Hidratacija uzoraka bentonitne gline u laboratorijskim uvjetima

Pofuk, Ivan

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:169:011968

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

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







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij rudarstva

HIDRATACIJA UZORAKA BENTONITNE GLINE U LABORATORIJSKIM UVJETIMA

Diplomski rad

Ivan Pofuk

R – 145

Zagreb, 2017.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

HIDRATACIJA UZORAKA BENTONITNE GLINE U LABORATORIJSKIM UVJETIMA

Ivan Pofuk

Diplomski izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

U ovom radu prikazana je nova metoda hidratacije uzoraka bentonitne gline i glinenih geosintetičkih barijera pomoću pijeska određene vlažnosti. Glavni cilj istraživanja bio je utvrditi utjecaj vlažnosti pijeska te vremena hidratacije na završnu vlažnost bentonitne gline i glinene geosintetičke barijere. Istraživanja su izvedena u laboratorijskim uvjetima. Mjerenja su provedena u Geomehaničkom laboratoriju na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu. Cilj istraživanja je ostvaren obzirom da su se dobili rasponi vlažnosti koji su traženi, utvrdio se utjecaj vlažnosti pijeska i vremena hidratacije na konačnu vlažnost te su dobiveni parametri koji utječu na sam proces hidratacije.

Ključne riječi:	Bentonitna glina, GCL, hidratacija, vlažnost, laboratorijska ispitivanja
Diplomski rad sadrži:	37 stranica, 3 tablice, 22 slike i 17 referenci
Jezik izvornika:	Hrvatski
Diplomski rad pohranjen:	Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Pierottijeva 6, 10000 Zagreb
Voditelj: Pomoć pri izradi:	Dr. Sc. Dubravko Domitrović, docent RGNF Dr. Sc. Helena Vučenović, asistentica
Ocjenjivači:	Dr. Sc. Dubravko Domitrović, docent RGNF Dr. Sc. Biljana Kovačević Zelić, redovita profesorica RGNF Dr. Sc. Želimir Veinović, docent RGNF
Datum obrane:	17. veljače 2017.

University of Zagrebu
Faculty of Mining,Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

HYDRATION OF BENTONITE CLAY SAMPLES IN LABORATORY ENVIRONMENT

Ivan Pofuk

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Mining Engineering and Geotechnics
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

This thesis describes laboratory testing's of the bentonite clay samples using a new method of hydration through the contact with sand layers of different initial water content. Tests were done in the laboratory environment. During testing, the main aim was to observe the water content changes in terms of time. Tests were done in the Soil mechanics laboratory at the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering in Zagreb**.** The aim of the research has been made considering that requested moisture ranges were accomplished, impact of sand moisture and hydration time to a final moisture content was determined and parameters that impact on the process of hydration were obtained.

Keywords: Bentonite clay, GCL, hydration, water content, laboratory testings

Thesis contains: 37 pages, 3 tables, 22 figures, 17 references
Original in: Croatian

Thesis deposited at: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Supervisor: Ph. D. Dubravko Domitrović, Assistant Professor
Technical support and assistance: Ph. D. Helena Vučenović, Assistant

Reviewers: Ph. D. Dubravko Domitrović, Assistant Professor
Ph. D. Biljana Kovačević Zelić, Full Professor
Ph. D. Želimir Veinović, Assistant Professor

Defending date: 17th February 2017.

Zahvale

Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Dubravku Domitroviću na znanju koje mi je prenio tokom studija, na pomoći, vremenu i strpljenju oko samih ispitivanja u laboratoriju i izrade diplomskoga obzirom da sam bio van Hrvatske. Neizmjerno Vam hvala mentore!

Asistentici dr. sc. Heleni Vučenović posebne zahvale za pomoć tokom samih ispitivanja obzirom da se tema ovog diplomskog rada nadovezuje na njen doktorski rad. Također na vremenu i strpljenju obzirom na moje izbivanje. Na savjetima, inspiraciji i usmjeravanju na životni put pozitive, ljubavi i ispunjenja.

Profesorici dr. sc. Biljani Kovačević-Zelić na prenesenom znanju iz područja mehanike tla. Na dobroj volji i susretljivosti prilikom korištenja Geomehaničkog laboratorija u svrhu izrade ovog diplomskog rada.

Tehničarki dipl. ing. Evelini Oršulić također hvala na savjetima i pomoći u laboratoriju koja je bila od velikog značaja. Kao i na treningu da svatko treba oprati svoju opremu nakon korištenja i pospremiti nered.

Posebne zahvale inspirativnom dr. sc. Želimir Veinoviću zbog kojeg se pojavila znatiželja u smjeru nuklearne energije i radioaktivnog otpada. Na savjetima, podršci i na kraju samoj ideji o IAEA-i i stažiranju koje se u tom trenutku činilo nemogućom misijom. Iako su imali prijave iz cijeloga svijeta, na kraju su odabrali mene.

Prijateljima i kolegama Matiji Mikecu i Dini Demoliju koji su bili uvijek tu uz mene i kada je trebala pomoć u vezi diplomskog i kada je trebala pomoć popiti pivu.

I najveće od svega zahvale mojoj obitelji. Mami Anđelki, tati Mirku i bratu Luki koji su vjerovali u mene od prvog dana upisa RGN-a i bili podrška kada je bilo najteže. Hvala mom pekinezeru Mrvici koja se jedina radovala kad sam dolazio doma, ako je bila prazna kuća. Hvala vam za sve i niti jedan trenutak života ne bih mijenjao jer je upravo taj životni tijek od mene napravio osobu kakva sam danas i odveo me na životni put zbog kojeg sam ponosan.

I za kraj, najveća hvala svima koji su mi pomagali oko završnih stvari vezanih uz diplomski i bili podrška kada je bilo teško, obzirom da sam pisanje diplomskoga proveo paralelno stažirajući u Međunarodnoj Agenciji za Nuklearnu Energiju (International Atomic Energy Agency) IAEA, u Beču, što nije bio niti malo lagan zadatak, ali je evo uspješno obavljen.

I kako bi rekao Og Mandino:

„Uvijek daj sve od sebe. Ono što posadiš danas, sutra ćeš ubrati kao plodove uspjeha.“

SADRŽAJ

POPIS SLIKA II

POPIS TABLICA III

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SI JEDINICA IV

1 UVOD 1

2 BENTONITNA GLINA 3

2.1 Općenito o bentonitnim glinama 3

2.2 Bubrenje 5

2.3 Upotreba bentonitne gline 8

2.3.1 Glinena geosintetička barijera (GCL – Geosynthetic Clay Liner) 9

3 HIDRATACIJA BENTONITNE GLINE 12

3.1 Laboratorijska ispitivanja hidratacije GCL-a glinovitim pijeskom 12

4 ISPITIVANJA METODE HIDRATACIJE BENTONITNE GLINE 14

4.1 Metode 14

4.2 Priprema 17

4.3 Shema posude za ispitivanje 25

5 REZULTATI 27

5.1 Bentonitna glina, uzorak broj 16-003 (prah) 27

5.2 Granule bentonitnog tepiha (GCL-a) 29

5.3 Glinena geosintetička barijera (GCL) 30

6 ZAKLJUČAK 34

7 LITERATURA 36

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Struktura montmorillonita (Grim, 1953) 4

Slika 2-2. Struktura minerala glina (Bargaya et al., 2006) 5

Slika 2-3. Konceptualni model hidratacije i sušenja bentonita (prema Vardon, 2016) 7

Slika 2-4. Osnovne vrste glinene geosintetičke barijere: a.) bentonit između dva sloja geotekstila; b.) bentonit i sloj geomembrane 9

Slika 2-5. Spajanje bentonita i geotekstila 10

Slika 4-1. Bentonitna glina (16-003) 15

Slika 4-2. Granule bentonitne gline iz uzorka GCL-a (13-001-025) 16

Slika 4-3. GCL (13-001-025) 16

Slika 4-4. Granulometrijska krivulja pijeska 17

Slika 4-5. Pijesak prirodne vlažnosti 21

Slika 4-6. Pomiješan pijesak s vodom 21

Slika 4-7. Pijesak pripremljen za hidrataciju bentonitne gline 22

Slika 4-8. Pripremljena posuda sa uzorkom za postupak hidratacije 23

Slika 4-9. Izvađeni uzorak GCL-a i pijesak nakon završetka ispitivanja 23

Slika 4-10. Digitalna vaga 24

Slika 4-11. Shema posude sa pripremljenim uzorkom za hidrataciju 26

Slika 5-1. Odnos vlažnosti i vremena na uzorak 16-003 (prah) 27

Slika 5-2. Odnos vlažnosti i vremena za pijesak 28

Slika 5-3. Odnos vlažnosti i vremena na granule GCL uzorka 29

Slika 5-4. Odnos vlažnosti i vremena kod pijeska i granula GCL-a 30

Slika 5-5. Odnos vlažnosti i vremena na GCL uzorak 31

Slika 5-6. Odnos vlažnosti i vremena kod pijeska i GCL-a 31

POPIS TABLICA

Tablica 4-1. Određivanje oblika granulometrijske krivulje 18

Tablica 4-2. Rezultati dobiveni nakon postupka hidratacije i sušenja 24

Tablica 5-1. Parametri hidratacije uzoraka..... 32

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SI JEDINICA

GCL – *eng. Geosynthetic Clay Liner* – glinena geosintetička barijera

Oznaka	Jedinica		Opis
c_u	/	-	koeficijent jednoličnosti
c_c	/	-	koeficijent zakrivljenosti
D_{10}, D_{30}, D_{60}	mm	-	karakteristični promjeri zrna
m_w	g	-	masa vode
m	g	-	ukupna masa
m_s	g	-	masa čvrstih čestica
w	%	-	vlažnost
m_{pv}	g	-	masa posude i vlažnog uzorka
m_p	g	-	masa posude
m_{ps}	g	-	masa posude i suhog uzorka
Sr	/ ili %	-	stupanj saturacije
V	cm^3	-	ukupni volumen
V_w	cm^3	-	volumen vode
V_v	cm^3	-	volumen pora
V_s	cm^3	-	volumen čvrstih čestica

1 UVOD

Zaštita okoliša u današnje vrijeme postaje sve bitniji faktor u širokom spektru profesija. Okoliš je sve što nas okružuje te bi se o njemu trebala voditi briga, počevši od nas samih kao pojedinaca koji ga svjesno i nesvjesno zagađujemo. Svaka stvar koju čovjek koristi, sa sobom nosi produkt koji nazivamo otpad, odnosno koji ne možemo iskoristiti, a koji mora negdje završiti odnosno biti odložen. Kako bi se taj otpad kvalitetno i sigurno zbrinuo, izolirao od okoliša, koristi se bentonitna glina.

Bentonitna glina je prirodan i široko rasprostranjen materijal u određenim područjima svijeta (SAD, Kanada, Kina, Indija, Republika Koreja, Rusija, Južna Afrika, Ukrajina, Njemačka) sa kapacitetima od nekoliko milijuna tona do nekoliko stotina milijuna tona koji se koristi u obradi željezne rude, naftnom inženjerstvu, geotehnici, zaštiti okoliša, građevinarstvu i u mnoge druge svrhe bez štetnih učinaka na prirodu. Obzirom na svoje izvrsno svojstvo, vrlo mali koeficijent propusnosti, koristi se u odlagalištima otpada i zapunjavanju prostora iz kojih se ispuštanje u okoliš mora svesti na najmanju moguću mjeru, kao npr. odlagališta radioaktivnog otpada. Zbog svojih kvalitetnih svojstava, bentonitna glina smatra se trenutno kao najbolji materijal za izgradnju brtvene barijere. Napretkom tehnologije pojavili su se geosintetici u raznim izvedbama, a nama je najzanimljivija glinena geosintetička barijera (engl. Geosynthetic Clay Liner, GCL) koja se sastoji od bentonitne gline u kombinaciji s geosintetičkim materijalima koji dodatno poboljšavaju svojstva barijere. U ovom procesu vrlo je bitno ugraditi bentonitnu glinu pri određenoj vlažnosti obzirom da se brtvena sposobnost mijenja ovisno o njenoj vlažnosti. Kako bi se odredila optimalna vlažnost pri kojoj bi bentonitna glina imala poželjna svojstva brtvljenja, koriste se laboratorijska ispitivanja.

Zadatak ovog diplomskog rada bio je provesti laboratorijska ispitivanja hidratacije uzoraka bentonitne gline i glinene geosintetičke barijere do unaprijed definirane vlažnosti kod kojih se kasnije ispituje plinopropusnost. Kod pripreme uzoraka vodilo se računa o nekoliko faktora koji utječu na hidrataciju uzoraka bentonitne gline i glinene geosintetičke barijere: vlažnost pijeska, količina bentonitne gline, temperatura, vrijeme, opterećenje, itd. i poradi toga samo ispitivanje je vrlo precizno i zahtjeva mnogo vremena. Ispitivanja su se odvijala u Geomehaničkom laboratoriju - Odjelu za mehaniku tla na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu.

U radu su detaljno prikazana mjerenja i rezultati dobiveni hidratacijom triju uzoraka: bentonitna glina u prahu (uzorak oznake 16-003), granule bentonitne gline izvađene iz uzorka GCL-a (uzorak oznake 13-001-025) i uzorak GCL-a (uzorak oznake 13-001-025).

2 BENTONITNA GLINA

2.1 Općenito o bentonitnim glinama

Bentoniti su stijene nastale izmjenom piroklastičnog materijala u alkalnoj sredini. Oni su produkti izmjene kiselih vulkanskih staklenih tufova (Vrkljan, 2001). Ukoliko su kiseli tufovi bili odloženi u moru, nastaju natrijski bentoniti, a ukoliko su bili odloženi u slatkoj vodi nastaju kalcijski bentoniti (Egloffstein, 1994). Aktivirani natrijski bentoniti nastaju dodavanjem natrija u prirodni kalcijski bentonit.

U geotehnici, bentonite dijelimo na:

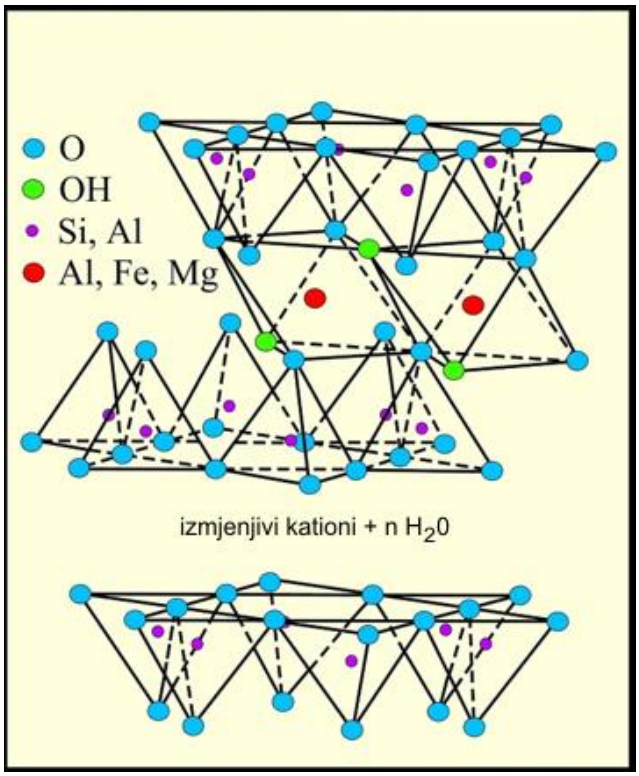
- kalcijske bentonite,
- prirodne natrijske bentonite,
- aktivirane natrijske bentonite.

Najvažniji sastojak bentonitne gline je mineral montmorillonit čiji se udio uglavnom kreće između 65 i 95 % masenih postotaka. Montmorillonit ima sposobnost bubrenja i spada u skupinu smektita, najveću grupi troslojnih minerala glina.

Osnovna svojstva montmorillonita:

- visoka plastičnost,
- velika specifična površina,
- veliki kapacitet izmjene kationa,
- veliki kapacitet bubrenja i upijanja vode,
- niska hidraulička vodljivost,
- niski koeficijent difuzije.

Struktura montmorillonita je prikazana na slici 2-1. Sastoji se od silikatnih slojeva 2:1 (dvije tetraedrijske mreže SiO_4 i između nje jedna oktaedrijska mreža) koji su negativno nabijeni zbog djelomičnih izmjena Si^{4+} s Al^{3+} u tetraedrijskim i Al^{3+} s Mg^{2+} u oktaedrijskim pozicijama. Negativni naboj kompenziraju uglavnom međuslojni kationi Ca^{2+}, Mg^{2+} i Na^{+} (Egloffstein, 1994).

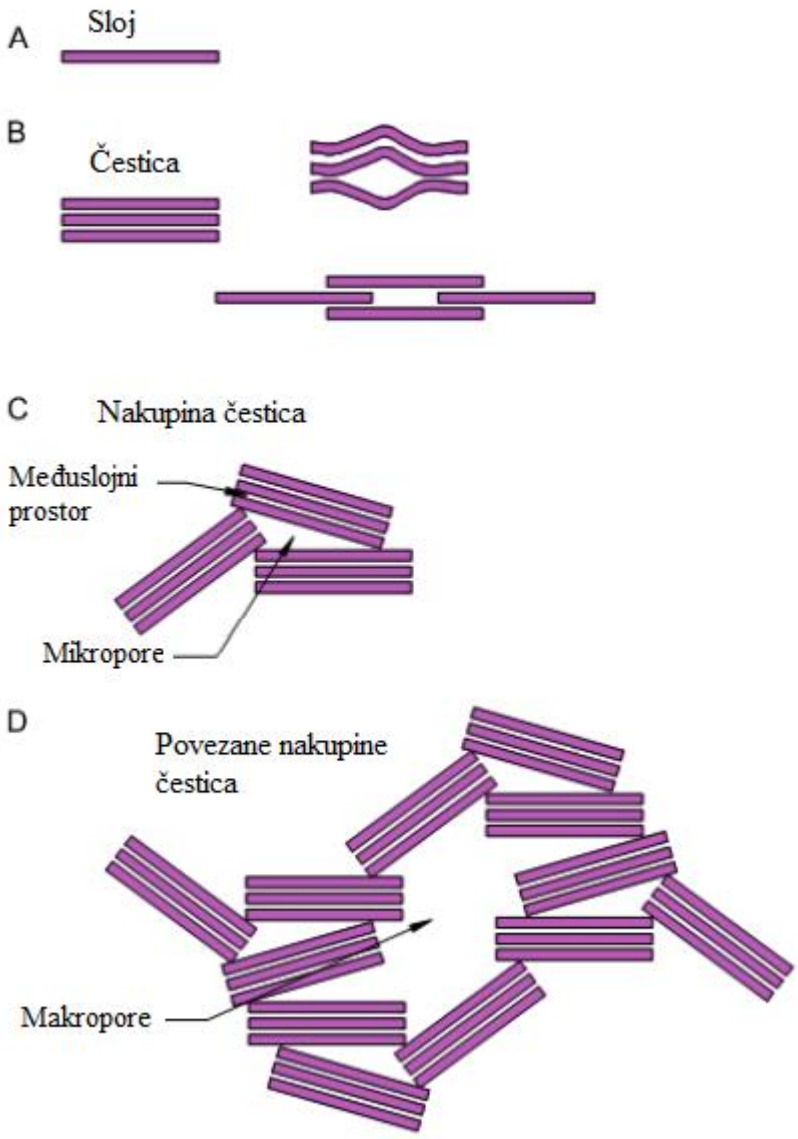


Slika 2-1. Struktura montmorillonita (Grim, 1953)

Na slici 2-2. prikazana je pojednostavljena struktura minerala glina i njihovog međuslojnog povezivanja u čestice i nakupine čestica. Jedinični slojevi se međusobno povezuju i tvore jediničnu česticu. Prostori između jediničnih slojeva tvore međuslojne prostore. Čestice se zatim povezuju u nakupine čestica gdje prostori između čestica tvore mikropore. Daljnjim povezivanjem jediničnih nakupina čestica između njih nastaju makropore. Tako ukupni porni prostor tvore najmanje tri vrste pora:

- međuslojne pore,
- mikropore,
- makropore.

Ukoliko se promatraju površine minerala glina, one mogu biti unutarnje i vanjske. Unutarnje se odnose na međuslojne prostore, a vanjske na vanjske površine i bridove. Karakteristike navedenih mikro i makro razina značajno se razlikuju što je vidljivo primjerice kod hidratacije (Domitrović, 2012).



Slika 2-2. Struktura minerala glina (Bargaya et al., 2006)

2.2 Bubrenje

Smektiti sadrže veliki broj međuslojnih prostora u koje ulaze molekule vode privučene negativnim nabojem na površinama. Molekule vode i međuslojni kationi tvore djelomično uređene strukture s tim da međuslojni kationi ujedno imaju najvažniju ulogu kod interakcije gline i vode. Bubrenje dovodi do razdvajanja jediničnih paketa sve do postizanja ravnoteže pri zadanom tlaku. Povećanje debljine jediničnog paketa uslijed bubrenja ovisi prije svega o međuslojnim kationima. Ukoliko su međuslojni kationi

jednovalentni, odbijanje slojeva je veće pa je i bubrenje veće. Zbog svojstva bubrenja vrlo često koriste se kao brtveni slojevi u zaštiti okoliša i građevinskoj industriji. U kontaktu s vodom pa čak i uslijed povećane vlažnosti zraka, natrijske bentonitne gline bubre i do 15 puta u odnosu na dehidratizirano stanje (Domitrović, 2012).

Bubrenje se javlja ukoliko su zadovoljeni sljedeći uvjeti (Popescu, 1986):

- potencijalno bubrivo djelomično saturirano tlo,
- kritično povećanje vlažnosti tla,
- vanjsko opterećenje dovoljno malo (tj. manje od pritiska bubrenja) da ne sprječava bubrenje.

Obzirom na osnovni mehanizam bubrenje možemo podijeliti u dvije grupe:

- mehaničko bubrenje i
- osmotsko bubrenje.

Mehaničko bubrenje je inverzna konsolidacija izazvana disipacijom negativnih pornih tlakova i posljedica je matričnog usisa odnosno kapilarnih i privlačnih djelovanja u sustavu čestica - porna voda (Fredlund i Rahardjo, 1993).

Osmotsko bubrenje tj. razlika u pornim pritiscima nastala zbog razlika u koncentracijama kationa (Lambe i Whitman, 1979).

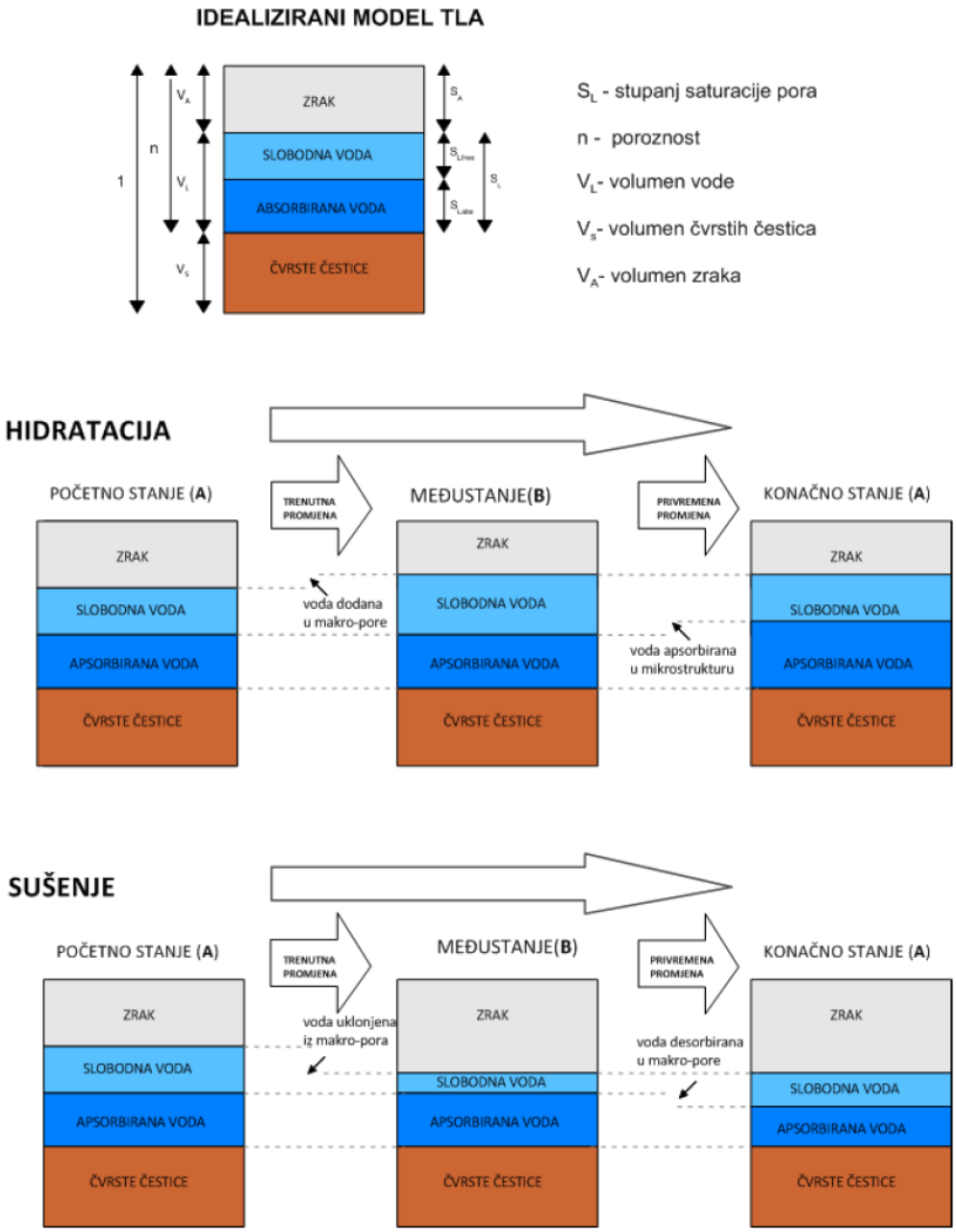
Mehaničko bubrenje je povećanje volumena izazvano penetracijom vode između slojeva kristala zbog slabih međuslojnih veza (Kovačević Zelić, 2000). Kod kalcijskih montmorillonita uglavnom postoji samo mehaničko bubrenje, te može doći do povećanja volumena od dva do četiri puta u odnosu na dehidratizirani uzorak. Kod natrijskih montmorillonita uz mehaničko bubrenje postoji i osmotsko bubrenje, pa se volumen uzorka može povećati od osam do petnaest puta (Egloffstein, 1994).

Makropore predstavljaju najveće prostore između čestica. Upravo one predstavljaju najmanju barijeru za protok obzirom da veličina generiranih kapilarnih sila ovisi o veličini pora. Koncept slobodne i apsorbirane vode vrlo je složen. Pojednostavljeno, možemo smatrati da je slobodna voda slabo vezana uz strukturu čestica zbog slabih kapilarnih odnosno privlačnih sila te je većim dijelom mobilna. Apsorbirana voda vezana je jakim kapilarnim odnosno privlačnim silama uz same čestice i nju možemo uglavnom smatrati

teško pokretnom vodom. U procesu distribucije vode kroz pornu strukturu bentonita moguće je pretpostaviti kako postoje dva stanja bubrivog tla (Vardon, 2009):

- stanje u ravnoteži,
- stanje koje nije u ravnoteži – raspodjela vode u pornoj strukturi mijenja se s vremenom.

Ta dva stanja najbolje se mogu opisati odnosima faza kao što prikazuje slika 2-3.



Slika 2-3. Konceptualni model hidratacije i sušenja bentonita (prema Vardon, 2009)

Stanje A prikazuje početno i konačno stanje kod sušenja i hidratacije odnosno stanje u ravnoteži. Promjene nastale prilikom procesa sušenja i hidratacije prikazuju se kao međustanje B i predstavljaju stanje koje nije u ravnoteži. Promjena vlažnosti, odnosno promjena volumena slobodne vode je prikazana kao prijelaz iz stanja A u stanje B, dok je promjena volumena apsorbirane vode iz mikropora prikazana kao prijelaz iz stanja B u stanje A. Trenutna promjena je definirana kao promjena koja se pojavljuje ako materijal nije bubrive prirode. Ta veza se temelji na popunjavanju dostupnih pora slobodnom vodom prilikom čega dolazi do protoka. Ravnotežni položaj je onaj kada je u mikrostrukturi dio volumena pora saturiran vodom i nije slobodan za protok (Vardon, 2009).

Uslijed neuravnoteženih negativnih naboja na površinama jediničnih slojeva javlja se vrlo velika apsorpcijska energija koja kao posljedicu donosi kretanje vode isključivo prema mikrostrukturnim prostorima u početku hidratacije. U toj fazi distribucija vode u nesaturiranoj bentonitnoj glini odvija se u obliku tankog filma na granicama čestica ili nakupina, a ne u velikim pornim prostorima te promjena volumena bude približna volumenu infiltrirane vode. To kretanje utječe na ekspanziju čestica i nakupina minerala glina pri čemu se smanjuju i makropore. Ulaskom vode u prostore mikrostrukture bentonitne gline dolazi do pada apsorpcijskog potencijala mikrostrukture što uzrokuje slabljenje gradijenata i naposljetku ulazak vode u makropore. Ukoliko ravnoteža makro i mikro domene i dalje nije uspostavljena zbog osmotskog potencijala, bubrenje se nastavlja (Kavur, 2008).

2.3 Upotreba bentonitne gline

Bentonitna glina danas se koristi u velikom razmjeru. Osim što se koristi u naftnoj industriji, obradi željezne rude, proizvodnji pesticida, u manjim količinama koristi se i u proizvodnji boja, u farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji, pri proizvodnji cementa i nama najbitnija primjena u geotehnici i zaštiti okoliša. Kako je to prirodan materijal, koristi se jer svojom primjenom ne djeluje štetno na okoliš.

2.3.1 Glinena geosintetička barijera (GCL – Geosynthetic Clay Liner)

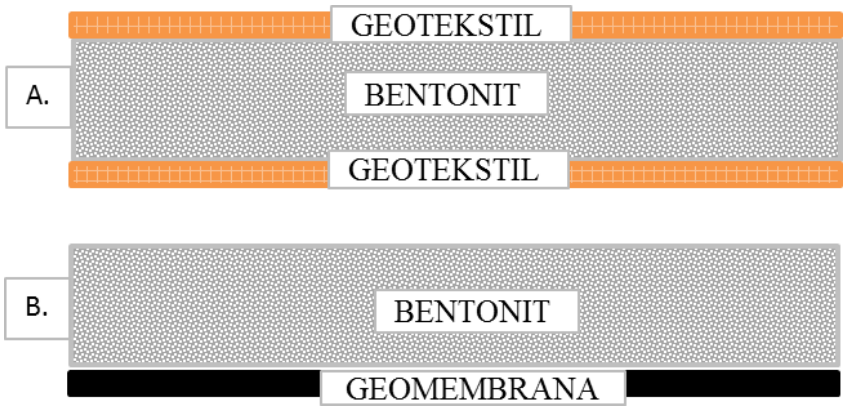
Glinena geosintetička barijera pripada skupini geosintetika. Geosintetici su proizvodi od sintetičkih materijala, namijenjeni za uporabu u zemljanim građevinama i općenito u graditeljstvu (Veinović i Kvasnička, 2007). Imaju široki raspon primjene, a neki od primjera su: prometnice, hidrotehničke građevine, podzemne građevine, zaštita okoliša, itd.

Vrste geosintetika:

- geotekstili,
- geomreže,
- geomembrane,
- geokompoziti.

Glinena geosintetička barijera pripada u skupinu geokompozita. Geokompoziti su složeni materijali sastavljeni od nekoliko elemenata, tj. kombinacija s drugim materijalima.

Glinena geosintetička barijera tvornički je proizvedena hidraulička barijera koja se obično sastoji od prirodnog zemljanog materijala (bentonitna glina) obloženog geotekstilom i/ili geomembranom međusobno pričvršćenim tkanjem, prošivanjem ili lijepljenjem. Slika 2-4 prikazuje dvije osnovne vrste glinene geosintetičke barijere.



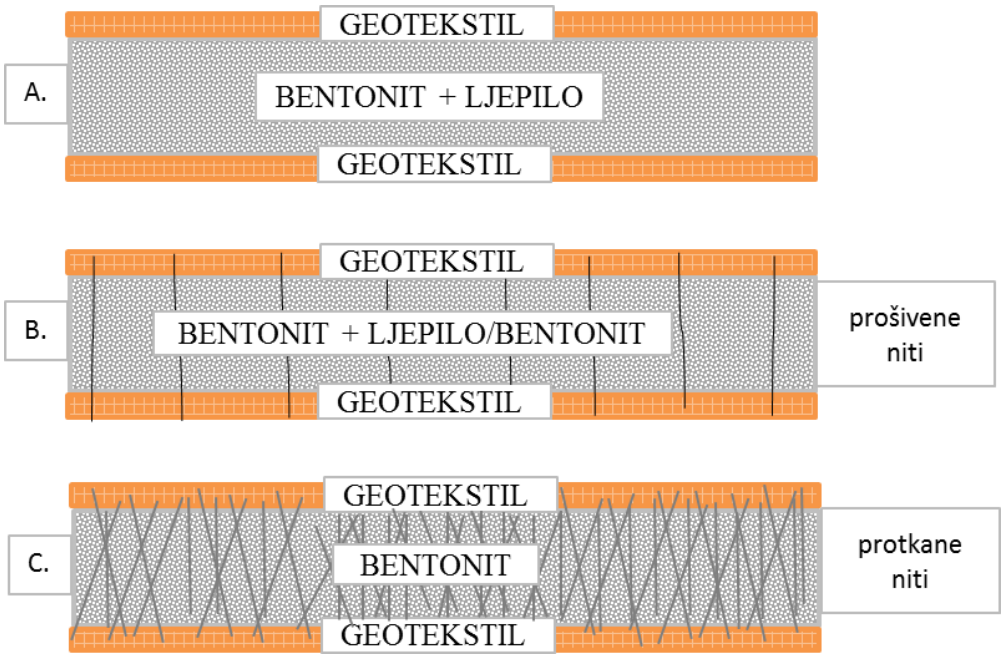
Slika 2-4. Osnovne vrste glinene geosintetičke barijere: A.) bentonit između dva sloja geotekstila; B.) bentonit i sloj geomembrane

Korišteni bentonit je uglavnom natrijski bentonit jer ima veliki koeficijent bubrenja, što smanjuje propusnost koja je između 1 x 10^{-11} i 5 x 10^{-11} m/s, ali i čvrstoću u odnosu na kalcijski bentonit. Debljina glinene geosintetičke barijere najčešće je oko 5-8 mm, a sadrži oko 4-5 kg bentonita po kvadratnom metru i kao oblogu ima dva geotekstila, no to nije pravilo (Veinović i Kvasnička, 2007).

Glinena geosintetička barijera sastavljena je od bentonita i geotekstila te ima tri načina međusobnog povezivanja što prikazuje slika 2-5., dok se bentonit na geomembranu učvršćuje ljepilom.

Mogućnosti spajanja bentonita i geotekstila:

- ljepilom,
- prošivenim nitima,
- protkanim nitima.



Slika 2-5. Spajanje bentonita i geotekstila

Bentonitna glina i glinena geosintetička barijera u posljednjih nekoliko godina postaju sve više upotrebljavane zbog svojih dobrih svojstava kao brtveni materijal. Obzirom da se konstantno teži novim izazovima i kako se pojavljuju novi brtveni materijali, provode se

brojna ispitivanja u svrhu povećanja kvalitete i stalne kontrole. Glinena geosintetička barijera često se koristi u odlagalištima otpada. Da bi služila kao barijera u pokrovnom i u temeljnom sloju, mora se omogućiti hidratacija nakon ugradnje kako bi se postigla nisku hidrauličku i plinsku provodljivost (Chevrier et al., 2012). Glinena geosintetička barijera obično se ugrađuje s početnim sadržajem vode u bentonitu (10 – 15%), zbog praktičnih razloga i lakoće ugradnje. Stoga, vrijeme trajanja hidratacije (prelazak plinova i vode iz podloge) vrlo je važan faktor. Ova pretpostavka donesena je tokom laboratorijskih i terenskih ispitivanja izvedenih sa prirodnim natrijskim bentonitom i usmjerena na ispitivanje utjecaja nekoliko parametara: podloga koja se koristi, temperatura i opterećenje (Chevrier et al., 2012).

Rezultati su pokazali kako postoji dobra veza između propusnosti podloge i konačnog postotaka vode u bentonitu. Kao sto se očekivalo, pjeskovito tlo brže hidratizira i u većem postotku nego glinovito tlo za isto vrijeme trajanja ispitivanja. Brzina hidratacije i konačni postotak vode povećavaju se ukoliko se podigne temperatura, dok sniženje temperature usporava hidrataciju i smanjuje konačni postotak vode, neovisno o materijalu (Chevrier et al., 2012).

Iz navedenoga možemo zaključiti kako je hidratacija bentonitne gline veliki pomak u povećanju kvalitete upotrebe bentonitne gline u svrhu zaštite okoliša, odnosno u izgradnji odlagališta otpada.

3 HIDRATACIJA BENTONITNE GLINE

Bentonitna glina je iznimno bubriv materijal i već pri prvom doticaju s vodom dolazi do promjene strukture. Prilikom tog kontakta vrlo brzo dolazi do saturacije samo površinskog sloja što sprječava distribuciju vode po cijelom uzorku. Iz tog razloga prilično je kompleksno pripremiti homogen uzorak točno određene vlažnosti uranjanjem u vodu ili bilo kakvim izravnim dodirom s vodom (Vučenović, 2016).

GCL se na odlagalište otpada ugrađuje pri prirodnoj vlažnosti od 7 do 12 % što je nedovoljno kako bi spriječilo ili umanjilo protok plina. Smatra se da pasivna hidratacija počinje već pri samoj ugradnji GCL-a i da odgovarajuću vlažnost dosegne već pri doticaju sa okolnim slojevima u brtvenom sustavu te protoku prvih plinova kroz odlagalište. Međutim ne postoji garancija da će se GCL odnosno bentonitna glina kao mineralna komponenta do tog vremena dovoljno saturirati i onemogućiti protok plina (Rouf et al., 2014).

Nakon što razne metode hidratacije nisu uspjele postići vlažnost veću od 20%, metoda hidratacije upotrebom pijeska određene vlažnosti pokazala se kao vrlo učinkovita obzirom da su rezultati ispitivanja pokazivali širok spektar vlažnosti bentonitne gline. Za određivanje i dobivanje optimalne vlažnosti bentonitne gline, potrebno je provesti veliki broj ispitivanja sa različitim faktorima koji mogu vrlo lako utjecati na konačne rezultate.

3.1 Laboratorijska ispitivanja hidratacije GCL-a glinovitim pijeskom

Nekoliko istraživača ispitivalo je hidrataciju GCL-a glinovitim pijeskom u izotermnim uvjetima na sobnoj temperaturi, odnosno pri konstantnoj temperaturi: $\Delta T=0$. Pokazalo se kako GCL uspijeva doseći 88% vlažnosti nakon 40 - 45 dana postavljen na pijesak čija je vlažnost bila 3%. Također se dokazalo kako je osušeni GCL uspio doseći i do 140% vlažnosti kada bi ga se postavilo na 8 – 10% vlažan pijesak (Anderson et al., 2012).

Utjecajni faktori koji utječu na brzinu i stupanj hidratacije (Anderson et al., 2012):

- metoda izrade GCL-a,
- tip bentonitne gline u GCL-u,

- tip pijeska – pokazalo se da je hidratacija muljevitim pijeskom (SM) sporija nego kada se koristi običan pijesak (SP)
- veličina i raspored zrna pijeska,
- početna vlažnost pijeska,
- opterećenje,
- temperatura.

4 ISPITIVANJA METODE HIDRATACIJE BENTONITNE GLINE

Ispitivanja su se odvijala u Geomehaničkom laboratoriju u Odjelu za mehaniku tla, na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu.

4.1 Metode

Koristi se jednoliko graduiran pijesak i miješa s vodovodnom vodom u određenim omjerima. Pijesak je hidratiziran vodovodnom vodom kako bi dosegao 10%, 15% i 20% vlažnosti.

Pri sušenju ili porastu količine vlage, ako je raspored čvrstih čestica nepromijenjen, mijenja se stupanj zasićenosti od 0 ili 0% za suho tlo do 1 ili 100% za tlo čije su pore posve ispunjene vodom. Stupanj zasićenosti ili stupanj saturacije S_r tla je omjer volumena vode i volumena pora u tlu što vidimo iz izraza 4-1:

$$S_r = \frac{V_w}{V_v}. \tag{4-1}$$

Kako bi se odredio stupanj saturacije, potrebno je izračunati dodatne parametre. U samom izrazu potrebno je odrediti volumen vode V_w i volumen pora V_v. Oni se mogu izračunati pomoću izraza 4-2 , 4-3 i 4-4:

$$V_w = \frac{m_w}{\rho_w}. \tag{4-2}$$

$$V_v = V - V_s. \tag{4-3}$$

$$V_s = \frac{m_s}{\rho_s}. \tag{4-4}$$

gdje su:

V_w – volumen vode (cm^3),

V_v – volumen pora (cm^3),

V_s – volumen čvrstih čestica (cm^3)

m_w – masa vode (g),

m_s – masa čvrstih čestica (g),

ρ_w – gustoća vode (g/cm^3),

ρ_s – gustoća čvrstih čestica (g/cm^3).

Navedeni izrazi upotrjebljavaju se u proračunu prilikom određivanja vlažnosti svakog uzorka pijeska, bentonitne gline i GCL-a.

Dobiveni rezultati pokazuju kako se početni stupanj saturacije pijeska kreće od 21% do 61%, dok konačni stupanj saturacije varira između 12% i 50%.

Procijenjeno je da su navedene vlažnosti optimalne za hidrataciju bentonitne gline prilikom ovog ispitivanja. Nakon što se pijesak homogenizira, ugrađuje se u posudu za ispitivanje gdje se dodaje bentonitna glina za postupak hidratacije pod opterećenjem. Ispitivanja su podijeljena u nekoliko sekcija. Prvo se izvodi proračun. Kod proračuna se koristi:

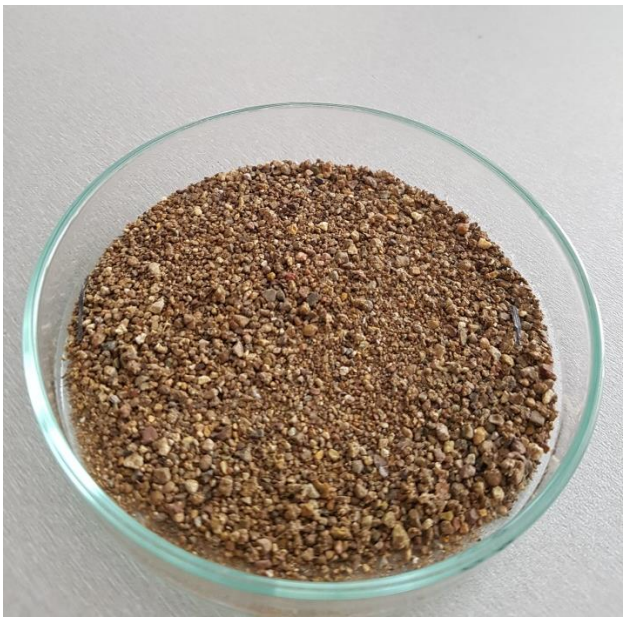
- masa pijeska,
- masa vode potrebne za dovođenje pijeska na određenu vlažnost.

Nakon što se provede proračun, započinje se s pripremom uzoraka. Kod pripreme uzorka za hidrataciju, koja je opisana u poglavlju *4.3* , koristi se isti postupak za svaki od 3 različita uzorka. Korišteni uzorci su:

- bentonitna glina u prahu (16-003) – slika 4-1,
- granule bentonitne gline iz uzorka GCL-a (13-001-025) – slika 4-2,
- GCL (13-001-025) – slika 4-3.



Slika 4-1. Bentonitna glina (16-003)



Slika 4-2. Granule bentonitne gline iz uzorka GCL-a (13-001-025)



Slika 4-3. GCL (13-001-025)

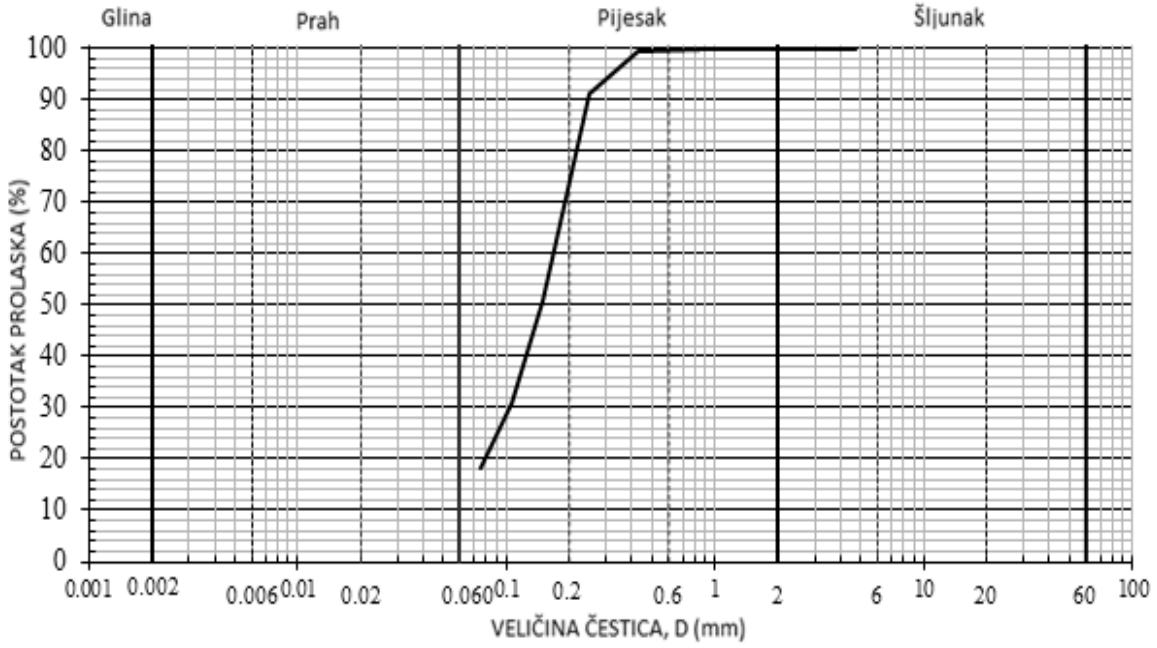
Na svim uzorcima provedena su po tri ispitivanja hidratacije pri različitim vlažnostima pijeska. Ispitivanja su provedena na sobnoj temperaturi.

Za svaku skupinu uzoraka korišten je vremenski period od 14 dana, odnosno to je vrijeme trajanja jednog ispitivanja. Tokom jednog ispitivanja koristi se šest posuda sa uzorcima stavljenima na pijesak vlažnosti 10%, 15% i 20% spremnima za hidrataciju uzorka,

odnosno bentonitne gline. Za svaku od te tri vlažnosti, koristile su se po dvije posude, što daje zbroj od ukupno šest uzoraka za jedno ispitivanje. Ispitivanje je podijeljeno na dva vremenska perioda, 7 i 14 dana, kako bi se vidio utjecaj vremena na hidrataciju.

4.2 Priprema

U svrhu ispitivanja provedena je granulometrijska analiza pijeska kako bi se utvrdio granulometrijski sastav kao što vidimo na slici 4-4.



Slika 4-4. Granulometrijska krivulja pijeska

Potrebno je izračunati koeficijent jednoličnosti (c_u) koji se određuje izrazom 4-5, i koeficijent zakrivljenosti (c_c) kojeg opisuje izraz 4-6, kako bi se pijesak mogao karakterizirati. U izrazima za koeficijente nalaze se karakteristični promjeri zrna D_{10}, D_{30} i D_{60}. Oni se dobiju tako da se u granulometrijskom dijagramu povuče horizontalna linija sa ordinate na odgovarajućim postocima (10%, 30% i 60%) te očitaju njihove vrijednosti na apscisi, odnosno osi na kojoj je označen promjer zrna u [mm].

Koeficijent jednoličnosti:

$$c_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}. \tag{4–5}$$

Koeficijent zakrivljenosti:

$$c_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}. \tag{4–6}$$

Na temelju granulometrijskog dijagrama, dobiveni rezultati za promjere su D_{10}=0,075, D_{30}=0,104 i D_{60}=0,173. Kada se uvrste karakteristični promjeri u izraze za koeficijente, dobijemo da je c_u=2,39, a c_c=0,83. Prema tablici 4-1 zaključujemo kako se radi o jednoliko graduiranom pijesku.

Tablica 4-1. Određivanje oblika granulometrijske krivulje

Termin	**c_u**	**c_c**
dobro graduiran	c_u>15,0	1<c_c<3
srednje graduiran	6,0 do 15,0	c_c<1,0
jednoliko graduiran	c_u<6,0	c_c<1,0
slabo graduiran	obično visok	bilo koji (obično c_c<0,5)

Kako bismo znali kako doći do određenog postotka vlažnosti pijeska, prvo smo odredili masu suhog pijeska odnosno masu čvrstih čestica pijeska (m_s). Odabrana je masa pijeska prirodne vlažnosti od 500 g, nakon sušenja masa je iznosila 498,01 g. Ukupna masa uzorka pijeska sastoji od mase čvrstih čestica pijeska i mase vode, dok masu zraka u porama pijeska zanemarujemo. Prema tome, masu vode koja se nalazi u pijesku u prirodnom stanju možemo dobiti pomoću izraza (4–7).

$$m_w = m - m_s \tag{4–7}$$

$$m_w = 500g - 498{,}01g$$

$$m_w = 1{,}99g$$

gdje su:

m_s – masa čvrstih čestica,
m – ukupna masa,
m_w – masa vode.

Prema tome, pijesak prirodne vlažnosti mase 500 g sadrži 1,99 g vode.

U mehanici tla vlažnost se promatra kao odnos mase vode i mase čvrstih čestica u uzorku. Uvrštavanjem podataka u izraz (4-8), saznajemo prirodnu vlažnost pijeska:

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\ [\%], \tag{4–8}$$

$$w = \frac{1{,}99g}{498{,}01g} \times 100\ [\%]$$

$$w = 0{,}4\ \%$$

gdje je:

w – vlažnost.

Nakon što smo utvrdili podatke o prirodnoj vlažnosti pijeska moguće je pristupiti proračunu parametara pomoću kojih se dobije pijesak potrebne vlažnosti. Sljedeće što slijedi je formula za određivanje ukupne mase pijeska vlažnosti 10%. Ukupna masa uzorka ovisi o masi čvrstih čestica i vlažnosti uzorka (4-9).

$$m = m_s \times (w + 1)\ [g] \tag{4–9}$$

Masa čvrstih čestica uzorka pijeska je poznata. Ciljana vlažnost pijeska iznosi 10%.

$$m = 498{,}01 \times (0{,}1 + 1)$$

$$m = 547{,}81\ g$$

Kao rezultat dobijemo ukupnu masu uzorka koja je potrebna da bi uzorak pijeska postigao vlažnost od 10%. Upotrebom izraza (4-7), od dobivene mase 547,81 g oduzima se masa čvrstih čestica pijeska te se dobije masa vode koja je potrebna da bi pijesak imao potrebnu vlažnost od 10%.

$$m_w = 547{,}81 - 498{,}01$$

$$m_w = 49{,}80\ g$$

Kako uzorak pijesaka u prirodnom stanju sadrži 1,99 g vode, da bi dobili pijesak vlažnosti 10% potrebno je pijesku prirodne vlažnosti dodati:

$$49{,}80 - 1{,}99 = 47{,}81 g$$

Isti se postupak upotrebljava kako bismo dobili pijesak vlažnosti 15% i 20%.

Na kraju se dobije masa vode (m_w) koja iznosi 47,81 g, što znači da na pijesak prirodne vlažnosti mase 500 g treba dodati 47,81 g vode kako bi pijesak sadržavao 10% vlažnosti.

Isti postupak se koristi za pijesak na 15% i 20% vlažnosti, samo se zamijene vrijednosti vlažnosti.

Zaključno, kako bismo dobili pijesak vlažnost od 10%, moramo uzorak pijesaka prirodne vlažnosti mase 500 g pomiješati sa 47,81 g vodovodne vode.

Kako bismo dobili pijesak vlažnost od 15%, moramo uzorak pijesaka prirodne vlažnosti mase 500 g pomiješati sa 72,71 g vodovodne vode.

Kako bismo dobili pijesak vlažnost od 20%, moramo uzorak pijesaka prirodne vlažnosti mase 500 g pomiješati sa 97,61 g vodovodne vode.

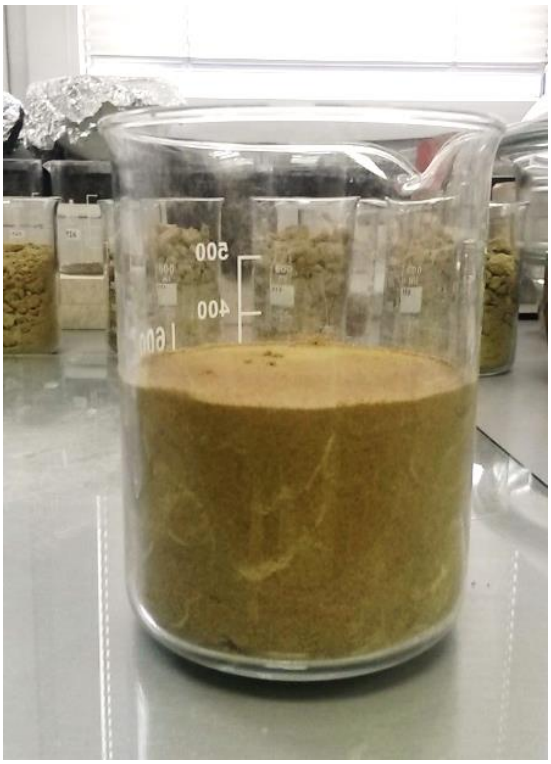
U nastavku je opisan tijek pripreme i ugradnje uzoraka pijeska. Slika 4-5. prikazuje pijesak prirodne vlažnosti. Kako izgleda pomiješan pijesak sa vodom vidi se na slici 4-6., dok pripremljen za hidrataciju bentonitne gline u posudi vidi se na slici 4-7.



Slika 4-5. Pijesak prirodne vlažnosti



Slika 4-6. Pomiješan pijesak s vodom



Slika 4-7. Pijesak pripremljen za hidrataciju bentonitne gline

Nakon što je pijesak pripremljen za hidrataciju bentonitne gline, na njega se stavlja se filter papir. Filter papir omogućava nesmetan protok vode iz pijeska prema bentonitnoj glini, odnosno hidrataciju; dok u isto vrijeme sprječava miješanje i lijepljenje pijeska i bentonitne gline. Na filter papir stavi se uzorak bentonitne gline prirodne vlažnosti. Ukoliko se radi o GCL-u, uzorak je pripremljen kako bi promjerom odgovarao promjeru posude, dok se kod uzoraka praha i granula bentonitne gline uzimao uzorak mase 50 g. Na uzorak bentonitne gline odnosno GCL-a također je postavljen još jedan filter papir te opterećen s opterećenjem od približno 1,27 kN/m^2. Posuda se zatvori, nakon čega započinje mjerenje vremena hidratacije. Za to vrijeme posuda sa uzorkom stoji u nepomičnom položaju na sobnoj temperaturi.



Slika 4-8. Pripremljena posuda sa uzorkom za postupak hidratacije

Nakon hidratacije od 7, odnosno 14 dana, posuda se prazni te se uzorci bentonitne gline i pijesaka, kao što prikazuje slika 4-9., stavljaju u zasebne staklene posudice te se određuje vlažnost pomoću digitalne vage kakva je prikazana na slici 4-10. Prvo se odredi masa praznih posudica, zatim masa posudice i vlažnog uzorka te nakon sušenja masa posudice i suhog uzorka.



Slika 4-9. Izvađeni uzorak GCL-a i pijesak nakon završetka ispitivanja



Slika 4-10. Digitalna vaga

Uzorci su sušeni 24 sata na 105 °C. Nakon sušenja, uzorci su ohlađeni i izvagani te se na temelju podataka pomoću izraza (4-4) izračuna vlažnost uzorka bentonitne gline kao i vlažnost pijeska koju su postigli do kraja ispitivanja. Primjer proračuna vlažnosti prikazan je u tablici 4-2.

Tablica 4-2. Rezultati dobiveni nakon postupka hidratacije i sušenja

Opis uzorka	Masa posude m_p (g)	Masa posude i vlažnog uzorka m_{pv} (g)	Masa posude i suhog uzorka m_{ps} (g)	Vlažnost w (%)
GCL granule 7 dana hidratizirane pijeskom 10% vlažnosti	52,77	63,03	59,64	49,34

Kako bi se odredila vlažnost za promatrani uzorak, prvo je potrebno odrediti masu vode u uzorku za određivanje vlažnosti i masu suhog uzorka.

Masa vode u uzorku za određivanje vlažnosti izračunata je na temelju izraza (4-6):

$$m_w = \left(m_{pv} - m_p\right) - \left(m_{ps} - m_p\right)\ [g] \tag{4–6}$$

$$m_w = (63{,}03\ g - 52{,}77\ g) - (59{,}64\ g - 52{,}77\ g)$$

$$m_w = 3{,}39\ g$$

gdje su:

m_{pv} – masa posude i vlažnog uzorka za određivanje vlažnosti (g),

m_p – masa posude (g),

m_{ps} – masa posude i suhog uzorka za određivanje vlažnosti (g).

Masa suhog uzorka na temelju izraza (4-7):

$$m_s = m_{ps} - m_p\ [g] \tag{4–7}$$

$$m_s = 59{,}64\ g - 52{,}77\ g$$

$$m_s = 6{,}87\ g$$

Nakon što se odrede mase vlažnog i suhog uzorka, može se upotrijebiti izraz 4–4 za proračun vlažnosti:

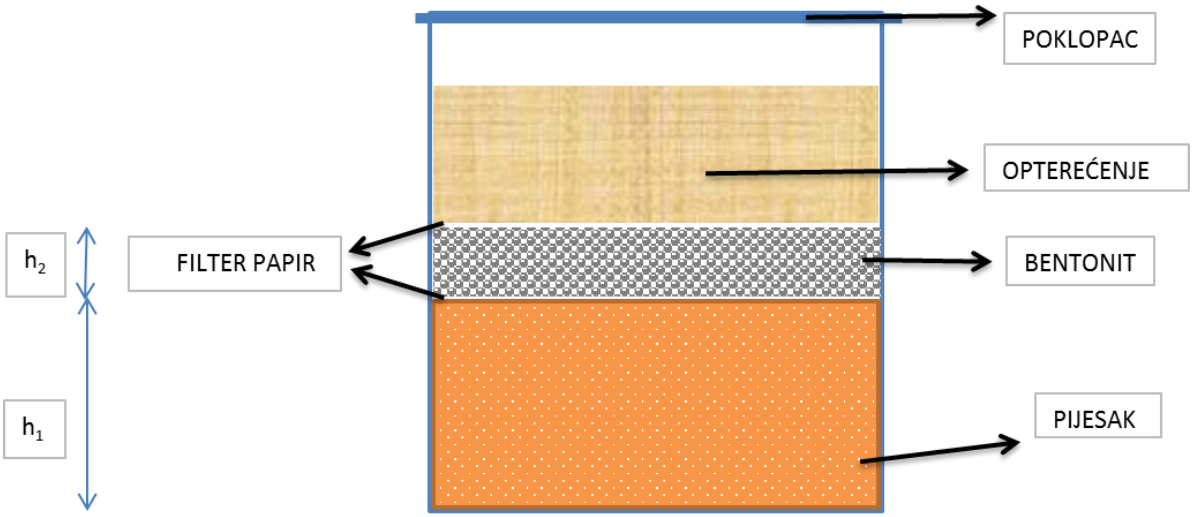
$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\ [\%]$$

$$w = \frac{3{,}39\ g}{6{,}87\ g} \times 100\ [\%]$$

$$w = 49{,}34\ \%$$

4.3 Shema posude za ispitivanje

Na slici 4-11. vidi se shema posude za ispitivanje. Korištena je staklena posuda zapremnine 600 ml. Na dnu se nalazi pijesak, ispod i iznad uzorka bentonitne gline ili GCL-a stavlja se filter papir i na sve to dolazi uteg kojim se postiže opterećenje. Uteg je približno jednakog promjera kao unutrašnji promjer posude kako bi sila djelovala ravnomjerno. Na kraju se stavlja nepropusna vrećica kako bi se hidratacija odvijala u zatvorenom ciklusu, odnosno kako bi sve što se nalazi u posudi ostalo u njoj i kako ne bi došlo do evaporacije tekućine iz posude.



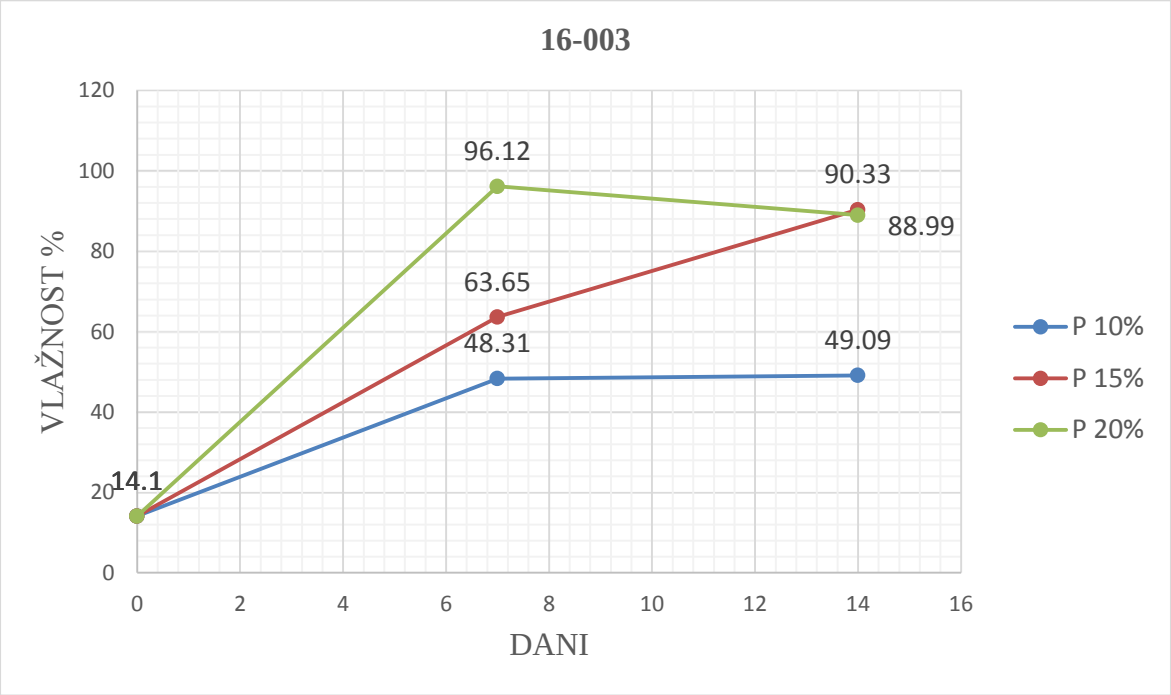
Slika 4-11. Shema posude sa pripremljenim uzorkom za hidrataciju

5 REZULTATI

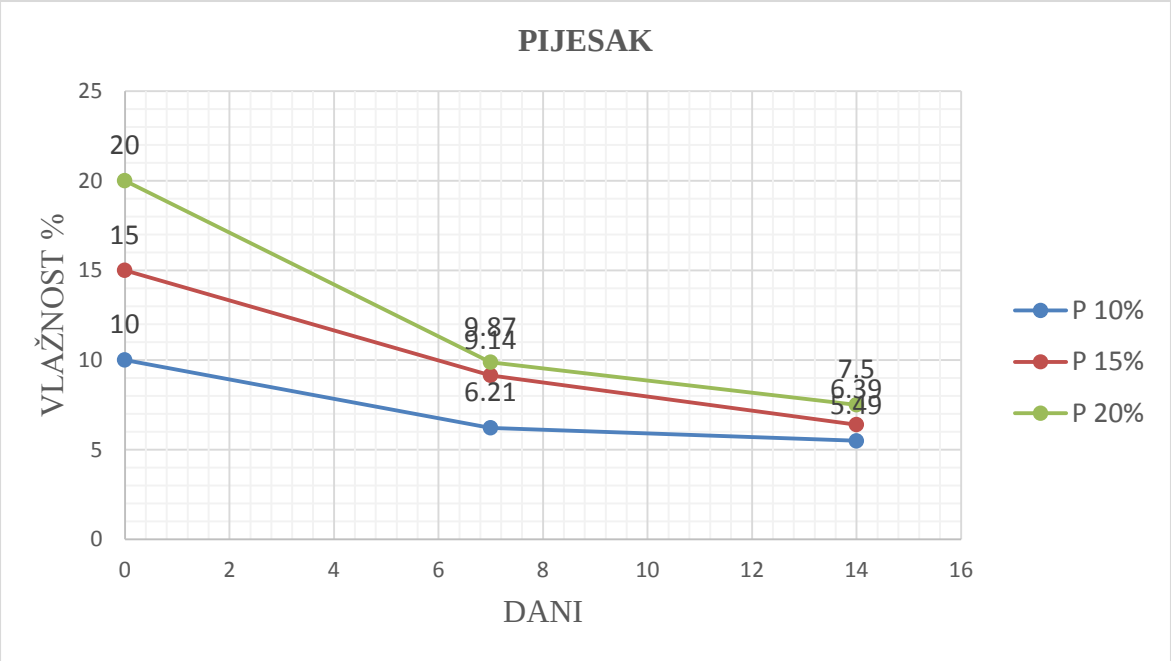
Sva ispitivanja provedena su istim postupkom. Ispitivanja su provedena na tri uzorka: bentonitna glina u obliku praha (16-003), bentonitna glina izvađena iz GCL-a u obliku granula (13-001-025) i na uzorku GCL-a (13-001-025). Svi uzorci pripremani su u šest serija s tri stupnja vlažnosti pijeska. Po dvije serije su postavljene na pijesak iste vlažnosti pri čemu je razlika između serija bila u vremenu hidratacije (7 i 14 dana). Navedeni postupak trebao je omogućiti bolji uvid o utjecaju vlažnosti pijeska na vlažnost uzoraka bentonitne gline odnosno GCL-a te utjecaj duljine hidratacije na vlažnost uzoraka i tijek hidratacije.

5.1 Bentonitna glina, uzorak broj 16-003 (prah)

Korištena je bentonitna glina, laboratorijske oznake 16-003, u obliku praha. Slika 5-1. prikazuje promjenu vlažnosti bentonitne gline u obliku praha tijekom hidratacije dok je na slici 5-2. prikazana vlažnosti pijesaka tijekom vremena.



Slika 5-1. Odnos vlažnosti i vremena na uzorak 16-003 (prah)



Slika 5-2. Odnos vlažnosti i vremena za pijesak

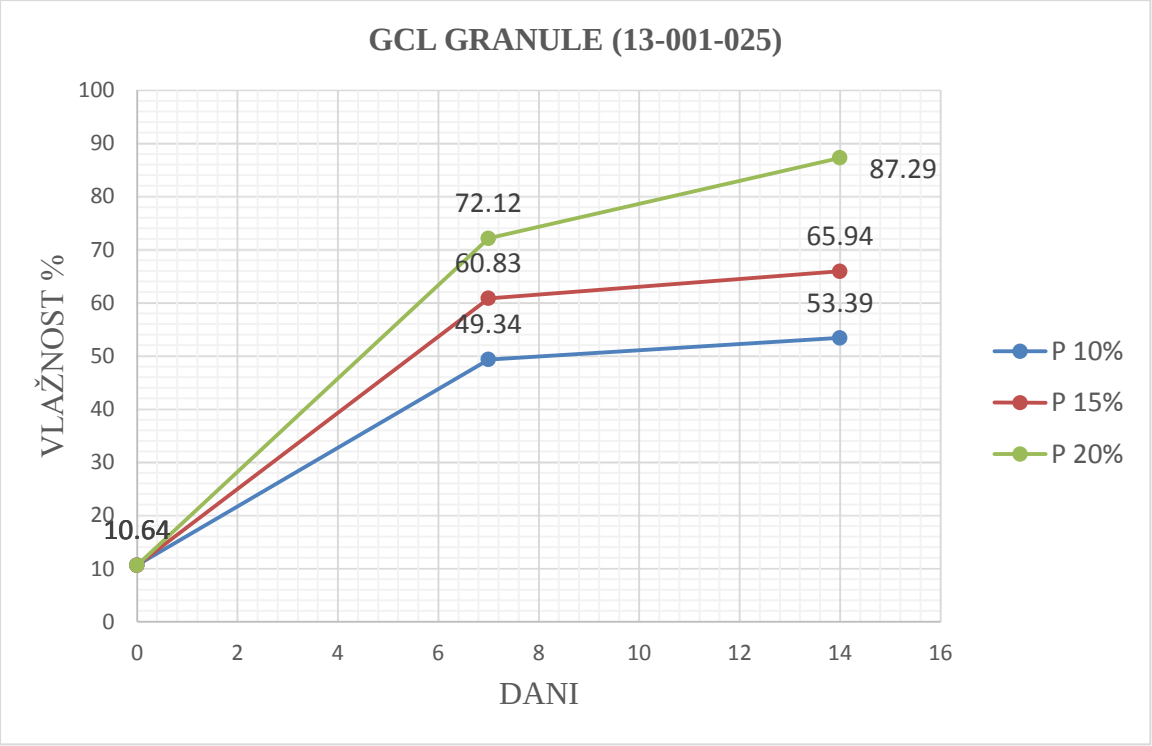
Iz slika 5-1. i 5-2. vidi se kako se sa dužinom hidratacije, povećavala vlažnost kod uzorka i smanjivala kod pijeska. Odnosno, vidljivo je kako je uzorak bentonitne gline u prahu povlačio vodu iz pijeska. U prvih 7 dana proces hidratacije bio je brži, u odnosu na završnih 7 dana. Uzorak bentonita koji je bio u kontaktu s pijeskom vlažnosti 20%, dosegao je svoj maksimum nakon 7 dana što iznosi vlažnost od 96,12% te je nakon toga vlažnost počela padati. Uzorak koji je bio u kontaktu s pijeskom vlažnosti 15% jednoliko je povećavao vlažnost sve dok nakon 14 dana nije dosegao 90,33% što je više nego uzorak tretiran pijeskom vlažnosti 20% nakon 14 dana. Uzorak bentonitne gline koji je bio u kontaktu s pijeskom vlažnosti 10% pokazuje kako je ta vlažnost nedovoljna odnosno vjerojatno bi trebalo dulje vremena da prođe granicu od 50% vlažnosti. Vlažnost uzoraka pijeska nakon sedam dana hidratacije kreću se u rasponu od 6,21 do 9,87 % dok se nakon četrnaest dana hidratacije kreću u rasponu od 5,49 do 7,5%. Na temelju navedenog može se zaključiti da nakon četrnaest dana uzorci pijeska postižu približno istu vlažnost a da upravo razlika u početnoj vlažnosti osigurava veću vlažnost bentonitne gline.

5.2 Granule bentonitnog tepiha (GCL-a)

Iz uzorka GCL-a (oznaka uzorka 13-001-025) izvađene su granule, odnosno odvojio se geotekstil od bentonitnog dijela. Ovdje je cilj bio utvrditi utjecaj geotekstila na hidrataciju bentonita i u kojoj mjeri dolazi do veće, iste ili manje hidratacije u odnosu na originalni oblik GCL-a.

Korištena masa granula iz GCL-a je ista kao što se koristila i za uzorak 16-003 (prah), odnosno 50 g.

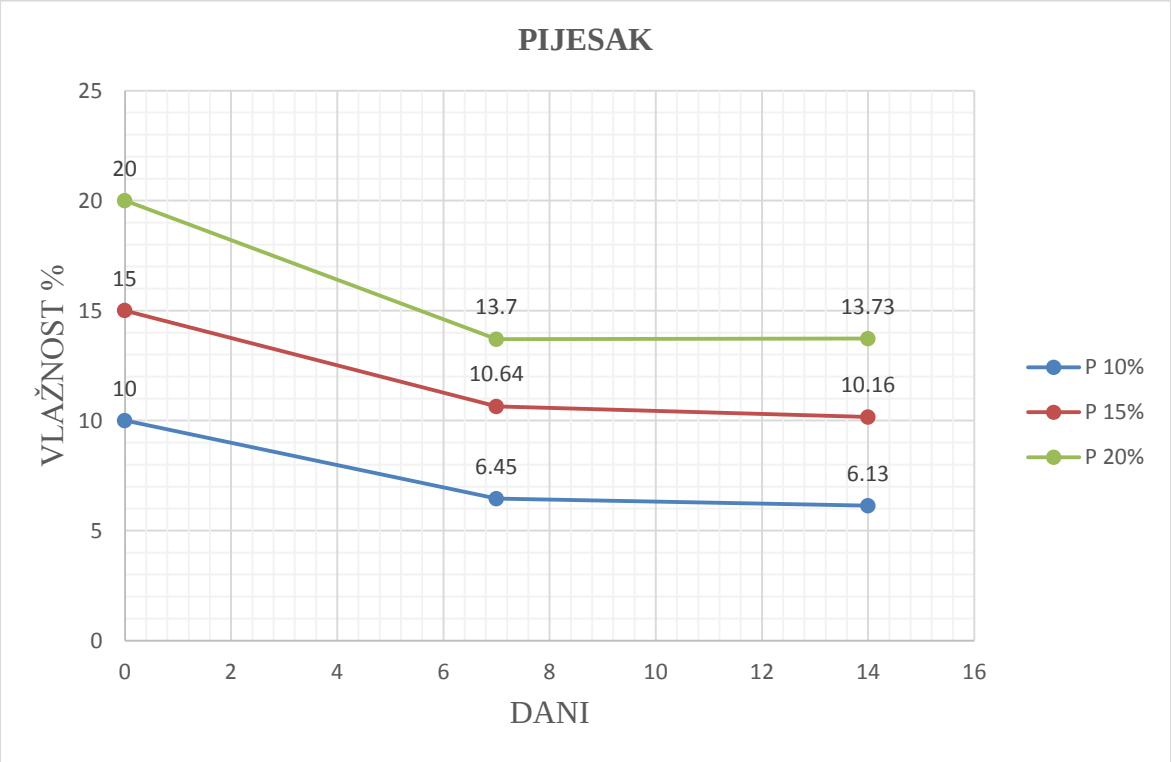
Promjenu vlažnosti u vremenu za uzorak bentonitne gline u granulama vidimo na slici 5-3., dok za pijesak prikazuje slika 5-4.



Slika 5-3. Odnos vlažnosti i vremena na granule GCL uzorka

Vidljivo je iz slike 5-3. kako granule drugačije reagiraju prilikom postupka hidratacije. Dobivene su približno slične krivulje upijanja vode, odnosno stupanj hidratacije je bio za sličnu vrijednost veći od uzorka koji je bio hidratiziran pijeskom manje vlažnosti. Dobivenim dijagramom zaključujemo kako je hidratacija najintenzivnija tokom prvih 7 dana, dok u narednih 7 dana masa upijene vode je za 4 puta manja kod uzorka hidratiziranog pijeskom vlažnosti 20%, te čak do 10 puta kod uzoraka hidratiziranih

pijeskom vlažnosti 10 i 15%. Uzorci pijeska na slici 5-4. pokazuju kako je gubitak vlažnosti u pijesku bio najintenzivniji tokom prvih 7 dana, dok narednih 7 dana promjena vlažnosti pijeska je bila vrlo mala. Može se zaključiti da je kod ovog uzorka do glavnine hidratacije došlo tijekom prvih 7 dana.

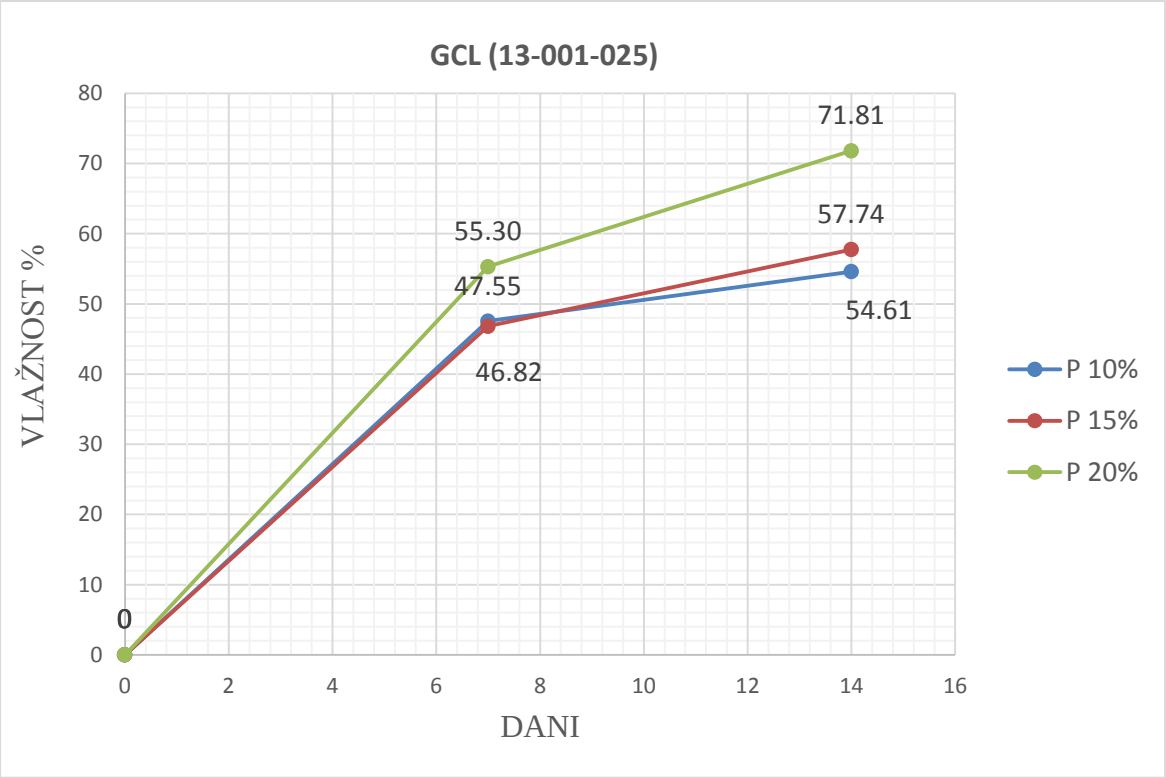


Slika 5-4. Odnos vlažnosti i vremena kod pijeska

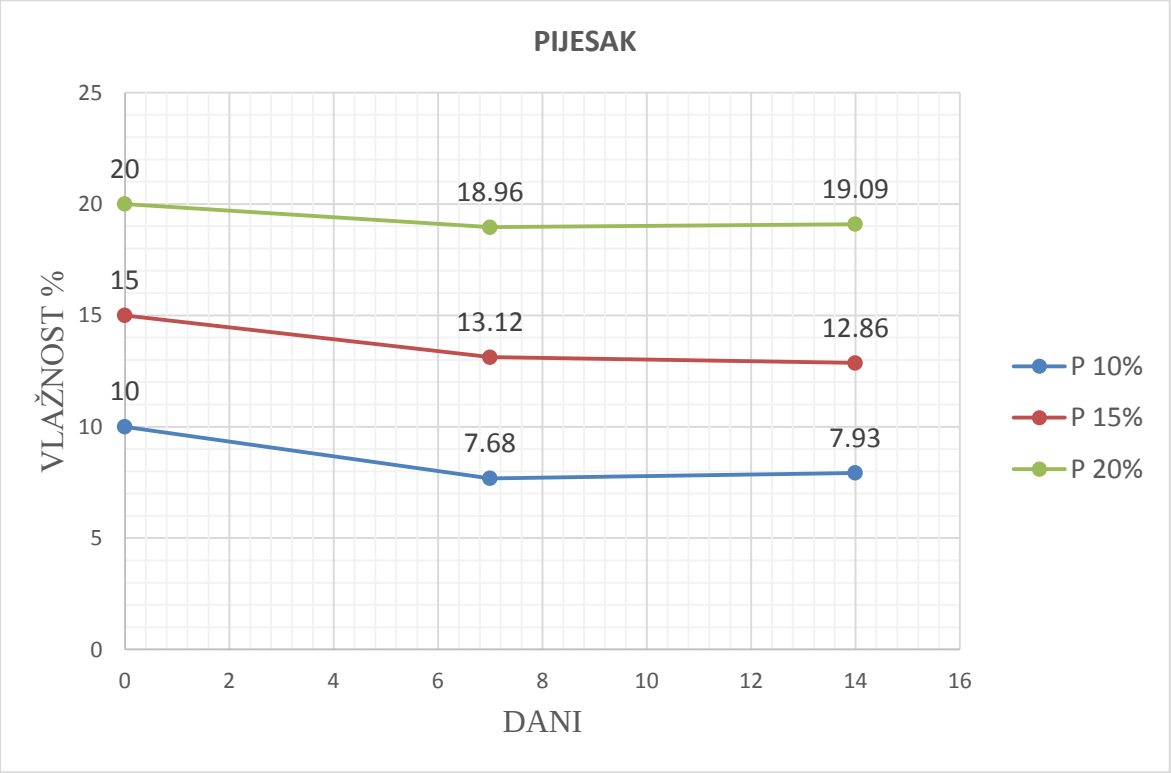
5.3 Glinena geosintetička barijera (GCL)

Kako 50 g GCL-a zahtjeva veću površinu nego što je površina korištene posude za ispitivanja, predložak posude se izmjeri na dijelu GCL-a, označi i odreže tražena veličina kako bi pokrila unutarnje rubove posude, što u prosjeku daje masu od cca 23 g.

Kako se mijenja vlažnost u odnosu na vrijeme za uzorak GCL-a prikazuje slika 5-5., dok je za pijesak prikazano na slici 5-6.



Slika 5-5. Odnos vlažnosti i vremena na GCL uzorak



Slika 5-6. Odnos vlažnosti i vremena kod pijeska i GCL-a

U tablici 5-1. prikazani su dobiveni rezultati i parametri koji utječu na tijek hidratacije.

Tablica 5-1. Parametri hidratacije uzoraka

Naziv uzorka	Početna vlažnost pijeska w_0 (%)	Vlažnost pijeska nakon hidratacije w (%)	Početna vlažnost uzorka w_0 (%)	Vlažnost uzorka nakon hidratacije w (%)	Vrijeme trajanja hidratacije t (dani)	Masa opterećenja m (g)
BENTONITNA GLINA 16-003 (prah)	10	6,21	13,88	48,31	7	727,71
	10	5,49	13,88	49,09	14	698,92
	15	9,14	13,88	63,65	7	703,69
	15	6,39	13,88	90,33	14	748,22
	20	9,87	13,88	96,12	7	736,85
	20	7,50	13,88	88,99	14	715,41
GCL GRANULE (13-001-025)	10	6,45	10,64	49,34	7	748,88
	10	6,13	10,64	53,39	14	699,78
	15	10,64	10,64	60,83	7	727,72
	15	10,16	10,64	65,94	14	703,38
	20	13,70	10,64	72,12	7	727,19
	20	13,73	10,64	87,29	14	760,04
GCL (13-001-025)	10	7,68	13,37	47,55	7	699,28
	10	7,93	13,37	54,61	14	716,12
	15	13,12	13,37	46,82	7	728,75
	15	12,86	13,37	57,74	14	762,08
	20	18,96	13,37	55,30	7	703,85
	20	19,09	13,37	71,81	14	747,83

Iz slike 5-5. vidljivo je kako postoji utjecaj geotekstila na sam proces hidratacije. Uzorci hidratizirani pijeskom vlažnosti 10 i 15% daju skoro identične rezultate, dok uzorak hidratiziran s pijeskom vlažnosti 20% pokazuje nešto manju vlažnost u oba vremenska razdoblja u odnosu na same granule.

Možemo zaključiti kako se vlažnost mijenja ovisno o vremenu. Kod većine uzoraka hidratacija se odvija većom brzinom u prvih 7 dana. U narednih 7 dana hidratacija se odvija smanjenom brzinom a kod jedne serije uzoraka praškaste bentonitne gline dolazi i do smanjenja vlažnosti.

6 ZAKLJUČAK

Bentonitna glina trenutno spada u grupu najpoželjnijih materijala za korištenje u svrhu brtvljenja odnosno izrade brtvenih barijera. Zbog sposobnosti bubrenja i specifičnih svojstava sa sobom povlači potrebu za nizom dodatnih ispitivanja za koje treba strpljenja i velika preciznost. Dosadašnja praksa ugrađivanja na odlagališta otpada pri prirodnoj vlažnosti od oko 12% ne pokazuje efikasnost bentonitne gline kakvu ona može imati, odnosno ne sprječava i ne smanjuje protok plina i vode u onoj mogućnosti u kojoj bi mogla ukoliko se dovedene na optimalnu vlažnost. Kako je otkriveno da bentonitna glina ima puno manju propusnost ukoliko se hidratizira do određene vlažnosti, sve više pažnje posvećivalo se upravo njenoj hidrataciji.

Metode hidratacije koje su koristile potapanje bentonitne gline ili GCL-a u vodu nisu se pokazale zadovoljavajućim. Naime, hidratacija potapanjem uzrokovala je veliku nehomogenost vlažnosti u uzorku pa takovi uzorci nisu bili reprezentativni.

Cilj ovog diplomskog rada bio je pripremiti homogen uzorak točno određene vlažnosti metodom postavljanja uzorka bentonitne gline ili GCL-a na vlažan pijesak. Metoda se pokazala vrlo učinkovitom jer se u relativno kratko vrijeme (14 dana) uspjela dobiti homogena vlažnost uzoraka sve do 96%.

Korištene su tri različite vlažnosti pijeska (10, 15 i 20%) u vremenskom razdoblju od 7, odnosno 14 dana. Rezultati ukazuju da na tijek hidratacije utječu vlažnost pijeska, duljina hidratacije i vrsta uzorka (prah, granule, GCL).

Dosadašnji rezultati ukazuju da na hidrataciju ponajviše ima utjecaj početna vlažnost pijeska. Veća početna vlažnost pijeska osigurava i veću završnu vlažnost uzoraka. Promatranjem duljine hidratacije vidljivo je da se glavnina hidratacije uzoraka događa uglavnom u prvih sedam dana. Drugih sedam dana hidratacije, njena brzina opada a kod jedne serije uzoraka bentonitne gline u prahu u ovom periodu dolazi do smanjenja vlažnosti. Promatrajući vrstu uzorka, može se zaključiti da uzorak bentonitne gline u obliku praha nakon hidratacije od 14 dana ima najveću sposobnost upijanja vode iz pijeska odnosno dosegne najveću vlažnost.

Vrlo je važno napomenuti kako se iz dobivenih podataka i dijagrama može odrediti vlažnost pijeska i vrijeme trajanja hidratacije kako bi se dobio uzorak tražene vlažnosti.

Naime, za istraživanje ponašanja bentonitne gline i GCL-a često je zanimljivo područje vlažnosti do približno 80%, u kojemu uzorak još nije potpuno saturiran a dobiti homogeno pripremljene uzorke je vrlo zahtjevno.

U ovom radu nisu istraživani i razmatrani utjecaji odnosa količine pijeska i uzorka bentonitne gline odnosno GCL-a, granulometrijskog sastava pijeska, temperature, opterećenja te bi svakako bilo preporučljivo uključiti i ove parametre u daljnja istraživanja.

7 LITERATURA

Anderson R., Rayhani M. T., Rowe R. K. (2012): Laboratory investigation of GCL hydration from clayey sand subsoil, Geotextiles and Geomembranes, Volume 31, April 2012, Pages 31-38, ISSN 0266-1144.

Bargaya, F., Themg, B. K. G., Lagaly, G. (2006): Handbook of clay science, Elsevir

Domitrović, D. (2012): „Utjecaj bubrenja bentonitne gline na njezina mehanička svojstva“, Doktorski rad, Rudarsko-Geološko-Naftni fakultet u Zagrebu, 7 str.

Chevrier B., Cazaux D., Didier G., Gamet M., Guyonnet D. (2012): Influence of subgrade, temperature and confining pressure on GCL hydration, Geotextiles and Geomembranes, Volume 33, August 2012, Pages 1-6, ISSN 0266-1144.

Egloffstein, T. (1994): „Properties and test methods to assess bentonite used in geosyntetic clay liners“, Proceedings of an international symposium of geosynthetic clay liners, Nürnberg, Germany,14.-15 04. 1994, 51-72

Fredlund, D.G., Rahardjo, H. (1993). Soil Mechanics for Unsaturated Soils. John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 517.

Grim, R. E. (1962): Clay mineralogy, McGraw-Hill, New York.

Kavur, B. (2009): "Utjecaj sušenja na ponašanje bubrive stijene", Doktorska disertacija. Rudarsko-Geološko-Naftni fakultet u Zagrebu

Kovačević Zelić, **B.** (2000): „Ispitivanje posmične čvrstoće bentonitnih tepiha“, Doktorska disertacija. Rudarsko-Geološko-Naftni fakultet u Zagrebu

Lambe, T. W., Whitman, R. V. (1969): Soil mechanics, New York, Wiley.

Popescu, M. E. (1986): „A comparison between the behaviour of swelling and collapsing soils“, Engineering geology, 23, 145-163

Rouf, M. A., Singh R. M., Bouazza A., Rowe R. K., Gates W. P. (2014): Gas permeability of partially hydrated geosynthetic clay liner under two stress conditions, Environmental Geosynthetics

Vardon P. J. (2009): A Three-dimensional numerical investigation of the thermo-hydro-mechanical behaviour of a large-scale prototype repository (doctoral dissertation), Delft University of Tehnology, Delft, Netherlands.

Veinović, Ž., Kvasnička, P. (2007): Površinska odlagališta otpada, interna skripta, Rudarsko-geološko naftni fakultet u Zagrebu.

Vrkljan, I. (1997): „Bubrenje stijena i njegov utjecaj na podzemne objekte“, Disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 100 str.

Vrkljan, M. (2001): Mineralogija i petrologija - osnove i primjena, udžbenik, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

Vučenović, H. (2016): „Razvoj metode laboratorijskog ispitivanja plinopropusnosti glinenih geosintetičkih barijera“, Doktorski rad, Rudarsko-Geološko-Naftni fakultet u Zagrebu.