

PRIMJENA BENTONITNE MEMBRANE ZA HIDROIZOLACIJU PODZEMNIH GRAĐEVINA

APPLICATION OF BENTONITE IN WATERPROOFING OF UNDERGROUND STRUCTURES

Ivana Pavlič¹, Željko Lebo², Anja Mandić²

¹Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, Zagreb, Hrvatska

²Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, Zagreb, Hrvatska, Student

SAŽETAK

Bentonit je industrijski materijal koji ima značajnu ulogu u rješavanju inženjerskih problema. Njegova dominantna komponenta je montmorillonit koji čini najmanje 80% sastava. Među raznim vrstama, najčešće se koristi natrij kao osnovni dio sastava bentonitnih granula. Njegove karakteristike, kao što su visoka sposobnost bubrenja, svojstva tiksotropije (u mješavini s vodom postaje gel) i visoka sposobnost upijanja vode (može apsorbirati 12 do 15 puta veću masu vode iz same suhe tvari) daju prednost u geotehničkim radovima kao hidroizolacijskom materijalu. U ovom radu prikazana je primjena bentonitnih tepiha kao sredstva za izolaciju u rekonstrukciji vinskog podruma i izgradnji hotela Roxanich Heritage Wine u Motovunu, s opširnijim opisom karakteristika bentonitne membrane, općenito. Bentonitni tepisi sastoje se od bentonitne membrane, između dva sloja geotekstila, spojena gustim šivanjem. Hidroizolacijski sustav, upotrebljen na primjeru hotela Roxanich, upotpunjavaju trake Waterstops RX 101, bentonitne granule, bentonit Bentoseal paste i polimerna hidroizolacija. Ovaj se sustav koristio u cijelom podrumu koji se protezao na pet podzemnih katova. Primjena opisanog sustava se potvrdila kao učinkovito hidroizolacijsko rješenje, primjereno dizajnirano u uvjetima rada na etažama ispod razine podzemne vode. U radu su prikazani rezultati provedenih dodatnih laboratorijskih ispitivanja materijala – granulometrije i propusnosti. Oni su u potpunosti potvrdili primijenjenu hidroizolaciju.

Ključne riječi: bentonitna membrana, montmorillonit, hidroizolacijski sustav

ABSTRACT

Bentonite is an industrial material that has a significant role in solving engineering problems. Its dominant component is montmorillonite which makes at least 80% of its composition. Among the various types, sodium is the most commonly used as an essential part of the composition of bentonite granules. Its characteristics, such as high swelling ability, the properties of thixotropy (in a mixture with water it transfer into the gel), and high water absorption capacity (it can absorb 12 to 15 times the mass of water from the dry substance itself) give it a great advantage in geotechnical works as waterproofing material. This paper presents an application of bentonite carpets as an isolation agent in the reconstruction of the wine basement and the construction of the Roxanich Heritage Wine Hotel in Motovun, with a more extensive description of the bentonite membrane characteristics, in general. Bentonite carpet consist of bentonite membrane in between two layers of geotextile, all bonded by thick stitching. Waterproofing system, used for Roxanich Heritage Wine Hotel, completes with tapes Waterstops RX 101, bentonite granules, bentonite Bentoseal paste and polymeric waterproofing. This system was used throughout the basement extending to five underground floors. It was proved to be an effective waterproofing solution, appropriately engineered for its operation in difficult ground conditions. This paper presents the results of additional laboratory testing of materials - granulometry and permeability. They fully confirmed the waterproofing applied.

Keywords: bentonite membrane, montmorillonite, waterproofing system

1. UVOD

1. INTRODUCTION

Trajnost i funkcionalnost podzemnih objekata uvelike ovisi o njihovoj zaštiti od vode. Iz tog razloga, posljednjih godina, glinene geosintetske barijere sve se češće koriste kao zaštitni brtveni sustav. Voda gotovo uvijek uzrokuje ozbiljnu degradaciju betonske konstrukcije i uzrokuje mnoge probleme korisnicima zgrade. Stoga bi hidroizolacijski sustav trebao u potpunosti spriječiti prodiranje podzemnih voda u objekt. Umjetno proizvedena hidraulička barijera, opisana u ovom radu, sastoji se od sloja bentonitne gline koja je fiksirana između dva sloja geotekstila. U većini slučajeva geotekstil je nosiva komponenta, dok je bentonitna glina brtvena nepropusna prepreka. Glavni mehanizam za osiguranje dobre hidrauličke vodljivosti bentonitne gline je bubrenje. Ovaj rad prikazuje postupke primjene bentonitnih membrana i laboratorijske testove provedene za kontrolu kvalitete materijala.[1]

2. KARAKTERISTIKE MATERIJALA I PRIMJENA BENTONITNIH MEMBRANA

2. MATERIAL CHARACTERISTICS AND APPLICATION OF BENTONITE MEMBRANES

Natrijev bentonit je netoksična vrsta gline, vulkanskog podrijetla, stvorena prije nekoliko milijuna godina.[2] Jedinstvena karakteristika ovog prirodnog materijala je sposobnost povećavanja volumena nakon dodira s vodom.

U takvom stanju natrijev bentonit može povećati volumen 15-16 puta od svog volumena u suhom stanju. Pored toga, u takvom stanju postaje potpuno nepropusni gel.[1]

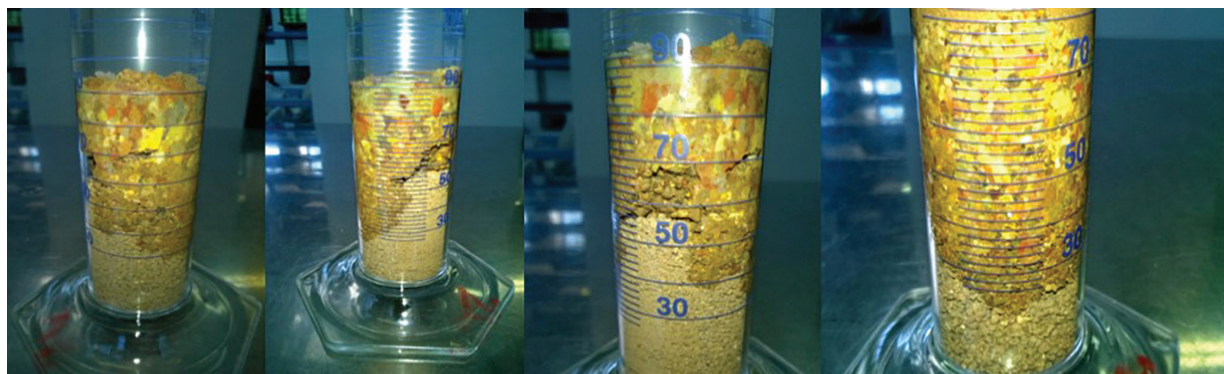
Iz slike 1 vidljivo je povećanje/ bubrenje granula. Bubrenje je postignuto upijanjem i zadržavanjem vode unutar granula bentonitne membrane čime je povećan njihov volumen, a samim time smanjena i propusnost materijala.

2.1. PRINCIP FUNKCIONIRANJA BENTONITNE MEMBRANE

2.1. HOW BENTONITE MEMBRANES FUNCTION

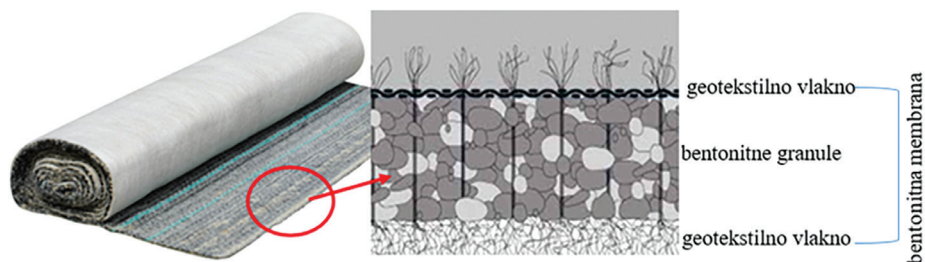
U kontaktu s vodom, bentonit je hidriran i stvara nepropusni gel. U takvom se stanju širi i do 16 puta od početnog volumena. Ključna stvar, prilikom ugradnje, je prionljivost bentonitnih granula između betonske konstrukcije i zemlje, omogućavajući potpuno prijanjanje i zaštitu vode, pare i plina. Kada se membrana proširi na beton ili se beton izlije na membranu, geotekstilna vlakna mehanički se vežu na beton, tako da između bentonitne membrane i strukture nema ostataka vode. Bentonitna membrana stvara kontinuiranu mehaničku vezu s betonom kako je prikazano na slici 2.

Bentonitna membrana sastoji se od dva čvrsta polipropilenska geotekstila s vanjske strane i 4,88 kg Volclay-ovog bentonita u granulama po m². U kontaktu s vodom ili vlažnim tлом, Volclay bentonit hidrira, kako bi se dobio nepropusni gel, dok se geotekstilna vlakna mehanički vežu za beton.[2]



Slika 1 Promjena volumena bentonitnih granula, u dodiru s vodom

Figure 1 Volume change of bentonite granules, in contact with water



Slika 2 Sastav bentonitne membrane [2]

Figure 2 Composition of bentonite membrane [2]

Bentonitna membrana koristi se kao zaštita i hidroizolacija podzemnih betonskih konstrukcija od trajnih ili povremenih voda. Montaža je brza i jednostavna: može se položiti na svježi beton, bez temeljnog premaza i ljepila, a lako se reže i na uglovima. Zbog svojstva fleksibilnosti i robusnosti, može se postaviti na nepravilne površine, a krajevi membrana se lako preklapaju. Rezultat toga je uvijek dosljedna samostalna hidroizolacija.[1]

2.2. INSTALACIJA BENTONITNE MEMBRANE U ROXANICH HERITAGE VINSKOM HOTELU U MOTOVUNU

2.2. INSTALLATION OF BENTONITE MEMBRANES ON THE ROXANICH HERITAGE WINE HOTEL IN MOTOVUN

Hotel Roxanich Heritage Wine u Motovunu prostire se na više od 3000 četvornih metara. Za hidroizolacijski sustav, na četiri različita kata, nanosi se bentonitna membrana.

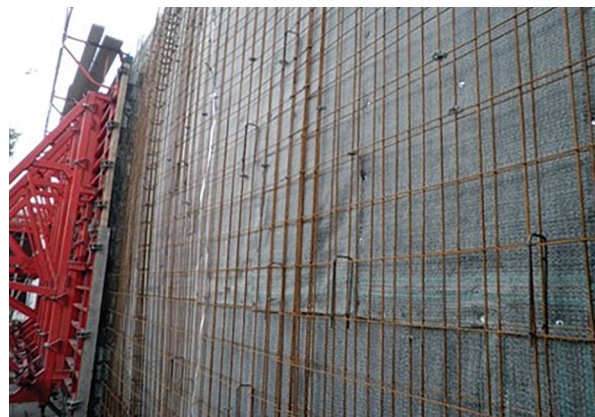


Slika 3 Nanošenje bentonitne membrane na stražnju stranu podrumskog zida hotela Roxanich Heritage Wine u Motovunu [1]

Figure 3 Application of bentonite membrane on the back of the basement wall of the Roxanich Heritage Wine Hotel in Motovun [1]

Struktura se izvodi na složenom, pretežno glinenom reljefu s prisustvom podzemne vode. Primjena bentonitne membrane započela je iskopom gornjeg dijela nalazišta. Beton se izvodi, na određenim katovima, u sklopu kontrole podzemnih voda. Nakon sabijanja materijala podloge, bentonitna membrana postavlja se na površinu s minimalnim preklapanjem od 10 cm. Tijekom instalacije na membranu su postavljene pričvršne kopče. Prije nanošenja bentonitne membrane na vertikalne zidove, kao što je prikazano na slici 3, površine su poravnate. Velike pukotine popunjavaju se Bentoseal pastom. Bentonitna membrana položena je na svjetlijoj strani betona, koja je izolirana.[1]

Instaliranje bentonitne membrane na vertikalne betonske zidove, vidljivo iz slike 3., omogućeno je nakon prethodne pripreme, odnosno izravnjanja zidova od udubina/pukotina i izbočenja. Bentonitne membrane postavljene su na zidove sa svjetlijom stranom geotekstila, s prekrivanjem od 10 cm. Za pričvršćivanje geotekstila korištene su industrijske stezaljke svakih 30 cm.[1] Nakon polaganja membrane polaže se armatura i jednostrana oplata za zidove. Izvedeni su betonski zidovi, kao što je prikazano na slici 4.



Slika 4 Ugradnja armature na bentonitnu membranu na okomitim površinama [1]

Figure 4 Installation of reinforcements on the bentonite membrane at vertical surfaces [1]



Slika 5 Primjena bentonitne membrane ispod temeljne ploče [1]

Figure 5 Application of bentonite membrane below the base plate [1]

3. ISPITIVANJE BENTONITA U SVRHU KONTROLE KVALITETE

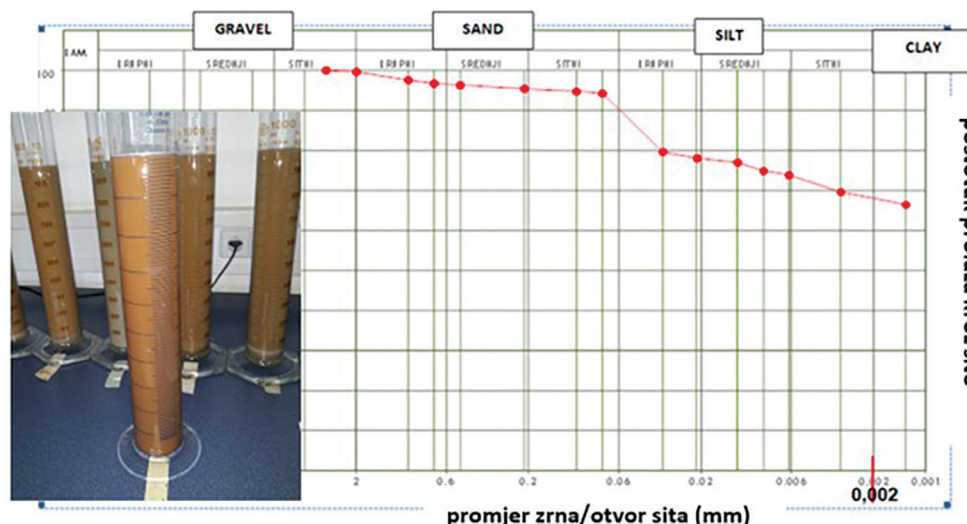
3. BENTONITE TESTING FOR QUALITY CONTROL PURPOSES

Ispitne metode izvedene su u geotehničkom laboratoriju Instituta IGH d.d radi kontrole kvalitete bentonitnih membrana.

3.1. ISPITIVANJE GRANULOMETRIJE BENTONITNE MEMBRANE (KLASIFIKACIJA UZORKA)

3.1. GRAIN SIZE DISTRIBUTION

Iz granulometrijske krivulje vidljiv je sastav uzorka, kojeg čini pijesak 10%, dok preostalih 90 % uzorka tvore glina i prah.



Slika 6 Postupak areometriranja- određivanje granulometrijskog sastava bentonitne membrane [1]

Figure 6 Demonstration of the areometric process - determination of the granulometric composition of the bentonite membrane [1]

3.2. GRANICE KONZISTENTNIH STANJA

3.2. CONSISTENCY LIMITS

Granice konzistentnih stanja testirane su u skladu sa standardom ISO / TS 17892-1. Za klasifikaciju se koriste parametri dobiveni ovom vrstom ispitivanja, odnosno granice plastičnosti i granice tečenja. Za ispitivanje granice tečenja koristi se Cassagrandeov uređaj, čašica od nehrđajućeg čelika s uzorkom tla (pri čemu treba voditi računa da ne smije biti zarobljenoj zraka/ mjehurića, pri razmazivanju uzorka materijala u čašicu) podignuta i ispuštena s visine od 1 cm, računajući broj udaraca, kako je prikazano na slici 7. Granica tečenja je vrijednost sadržaja vode za koju se uzorak tla, položen u Cassagrandeov uređaj i prethodno razdijeljen standardnim nožem, spoji standardnom dužinom, pri dnu, od 13 mm, nakon 25 udaraca. Ako se utvor zatvori nakon manje od 25 udaraca, tlo je previše vlažno, što znači da se malo vode mora pustiti da ispari. Čekajući neko vrijeme i možda još malo miješajući glinu, sadržaj vode bi se smanjio, a ispitivanje se može ponavljati, dok se žlijeb ne zatvori nakon točno 25 udaraca. Pri tome se mora utvrditi sadržaj vode, prije nego što voda ispari. Ispitivanje se provodi na četiri uzorka, kako je prikazano na slici 7. Nakon postizanja spajanja, uzorak se stavlja u staklenu posudu i mjeri se sadržaj vlage. Za određivanje granice plastičnosti koristi se oko 15 g vlažnog uzorka. Uzorak je valjan na staklenoj ploči, rukom, radeći valjčić promjera 3 mm. Postupak se provodi sve dok valjčić promjera 3 mm ne pokažu znakove raspadanja.[1]



Slika 7 Ispitivanje granice tečenja granula bentonita [1]

Figure 7 Testing the liquid limit of bentonite granules [1]

Tablica 1. Rezultati ispitivanja granice plastičnosti [1]

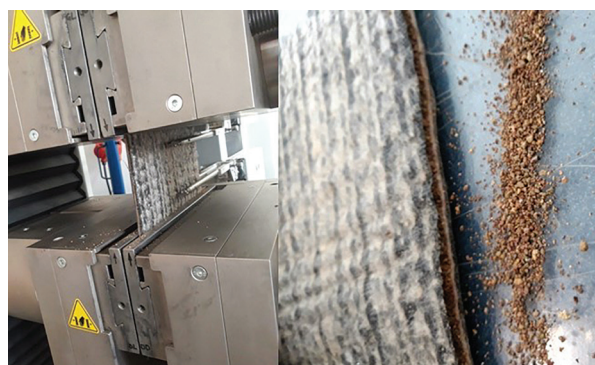
Table 1. Test results of plasticity limits [1]

Sample number	1	2	3	4
Water content (%)	32,55	33,93	36,4	32,08
Number of drops (N)	16-16	27-27	33-33	44-44
Liquid limit w_L (%)	482,86			
Plastic limit w_p (%)	38,58			
Plasticity index I_p	444,29			

3.3. VLAČNO ISPITIVANJE BENTONITNE MEMBRANE

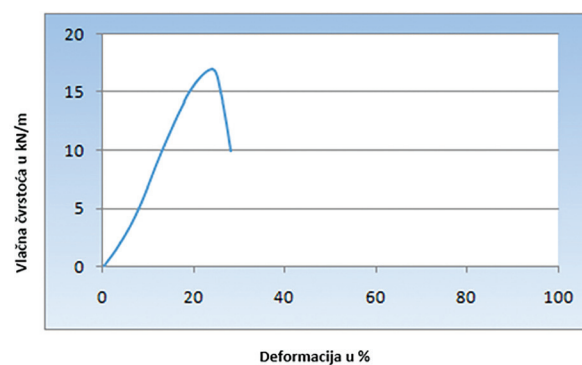
3.3. STRAIN TESTING OF BENTONITE MEMBRANE

Ispitivanje je provedeno prema normi HRN EN ISO 10319: 2001. Suhi laboratorijski uzorak testiran je na stroju Zwick / Roell Z100 s konstantnom vrijednošću vlačne sile. Vlačna čvrstoća se određuje na duljini uzorka od 100 mm i najmanjom širinom 200 mm, pri čemu širinu uzorka treba prilagoditi karakteristikama materijala. Uzorak je testiran u uvjetima od 23 ° C i relativni udio vode od 50%. Ispitna brzina 12 mm / min s čeličnim čeljustima od 150 bara pod tlakom.



Slika 8 Ispitivanje bentonitne membrane u laboratorijskom ispitnom stroju (IGH Zagreb) [1]

Figure 8 Strain testing of the bentonite membrane in the laboratory testing machine (Geotechnical laboratory of Institute IGH, Zagreb) [1]



Slika 9 Rezultati dobiveni vlačnim ispitivanjem uzorka[1]

Figure 9 The results obtained by tensile test of the sample[1]

Tijekom ispitivanja uzorak radi brzinom od $20 \pm 5\%$ / min, uz konstantno pojačanje deformacije. Deformacije su mjerene ekstenzometrima, koji prate pomak dviju referentnih točaka, s početnim razmakom od 60 mm.[1] Uređaj je u potpunosti vođen računalnim programom koji određuje veličinu deformacije uzorka s točnošću od 0,02 mm.

Na slici 9. prikazana je vrijednost vlačne čvrstoće materijala, pri opterećenju kojem je materijal izložen. Povećavanjem vlačnih napreznaja dosegnuta je granična vrijednost pri kojoj nastaje lom ili pucanje bentonitne membrane.[1]

Slijedeća tablica prikazuje osnovne podatke o odabranoj bentonitnoj membrani testiranoj na vlačno opterećenje (tablica 2). Vlačna čvrstoća af izražena je u kN / m, izravno iz podataka dobivenih testiranjem, pomoću jednadžbe

$$a_f = F_f \cdot c \quad (1)$$

gdje je F_f najveća sila izražena u kN i c omjer minimalnog broja zateznih elemenata ispitnog uzorka (N_s) i minimalnog broja zateznih elemenata u 1 m širine bentonitne membrane. Snaga

sekantnosti (sekantni modul) izračunata je na temelju formule, prema HRN EN 10319.

$$J_{sec} = (F_c \cdot 100) / \varepsilon \quad (2)$$

pri čemu je F_c određena sila pri deformaciji ε , izražena u postocima.

Tablica 2. Rezultati dobiveni vlačnim ispitivanjem uzorka [1]

Table 2. The results obtained by tensile test of the sample [1]

Longitudinal sample testing	J_{sec} N/mm	F_f (kN)	a_f (kN/m)	ε (%)	Test time (min)	Deformation (mm)
1	230,4	3,35	16,7	23,4	1,8	14,02

3.4. ISPITIVANJE KOEFICIJENTA PROPUSNOSTI BENTONITNE MEMBRANE

3.4. HYDRAULIC PERMEABILITY OF BENTONITE MEMBRANE

Metoda zadanog protoka (flow pump test) je modificirana metoda mjerenja koeficijenta s konstantnom razlikom tlaka. Postiže se na način da se tekućina utiskuje u, ili izvlači iz uzorka pri konstantnom brzini, tijekom kojeg se prati promjena razlike tlaka na kapi i bazi uzorka.[3]

Ispitivanje koeficijenta propusnosti provodi se u troosnoj ćeliji. Zadavanje zadanog protoka ostvaruje se medicinskom pumpom Harvard Apparatus Syringe Pump Model 33' slika 10. Pumpa ima različite veličine injekcija, za ubrizgavanje tekućine različitog volumena. Maksimalno postizanje/zadavanje tlaka, pumpom, je 280kPa.



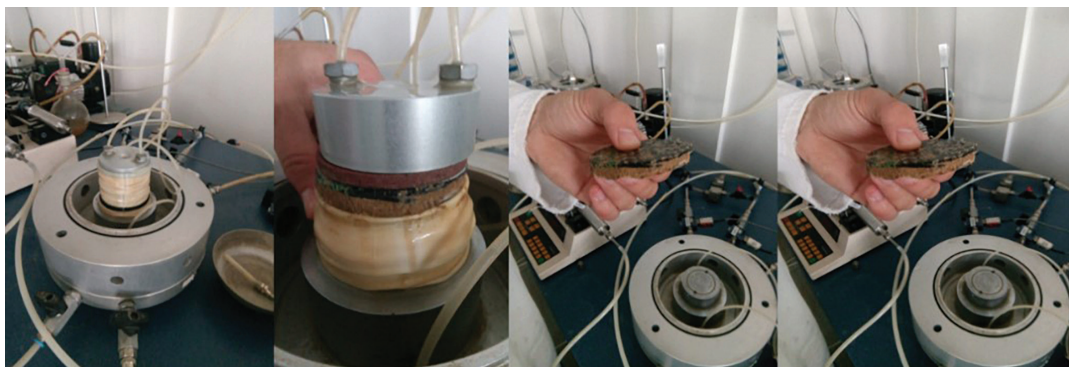
Slika 10 Pumpa za nametanje protoka (IGH Zagreb)

Figure 10 Dual Syringe Pump (Geotechnical laboratory of Institute IGH, Zagreb)



Slika 11 Ispitivanje propusnosti materijala u troosnoj ćeliji (IGH Zagreb)

Figure 11 Material permeability testing in the permeability test device – triaxial cell (Geotechnical laboratory of Institute IGH, Zagreb)



Slika 12 Prikaz ispitnog uzorka nakon završetka testiranja

Figure 12 Test sample after completion of testing in triaxial cell

Nakon pripreme bentonitne membrane (cilindrični oblik uzorka dobiven je utiskivanjem metalnog prstena u pripremljeni materijal) uzorak se ugradi u troosnu ćeliju i konsolidira 24sata. Kroz konsolidirani uzorak nameće se zadani protok - s donje strane uzorka, pri čemu se na gornjoj strani, početni porni tlak održava stalnim. Voda se pod stalnim tlakom utiskuje u uzorak, a dobiveni protok se mjeri, po mogućnosti i na ulazu i na izlazu iz uzorka.

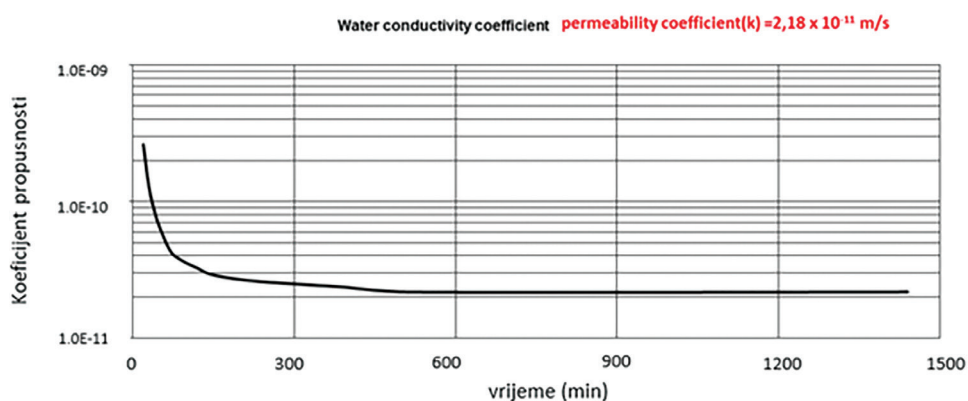
Uzorak je okružen fleksibilnom membranom, koja tijesno prijanja uz stjenke uzorka, uslijed djelovanja ćelijskog tlaka (250 kPa), čime je onemogućen protok vode izvan efektivnog presjeka uzorka.

Kao reakcija na zadani protok, na donjoj strani uzorka dolazi do postupnog porasta purnog tlaka. Kada se tlak ustali, uspostavljeno je stacionarno tečenje kroz uzorak.

Promjena visine uzorka očituje se za 4 mm (početna visina uzorka iznosila je 5,97-5,92 mm, po završetku testa 9,26-9,08 mm), te povećanje mase uzorka očituje se za cca 21 g.

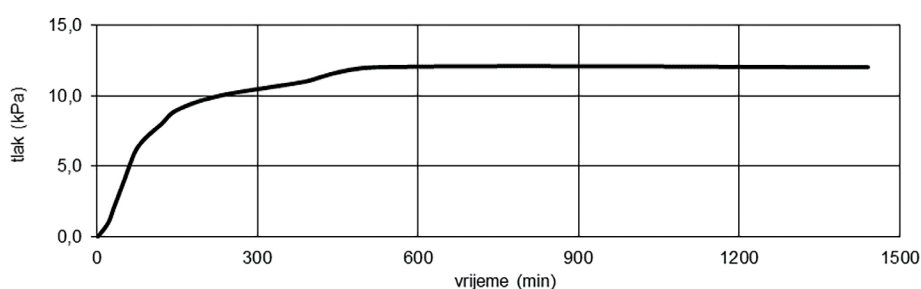
Primjer dijagrama promjene purnog tlaka na bazi uzorka tijekom vremena prikazan je na grafu 2.

Na temelju dobivenih rezultata i usporedbe tehničkih karakteristika prema EN 13491: 2004, ispitivanje bentonitne membrane pokazalo je prihvatljive rezultate.



Graf 1 Prikaz rezultata za koeficijent propusnosti

Graph 1 Results for permeability coefficient



Graf 2 Promjena purnog tlaka na bazi uzorka. (porni tlak 215 kPa, protok 0,062 ml/s)

Graph 2 Pore pressure variation at the bottom side of the sample (pore pressure 215 kPa, flow rate 0,062 ml/s)

4. ZAKLJUČAK

Primjena bentonitne membrane, kao hidroizolacijskog materijala u podzemnoj gradnji, sve više se povećava iz godine u godinu. Tome, sigurno, pridonose dobre i povoljne karakteristike materijala kao što su jednostavna i brza priprema, minimalna obrada materijala u kritičnim dijelovima s konstrukcijom, te jednostavnost dopreme gotovog materijala na gradilište. U radu je opisana primjena bentonitne membrane kao hidroizolacijskog materijala na podrumskim etažama hotela Roxanich Heritage Wine u Motovunu, uz opis dodatnih laboratorijskih ispitivanja i rezultata provedenih u laboratoriju IGH, Zagreb (granulometrijski sastav, ispitivanje koeficijenta propusnosti) kao dodatak na prethodno objavljeni članak autorice, na konferenciji European Young Geotechnical Engineers Conference, u Austriji (2018.god.). Na temelju provedenih laboratorijskih ispitivanja i dobivenih rezultata, potvrđene su karakteristike bentonitne membrane (prema tehničkoj specifikaciji EN 13491: 2004.) korištene kao sredstvo za izolaciju u rekonstrukciji vinskog podruma i izgradnji hotela Roxanich Heritage Wine u Motovunu.

4. CONCLUSION

The use of bentonite membranes, as a waterproofing material in underground construction, is increasing year by year. The good and favorable characteristics of the material, such as simple and quick preparation and installation, minimal material processing in critical structural parts, and the ease of delivery of the finished material to the construction site, certainly contribute to this. The paper describes the use of bentonite membrane as a waterproofing material on the basement floors of the Roxanich Heritage Wine Hotel in Motovun, with the description of additional laboratory tests and results performed at IGH laboratory, Zagreb (granulometric composition, leakage coefficient test) as an adjunct to the previously published article by the author, at the 26th European Young Geotechnical Engineers Conference in Austria (2018). Based on the laboratory tests and the results obtained, the characteristics of the bentonite membrane

(according to technical specification EN 13491: 2004) were confirmed as used as an insulation agent in the reconstruction of the wine basement floors and the construction of the Roxanich Heritage Wine Hotel in Motovun.

5. REFERENCE

5. REFERENCES

- [1.] Pavlič, I., 2018. Application of bentonite in waterproofing of underground structures, Zagreb University of Applied Science, Zagreb, Croatia.
- [2.] DRACO, prospektni materijal i tehnička dokumentacija, <https://www.dracopro.com/dokumentacija/>
- [3.] Veinović, Ž., Kovačević-Zelić, B. & Kvasnička, P. (2003): Laboratorijsko mjerenje koeficijenta propusnosti tla – usporedba konvencionalnih i novih metoda, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol.15, str. 95-102.
- [4.] Kiviranta, L. and Kumpulainen, S. (2011): Quality Control and Characterization of Bentonite Materials, Working Report 2011-84, Oulkuoto, Posiva.

AUTORI · AUTHORS

● Ivana Pavlič

Asistentica na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu.

Korespondencija · Correspondence

ipavlic@tvz.hr

● **Željko Lebo** - nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 2, No. 1, 2014.

Korespondencija · Correspondence

zeljko.lebo@tvz.hr

● **Anja Mandić** - Studentica na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu.

Korespondencija · Correspondence

amandic@tvz.hr