

Osnivanje i razvoj laboratorija za mehaniku tla na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu

Biljana Kovačević Zelić¹ i Evelina Oršulić²

¹ redoviti član HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, bkzelic@rgn.hr

² Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, eorsulic@rgn.hr

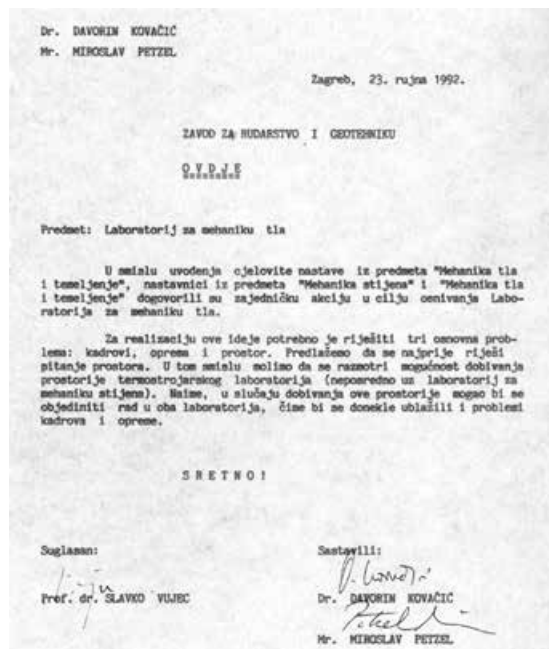
Sažetak: *Laboratorij za mehaniku tla osnovan je 2008. godine na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Njegova prvotna namjena bila je unaprjeđenje izvođenja praktičnog dijela nastave na studijima rudarstva, geotehnike i inženjerske geologije. Međutim, kontinuiranim opremanjem i uvođenjem novih ispitnih metoda, omogućena je realizacija brojnih znanstvenih i stručnih istraživanja za potrebe domaćih i međunarodnih projekata, istraživanja u svrhu izrade završnih radova i doktorskih disertacija, te istraživanja za potrebe realnog sektora. Iako laboratorij djeluje u okviru Zavoda za rudarstvo i geotehniku, znanstvena i stručna istraživanja provode se za i u suradnji s drugim zavodima RGN-fakulteta, te znanstvenim i nastavnim institucijama u zemlji i inozemstvu. U radu će biti opisan razvitak laboratorija od osnutka do danas, prikaz njegove uloge u nastavnim, znanstvenim i stručnim aktivnostima fakulteta, kao i neki rezultati istraživanja provedenih u zadnjih petnaestak godina.*

Ključne riječi: *mehanika tla, geotehnika, geotehničko inženjerstvo okoliša, geokompoziti.*

1. Uvod

Laboratorij za mehaniku tla osnovan je na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu (dalje: RGN-fakultet) tek 2008. godine, gotovo 45 godina nakon osnutka samog fakulteta. Naime, sve do akademske godine 1990./1991. nastavu iz područja geotehnike na RGN-fakulteta su izvodili vanjski suradnici, uglavnom s Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Od akademske godine 1991./1992. na RGN-fakultetu nastavu iz kolegija Mehanika tla i temeljenje i Geotehnički objekti po prvi puta izvode vlastiti zaposlenici. Već je prvi nositelj kolegija Mehanika tla i temeljenje na RGN-fakultetu,

prof. dr. sc. Davorin Kovačić, inicirao osnivanje novog laboratorija još 1992. godine (slika 1). Međutim, za ostvarivanje te inicijative trebalo je stvoriti prostorne, materijalne i ljudske resurse. Tek je tijekom 2004. godine nabavljena prva oprema financirana od Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta sredstvima kapitalnog ulaganja. Od 2005. do 2007. godine nastavilo se s nabavom opreme sredstvima znanstvenih projekata. U tom razdoblju riješen je i problem osiguranja adekvatog prostora i njegovog uređenja, pa je Laboratorij službeno osnovan odlukom Fakultetskog vijeća RGN-fakulteta 7. ožujka 2008. godine (Grupa autora, 2009).



Slika 1: Zamolba za osnivanjem Laboratorija za mehaniku tla (osobna arhiva autora)

U razdoblju od 1991. do 2008. godine desilo se i nekoliko izmjena studijskih programa od kojih je najvažnija ona u akademskoj godini 2005./2006. kada su uvedeni bolonjski programi po novoj shemi. Tijekom te reforme uvedeni su u studijske programe RGN-fakulteta novi kolegiji iz područja geotehnike i geotehničkog inženjerstva okoliša na sva tri ciklusa obrazovanja: predplomski, diplomski i poslijediplomski studij, te na studijskim programima Geotehnika, Zbrinjavanje i odlaganje otpada te Hidrogeologija i inženjerska geologija. Nositeljstvo kolegija i poslove osnivanja i opremanja laboratorija preuzela je prof. dr. sc. Biljana Kovačević Zelić, a svečano otvorenje laboratorija obavljeno je povodom proslave dana RGN-fakulteta, 4. prosinca 2009. godine (slika 2).

Na temelju dokumenta "Ustrojstvo, razvoj i korištenje laboratorija na RGN fakultetu" (Hrženjak i dr., 2007.), novoosnovani Laboratorij za mehaniku tla i postojeći Laboratorij za mehaniku stijena objedinjavaju se tijekom 2008. godine u zajednički Geomehantički laboratorij s dva odjela: Odjel za mehaniku tla i Odjel za mehaniku stijena. U trenutku osnivanja Laboratorij za mehaniku stijena posjedovao je opremu i prostor od približno 77 m², dok je Laboratorij za mehaniku tla posjedovao opremu, ali nije imao i odgovarajući prostor te je trebalo prenamijeniti dvije prostorije i preurediti dodatnih 34 m² što je naknadno i učinjeno uz korištenje sredstava Sveučilišta u Zagrebu i RGN-fakulteta 2008. godine.

Geomehantički laboratorij osnovan je kao ispitni laboratorij za provedbu znanstvenih istraživanja te za provedbu ispitivanja za potrebe privrede i održavanje nastave (RGNF, 2007). Geomehantički laboratorij - Odjel za mehaniku tla usmjeren je na istraživanje svojstava tla i geokompozita. Od 2008. godine do danas kontinuirano se dopunjava oprema laboratorija, najprije samo uređajima za laboratorijska ispitivanja, a u posljednje vrijeme i uređajima za terenska ispitivanja (slika 3).



Slika 2: Osnivanje Laboratorija za mehaniku tla: a) otvorenje 4. prosinca 2009.;
b) prof. dr. sc. Biljana Kovačević Zelić i prof. dr. sc. Davorin Kovačić



Slika 3: Laboratorij za mehaniku tla na RGN-fakultetu (fotografirala Evelina Oršulić, siječanj, 2022)

2. Oprema i ispitne metode

Laboratorij je u početnoj fazi svog razvoja posjedovao samo opremu za izvedbu osnovnih pokusa za identifikaciju i klasifikaciju tla koja je financirana sredstvima za kapitalna ulaganja Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta tijekom 2004. godine. Od te početne faze do danas laboratorij se kontinuirano unapređuje nabavkom opreme i uvođenjem novih ispitnih metoda, što je financirano sredstvima znanstvenih i privrednih projekata, te sredstvima Zavoda za rudarstvo i geotehniku RGN-fakulteta namijenjenim za razvoj. Posljednja veća ulaganja ostvarena su 2021. i 2022. godine kada je postojeća oprema modificirana ili dopunjena sredstvima projekata "VIRTU-LAB – Integrirani laboratorij za primarne i sekundarne sirovine" i "RGN START - Stručna pRaksa za živoT". Ti su projekti realizirani iz Europskog fonda za regionalni razvoj (<https://virtulab.rgn.unizg.hr/o-nama>) i Europskog strukturnog investicijskog fonda (<https://www.rgn.unizg.hr/hr/rgn-start-strucna-praksa-za-zivot>).

Laboratorij je prvenstveno usmjeren na istraživanje svojstava tla i geokompozita. U tablici 1 navedene su sve ispitne metode koje su uvedene u laboratorij od osnivanja do danas. U posljednje je vrijeme laboratorij još dopunjen i nekim uređajima za terenska ispitivanja: džepni penetrometar, digitalni uređaj za mjerenje pH/mV/temperature, digitalni uređaj za mjerenje elektroprovodljivosti/temperature/TDS, terenska krilna sonda Eijkelkamp, terenski uzorkivač Eijkelkamp i dinamička penetracijska sonda DPL. Ova je oprema prvenstveno nabavljena radi kvalitetnije izvedbe nastave na diplomskom studiju, ali i za potrebe suradnje s realnim sektorom.

U okviru projekta VIRTULAB laboratorij bi u narednom razdoblju trebao u različitim fazama ciklusa primarnih i sekundarnih sirovina pružati i sljedeće usluge:

- Prospekcijska istraživanja primarnih i sekundarnih sirovina: određivanje značajki tla
- Proizvodni procesi: praćenje promjene svojstva primarnih i sekundarnih sirovina
- Recikliranje: određivanje svojstava sekundarnih sirovina, mješavina tla i recikliranih materijala u svrhu njihove ponovne uporabe.

Tablica 1: Ispitne metode

Svojstvo	Metoda
Vlažnost tla	ASTM D2216-19: Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
Gustoća čvrstih čestica tla	ASTM D854-14: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer

Granulometrijski sastav tla	ASTM D422-(63)07: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Granice plastičnih stanja tla	ASTM D4318-17: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Zbijanje tla (standardni pokus)	ASTM D698-12(2021): Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft ³ (600 kN-m/m ³))
Zbijanje tla (modificirani pokus)	ASTM D1557-12: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft ³ (2,700 kN-m/m ³))
Jednodimenzionalna konsolidacija tla (edometerski pokus)	ASTM D2435-11(2020): Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading
Jednoosna tlačna čvrstoća tla	ASTM D2166-16: Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil
Posmična čvrstoća tla uređajem za izravni posmik	ASTM D3080-11: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions
Nedrenirana posmična čvrstoća tla pri troosnom posmiku	BS 1377: Part 7: Clause 8: Determination of the undrained shear strength in triaxial compression without measurement of pore pressure
Posmična čvrstoća tla pri konsolidiranom nedreniranom troosnom posmiku	BS 1377: Part 8: Clause 7: Consolidated-undrained triaxial compression test with measurement of pore pressure
Posmična čvrstoća tla pri konsolidiranom dreniranom troosnom posmiku	BS 1377: Part 8: Clause 8: Consolidated-drained triaxial compression test with measurement of volume change
Propusnost tla u troosnoj ćeliji	ASTM D5084 – 16: Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter
Indeks slobodnog bubrenja	ASTM D5890-18: Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners
Sposobnost upijanja	DIN 18132: Soil, testing procedures and testing equipment - Determination of water absorption
Indeks gubitka fluida	ASTM D5891-19: Standard Test Method for Fluid Loss of Clay Component of Geosynthetic Clay Liners
Indeks protoka za glinene geosintetičke barijere	ASTM D5887-20: Standard Test Method for Measurement of Index Flux Through Saturated Geosynthetic Clay Liner Specimens Using a Flexible Wall Permeameter
Propusnost glinenih geosintetičkih barijera	ASTM D6766-20: Standard Test Method for Evaluation of Hydraulic Properties of Geosynthetic Clay Liners Permeated with Potentially Incompatible Liquids

3. Uloga laboratorija u nastavi

Od samog početka laboratorij je uključen u obrazovni proces kroz izvođenje laboratorijskih vježbi, izradu završnih, diplomski i doktorskih radova. Laboratorij je prvotno bio namijenjen samo za izvođenje praktičnog dijela nastave iz predmeta Mehanika tla. U laboratoriju studenti samostalno ili pod nadzorom izvode različite metode za određivanje fizičkih svojstava i indeksnih pokazatelja, te hidrauličkih i mehaničkih svojstava tla. Kontinuiranim dopunjavanjem opreme i uvođenjem novih metoda ispitivanja tla i geokompozita omogućeno je izvođenje praktične nastave za veći broj kolegija geotehničkog usmjerenja. Također, uvedene su i neke jednostavnije metode za terensko uzorkovanje i ispitivanje tla. Time su stvoreni preduvjeti za izvođenje laboratorijske i terenske nastave za još nekoliko kolegija: Poboljšanje tla i stijena, Geotehnička ispitivanja i opažanja, Geotehnički objekti i Geotehničko inženjerstvo okoliša na RGN-fakultetu. U posljednjih nekoliko akademskih godina, praktične laboratorijske vježbe iz kolegija Geoinženjerstvo izvode se još i za studente pred-diplomskog studija Vojnog inženjerstva pri Hrvatskom vojnom učilištu "Dr. Franjo Tuđman".

U laboratoriju se pored toga izvode istraživanja za potrebe izrade završnih i diplomskih radova, te je do sada obranjeno preko 30 radova na temelju takvih istraživanja. Studenti se tijekom izrade radova detaljno upoznaju s radom ispitnog laboratorija, samostalno obavljaju pokuse uz nadzor osposobljene osobe, ali i dolaze u izravni kontakt s privrednim subjektima, čime se stječu dodatne kompetencije korisne za njihov kasniji ulazak na tržište rada. Teme tih radova povezane su s ispitivanjem uzoraka tla i geosintetičkih brtvenih barijera, indeksnih pokazatelja bubrivih tala i ispitivanja mješavina tala s recikliranim materijalima.

U okviru projekta RGN START - Stručna pRaksa za živoT (2020.-2023.), koji je u početnoj fazi, predviđeni su i novi modeli izvedbe praktične nastave i mentoriranja studenata u suradnji budućih poslodavaca s nastavnicima fakulteta, s ciljem odabira različitih putova razvoja karijere i razvoja vještina potrebnih za zapošljavanje.

4. Znanstvena i stručna istraživanja

Osnivanjem Laboratorija za mehaniku tla stvoreni su preduvjeti za provedbu brojnih znanstvenih i stručnih istraživanja za potrebe domaćih i međunarodnih projekata, istraživanja u svrhu izrade doktorskih disertacija i istraživanja za potrebe privrednih subjekata. Iako laboratorij djeluje u okviru Zavoda za rudarstvo i geotehniku, znanstvena i stručna istraživanja provode se za i u suradnji s drugim zavodima RGN-fakulteta, znanstvenim i nastavnim institucijama te za potrebe realnog sektora. U svrhu za-

jedničkog nastupa na tržištu laboratorij je putem fakultetskih ugovora o međusobnoj suradnji uključen u poslove iz području laboratorijskih ispitivanja i projektiranja.

U laboratoriju su se provodila istraživanja za sljedeće značajnije projekte: Ispitivanja trajnosti mineralnih brtvenih barijera, MZOS, 2007.-2013.; Unaprjeđenje podučavanja i istraživanja nesaturiranih tala, Fond za razvoj Sveučilišta u Zagrebu, 2012.; Poboljšanje inženjerskih svojstava tla primjenom reciklirane plastike, 2015.-danas; GIS model opće prohodnosti zemljišta, MORH (2017.-2018.); Geotechnical Reconnaissance and Engineering Effects of the December 29, 2020, M6.4 Petrinja, Croatia Earthquake, and Associated Seismic Sequence, GEER, 2021.

Također, opsežna istraživanja provedena su u laboratoriju za izradu nekoliko doktorskih disertacija povezanih s ispitivanjem utjecaja bubrenja bentonitne gline na njezina mehanička svojstva, (Domitrović, D., 2012.); razvoja nove metode laboratorijskog ispitivanja plinopropusnosti glinenih geosintetičkih barijera (Vučenović, H., 2016.); ispitivanja dugotrajne učinkovitosti glinenih geosintetičkih barijera (Kosić, D., 2016); te ispitivanja utjecaja tla na prohodnost vozila (Heštera, H., 2021).

U laboratoriju su provedena i istraživanja uzoraka tla i geosintetičkih glinenih barijera za potrebe projektiranja i izgradnje različitih rudarskih i geotehničkih projekata, odlagališta otpada ili radi ocjene pogodnosti bentonitnih glina za proizvodnju mineralnih brtvenih barijera. Kako nije moguće opisati sve aktivnosti koje su se ostvarile u laboratoriju od njegova osnutka do danas, u narednim poglavljima bit će prikazane samo neke.

4.1. Laboratorijska ispitivanja bujanja bentonitnih glina

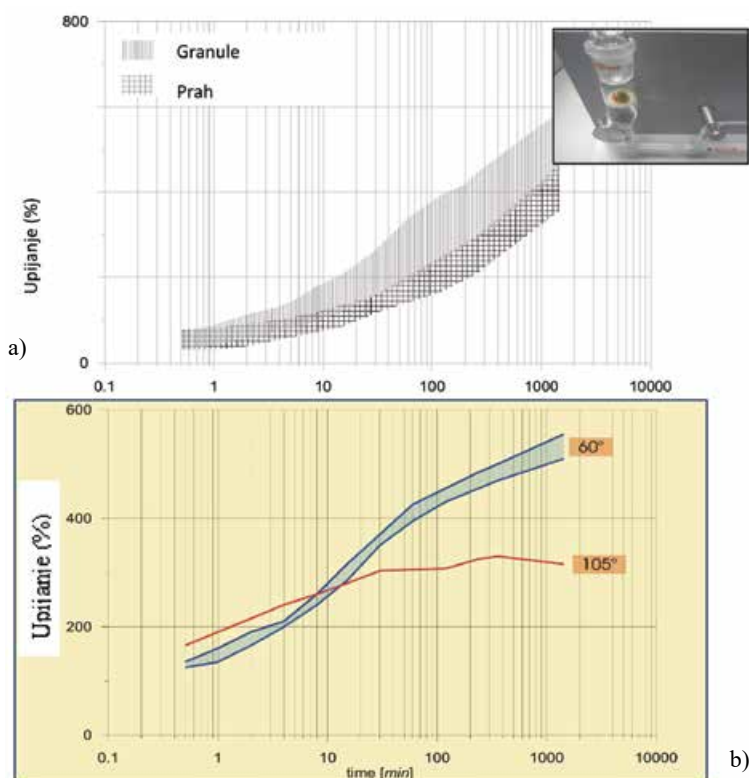
Ispitivanja bujanja glinovitih materijala važno je u mnogim inženjerskih zahvatima. Primjerice, bubrivne gline prisutne u prirodnoj geološkoj sredini otežavaju izgradnju tunela i drugih podzemnih prostorija, uzrokuju povećane troškove izgradnje i održavanja prometnica i sl. Međutim, kod odlagališta krutog ili tekućeg otpada gdje se gline koriste kao brtvene barijere, bubrenje može biti poželjna pojava. U skorije vrijeme bentonitna glina koristi se kod proizvodnje glinenih geosintetičkih barijera (kompozit geosintetika i mineralne komponente), a upravo zbog pojave bujanja predstavljaju iznimno dobru brtvenu barijeru s vrlo malim koeficijentom propusnosti. Kapacitet bujanja bentonitne gline može se procijeniti na temelju indeksnih pokazatelja (na pr. indeks slobodnog bujanja, kapacitet upijanja) ili mjeriti izravno edometarskim pokusom. Uobičajeno je takva ispitivanja provoditi demineraliziranom vodom kao ispitnim fluidom. Međutim, kako bi se simulirali uvjeti u objektima u koje se ugrađuje (promjena temperature, kontakt s različitim kemijskim tvarima i sl.), ispitivanja

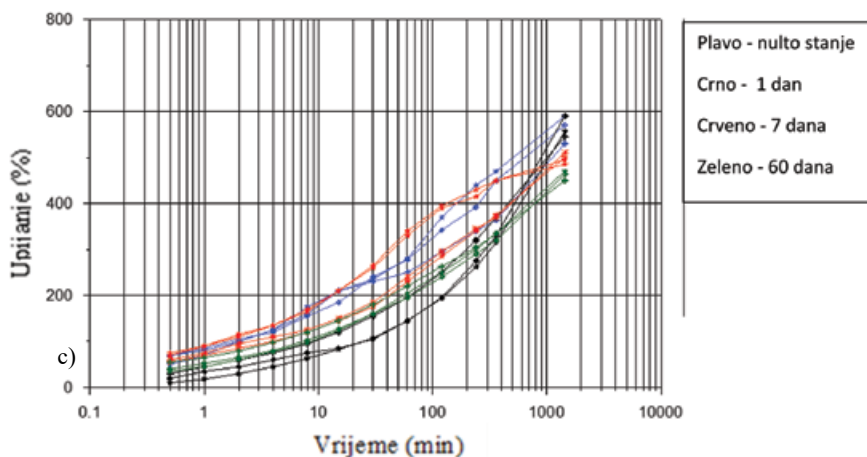
se mogu provoditi s različitim ispitnim fluidima, pri različitim uvjetima temperature i vlažnosti, duljinom trajanja pokusa i sl. Na taj način, procjenjuju se svojstva kako u inicijalnom stanju tako i dugotrajna učinkovitost hidrauličkih barijera u realnim uvjetima.

Na slici 4 pokazani su rezultati ispitivanja kapaciteta upijanja u ovisnosti o veličini čestice, temperaturi koja je korištena kod pripreme uzoraka i vremenu trajanja izloženosti gline utjecaju štetnih tvari prisutnih u procjednoj tekućini s realnog odlagališta otpada.

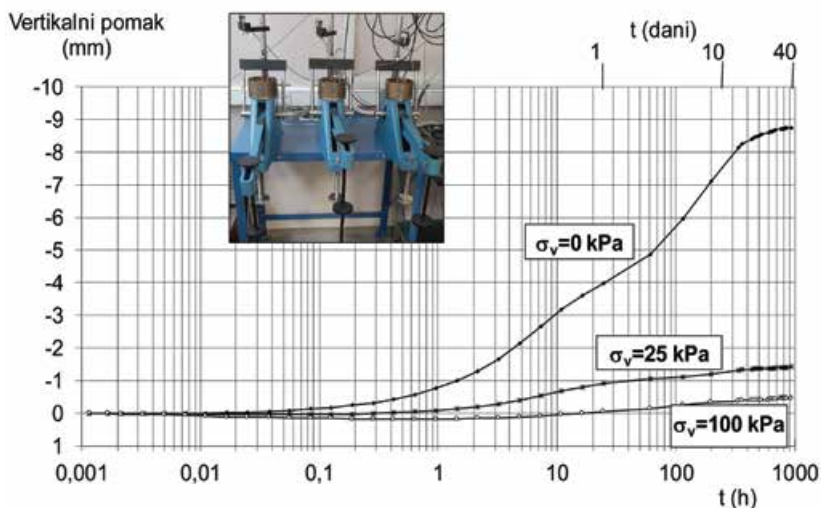
Slika 5 pokazuje ispitivanje bujanja u edometarskom pokusu pri različitim stupnjevima opterećenja: slobodno bujanje bez opterećenja (tzv. free swell), te bujanje opterećenjima koja su očekivana u završnom pokrovu ili temeljnom zaštitnom sustavu odlagališta otpada (Kovačević Zelić & Vrkljan, 2008).

Sva su navedena ispitivanja pokazala da se inicijalna svojstva bentonitne gline kao i geosintetičke glinene barijere mogu značajno promijeniti tijekom životnog vijeka određenog objekta, pa je za procjenu dugotrajne učinkovitosti potrebno predvidjeti moguće štetne utjecaje, provesti odgovarajuće pokuse i procijeniti njihov utjecaj na projektne parametre (Kovačević Zelić & Vrkljan, 2008; Kosić i dr., 2016).





Slika 4: Kapacitet upijanja vode u ovisnosti o: a) veličini čestice, b) temperaturi, c) vremenu izloženosti štetnim tvarima



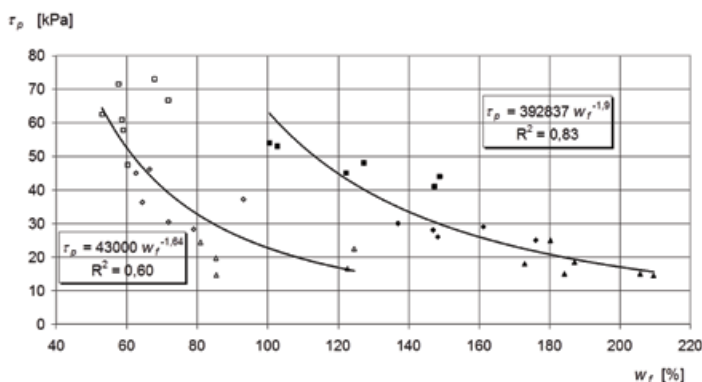
Slika 5: Ispitivanje bujanja bentonitne gline u edometarskom pokusu

4.2. Laboratorijska ispitivanja posmične čvrstoće glinene geosintetičke barijere

Posmična čvrstoća glinene geosintetičke barijere ispitivana je u modificiranom uređaju za izravno smicanje kako bi se mogao ugraditi uzorak nestandardnih dimenzija (visine i promjera). Cilj provedenih ispitivanja bio je utvrditi utjecaj različitih

procedura pripreme uzoraka u fazi hidratacije i konsolidacije, te brzine smicanja na izmjerenu posmičnu čvrstoću odnosno parametre smicanja: koheziju i kut unutarnjeg trenja. Pokusi su provedeni korištenjem procedure propisane normom te modificirane procedure temeljem vlastitih probnih ispitivanja. Na slici su prikazani sumarni rezultati koji pokazuju da je modificirana procedura dala značajno konzistentnije rezultate. Također, utvrđeno je da brzina smicanja utječe značajno na izmjereni kut trenja dok duljina trajanja pokusa ima puno veći utjecaj na izmjerenu koheziju (Kovačević Zelić i Vrkljan, 2008).

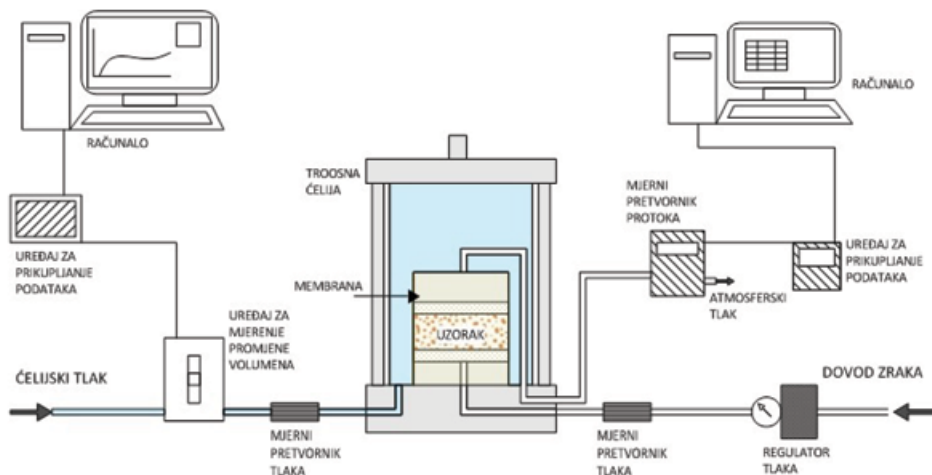
Navedeno istraživanje važno je ne samo za projektiranje objekata u kojima se koriste geosintetičke glinene barijere već je ukazalo i na potrebu modifikacije određenih normiranih procedura.



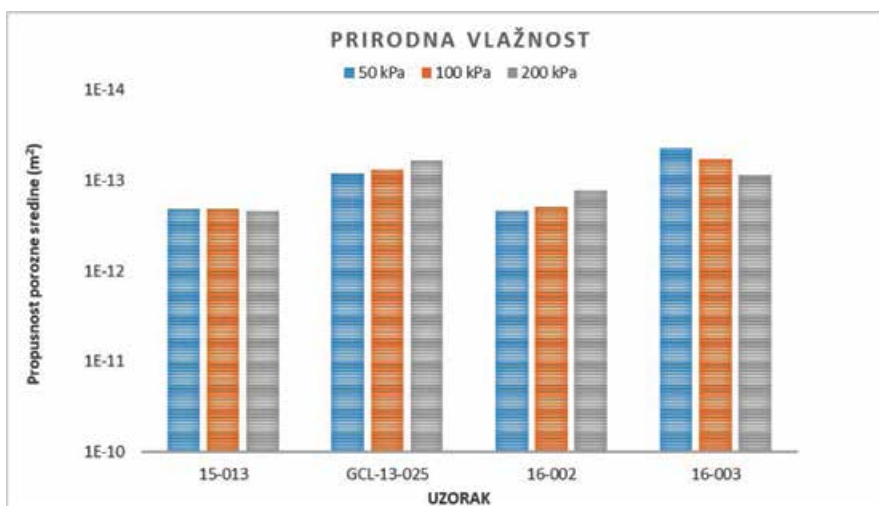
Slika 6: Posmična čvrstoća glinene geosintetičke barijere u ovisnosti o vlažnosti bentonitne gline

4.3. Laboratorijska ispitivanja plinopropusnosti

Glinene geosintetičke barijere vrlo se intenzivno koriste kao efikasne hidrauličke barijere u geotehničkom i hidrotehničkom inženjerstvu, te odlagalištima krutog ili tekućeg otpada. Kako se u odlagalištima otpada razvijaju veće količine odlagališnih plinova, čije glavne komponente pripadaju skupini stakleničkih plinova, važno je spriječiti njihovo nekontrolirano ispuštanje u atmosferu. Stoga je ispitivanje plinopropusnosti glinenih brtvenih barijera kao važne komponente završnog pokrova na odlagalištima postalo iznimno interesantna znanstvena tema. To se ispitivanje, međutim, ne provodi u standardnoj praksi, pa postupak ispitivanja nije niti normiran, a sva dosadašnja istraživanja obavljena su s različitom opremom i postupcima te su rezultati bili praktički neusporedivi. Stoga je na RGN-fakultetu modificiran postojeći uređaj i procedura za ispitivanje plinopropusnosti u uređaju za troosni posmik (Slika 7), te su obavljena probna ispitivanja na nekoliko različitih vrsta tla i geosintetičkih brtvenih barijera (Vučenović, 2016; Vučenović i dr., 2021).



a) shema modificiranog uređaja



b) rezultati probnih ispitivanja

Slika 7: Laboratorijsko ispitivanje plinopropusnosti

5. Zaključak

Iako je Laboratorij za mehaniku tla jedan od najkasnije razvijenih laboratorija na RGN-fakultetu, njegovo postojanje opravdano je u posljednjih dvadesetak godina u svim segmentima poslovanja fakulteta.

Laboratorij se intenzivno koristi za izvedbu nastave na sva tri ciklusa obrazovanja, u njemu se provode istraživanja za izradu završnih i diplomskih radova, a studenti stječu važne kompetencije potrebne za zapošljavanje i profesionalni razvoj.

U laboratoriju su obavljena brojna istraživanja za provedbu domaćih i međunarodnih projekata, te za izradu nekoliko doktorskih disertacija. U članku su izdvojene samo neke znanstvene teme i prikazani rezultati istraživanja koji su utemeljeni na laboratorijskim ispitivanjima, a predstavljaju značajan doprinos ne samo znanstvenim istraživanjima nego i razvoju brojnih inženjerskih struka.

Iako laboratorij djeluje u okviru Zavoda za rudarstvo i geotehniku, znanstvena i stručna istraživanja provode se za i u suradnji s drugim zavodima RGN-fakulteta, znanstvenim i nastavnim institucijama te za potrebe realnog sektora. U svrhu zajedničkog nastupa na tržištu laboratorij je putem fakultetskih ugovora o međusobnoj suradnji uključen u zajedničke poslove u području laboratorijskih ispitivanja i projektiranja. Tako su u laboratoriju provedena i istraživanja uzoraka tla i geosintetičkih glinenih barijera za potrebe projektiranja i izgradnje različitih rudarskih i geotehničkih projekata, odlagališta otpada ili radi ocjene pogodnosti bentonitnih glina za proizvodnju mineralnih brtvenih barijera.

Iz svega navedenog može se zaključiti kako laboratorij raspolaže s prostornim, materijalnim i ljudskim resursima za uspješan rad, ali da njegov opstanak ovisi o kontinuiranom ulaganju i brizi kako bi se istraživanja mogla provoditi u skladu sa zahtjevima važećih sustava upravljanja kvalitetom.

Literatura

- [1] Grupa autora: RGNF od 2005. do 1009. vrijeme promjena, RGNF, ISBN 978-953-6923-13-7, Zagreb, (2009)
- [2] Hrženjak, P.; Gaurina-Međimurec, N.; Kovačević Zelić, B.; Simon, K.; Kapor, F.; Mileusnić, M.: Ustrojstvo, razvoj i korištenje laboratorija na RGN fakultetu, Arhiva RGNF-a, (2007)
- [3] RGNF (2007): Prijedlog za osnivanje geomehaničkog laboratorija, Arhiva RGNF-a.
- [4] <https://virtulab.rgn.unizg.hr/o-nama/> Pristupljeno: 2022-01-15
- [5] <https://www.rgn.unizg.hr/hr/rgn-start-strucna-praksa-za-zivot> Pristupljeno: 2022-01-15
- [6] Domitrović, D.: Utjecaj bubrenja bentonitne gline na njezina mehanička svojstva, Doktorska disertacija, RGN fakultet, 2012.
- [7] Vučenović, H.: Razvoj metode laboratorijskog ispitivanja plinopropusnosti glinenih geosintetičkih barijera. Doktorska disertacija, RGN fakultet, 2016.
- [8] Kosić, D.: Dugoročna učinkovitost glinenih geosintetičkih barijera. Doktorska disertacija, RGN fakultet, 2016.

- [9] Heštera, H.: Fizičko-geografski čimbenici terenske prohodnosti vozila na kontaktnom prostoru Đakovačke lesne zaravni i pobrđa Dilj gore. Doktorska disertacija, PMF, 2021.
- [10] Kovačević Zelić, B.; Vrkljan, I.: Laboratory testing of GCLs. Proceedings of the 1st Middle European Conference on landfill Technology, Telekes, G., Imre, E., Witt K-J., Ramke H-G. (ur.), str. 95-102. Budimpešta, Szent Istvan University Ybl Miklos Faculty of Architecture and Civil Engineering Press, (2008.)
- [11] Kosić, D.; Kovačević Zelić, B.; Domitrović, D.; Barać, D.: Long-term efficiency of clay geosynthetic barriers. Proceed. XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering - ECSMGE 2015, Edinburgh, UK, (2015.)
- [12] Vučenović, H.; Kovačević Zelić, B.; Domitrović, D.: Preliminary test results on gas permeability of soils and geosynthetic clay liners. Environmental Geotechnics, Vol. 8 (2021), str. 508-516, ISSN 2051-803X.