



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET
Poslijediplomski doktorski studij
Inženjerstvo okoliša



**ZBORNIK SAŽETAKA 2. ZNANSTVENE DOKTORSKE
KONFERENCIJE GEOTEHNIČKOGA FAKULTETA
„ISTRAŽIVANJA U INŽENJERSTVU OKOLIŠA“**

Varaždin, 13. lipnja 2022.



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET
Poslijediplomski doktorski studij
Inženjerstvo okoliša



Nakladnik

Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin

Urednici

doc. dr. sc. Jelena Loborec

Saša Zavrtnik, dr. med. vet.

Oblikovanje i korektura:

Saša Zavrtnik, dr. med. vet.



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET
Poslijediplomski doktorski studij
Inženjerstvo okoliša



ORGANIZATOR

Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

ZNANSTVENI ODBOR KONFERENCIJE

prof. dr. sc. Ranko Biondić

prof. dr. sc. Miroslav Golub

prof. dr. sc. Josip Mesec

izv. prof. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić

izv. prof. dr. sc. Nikola Sakač

doc. dr. sc. Mario Gazdek

doc. dr. sc. Ivana Grčić

ORGANIZACIJSKI ODBOR KONFERENCIJE

doc. dr. sc. Jelena Loborec

Saša Zavrtnik, dr. med. vet.

Iva Majer, univ. bacc. oec.



PROGRAM KONFERENCIJE

9:45 – 10:00		okupljanje sudionika
10:00 – 10:15		otvaranje konferencije, uvodna riječ
IZLAGANJA		
10:15 – 10:30	Nikola Hrnčić	POBOLJŠANJE SUSTAVA ZA NANOŠENJE PRITISKA TZV. „VELIKOG HIDRAULIČKOG EDOMETRA“
10:30 – 10:45	Nikola Kaniški	UTJECAJ SILE TRENJA NA INTERPRETACIJU REZULTATA EDOMETARSKOG POKUSA DOBIVENIH U VELIKOM EDOMETRU
10:45 – 11:00	Dino Bosilj	PRIKLADNOST ML3 SONDE ZA ODREĐIVANJE VOLUMETRIJSKE VLAŽNOSTI MBO OTPADA
11:00 – 11:15	Matija Tomaš	FOTOKATALITIČKA AKTIVNOST RECIKLIRANIH GUMENIH OBLOGA S TITAN DIOKSIDOM U CPC REAKTORU
11:15 – 11:30	Robert Kakarigi	TEŠKA TERETNA ELEKTRIČNA VOZILA S GORIVNIM ČLANCIMA U MIKROMREŽI GRADSKE KOMUNALNE TVRTKE S PUNIONICOM ZELENOG VODIKA - TEMELJ RAZVOJA MODULARNIH PAMETNIH GRADSKIH ZONA
11:30 – 11:45		GRUPNA DISKUSIJA zatvaranje konferencije



SADRŽAJ

O drugoj doktorskoj konferenciji	5
Poboljšanje sustava za nanošenje pritiska tzv. „velikog hidrauličkog edometra“	7
Utjecaj sile trenja na interpretaciju rezultata edometarskog pokusa dobivenih u velikom edometru	9
Prikladnost ML3 sonde za određivanje volumetrijske vlažnosti MBO otpada . Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.	
Fotokatalitička aktivnost recikliranih gumenih obloga s titan dioksidom u CPC reaktoru	
Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.	
Teška teretna električna vozila s gorivnim člancima u mikromreži gradske komunalne tvrtke s punionicom zelenog vodika - temelj razvoja modularnih pametnih gradskih zona	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.



O DRUGOJ DOKTORSKOJ KONFERENCIJI

Drugu godinu zaredom Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu organizirao je doktorsku konferenciju pod nazivom „Istraživanja u inženjerstvu okoliša“. Potaknuti dobrim odazivom prošle godine, poziv smo ponovo uputili svim studentima doktorskih studija iz tehničkog područja, kao i onih interdisciplinarnih, da pripreme i prezentiraju svoja istraživanja i svoje radove povezane s tematikom inženjerstva okoliša. Upravo interdisciplinarnost je velika snaga ovog područja, jer znamo da problematika iz domene inženjerstva okoliša zahtijeva uključenost različitih struka koje kroz znanstveno-istraživački pristup zajedničkim nastojanjima pronalaze specifična rješenja. Pri tome se u fokus stavljaju potrebe društva usmjerene prema cirkularnoj ekonomiji, održivom gospodarenju otpadom, odgovornom upravljanju prirodnim resursima i njihovoj zaštiti, monitoringu okoliša, korištenju obnovljivih izvora energije te istraživanju klimatskih promjena.

Konferencija je održana u ponedjeljak 13. lipnja 2022. godine u Varaždinu na Geotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, a pristup je omogućen i udaljenim putem preko ZOOM platforme. Svoje radove predstavilo je petero doktoranda poslijediplomskog dokorskog studija Inženjerstvo okoliša. Srdačno zahvaljujemo svima koji su se odazvali našem pozivu i predstavljanjem rezultata svojih istraživanja poduprli ovu konferenciju. Uživali smo u zanimljivom presjeku različitih interesa ovih mladih znanstvenika koji svojim radom traže načine kako učiniti ovaj svijet boljim mjestom za život. Drago nam je da smo to ostvarili zajedno i radujemo se budućoj suradnji.

Organizatori



ZNANJE U SLUŽBI ZAŠTITE OKOLIŠA I PRIRODE



POBOLJŠANJE SUSTAVA ZA NANOŠENJE PRITISKA TZV. „VELIKOG HIDRAULIČKOG EDMETRA“

Nikola Hrnčić¹, Nikola Kaniški¹, Dino Bosilj¹, Igor Petrović²

¹Doktorand, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
nikola.hrncic@gfv.unizg.hr

¹Doktorand, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
nikola.kaniski@gfv.unizg.hr

¹Doktorand, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
dino.bosilj@gfv.unizg.hr

²Voditelj, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
igor.petrovic@gfv.unizg.hr

SAŽETAK:

Edometar je laboratorijski uređaj koji se koristi za ispitivanje stišljivosti tla. Tijekom ispitivanja u edometru mjeri se promjena visine cilindričnog uzorka uz porast vertikalnog opterećenja. Dobivena krivulja vremenskog toka slijeganja uzorka koristi se pri određivanju njegovih konsolidacijskih svojstava.

Hidraulički edometar se od klasičnog razlikuje po načinu nanošenja konsolidacijskog pritiska na uzorak. Pritisak se nanosi hidraulički te se putem gumene membrane prenosi na uzorak. „Veliki hidraulički edometar“ na Geotehničkom fakultetu konstruiran je za potrebe ispitivanja MBO otpada. Epitet „veliki“ duguje neuobičajeno velikim dimenzijama metalnog prstena ćelije u koju se ugrađuje uzorak. Prsten je promjera 500 mm i visine 200 mm te je, sukladno standardima ispitivanja, potpuno prilagođen za ispitivanje uzoraka s maksimalnim promjerom zrna do 40 mm.

U radu će se prikazati originalni sustav za nanošenje i upravljanje pritiskom te planirana poboljšanja tog sustava na „velikom hidrauličkom edometru“. Implementacijom predviđenih rješenja očekuje se značajno pojednostavljenje provođenja edometarskog pokusa uz istovremeno povećanje točnosti provedenih mjerenja.

KLJUČNE RIJEČI: edometar, stišljivost, MBO otpad



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET
Poslijediplomski doktorski studij
Inženjerstvo okoliša



ZAHVALA: Ovaj rad je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj projektom "VIRTULAB - Integrirani laboratorij za primarne i sekundarne sirovine" broj: KK.01.1.1.02.0022.



UTJECAJ SILE TRENJA NA INTERPRETACIJU REZULTATA EDMETARSKOG POKUSA DOBIVENIH U VELIKOM EDMETRU

Nikola Kaniški¹, Nikola Hrnčić¹, Dino Bosilj¹, Igor Petrović²

¹Doktorand, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
nikola.kaniski@gfv.unizg.hr

¹Doktorand, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
nikola.hrnctic@gfv.unizg.hr

¹Doktorand, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
dino.bosilj@gfv.unizg.hr

²Mentor, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
igor.petrovic@gfv.unizg.hr

SAŽETAK:

Ispitivanje slijeganja i konsolidacije tla u standardnom laboratoriju za geotehnička istraživanja provodi se na uzorcima visine 20 mm i promjera 60 mm. Zbog male visine uzoraka, zanemaruje se utjecaj sile trenja koja se javlja na obodu između prstena edometarske ćelije i uzorka. Zanemarivanjem sile trenja horizontalna i vertikalna ravnina uzorka smatraju se glavnim ravninama na kojima djeluju glavna naprezanja.

Veliki edometar, razvijen na Geotehničkom fakultetu, koristi se za ispitivanje slijeganja i konsolidacije uzoraka velikih dimenzija, visine do 200 mm i promjera 500 mm. S obzirom na mnogo veću visinu uzoraka ugrađenih u veliki edometar, postavlja se pitanje utjecaja sile trenja koja se javlja po obodu uzorka na rotaciju osi glavnih naprezanja i interpretaciju rezultata edometarskog pokusa.

U ovom radu prikazat će se dijelovi velikog edometarskog uređaja, opisat će se princip rada mjerila sile LSHD-50K-60FT i uređaja za prikaz rezultata mjerenja (display) DP41-S-230. Spomenutim mjerilom sile, na dnu ćelije edometarskog prstena mjerit će se sila F . Razlika između sila na vrhu i dnu uzorka dat će silu trenja, koja se javlja između kontakta uzorka s ćelijom velikog edometra. Na temelju izmjerene sile, bit će moguće izvršiti procjenu da li se prilikom interpretacije rezultata edometarskog pokusa dobivenih velikim edometrom sila trenja i njen utjecaj na rotaciju osi glavnih naprezanja može zanemariti ili ne.



KLJUČNE RIJEČI: *veliki edometar, sila trenja, rotacija glavnih osi naprezanja*

ZAHVALA: Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom broj UIP-2017-05-5157.



PRIKLADNOST ML3 SONDE ZA ODREĐIVANJE VOLUMETRIJSKE VLAŽNOSTI MBO OTPADA

Dino Bosilj¹, Nikola Kaniški¹, Nikola Hrnčić¹, Igor Petrović²

¹Doktorand, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
dino.bosilj@gfv.unizg.hr

¹Doktorand, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
nikola.kaniski@gfv.unizg.hr

¹Doktorand, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
nikola.hrnctic@gfv.unizg.hr

²Voditelj, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
igor.petrovic@gfv.unizg.hr

SAŽETAK:

Udio vode u porama tla uobičajeno se iskazuje: a) gravimetrijski, kao omjer mase vode i mase suhog tla; b) volumetrijski kao omjer volumena vode i volumena uzorka tla. Mjerenja gravimetrijskog sadržaja vode smatraju se destruktivnima (gubitak organske tvari zbog izlaganja visokoj temperaturi) pa se takav uzorak više ne može koristiti za daljnje analize. S druge strane, mjerenje volumetrijskog sadržaja vode smatra se nedestruktivnom metodom te kao takvom pogodnijom za mjerenje vlage uzoraka otpada bogatih organskim tvarima. U ovom radu objasniti će se princip rada ML3 sonde koja je primarno namijenjena za mjerenje volumetrijske vlažnosti tla, kao i sam postupak kalibracije sonde. Također će biti prikazani rezultati mjerenja volumetrijske vlažnosti ML3 sondom na uzorcima pijeska i mehaničko-biološki obrađenog (MBO) otpada čija je volumetrijska vlažnost bila unaprijed poznata. Rezultati mjerenja pokazuju da je ML3 sondom moguće precizno mjeriti volumetrijsku vlagu na sitnozrnatim uzorcima pijeska. S druge strane, rezultati mjerenja ML3 sondom na uzorcima MBO otpada sugeriraju da ovaj uređaj nije prikladan za mjerenje volumetrijske vlažnosti otpada. Naime, pokazalo se da zbog krupnozrnatosti uzorka nije moguće ostvariti dobar kontakt između pinova sonde i samog uzorka, a što zbog principa rada ML3 sonde predstavlja velike poteškoće i dovodi do pogrešnih rezultata. Nadalje, hidrofilna svojstva pojedinih čestica otpada smanjuju količinu slobodne vode u porama što stvara dodatnu grešku u mjerenjima.



Potrebno je provesti dodatna istraživanja kako bi se utvrdilo može li se ML3 sonda modificirati na način kako bi bila prikladna za mjerenje volumetrijske vlažnosti MBO otpada.

KLJUČNE RIJEČI: *volumetrijska vlažnost, ML3 sonda, kalibracija*

ZAHVALA: Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom broj UIP-2017-05-5157.



FOTOKATALITIČKA AKTIVNOST RECIKLIRANIH GUMENIH OBLOGA S TITAN DIOKSIDOM U CPC REAKTORU

Marija Tomaš¹, Paula Benjak¹, Ivana Grčić²

¹Doktorand, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
mtomas@gfv.hr

¹Doktorand, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
pbenjak@gfv.hr

²Voditelj, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
ivana.grcic@gfv.unizg.hr

SAŽETAK:

U ovom radu prikazuje se primjena solarne fotokatalize za pročišćavanje zraka onečišćenog amonijakom (NH_3). Eksperimenti su provedeni u CPC pilot reaktoru (eng. *Compound Parabolic Collector reactor*) pod umjetnim sunčevim zračenjem s različitim udjelima UVB, UVA i vidljivog svjetla. Kontinuirano praćenje kakvoće zraka postignuto je plinskim analizatorima *Geotech* i *Testo 350* (NH_3 , NO_x , H_2 , CO , CO_2 , C_xH_y).

Zaštitne gumene obloge dobivene su iz recikliranog gumenog granulata. Primarna namjena je oblaganje dječjih igrališta jer pružaju učinkovitu zaštitu od povreda no svoju svrhu pronašle su i kao obloge za sportske terene, rehabilitacijske centre, krovista, zvučne barijere i dr. Titan dioksid (TiO_2) imobiliziran je dodavanjem čestica TiO_2 izravno u smjesu tijekom industrijske proizvodnje i nanosom na površinu podloge sol-gel metodom. SEM/EDS analiza pokazala je prisustvo čestica titanija u najdubljim slojevima gume, dok je FTIR analizom potvrđeno stvaranje Si-O-Si i Ti-O-Si veza nakon imobilizacije. Titan dioksid kao fotokatalizator je kemijski stabilan spoj, netoksičan, komercijalno dostupan i vrlo efikasan.

Rezultati su pokazali preferirani put oksidacije amonijaka prema dušiku. Imobilizacija TiO_2 na recikliranoj gumi doprinosi zaštiti gume uslijed atmosferske izloženosti, potvrđujući korištenje ovih novih materijala za pasivnu zaštitu zraka.

KLJUČNE RIJEČI: fotokatalitička oksidacija, gumeni materijali s titan dioksidom, amonijak



TEŠKA TERETNA ELEKTRIČNA VOZILA S GORIVNIM ČLANCIMA U MIKROMREŽI GRADSKJE KOMUNALNE TVRTKE S PUNIONICOM ZELENOG VODIKA - TEMELJ RAZVOJA MODULARNIH PAMETNIH GRADSKIH ZONA

Robert Kakarigi¹, Rene Lisac²

¹Doktorand, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,
robert.kakarigi@terraformae.eu

²Voditelj, Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet, Fra Andrije Kačića Miošića 26, 10000
Zagreb, rlisac@arhitekt.hr

SAŽETAK:

Punionica vodikom u urbanim sredinama je neophodna sastavnica lanca opskrbe zelenim vodikom. Postizanju cilja dekarbonizacije gospodarstva, zacrtanog Europskim zelenim planom i Strategijom niskougljičnog razvoja RH, značajno bi doprinijela brza tranzicija s dizel teških teretnih vozila na električna teretna vozila s gorivnim člancima na zeleni vodik (HFCE HDV, eng. Hydrogen Fuel Cell Electric Heavy-duty Vehicle). Održivu tranziciju osnažuje pravovremena izgradnja te znanstveno utemeljena konfiguracija i optimizacija punionica. Dekarbonizaciju prometnog sektora je optimalno započeti s velikim potrošačima dizelskog goriva. Na primjer, teška teretna vozila Zagrebačke komunalne tvrtke Čistoća potroše oko 24.000 hektolitara dizela godišnje i emitiraju oko 5.700 tona CO₂. U ovom je radu punionica zelenim vodikom smještena u sklopu voznog parka gradske komunalne tvrtke. Zamišljena je kao središte kreiranja stabilne rane potražnje i potrošnje zelenog vodika te kao središte razvoja modularne pametne urbane zone. Povezivanjem modularnih pametnih urbanih zona razvijamo cjeloviti pametni grad zasnovan na korištenju obnovljivih izvora energije (IOE). Proizvodnjom i skladištenjem zelenog vodika doprinosimo rješavanju problema intermitentnosti IOE. Modularne pametne urbane zone zasnovane na zelenom vodiku imaju veliki potencijal za razvoj pametnih gradova. U radu je identificirano nekoliko područja pogodnih za daljnja znanstvena istraživanja procesa i tehnologija zasnovanih na vodikom. Tu spada i konsolidacijska strategija pretakanja vodika (H₂) u visokotlačnim spremnicima koja



dovodi do sniženja operativnih troškova za 60 % i inicijalnog kapitalnog ulaganja za 40 %. Proizvodnja obnovljivog vodika se u RH strateški planira do velikih razmjera s prometnim sustavom djelomično zasnovanim na HFCEV. HFCE HDV vidimo kao sastavni dio mikromreža unutar budućih virtualnih elektrana s tehnologijom 4.0 za uravnoteženje potražnje i opskrbe električnom energijom s V2G (eng. Vehicle-to-grid) sustavom upravljanim algoritmima umjetne inteligencije (AI). Prepoznata je potreba daljnjeg usavršavanja AI algoritama.

KLJUČNE RIJEČI: pametni gradovi, zeleni vodik, HFCE HDV, V2G