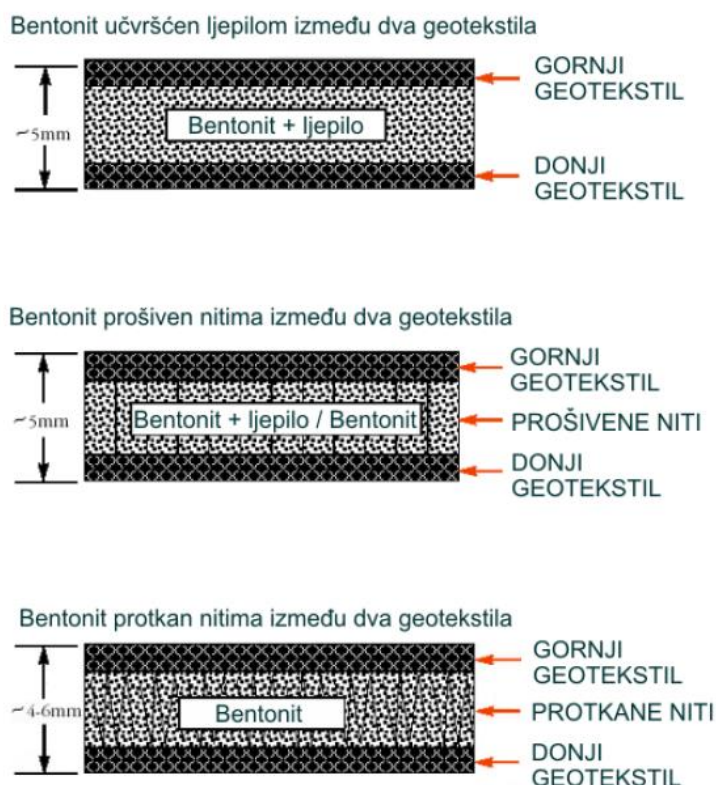
3.2 Geosintetičke glinene barijere (GCL)

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 njoj jako niskoj hidrauličkoj 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)

Geosintetički 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 često povezani protkanim tekstilnim nitima ili mogu biti prođiveni pomoću neprekinutih tekstilnih niti raspoređenih u paralelne redove (tzv. armirane glinene geosintetičke barijere). Upotrebljavaju se još i nearmirane geosintetičke glinene barijere gdje je bentonitna glina pomiješana s ljepilom topivim u vodi te ugrađena između dva sloja geotekstila, ali je njegova upotreba ograničena na ravne terene i kosine malog nagiba (Bouazza 2002). Na slici 3-3 prikazan je način spajanja GCL-a. Kako bi se poboljšala brtvena svojstva glinenih geosintetičkih barijera često im se dodaje i geomembrana.



Slika 2-3 Način spajanja GCL-a (Domitrović 2012)

Zbog brzog razvoja tehnologije i fleksibilnosti proizvodnje, postoje različite vrste glinenih geosintetičkih barijera, odnosno glinene geosintetičke barijere s različitim svojstvima ovisno o mjestu upotrebe. Primarne razlike između pojedinih glinenih

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

4. Fizikalna svojstva bentonitne gline

Detaljan plan istraživanja prikazan je u tablici 2-1. Istraživanja su provedena na tri različite 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 bentonitne gline utvrđen je granulometrijski sastav granula u Geomehaničkom laboratoriju RGN fakulteta, te gustoća i vrstih čestica određena u Geomehaničkom laboratoriju tvrtke Geokon-Zagreb.



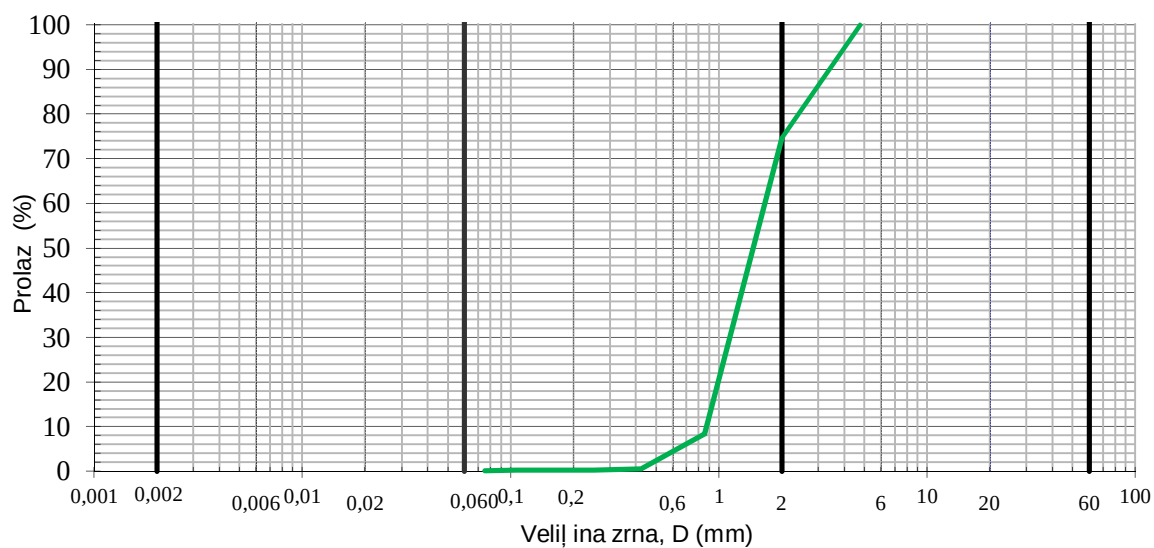
Slika 3-1 Ispitni uzorci

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 sisanja za uzorak 16-002-001

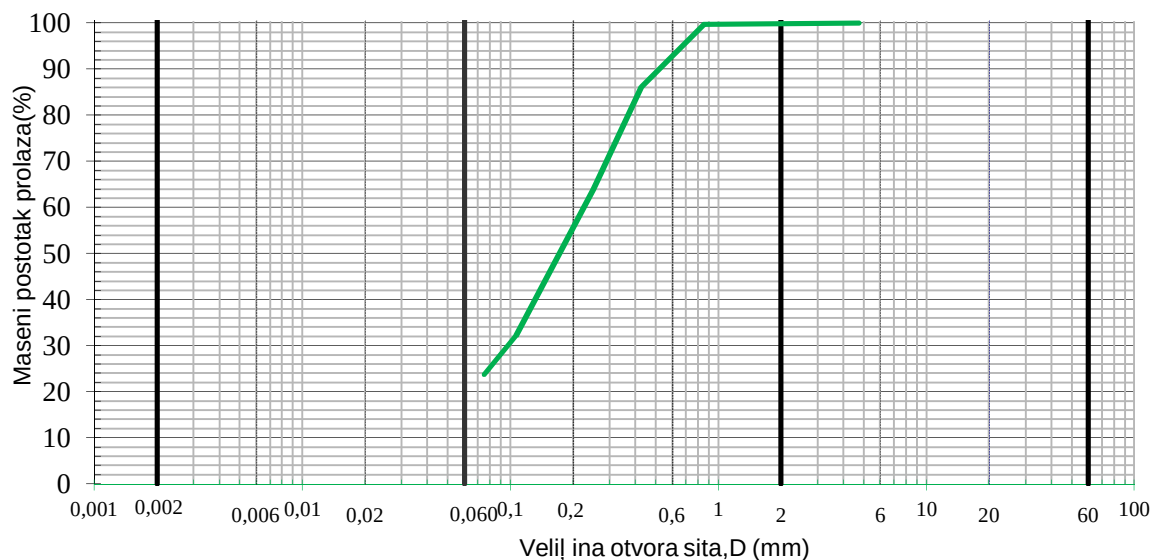
Uzorak	16-002-001		
Masa suhog tla za sisanje (g)	107,09		
Otvor sita (mm)	Masa uzorka na situ (mm)	Postotak ostatka na situ (%)	Kumulativni postotak prolaza (%)
4,75	0,00	0,00	100,00
2,0	26,96	25,18	74,82
0,850	71,24	66,52	8,30
0,425	8,32	7,77	0,53
0,250	0,22	0,21	0,33
0,106	0,05	0,05	0,28
0,075	0,06	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 sisanja za uzorak 16-003-001

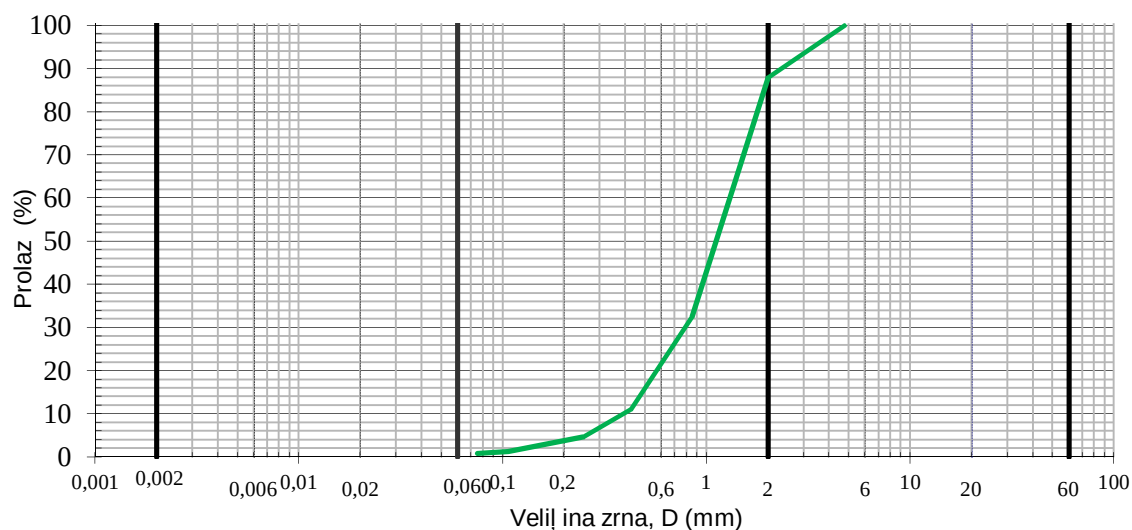
Uzorak	16-003-001		
Masa suhog tla za sisanje (g)	199,54		
Otvor sita (mm)	Masa uzorka na situ (mm)	Postotak ostatka na situ (%)	Kumulativni postotak prolaza (%)
4,75	0,00	0,00	100,00
2,0	0,05	0,04	99,96
0,850	0,18	0,15	99,81
0,425	16,62	13,67	86,14
0,250	26,95	22,17	63,97
0,106	38,71	31,84	32,13
0,075	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 i vrstih čestica tla provedeno je u Geomehaničkom laboratoriju tvrtke Geokon - Zagreb. Postupak ispitivanja je proveden sukladno normi ASTM D854 na sva tri uzorka, po dvije probe. Koristila se metoda grijanja uzorka (eng. *heating method*) u pjeđanoj kupelji na piknometrima obujma 250 ml (slika 4-5).



Slika 4-5 Pjeđana 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 i vrstih čestica izračunata je prema formuli:

$$= \frac{m_s}{m_w - m_p} \cdot \rho_w \quad (4-1)$$

gdje je: m_s masa suhog uzorka (g), ρ_w gustoća vode pri određenoj temperaturi (Mg/m^3), m_w masa piknometra napunjen vodom (g), m_p masa piknometra s uzorkom i vodom. Tablica 4-4 prikazuje dobivene vrijednosti ispitivanja.

Tablica 4-4 Rezultati ispitivanja gustoće i vrstih i estica

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 i vrstih i estica (Mg/m³)	2,72	2,74	
Prosječna gustoća i vrstih i estica tla (Mg/m³)	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 i vrstih i estica (Mg/m³)	2,76	2,77	
Prosječna gustoća i vrstih i estica tla (Mg/m³)	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 i vrstih i estica (Mg/m³)	2,86	2,87	
Prosječna gustoća i vrstih i estica tla (Mg/m³)	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 nalaze standardizirani glijeb posebnim nožem. Pokretana ručno ili automatski, zdjelica brzinom od 2 udarca u sekundi udara o podlogu, dok se glijeb 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 uređaj

Za određivanje granice plastičnosti ne treba poseban aparat. Uzorak se pripremi u mekoplastičnom stanju. Grumeni materijala se valjaju, na neupijajućoj podlozi (primjerice, staklenoj ploči), u valjke promjera 3 mm. Valjci bi se, kod te debljine, trebali polagati kidati ili pucati. Ako se to ne događa, valjci se ponovno stišću u grumen i pokušaj se ponavlja. Tim se postupkom uzorku pomalo oduzima voda (smanjuje vlažnost). Valjci koji su polagati pucati na 3 mm spremamo u zatvorenu posudu, a zatim ih vagamo i stavljamo sušiti da odredimo vlažnost. Tako dobijemo granicu plastičnosti - w_p .

U tablici 5-1 prikazane su granice plastičnosti dobivene u Geomehaničkom laboratoriju RGN fakulteta.

Tablica 5-1 Rezultati ispitivanja granica plastičnosti

Laboratorijski broj		16-002-001		
Broj uzorka	1	2	3	4
Vlažnost 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	
Vlažnost 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
Vlažnost 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	
Vlažnost uzorka (%)	39,9	40,53	40,0	
Granica plastičnosti W _p (%)	40,1			
Indeks plastičnosti I _p	306,9			

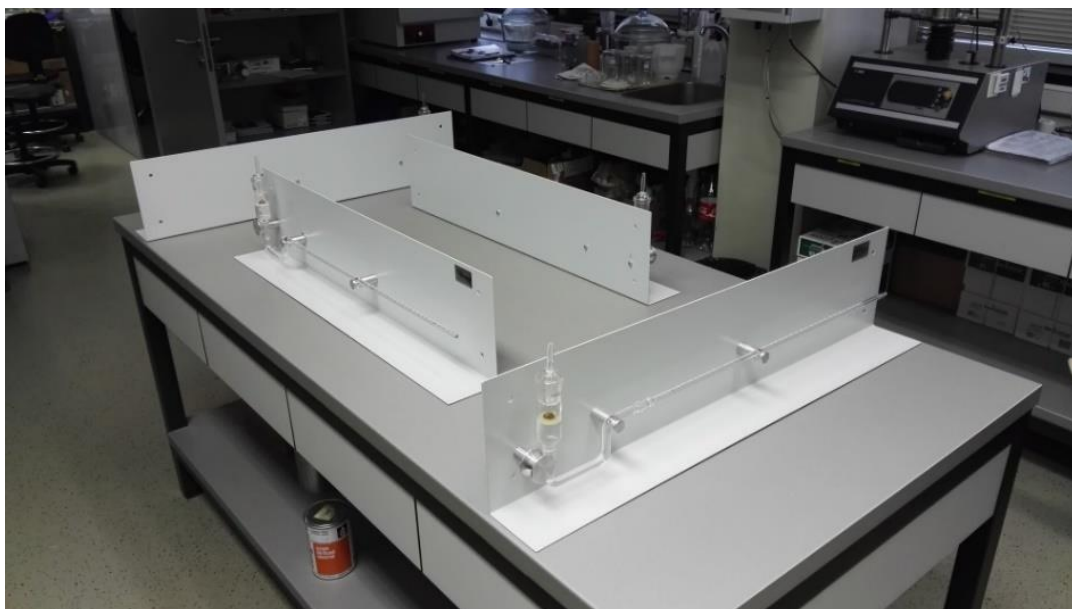
Laboratorijski broj		13-001-025		
Broj uzorka	1	2	3	4
Vlažnost uzorka (%)	397,1	410,3	414,1	419,6
Broj udaraca (N)	42	30	18	13
Granica tečenja W _L (%)	410,5			
Broj uzorka	1	2	3	
Vlažnost uzorka (%)	42,5	40,3	45,6	
Granica plastičnosti W _p (%)	42,8			
Indeks plastičnosti I _p	367,7			

5.2 Sposobnost upijanja vode

Laboratorijsko ispitivanje sposobnosti upijanje vode izvodi se prema normi DIN 18132. Kapacitet upijanja prvenstveno ovisi o specifičnoj površini i estica tla, sadrđaju 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 μ m te osušenom na 60°C tijekom 48 sati.

Ispitivanje je započeto tako da je 0,1 g pripremljenog uzorka usipano pomoću staklenog lijevka na staklenu filter pločicu uređaja. Volumen upijanja mjeren je u intervalima od 30 sekundi do 24 sata. Obzirom da dolazi i do isparavanja vode iz uređaja, prilikom mjerenja se koristi i referentni uređaj kojim se mjeri volumen isparene tekućine. 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 tekućina upotrijebljena je demineralizirana voda.

Ispitivanje je provedeno na sva tri uzorka u oba laboratorija: Geomehanikom laboratoriju RGN fakulteta (slika 5-2) i Geomehanikom 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 Geomehaničkom laboratoriju RGN fakulteta prikazani su u tablici (5-2), dok tablica (5-3) prikazuje rezultate dobivene u Geomehaničkom laboratoriju Geokon-Zagreb.

Tablica 5-2 Sposobnost upijanja vode (Geomehanika i laboratorij RGNF)

Laboratorijski broj		13-001-025		
Vrijeme očitavanja (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 očitavanja (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 očitavanja (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 %			

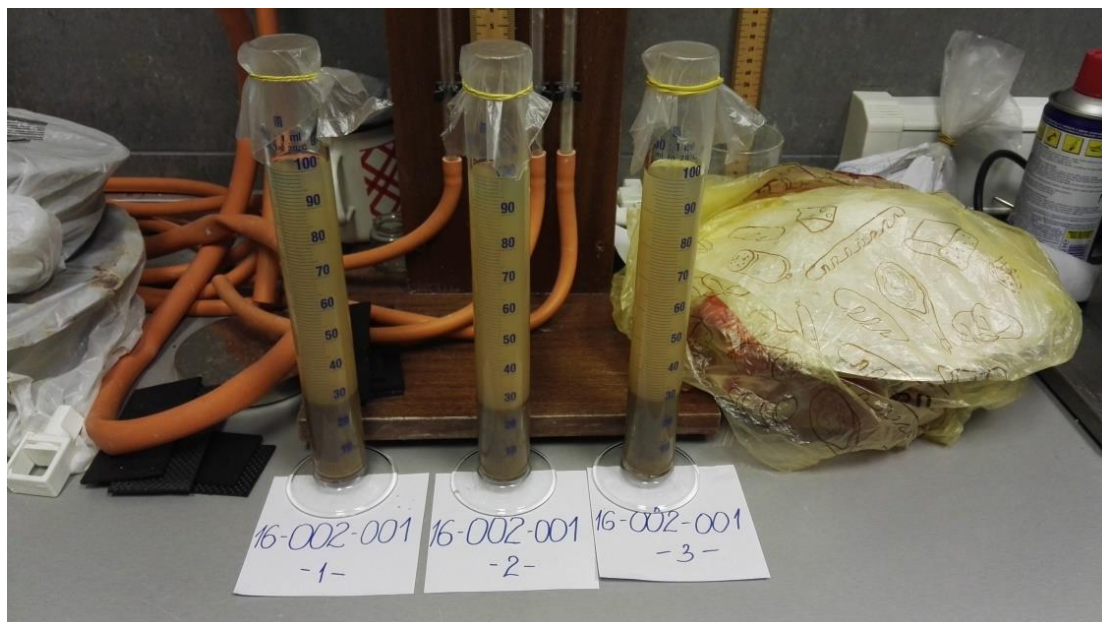
Tablica 5-3 Sposobnost upijanja vode (Geomehanika i laboratorij Geokon-Zagreb)

13-001-025			16-002-001			16-003-001		
Vrijeme očitavanja (min)	Aparatura br.1 (%)	Referentna (%)	Vrijeme očitavanja (min)	Aparatura br.1 (%)	Referentna (%)	Vrijeme očitavanja (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 geosintetičkih barijera. Određivanje indeksa slobodnog bubrenja bentonitne gline provedeno je na pripremljenom samljevenom uzorku pri čemu je 100% uzorka prošlo kroz sito veličine otvora 70 μ m. Uzorak je pripremljen sušenjem 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 demineraliziranim vodom. Nakon što je prošlo ukupno 18 sati od završetka usipanja otprilike je volumen nabubrenog uzorka.

Na slici 5-4 prikazana je aparatura za provođenje ispitivanja. Ispitivanje je provedeno na sva tri uzorka, po tri zasebna mjerenja u Geomehničkom laboratoriju RGN fakulteta i Geomehničkom 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 (Geomehanički 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 (Geomehanički 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 omogućuje određivanje gubitka fluida kroz film materijala formiran na filter papiru iz suspenzije glinovitog tla kako bi se dokazala uporabivost tog tla u svrhu smanjenja propusnosti u geotehničkim glinenim barijerama. (Kovačević Zelić i dr. 2007).

Određivanje indeksa gubitka fluida bentonitne gline provedeno je na pripremljenom samljevenom uzorku sa 100% prolaza kroz sito veličine otvora 70 μ m. Ispitivanje je provedeno sukladno normi ASTM 5891, što znači da je $22,5 \pm 0,01$ g pripremljenog uzorka izmiješano sa 350 ± 5 ml demineralizirane vode u menzuri kapaciteta 500 ml. Nakon 16 sati suspenzija je prelivena u cilindar s filter 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 očitane 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 Uređaj za ispitivanje gubitka fluida (Geomehanik laboratorij RGNF)



Slika 5-6 Uređaj za ispitivanje gubitka fluida (Geomehanik laboratorij Geokon-Zagreb)

Tablica 5-5 Rezultati indeksa gubitka fluida

<i>Geomehanički laboratorij RGN fakulteta</i>			
Laboratorijska oznaka	16-002-001	16-003-001	13-001-025
Volumen tekućine nakon 7,5 min (ml)	3	2	3,5
Volumen tekućine nakon 22,5min (ml)	8,5	8,0	8,5
Indeks gubitak fluida (ml)	17	16	17
<i>Geomehanički laboratorij Geokon</i>			
Laboratorijska oznaka	16-002-001	16-003-001	13-001-025
Volumen tekućine nakon 7,5 min (ml)	6	6	5
Volumen tekućine 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 može se zaključiti kako je navedeno.

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

Uzorak sadrži 25,2% granula odnosno zrna veličine sitnog gljunka, 74,6% zrna veličine pijeska (71,1% krupnog, 3,4% srednje krupnog te 0,1% sitnog). Zrna veličine praha i gline sadrži 0,2 %. Prema obliku granulometrijske krivulje izračunati su koeficijenti zakrivljenosti $C_c = 0,98$ i jednoličnosti $C_u = 1,98$. Prema tome, radi se o jednoliku graduiranom materijalu gdje dominiraju zrna veličine krupnog pijeska.

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

Prosijani uzorak bentonitnih granula sadrži 12,1% zrna veličine sitnog gljunka, 86,9% zrna veličine pijeska, od čega 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 jednoličnosti $C_u = 3,61$. Kao i kod uzoraka 16-002-001, riječ je o jednoliku graduiranom materijalu gdje dominiraju zrna veličine krupnog pijeska.

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

Uzorak sadrži neznatan udio zrna veličine sitnog gljunka (svega 0,4%), 76,2% i zrna veličine pijeska (8,2% krupnog pijeska, 38,9% srednje krupnog te 30% sitnog pijeska). Udio zrna veličine gline i praha iznosi 23,8%. Kao i kod predhodnih uzoraka, riječ je o jednoliku graduiranom materijalu gdje prevladavaju zrna veličine pijeska.

Gustoća čvrstih čestica

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

Uzorak:	16-002-001	= 2,73 Mg/m ³
	16-003-001	= 2,77 Mg/m ³
	13-001-025	= 2,86 Mg/m ³

Rezultati ukazuju da se gustoće čvrstih čestica ispitivanih uzoraka u određenoj mjeri razlikuju. Uzorci 16-002-001 i 16-003-001 se razlikuju za svega 0,04 Mg/m³. Razmatrajući rezultate od ostalih studija, primjerice za Volclay (Domitrović 2012) = 2,70 Mg/m³, bentonitne gline iz studije (Andali i dr. 2012) = 2,75 Mg/m³ 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 mineralogičkog i kemijskog sastava dala detaljniju sliku o ovom uzorku.

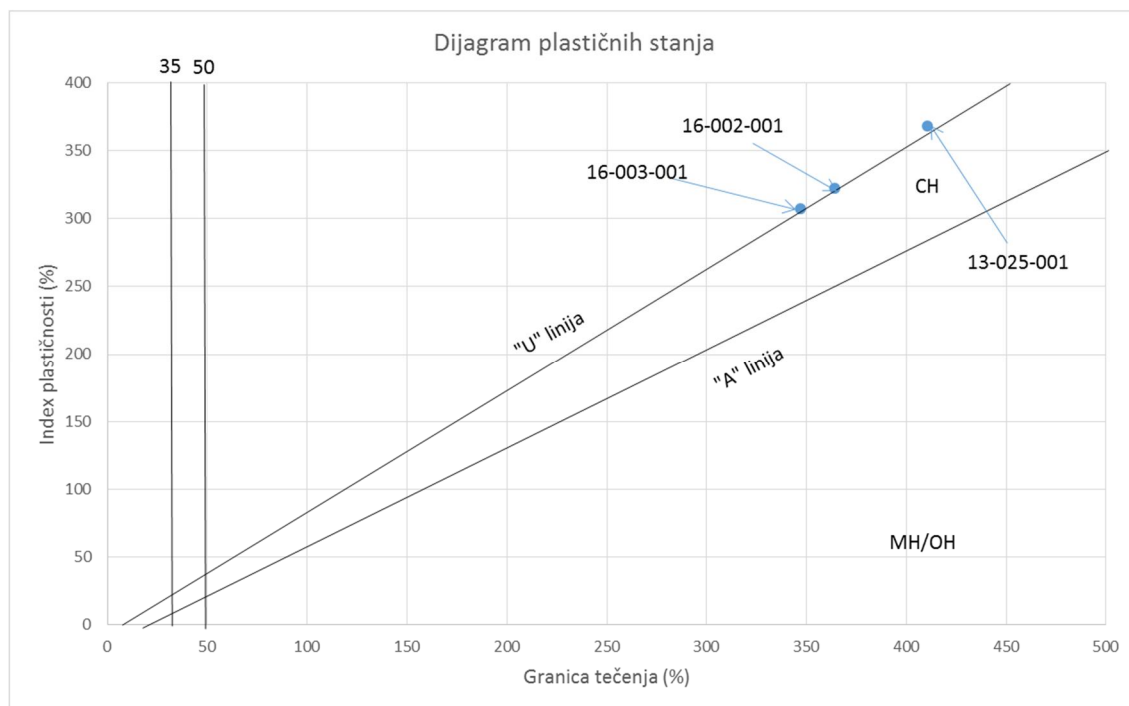
6.2 Analiza indeksnih pokazatelja

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).

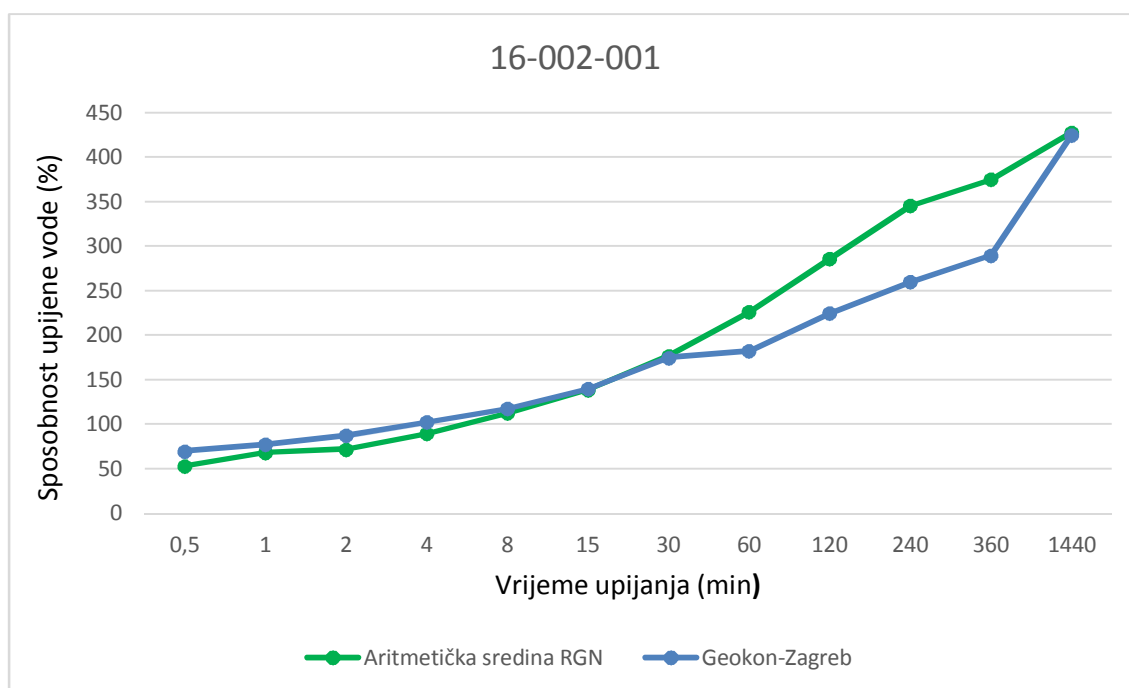


Slika 6-1 Prikaz rezultata Attebergovih granica na dijagramu plastičnosti

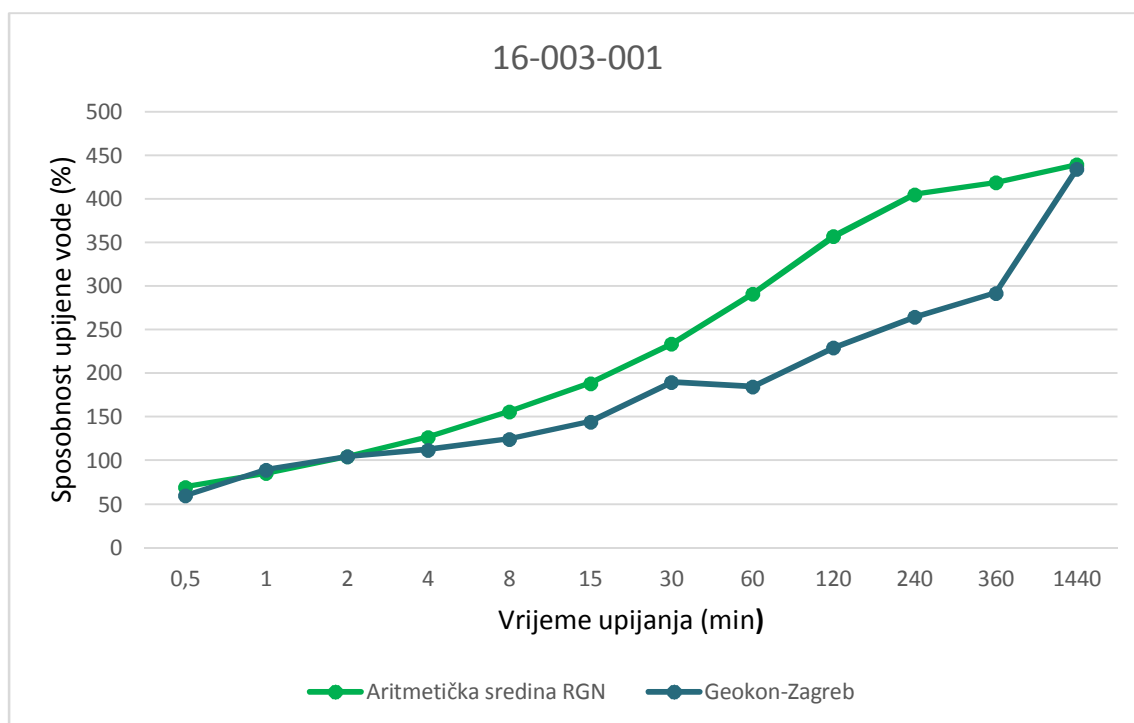
Svi ispitani uzorci se na temelju dobivenih rezultata i na temelju klasifikacijskog dijagrama klasificiraju kao bentonitna glina visoke plastičnosti, klasifikacijske oznake CH.

Sposobnost upijanja vode

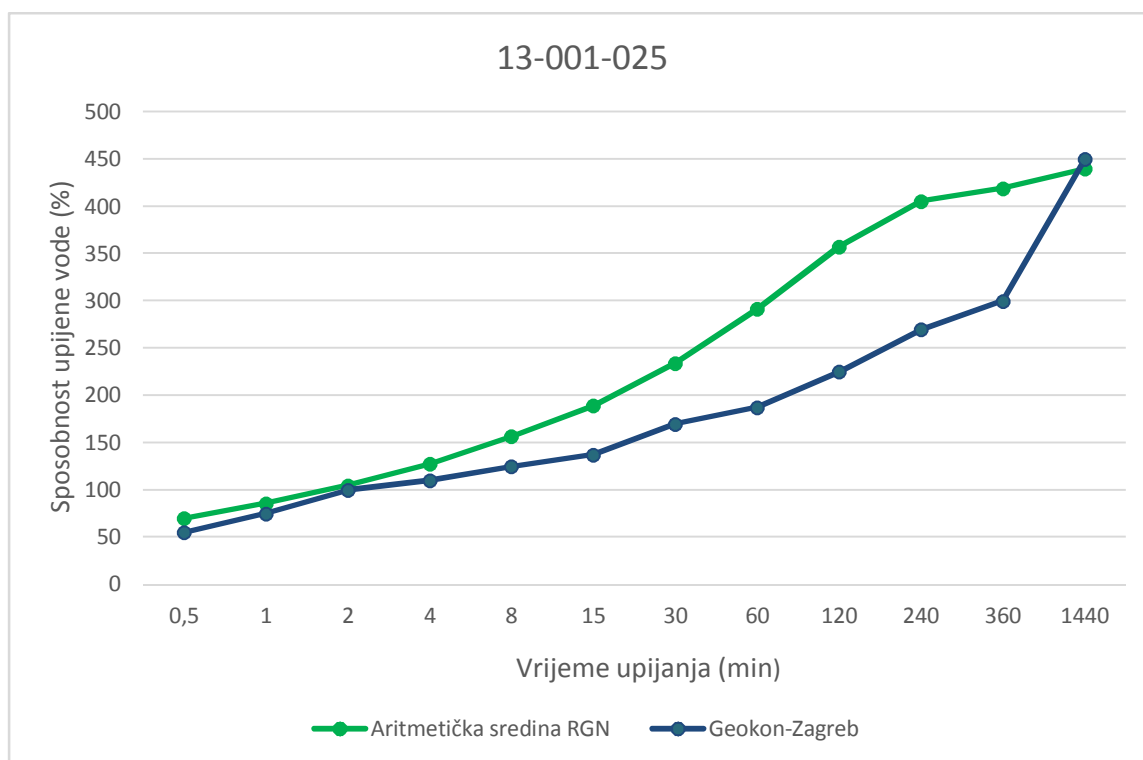
Laboratorijsko ispitivanje kapaciteta upijanje vode izvodi se prema normi DIN 18132, te je provedeno međulaboratorijsko usporedno ispitivanje. U laboratoriju RGN fakulteta za svaki su uzorak napravljena tri mjerenja, dok je u laboratoriju Geokon-Zagreb napravljeno jedno mjerenje radi manjka opreme. Za svaki uzorak izračunata 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



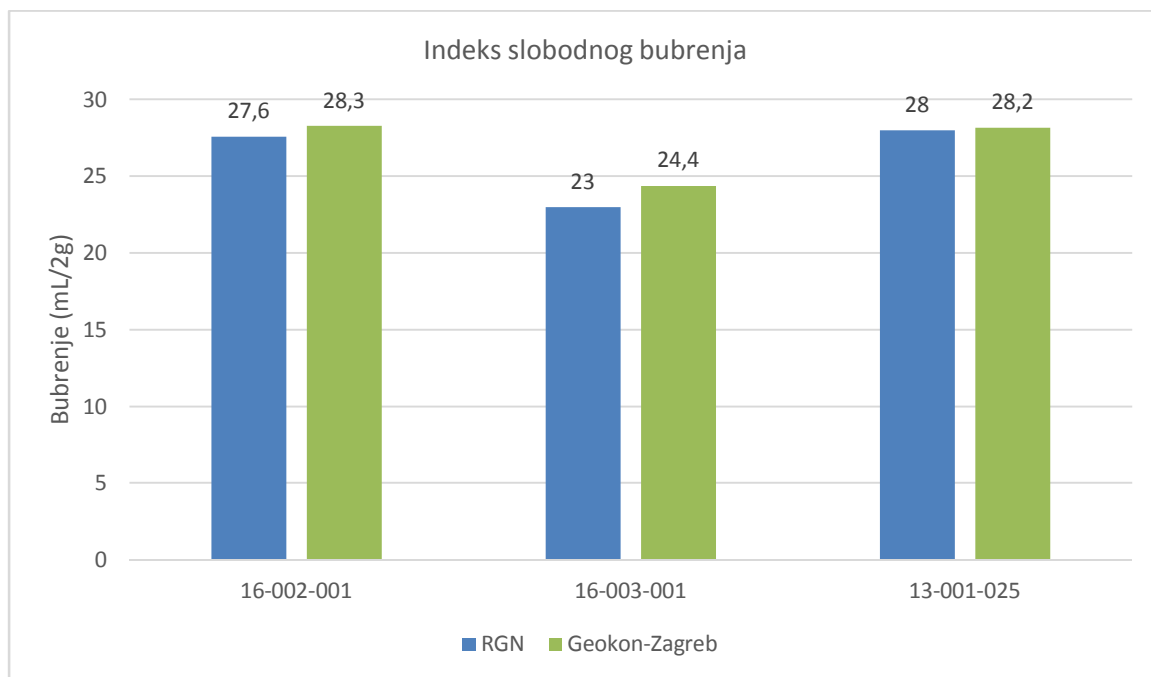
Slika 6-4 Rezultati sposobnosti upijanja za uzorak 13-001-025

Uspoređujući i rezultate dobivene međulaboratorijskim usporednim ispitivanjima, krajnje dobivene vrijednosti su bliske. Međutim, interpretacijom krivulja dobivenih rezultata uočava se razilaženje. 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 dopuštenoj vrijednosti za ugradnju bentonitne gline u geosintetičke glinene barijere koja iznosi 450% prema DGGT-u te strožem kriteriju danom od von Maubeuge s iznosom od 600% , jedino se rezultat uzoraka 13-001-025 (450%) dobio u Geokon-Zagreb nalazi na granici.

Indeks slobodnog bubrenja

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



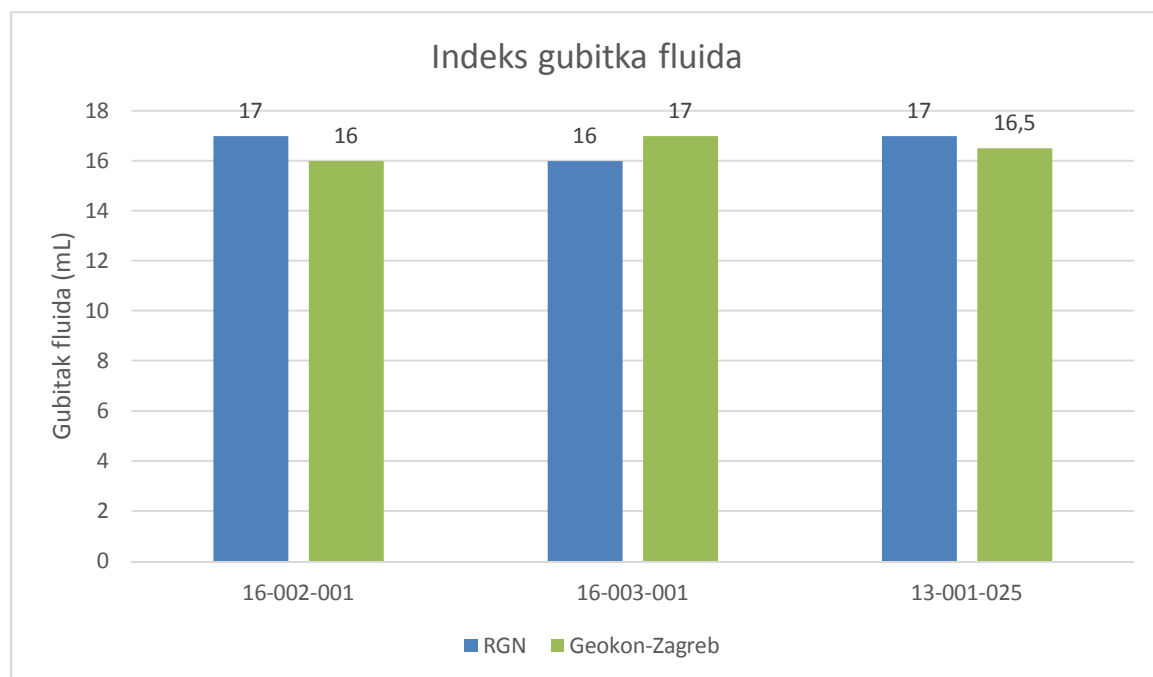
Slika 6-5 Rezultata sposobnosti bubrenja

Analizirajući dobivene rezultate indeksa slobodnog bubrenja meĹulaboratorijskim ispitivanjem uoĹava 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 geosintetiĹke 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 geosintetiĹke 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 međulaboratorijsko 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 primjećuje se bliskost rezultata dobiveni u geomehaničkom laboratoriju RGN fakulteta i laboratorija Geokon-Zagreb. Dobiveni rezultati zadovoljavaju preporučene 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 bentonitne gline (granulometrijski sastav granula utvrđen je u Geomehaničkom laboratoriju RGN fakulteta, te gustoća i vrstih i estica 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 plastičnosti od 306,9% do 367,7%) te s izraženim svojstvom bubrenja, te je kao takav vrlo nezahvalan materijal nad kojim se provodi ispitivanje. Gustoća i vrstih i estica uzoraka bentonitne gline 16-002-001 i 16-003-001 iznosila je 2,73 i 2,77 g/cm³ i ove vrijednosti se mogu smatrati bliskima prijašnjim studijama provedenim na različitim vrstama bentonitnih glina. Negdje veća vrijednost gustoće i vrstih i estica dobivena je za uzorak 13-001-025 (2,86 g/cm³). Pretpostavlja se da bi ispitivanja mineralogskog 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, korigirana oprema, kalibracija opreme

te laboratorijski uvjeti: temperatura, vlažnost zraka, kakvoća zraka itd.) su veoma bliski te nema većeg odstupanja ($>5\%$) vrijednosti.

Uspoređujući dobivene rezultate s preporučenim vrijednostima za ugradnju materijala u geosintetičku 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 nižu granicu od 450%.

8 LITERATURA

- Andal, M., Chandrasekhar, M., Viswanadh, K. (2012.): Hydraulic conductivity of gcl with bentonite i 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., Kovačević Zelić, B., Mileusić, 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.): Opća mineralogija i petrologija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, stranica 46-47
- Domitrović, D. (2012.): Utjecaj bubrenja bentonitne gline na njezina mehanička svojstva, Doktorska disertacija, RGN-fakultet, Zagreb
- Domitrović, D., Vučenović, H., Kovačević Zelić, B. (2012.): Ispitivanje svojstava bentonita kao inženjerske barijere u odlagalištima radioaktivnog otpada. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, volumen 24, str. 19-27.
- Kovačević Zelić, B., Domitrović, D. i Veinović, G. (2007.): Laboratorijska ispitivanja bentonitnih glina za potrebe projektiranja i izgradnje odlagališta. Rudarsko-geološko-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.)