

UTJECAJ TEMPERATURE I RELATIVNE VLAŽNOSTI U LABORATORIJU NA ISPITIVANJE KAPACITETA UPIJANJA VODE

THE IMPACT OF LABORATORY AIR TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY ON BENTONITE WATER ABSORPTION CAPACITY

HELENA STRGAR, DUBRAVKO DOMITROVIĆ, BILJANA KOVAČEVIĆ ZELIĆ

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb, Hrvatska

Ključne riječi: bentonit, bentonitni tepih, indeks slobodnog bubrenja, indeks gubitka fluida, kapacitet upijanja vode, koeficijent propusnosti, kemijski sastav

Keywords: bentonite, geosynthetic clay liner, free swell index, fluid loss, water absorption capacity, permeability, chemical composition

Sažetak

Bentonit kao mineralna komponenta bentonitnih tepiha ima važna fizička i kemijska svojstva koja mu osiguravaju vrlo malu hidrauličku propusnost. Glavni sastojak bentonita je mineral glina naziva montmorillonit koji vrlo malu propusnost može zahvaliti sposobnosti bubrenja. Ležišta bentonita rasprostiru se posvuda po svijetu, međutim, samo mali broj njih zadovoljava uvjete kvalitete i trajnosti potrebne za upotrebu u brtvenim barijerama. Ovisno o mjestu ugradnje i namjeni, bentonitni tepisi moraju zadovoljiti određene kriterije. Sukladnost s propisanim kriterijima potvrđuje se različitim laboratorijskim postupcima. U te postupke ubrajaju se i pokusi za ispitivanje indeksnih pokazatelja (indeks slobodnog bubrenja, indeks gubitka fluida i kapacitet upijanja vode). U ovom radu prikazana su zapažanja o utjecaju temperature i relativne vlažnosti prostora u kojemu se provodi ispitivanje na dobivene vrijednosti kapaciteta upijanja, jednog od kriterija koji bentonit mora zadovoljiti prilikom kontrole kvalitete i trajnosti mineralne komponente bentonitnih tepiha.

Abstract

Bentonite, which is a mineral component of geosynthetic clay liners, has important physical and chemical properties that ensure very small hydraulic permeability. The main component of bentonite is a clay mineral called sodium montmorillonite whose very low permeability is due to its ability to swell. The deposits of bentonite are spread all over the world, however, only a very small number of those deposits satisfies all the quality and durability demands that must be met if the bentonite is to be used in the sealing barriers. Depending on the location of installation and their purpose, geosynthetic clay liners must meet certain requirements. Their compatibility with the prescribed criterion is confirmed through various laboratory procedures. Amongst them are tests examining the index indicators (free swell index, fluid loss index, and water absorption capacity). This paper presents results regarding the impact of laboratory air temperature and relative humidity of the testing area on the water absorption capacity. This is one of the criteria that bentonite must satisfy during the quality and durability control of the mineral component of geosynthetic clay liner.

Uvod

Bentonitni tepisi (Geosynthetic Clay Liner, skraćeno GCL ili Geosynthetic Barrier-Clay, skraćeno GBR-C) su umjetno proizvedene hidrauličke barijere niske propusnosti i jednostavne ugradnje s mnoštvom različitih primjena. Približno 5 mm tanki sloj bentonita u obliku granula ili praha nalazi se između dva sloja geotekstila a ponekad uz ili umjesto slojeva geotekstila dolazi i geomembrana. Kod upotrebe u brtvenim sustavima odlagališta otpada upotrebljavaju se natrijski bentoniti odnosno bentoniti kod kojih prevladavaju kationi natrija kao zamjenjivi kationi.

Natrij kao zamjenjivi kation može biti rezultat prirodnih geoloških procesa kao primjerice kod Wyoming bentonita. Također može biti i rezultat aktivacije prirodnih kalcijevih bentonita gdje se oni miješaju sa sodom kako bi došlo do zamjene iona kalcija s ionima natrija na pozicijama zamjenjivih kationa. Kako pojam „bentonit“ nije mineraloški pojam već industrijski, njegova svojstva mogu značajno varirati. Bentonit je mješavina različitih minerala s tim da prevladavaju minerali glina smektitne grupe. Dominantan mineral glina iz smektitne grupe koji se javlja u bentonitima je montmorilonit. Bentoniti korišteni za izradu bentonitnih tepiha obično sadrže 65 do 90 % montmorilonita (Shackelford et al. 2000).

Smektiti imaju sićušne čestice slojevite (lističaste) strukture. Karakterizira ih mali jedinični naboj što je nedostavno za čvrsto vezanje međuslojnih kationa a time i slojeva međusobno. Zbog takve strukture kapacitet ionske zamjene se kreće od 65 do 140 meq/100 g dok specifična površina čestica doseže i do 800 m²/g. Ovakvi smektiti mogu imati veliku bubrivost te nisku hidrauličku propusnost ($k < 10^{-12}$ m/s). Navedena svojstva smektita utječu na ponašanje bentonita pa njihov veći postotak znači i veću kvalitetu bentonita.

Ukoliko se promatra mineral montmorilonit, bubrenje se uslijed hidratacije odvija u dvije faze: intrakristalno bubrenje i osmotsko bubrenje. Intrakristalno bubrenje nastupa kada dolazi do hidratacije iz potpuno suhog stanja. Ovdje jake hidratacijske sile privlače molekule vode koje zatim hidratiziraju unutarnje i vanjske površine čestica te katione na tim površinama. Ova faza je identična kod montmorilonita s pretežno natrijem i s pretežno kalcijem kao zamjenjivim kationima. Kada se kod montmorilonita na mjestima zamjenjivih kationa nalaze jednovalentni kationi (npr. Na⁺, K⁺, Li⁺), intrakristalno bubrenje u vodi ili u otopini s niskom koncentracijom elektrolita može prijeći u osmotsko bubrenje. Tijekom tog procesa ioni Na⁺ prelaze iz međuslojnog prostora na vanjsku površinu sloja. Pri tome nastaju tzv. difuzni dvostruki slojevi koji se međusobno odbijaju što vodi djelomičnoj dekompoziciji kristala i djelomičnoj separaciji u individualne silikatne slojeve. To rezultira bitno većim povećanjem volumena nego u slučaju intrakristalnog bubrenja, tako da kalcijski montmoriloniti imaju sposobnost povećanja volumena od dva do četiri puta u odnosu na dehidratizirani uzorak dok kod natrijskih montmorilonita to iznosi od osam do petnaest puta. Odnos između hidrauličke propusnosti bentonita i bubrenja čestica montmorilonita općenito se pripisuje molekulama vode koje su vezane za strukturu čestica. Ove molekule se smatraju nepokretnima te djeluju kao čvrsta faza u uvjetima toka. Prema tome povećanjem broja molekula vode odnosno bubrenjem smanjuje se broj kanala dostupnih za tok pa oni postaju nepravilniji u smislu veće zavojitosti i krivudavosti te dolazi do smanjenja hidrauličke propusnosti.

Općenito, smektiti imaju veći termodinamički afinitet prema kationima većeg naboja (Ca²⁺, Mg²⁺ i sl.) u odnosu na jednovalentne (uglavnom Na⁺), pa ukoliko se bentonit nalazi u kontaktu s otopinama u kojima prevladavaju dvovalentni i trovalentni kationi može doći do ionske zamjene natrija na pozicijama zamjenjivih kationa. Zadnjih godina provedena su brojna istraživanja mehanizama zamjene kationa te njihova utjecaja na bubrenje i hidrauličku propusnost bentonitnih tepiha (Petrov & Rowe 1997, Ruhl & Daniel 1997, Shackelford et al. 2000, Jo et al. 2001, Kolstad et al. 2004, Jo et al. 2005, Bouazza et al. 2007). Ukoliko se promatra valentnost kationa, može se zaključiti da prijelaz s jednovalentnih na dvovalentne katione općenito ima izraženiji utjecaj na bubrenje od utjecaja dobivenog prijelazom s dvovalentnih na otopine

soli s trovalentnim kationima itd. U slučaju kombiniranih otopina soli jednovalentnih i dvovalentnih kationa, međusobni omjer jednovalentnih i dvovalentnih kationa ima značajniji utjecaj kod otopina niskih koncentracija, a povećanjem koncentracije taj utjecaj se smanjuje. Ukoliko se promatraju koncentracije otopine, samo visoko koncentrirane otopine soli jednovalentnih ($\geq 0,1$ mol/L) kationa imaju znatan utjecaj na bubrenje. Kod otopina soli dvovalentnih i trovalentnih kationa znatan utjecaj se javlja već kod srednjih koncentracija (0,025-0,1 mol/L). Utjecaj pH otopine primijećen je samo kod ekstremnih vrijednosti (pH<2 i pH>13). Za ostale vrijednosti pH dominantan utjecaj ima koncentracija kationa u otopini.

U ovom radu razmatra se određivanje utjecaja temperature i relativne vlažnosti zraka u laboratoriju na dobivene vrijednosti kapaciteta upijanja vode te značaj dobivenih vrijednosti na cjelokupnu ocjenu kontrole kvalitete odnosno pogodnost bentonita kao mineralne komponente bentonitnog tepiha za upotrebu u brtvenim slojevima odlagališta otpada. S ciljem potvrde očekivane kvalitete proizvoda provedena su ispitivanja indeksnih pokazatelja (indeks slobodnog bubrenja i indeks gubitka fluida) te određivanja koeficijenta propusnosti i kemijske analize.

Postupci za osiguranje kontrole kvalitete mineralne komponente

Upotreba bentonitnih tepiha u brtvenim sustavima odlagališta otpada može predstavljati značajnu prednost u odnosu na brtvene sustave sa zbijenom glinom. Bouazza (2002) objavljuje analizu prednosti i nedostataka njihove upotrebe te između ostalog kao prednost ističe jednostavnost ugradnje uz kompetitivnu cijenu. Međutim, kako bi se osigurala dugotrajna stabilnost mineralne komponente brtvene barijere, potreban je alat koji omogućuje kontrolu kvalitete od proizvodnje do ugradnje bentonitnih tepiha te alat kojim se može dokazati kemijska kompatibilnost mineralne komponente u kontaktu s različitim vrstama otopina. Provođenje mineraloških analiza i ispitivanje propusnost slabo propusnih materijala su vremenski i financijski vrlo zahtjevne radnje. Primjerice, Andrejkovicova et al. (2008), Dananaj et al. (2005) navode da velikom broju provedenih istraživanja mineralne komponente nedostaju detaljni podaci o mineraloškom sastavu i pratećim mineralima smektita, iako su to ključni faktori koji utječu na hidrauličke karakteristike mineralne komponente bentonitnog tepiha. Potreban alat koji omogućuje brzu i relativno jeftinu kontrolu kvalitete i osiguranje dugotrajnosti su indeksni pokazatelji (granice plastičnosti, kapacitet adsorpcije vode, indeks slobodnog bujanja, indeks gubitka fluida, kapacitet ionske zamjene (CEC), specifična površina čestica bentonita i dr.). Kako bi se osigurala pouzdanost ovakvih ispitivanja nastoji se dobiti veza različitih indeksnih pokazatelja s hidrauličkom propusnošću, mineraloškim sastavom mineralne komponente i utjecajem različitih vanjskih parametara.

Norme ASTM D 5889, ASTM D 6495 i ASTM D 6141 propisuju potrebna ispitivanja i njihovu učestalost kako bi se osigurala kontrola kvalitete bentonitnih tepiha od proizvodnje do ugradnje te njihova kemijska kompatibilnost odnosno trajnost nakon ugradnje. Navodi se da je za mineralnu komponentu potrebno provesti ispitivanja indeksa slobodnog bubrenja i indeksa gubitka fluida. Europska je posebice njemačka legislativa zahtjeva, uz navedena ispitivanja provođenje pokusa određivanja kapaciteta upijanja vode. Tako von Maubeuge (2002) navodi preporučene vrijednosti navedenih indeksnih pokazatelja koje bi s dovoljnom sigurnošću garantirale da se radi o prirodnom natrijskom bentonitu. Također, prema uputama koje je objavilo Njemačko društvo za geotehniku (DGGT 2002) propisani su odgovarajući postupci ispitivanja i potrebne karakteristike materijala kako je to prikazano u tablici 1.

Obzirom na mineraloški sastav i strukturu te njihovu vezu s hidrauličkom propusnošću bentonita, u literaturi se navodi mogućnost upotrebe i drugih svojstava kao indeksnih pokazatelja. Guyonnet et al. (2009) navode kako je kapacitet ionske zamjene dobar indikator sadržaja smektita u bentonitu. Preporučuju minimalnu vrijednost od 70 meq/100 g što prema autorima odgovara masenom udjelu smektita u bentonitu od 60 %. Isti autori promatraju i indeks slobodnog bubrenja, te zaključuju da indeks slobodnog bubrenja veći od 24 cm³/2 g s dovoljnom sigurnošću garantira udio natrija kao zamjenjivog kationa veći od 40 do 50 %. Von Maubeuge (2002) navodi i vrijednost metilenskog modrila (MB_p) kao indeksni pokazatelj pri čemu preporuča vrijednost veću od 300 mg/g.

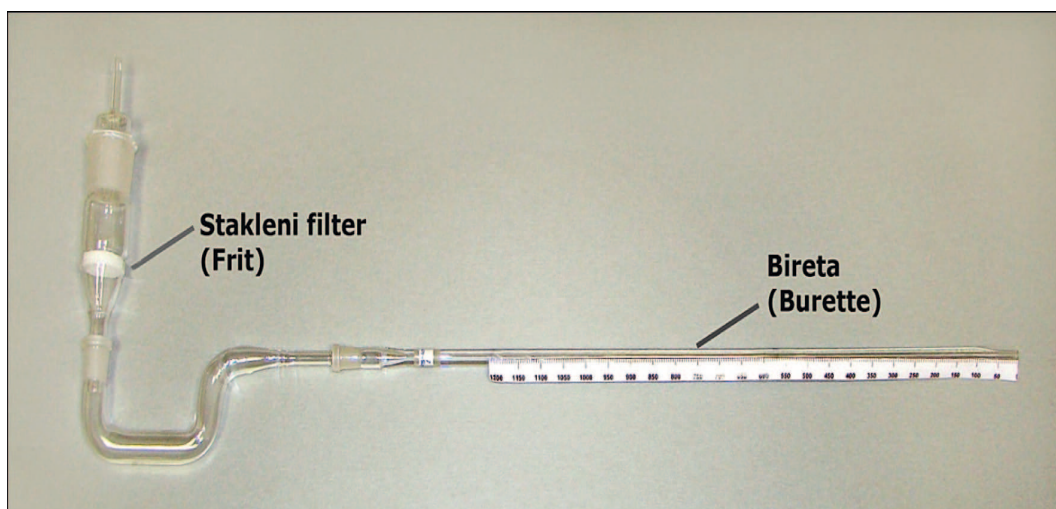
Kapacitet upijanja vode

Metodu za određivanje kapaciteta upijanja vode predložio je 1933. godine Enslin. Od tog vremena metoda je doživjela nekoliko poboljšanja. Današnji je naziv ove metode "Enslin-Neff metoda". Provodi se u Enslin-Neff uređaju u skladu s njemačkom normom DIN 18132. Ispitivanje se provodi na način da se uzorak u prahu pomoću lijevka rasporedi po staklenom filteru koji je u kontaktu s vodom i posudom s vodom na koju se horizontalno spaja bireta (slika 1). Količina vode koju uzorak upije očitava se pomoću birete. Ispitivanja kod materijala s velikim kapacitetom upijanja, kao što su bentoniti traju 24 h. Na posudu sa staklenim filtrom u cilju smanjenja količine isparavanja postavlja se stakleni čep s otvorom. Radi se o popularnoj metodi, posebice u industriji vezanoj za bentonite i bentonitne tepihe, bez obzira što je ponovljivost metode relativno mala. Kaufhold & Dohrmann (2008) navode da je ponovljivost 3 do 4 % standardne devijacije i to uglavnom pripisuju promijenjivosti laboratorijskih uvjeta (promjene temperature i relativne vlažnosti). U slučaju bentonita, metoda se koristi kao indeksni pokazatelj ali i za indirektnu procjenu sadržaja natrija kao zamjenjivih kationa obzirom da njegov sadržaj utječe na bubrenje i reološka svojstva. Petkovšek et al. (2009) promatraju kapacitet upijanja vode u odnosu na granice plastičnosti i vrijednost metilenskog modrila (MB_p). Autori navode korelaciju kapaciteta upijanja vode (w_A) i granice tečenja (w_L): $w_A = 1,45 w_L$. Također, navode da ispitivanja pokazuju visok stupanj korelacije kapaciteta upijanja vode i vrijednosti metilenskog modrila koje služi za izračun specifične površine čestica gline i kapaciteta kationske zamjene odnosno sadržaja smektita u bentonitu.

Tablica 1. Preporučene vrijednosti indeksnih pokazatelja

Table 1 Recommended values for the GCLs mineral component

Svojstvo bentonitne gline (Bentonite properties)	Metoda (Testing method)	Preporučena vrijednost (Recommended value)	
		DGGT 2002	Von Maubeuge 2002
Indeks slobodnog bubrenja (Free swell index)	ASTM D5890	≥ 20 ml	> 24 ml
Indeks gubitka fluida (Fluid loss index)	ASTM D5891	≤ 18 ml	< 18 ml
Kapacitet upijanja vode (Water absorption capacity)	DIN 18132	≥ 450 %	> 600 %



Slika 1. Uređaj za određivanje kapaciteta upijanja vode
Figure 1 Water absorption device

Metode i uzorci

Poznato je da na točnost rezultata laboratorijskih ispitivanja utječe velik broj čimbenika. Ti čimbenici povezani su s opremom kojom se obavlja ispitivanje, procedurom provedbe pokusa a ponekad i uvjetima u laboratoriju. Stoga se u ovom radu istražuje utjecaj uvjeta u laboratoriju, tj. promjene temperature i relativne vlažnosti zraka u laboratoriju na kapacitet upijanja bentonitne gline. Prilikom provođenja velikog broja prijašnjih ispitivanja kapaciteta upijanja bentonitnih gline dolazilo je do velikog rasapa rezultata prilikom mjerenja. Iako se uvijek koristio jednako pripremljeni uzorak, ispitivanja su se provodila korištenjem iste aparature i laboratorijske procedure, dobiveni rezultati bili su značajno različiti. Iz toga se mogu potvrditi prethodno navedeni literaturni podaci kako je vrlo velika vjerojatnost da temperatura i relativna vlažnost u laboratoriju u kojem se provode ispitivanja uvelike utječu na rezultate ispitivanja kapaciteta upijanja vode a time i na konačnu ocjenu kvalitete i trajnosti bentonita. Kako bi se potvrdila ova pretpostavka za vrijeme svake slijedeće serije ispitivanja u laboratoriju su nametani različiti uvjeti temperature i relativne vlažnosti. Temperatura je prilikom svakog pojedinačnog mjerenja održavana konstantnom, a u dvanaest mjerenja koja su provedena na oba uzorka raspon temperatura iznosio je od 19-25°C. Relativna vlažnost je također prilikom svake pojedinačne serije mjerenja održavana konstantnom, a raspon za sva mjerenja iznosio je od 13,5-80 %.

Ispitivanja kapaciteta upijanja provedena su na dva različita uzorka, prvi uzorak je natrijski aktivirana bentonitna glina dok je drugi prirodni natrijski bentonit. Kako bi se što bolje opisali i klasificirali uzorci u nastavku su prikazani rezultati prijašnjih ispitivanja koja su provede-

na u laboratoriju na oba uzorka: određivanje kemijskog sastava, indeksnih pokazatelja (indeks bubrenja, gubitak fluida i sposobnost upijanja vode) te hidrauličke propusnosti.

Prvi uzorak (uzorak 1) na kojem su provedena ispitivanja kapaciteta upijanja vode je aktivirani natrijski bentonit koji se koristi u tvornici umjetnih gnojiva. Ta je glina do sada korištena za proizvodnju dodataka u ljevarstvu, stelja za kućne ljubimce te kao dodatak stočnoj hrani. Rezultati svih provedenih ispitivanja pokazali su da je uzorak 1 potencijalno dobar materijal za proizvodnju geosintetičkih brtvenih barijera.

Drugi uzorak (uzorak 2) na kojem su provedena ispitivanja kapaciteta upijanja vode je prirodni natrijski bentonit koji se koristi kao mineralna komponenta bentonitnih tepiha te samostalno kao hidraulička barijera u različitim geotehničkim i građevinskim primjenama.

Kemijski sastav

Na uzorcima je provedena analiza sadržaja glavnih kemijskih elemenata. Analiza je dobivena metodom induktivno spregnute plazme - emisijske spektrometrije (ICP-OES) nakon taljenja 0,2 g uzorka litijevim metaboratom/tetraboratom i otapanja taline razrijeđenom dušičnom kiselinom. Rezultati analize izraženi su u težinskim postocima (tež. %) njihovih oksida (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , MnO , TiO_2 , P_2O_5 , Cr_2O_3). Rezultati kemijske analize prikazani su u tablici 2. Sadržaj sumpora i ugljika i gubitak žarenjem kod uzorka 1 i uzorka 2 prikazan je u tablici 3. Ukupni udio ugljika i sumpora određen je pomoću analizatora LECO, a gubitak žarenjem (Loss on ignition – LOI) dobiven je iz razlike mase prije i nakon žarenja na 1000°C.

Tablica 2. Kemijski sastav aktiviranog i prirodnog natrijskog bentonita**Table 2** Chemical composition of the activated and natural sodium bentonite

Sadržaj glavnih elemenata (mas. % oksida) (Major elements content, wt%)		
Glavni elementi (Major elements)	Uzorak 1 - aktivirani (Sample 1 - activated)	Uzorak 2 - prirodni (Sample 2 - natural)
SiO ₂	50,76	57,25
Al ₂ O ₃	18,87	17,41
Fe ₂ O ₃	4,58	3,37
MgO	1,99	2,20
CaO	3,95	1,50
Na ₂ O	2,29	2,03
K ₂ O	0,41	0,48
TiO ₂	0,56	0,14
P ₂ O ₅	0,04	0,05
MnO	0,03	0,01
Cr ₂ O ₃	0,008	<0,002

Tablica 3. Sadržaj sumpora i ugljika i gubitak žarenjem**Table 3** Total sulfur, carbon and loss on ignition

	Uzorak 1 - aktivirani (mas.%) (Sample 1 – activated, Wt%)	Uzorak 2 - prirodni (mas.%) (Sample 2 – natural, wt%)
Ukupni sumpor (Total sulfur)	0,95	0,16
Ukupni ugljik (Total carbon)	< 0,02	0,63
Gubitak žarenjem LOI (Loss on ignition)	16,3	15,40

Indeksni pokazatelji i koeficijent propusnosti

Za određivanje indeksa slobodnog bubrenja koristi se metoda definirana normom ASTM D 5890. Pomoću ove metode ispituju se svojstva glinenih materijala koja su povezana s brtvenim osobinama geosintetičkih glinenih barijera. Pokazuje se da je potrebna minimalna vrijednost indeksa slobodnog bubrenja od 20 ml (DGGT 2002) kako bismo sa sigurnošću mogli tvrditi da će se glina ponašati kao dobar brtveni materijal.

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.

Laboratorijsko ispitivanje kapaciteta upijanja vode izvodi se prema normi DIN 18132 kako je opisano u uvodnom dijelu.

Ispitivanja hidrauličke propusnosti provedena su u skladu s normom ASTM D 5084. Ovisno o mogućnostima uređaja i primijenjenim ispitnim metodama, ispitivanja koeficijenta propusnosti provedena su za različite vrijednosti efektivnih naprezanja. Koeficijent propusnosti uzorka 1 određen je metodom zadanog protoka u trosonom uređaju. Ispitivanja uzorka 2 također su provedena u trosonom uređaju, međutim korištena je metoda stalne razlike tlakova. S ciljem usporedbe koeficijenata propusnosti ova dva uzorka, u tablici 4. su prikazane samo vrijednosti za efektivna naprezanja od 50 kN/m².

Tablica 4. Laboratorijske vrijednosti indeksnih pokazatelja i koeficijenta propusnosti
Table 4 Index tests and hydraulic conductivity results

Svojstvo bentonitne gline (<i>Bentonite properties</i>)	Metoda (<i>Testing method</i>)	Uzorak 1 – aktivirani (<i>Sample 1 - activated</i>)	Uzorak 2 – prirodni (<i>Sample 2 - natural</i>)
Indeks slobodnog bubrenja (ml/2 g) (<i>Free swell index</i>)	ASTM D 5890	30	31
Gubitak fluida (ml) (<i>Fluid loss index</i>)	ASTM D5891	12	12
Kapacitet upijanja vode (%) (<i>Water absorption capacity</i>)	DIN 18132	450	517
Koeficijent propusnosti (m/s) (<i>Hydraulic conductivity</i>)	ASTM D 5084	$6,1 \cdot 10^{-11}$	$1,6 \cdot 10^{-11}$

Maksimalna dozvoljena vrijednost koeficijenta propusnosti za materijale unutar brtvenih sustava odlagališta otpada iznosi 10^{-9} m/s kako je definirano propisima u RH (Pravilnik o uvjetima za postupanje s otpadom 1997).

U tablici 4 prikazani su rezultati laboratorijskih ispitivanja indeksnih pokazatelja i koeficijenta propusnosti. Rezultati ispitivanja za uzorak 1 rezultat su ranijeg istraživanja (Kovačević Zelić et al., 2009) dok su za uzorak 2 ispitivanja provedena u sklopu ovog rada.

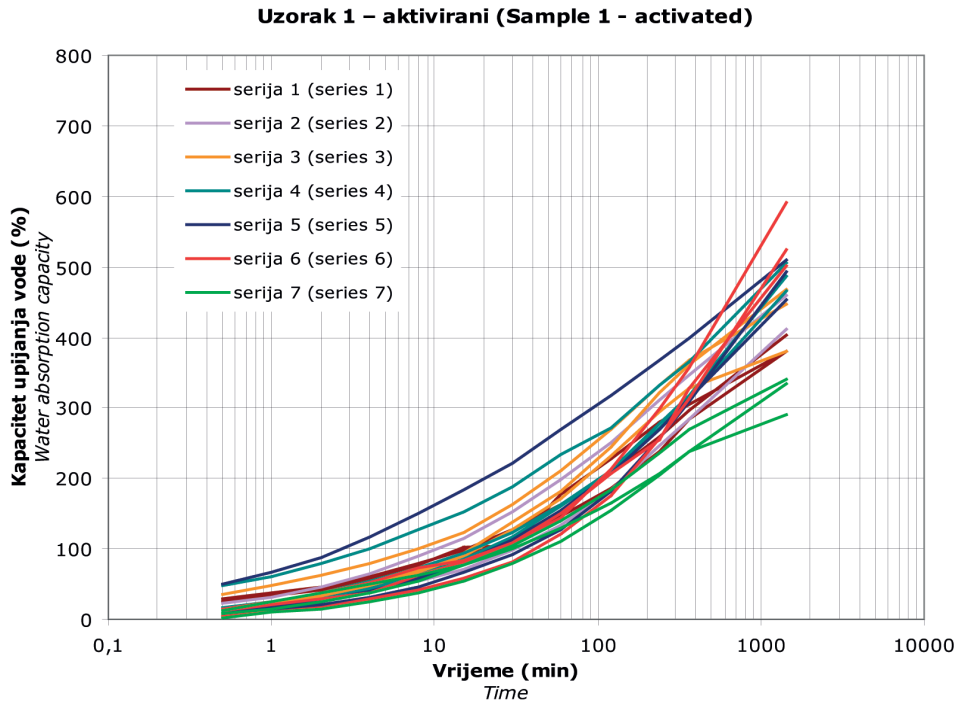
Rezultati

Ispitivanja kapaciteta upijanja vode oba uzorka provedena su pri različitim uvjetima temperature i relativne vlažnosti. Svako ispitivanje provedeno je istovremeno s tri mjerenja kako bi se otklonile potencijalne pogreške i dobili što točniji rezultati. U tablici 5. prikazane su u serijama vrijednosti kapaciteta upijanja vode za oba uzorka. Na uzorku 1 ispitivanje je ponovljeno sedam, a na uzorku 2 pet puta. Rezultati provedenih ispitivanja prikazani su u tablici 5.

Tablica 5. Kapacitet upijanja vode nakon 24 sata
Table 5 Water absorption capacity after 24 hours

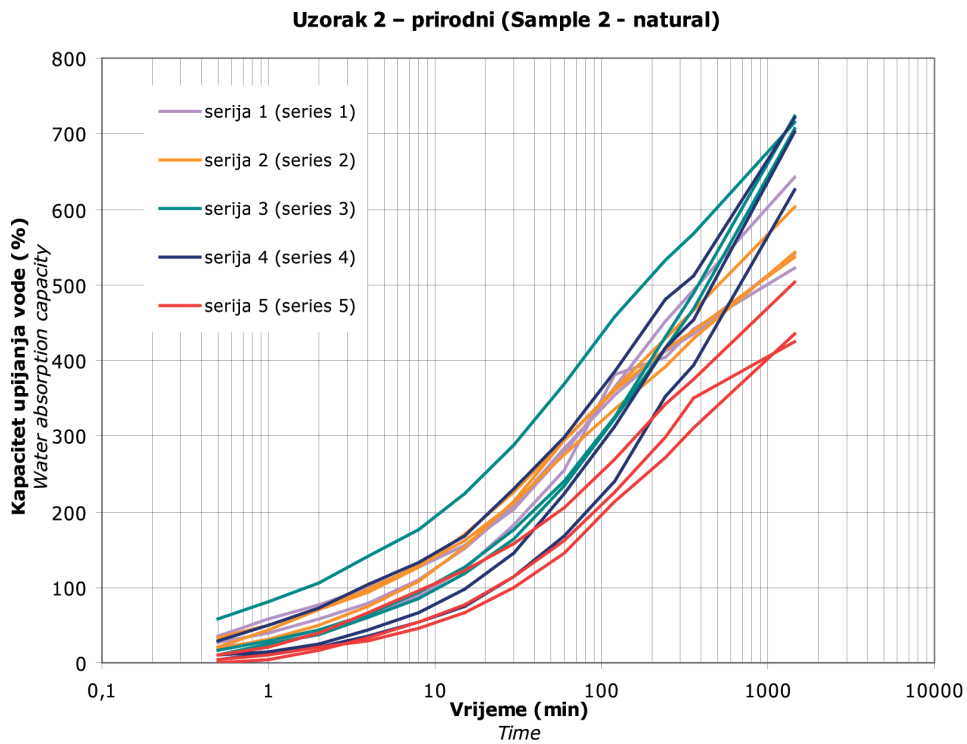
Serija (<i>Series</i>)	Temperatura (°C) (<i>Temperature</i>)	Relativna vlažnost (%) (<i>Relative humidity</i>)	Kapacitet upijanja vode (%) (<i>Water absorption capacity</i>)			
			Pokus 1 (<i>Test 1</i>)	Pokus 2 (<i>Test 2</i>)	Pokus 3 (<i>Test 3</i>)	Srednja vrijednost (<i>Mean</i>)
1	2	3	4	5	6	(4+5+6)/3
Uzorak 1 – aktivirani (<i>Sample 1 – activated</i>)						
1	21	75	380,5	403	380	387,8
2	22	65	477	458,5	412	449,2
3	25	31,5	447,5	380	467,5	431,6
4	19	26,5	506	487,5	465	486,2
5	20	30,5	510,5	492,5	453,5	485,5
6	25	13,5	591	524	500,5	538
7	23	80	333,5	339	291	321,3
Uzorak 2 – prirodni (<i>Sample 2 – natural</i>)						
1	21	75	-	540	522	531
2	22	60	542	604	537	561
3	23	30	714	706	723	714,3
4	21	35	721	626	702	711,5
5	23	80	504	424	435	454,3

Rezultati ispitivanja kapaciteta upijanja vode prikazani su za uzorak 1 na slici 2., a za uzorak 2 na slici 3.



Slika 2. Kapacitet upijanja vode (uzorak 1 - aktivirani natrijski bentonit)

Figure 2 Water absorption capacity (sample 1 - activated sodium bentonite)



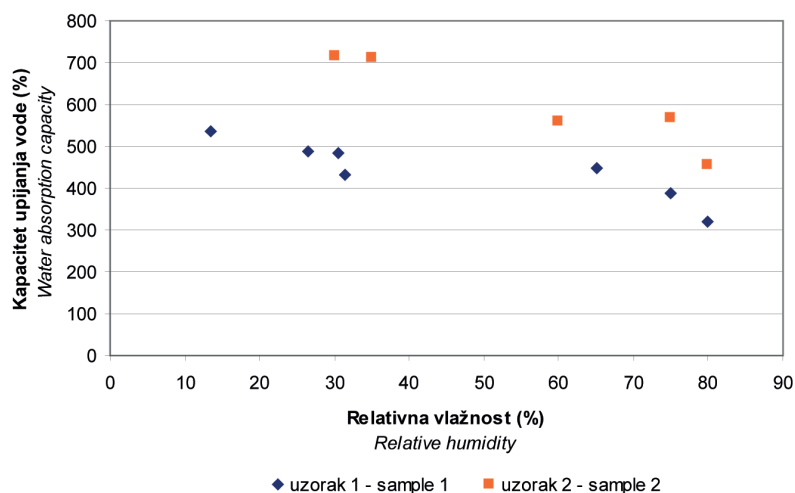
Slika 3. Kapacitet upijanja vode (uzorak 2 - prirodni natrijski bentonit)

Figure 3 Water absorption capacity (sample 2 - sodium bentonite)

Uzorak 2 (prirodni natrijski bentonit) pokazuje znatno veće vrijednosti kapaciteta upijanja od uzorka 1 (aktivirani natrijski bentonit). Rezultati ispitivanja su pokazali da različiti uvjeti temperature i relativne vlažnosti u prostoru laboratorija imaju za posljedicu prilično velik raspon rezultata za oba uzorka. Tako za uzorak 1 raspon srednjih vrijednosti rezultata iznosi od 321,5-486,2, a za uzorak 2 od 454,3-714,3.

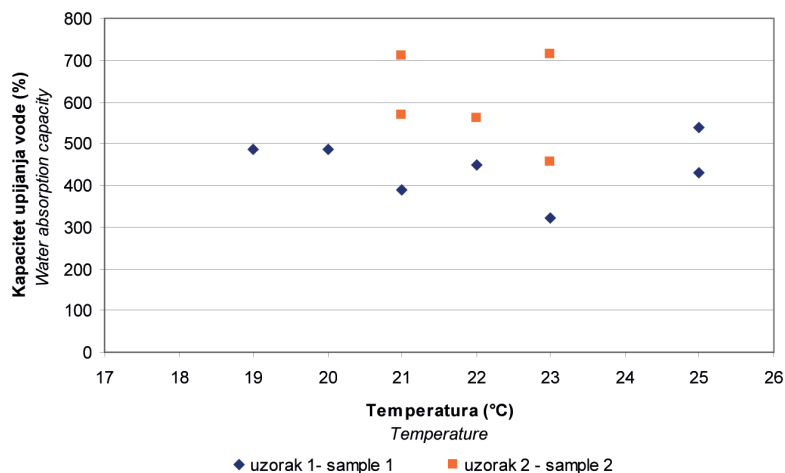
Na slici 4. je prikazan utjecaj promjene relativne vlažnosti zraka na kapacitet upijanja vode kod oba uzorka. Obzirom da nije bilo moguće u potpunosti kontrolirati uvjete u laboratorijskom prostoru ni temperatura tijekom ovog ispitivanja nije bila konstantna. Iz slike se jasno može vidjeti da prilikom povećanja relativne vlažnosti kapacitet upijanja vode kod oba uzorka znatno opada.

Slika 5. prikazuje odnos izmjerene temperature zraka u laboratoriju i kapaciteta upijanja vode za uzorak 1 i uzorak 2. Iz podataka se ne može jasno odrediti utjecaj temperature na kapacitet upijanja vode. Autori su mišljenja da je razlog u laboratorijskim uvjetima gdje nije bilo moguće postići uvjete promjene temperature pri konstantnoj vlažnosti. S ciljem preciznijeg razlučivanja utjecaja temperature i relativne vlažnosti na rezultate ispitivanja kapaciteta upijanja nameće se zaključak da bi daljnja ispitivanja trebalo provesti u klimatskim komorama. Njihova upotreba bi osigurala znatno bolju kontrolu temperature i relativne vlage prilikom ispitivanja.



Slika 4. Utjecaj relativne vlažnosti zraka na kapacitet upijanja vode za uzorak 1 i uzorak 2

Figure 4 Influence of relative humidity on water absorption capacity of sample 1 and sample 2



Slika 5. Odnos temperature zraka i kapacitet upijanja vode za uzorak 1 i uzorak 2

Figure 5 Temperature and water absorption capacity relation for sample 1 and sample 2

Utjecaj relativne vlažnosti na rezultate ispitivanja u skladu je sa zaključcima koje su naveli Kaufhold & Dohrmann (2008). Oni navode da razlika u vrijednosti kapaciteta upijanja nastaje uslijed razlike u isparavanju između pojedinih uređaja. Naime, uslijed različitih površina koje uzorci prekrivaju na staklenom filtru, različite su i površine kontakta zrak-voda na staklenom filtru referentnog uređaja i uređaja s uzorkom. Dodavanjem uzorka smanjuje se površina s koje dolazi do isparavanja pa je isparavanje manje kod uređaja s uzorkom. Međutim, kako su površine oba uzorka na staklenom filtru bile podjednake, autori ovog rada su mišljenja da osim same površine kontakta zrak-voda, bitan utjecaj na rezultate mjerenja ima i isparavanje sa same površine uzorka. Kako bi se dokazala ova tvrdnja, potrebno je provesti dodatna istraživanja s ciljem kvantificiranja utjecaja isparavanja upijene vlage s uzorka na vrijednosti kapaciteta upijanja vode.

Zaključak

Kapacitet upijanja vode je indeksni pokazatelj te rezultati tih ispitivanja utječu na ocjenu kvalitete i trajnosti mineralne komponente u brtvenim barijerama. Zajedno s ostalim indeksnim pokazateljima omogućuje brzu i relativno jeftinu kontrolu kvalitete i osiguranje dugotrajnosti.

Ispitivanja prikazana u ovom radu pokazuju da uslijed promjene uvjeta u laboratoriju dobivamo raspon izmjerenih vrijednosti kapaciteta upijanja vode za uzorak 1 od 321,5-486,2, a za uzorak 2 od 454,3-714,3. Na temelju tih rezultata ispitivanja kapaciteta upijanja možemo zaključiti da vrijednost kapaciteta u određenim ispitivanjima ne doseže potrebnu preporučenu vrijednost odnosno ne zadovoljava kriterije za primjenu u brtvenim barijerama dok je za iste uzorke pri drugim uvjetima ta vrijednost u potpunosti zadovoljena prema svim kriterijima.

Ukoliko se promatra kemijski sastav oba uzorka, drugi uzorak ima veći udio natrija kao zamjenjivog kationa. Veći udio natrija kao zamjenjivog kationa ima za posljedicu veće vrijednosti kapaciteta upijanja vode drugog uzorka ali također i dvostruko veći raspon dobivenih vrijednosti relativne vlažnosti na drugi uzorak za promatrane uvjete.

U ovom radu prikazana ispitivanja kapaciteta upijanja prema normi DIN 18132, provedena pri različitim uvjetima temperature i relativne vlažnosti u laboratoriju, pokazala su utjecaj relativne vlažnosti zraka na rezultate ispitivanja. Utjecaj temperature za sada nije dokazan, međutim zbog malog raspona temperatura i nemogućnosti postizanja konstantne vlažnosti zraka prilikom ispitivanja ne može se sa sigurnošću tvrditi da li on zaista postoji. Navedeno pokazuje da provođenje pokusa bez preciznog praćenja laboratorijskih uvjeta može dovesti do krivih zaključaka. S ciljem dobivanja točnijih rezultata vezanih za utjecaj temperature te preciznijeg razlučivanja utjecaja temperature i relativne vlažnosti na rezultate ispitivanja kapaciteta upijanja planira se provesti dodatna ispitivanja

uz precizniju kontrolu i točnije mjerenje temperature i relativne vlažnosti.

Rad je izrađen u okviru projekta 195-0831529-1847 „Ispitivanje trajnosti mineralnih brtvenih barijera“ financiranog od Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske.

Accepted: 19.10.2011.

Received: 12.09.2011.

Literatura

- Andrejkovicova, S., Rocha, F., Janotka, I. and Komadel, P. (2008): An investigation into the use of blends of two bentonites for geosynthetic clay liners. *Geotextiles and Geomembranes*, 26, 436–445.
- Bouazza, A., Jefferis, S. and Vangpaisal, T. (2007): Investigation of the effects and degree of calcium exchange on the Atterberg limits and swelling of geosynthetic clay liners when subjected to wet-dry cycles. *Geotextiles and Geomembranes*, 25, 170–185.
- Bouazza, A. (2002): Geosynthetic clay liners. *Geotextiles and Geomembranes*, 20, 3–17.
- Dananaj, I., Frankovska, J. and Janotka, I. (2005): The influence of smectite content on microstructure and geotechnical properties of calcium and sodium bentonites. *Applied Clay Science*, 28, 223–232.
- DGGT (2002): *Empfehlungen zur Anwendung geosynthetischer Tondichtungsbahnen*, EAG-GTD, Ernst & Sohn, Berlin, 122 str.
- Guyonnet, D., Touze-Foltz, N., Norotte, V., Pothier, C., Didier, G., Gailhanou, H., Blanc, P. and Warmont, F. (2009): Performance-based indicators for controlling geosynthetic clay liners in landfill applications. *Geotextiles and Geomembranes*, 27, 321–331.
- Jo, H.Y., Benson, C., Shackelford, C., Lee, J.-M. and Edil, T. (2005): Long-term hydraulic conductivity of a geosynthetic clay liner permeated with inorganic salt solutions. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131 (4), 405–417.
- Jo, Y. H.; Katsumi, T.; Benson, H. C. and Edil B. T. (2001): Hydraulic Conductivity and Swelling of Nonprehydrated GCLs Permeated with Single-Species Salt Solutions. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127 (7): 557–567.
- Kaufhold, S. and Dohrmann R. (2008): Comparison of the traditional Enslin-Neff method and the modified dieng method for measuring water-uptake capacity. *Clays and Clay Minerals*; 56/6; 686–692.
- Kolstad, D.C., Benson, C.H. and Edil, T.B. (2004): Hydraulic conductivity and swell of nonprehydrated geosynthetic clay liners permeated with multispecies inorganic solutions. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130/12, 1236–1249.
- Kovačević Zelić, B., Strgar, H., Kosić, D., Domitrović, D. (2009): [Ispitivanja bentonitnih glina za potrebe proizvodnje geosintetičkih glinenih barijera](#). Hrvatsko geotehničko društvo, 5. savjetovanje, Izvori rizika u geotehničkim zahvatima, Osijek, 20. - 21. svibnja 2009.

- Petkovšek, A., Maček, M. and Majes, B. (2009): A laboratory characterization of soils and clay-bearing rocks using the Enslin-Neff water-adsorption test. *Acta geotechnica slovenica*, 2009/2, 5-13.
- Petrov, J. R. and Rowe, K. R. (1997): Geosynthetic clay liner (GCL) – chemical compatibility by hydraulic conductivity testing and factors impacting its performance. *Can. Geotech. J.*, 34: 863-885.
- Ruhl, J. and Daniel, D. (1997): Geosynthetic clay liners permeated with chemical solutions and leachates. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123/4, 369–380.
- Shackelford D. C.; Benson H. C.; Katsumi T.; Edil, B. T. and Lin, L. (2000): Evaluating the hydraulic conductivity of GCLs permeated with non standard liquids. *Geotextiles and Geomembranes*, 18: 133-161.
- von Maubeuge, K. P. (2002): Investigation of bentonite required for geosynthetic clay barriers. *Clay Geosynthetic Barriers, Proceed. Int. Symp., Nuremberg, Germany, 16-17 April 2002*, Zanzinger, Koerner & Gartung (eds), Swets & Zeitlinger, Lisse, 155-163.
- ASTM D5084 Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter.
- ASTM D5890 Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners.
- ASTM D5889 Standard Practice for Quality Control of Geosynthetic Clay Liners.
- ASTM D5891 Standard Test Method for Fluid Loss of Clay Component of Geosynthetic Clay Liners.
- ASTM D6141 Standard Guide for Screening Clay Portion of Geosynthetic Clay Liner (GCL) for Chemical Compatibility to Liquids.
- ASTM D6495 Standard Guide for Acceptance Testing Requirements for Geosynthetic Clay Liners.
- DIN 18132 - 95 Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens.
NN 123/97 Pravilnik o uvjetima za postupanje s otpadom.

The impact of laboratory air temperature and relative humidity on bentonite water absorption capacity

Geosynthetic Clay Liners (GCL) or Geosynthetic Barrier-Clay (GBR-C) are artificially produced hydraulic barriers of low permeability which can be installed very simply and have various applications (geotechnical and hydrotechnical engineering, environmental geotechnology etc.). They consist of an approximately 5 mm layer of bentonite as a mineral component located between two layers of geosynthetics. Bentonite is used for its physical and chemical properties, since it ensures a very small hydraulic permeability of the GCL. For installation, GCLs must meet certain criteria, i.e. prove their quality, which is confirmed by various laboratory testing methods (Table 1). One of the methods is the determination of the water absorption capacity of the mineral component (Figure 1). This is a popular method, especially in the industry connected with bentonite and GCLs. However, the problem with this experiment is that it poor repeatability, which is usually attributed to the variability of the laboratory conditions (the changes in temperature and the relative humidity).

This paper describes the results of the exploration regarding the influence of the laboratory conditions, i.e. the change in temperature and the relative air humidity on the bentonite clay absorption capacity. Our primary goal was to show that laboratory conditions can lead to the wrong conclusion, in regards to the quality of the product. Tests were conducted on two different samples, the first one being the sodium activated bentonite clay and the other one being the natural sodium bentonite. In order to better explain and classify the samples, we presented the chemical composition (Table 2 and 3), the free swell index, the fluid loss and the hydraulic conductivity of the said samples (Table 4). The results of the exploration (Table 5, Figure 2 and 3) show that the value of the absorption capacity during certain tests does not reach the necessary recommended value, i.e. does not meet one of the requirements for application in sealing barriers, while under different conditions (air humidity and temperature in the laboratory) the same sample reaches values which fully meet the criterion. Also, the sample with the higher content of sodium as an exchangeable cation shows higher values of water absorption capacity, as well as a double range of absorption capacity values, due to the change in laboratory conditions. All of this demonstrates the influence the relative air humidity has on the experiment results (Figure 4). So far, the influence of temperature has not been proven. However, due to a small range and the inability to reach constant air humidity in the course of experimentation, it is impossible to determine with absolute certainty if such an influence really exists (Figure 5).