

VIJEĆU METALURŠKO-TEHNOLOŠKOG FAKULTETA

Ovdje

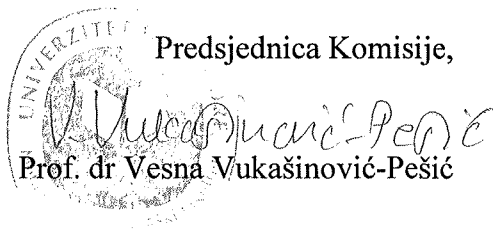
UNIVERZITET CRNE GORE
METALURŠKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
Broj 496
Datum: 10.03 25 god.

PREDMET: Predlog Komisije za odbranu master rada

Shodno dopisu broj 494 od 07.03. 2025. god., u kome smo obaviješteni da je Komisija za pisanje izvještaja o ocjeni master rada pod nazivom: "**Sinteza aktivnog ugljenika dopiranog azotom iz otpadne biomase i njegova primjena u superkondenzatorima**", studentkinje Marije Rašević, BSc Hemijske tehnologije, dostavila Vijeću Metalurško-tehnološkog fakulteta izvještaj na razmatranje i da na rad kandidatkinje, koji je stajao na uvid javnosti u univerzitetskoj biblioteci, nije bilo primjedbi, Komisija za postdiplomske/master studije MTF-a dostavlja Vijeću Metalurško-tehnološkog fakulteta predlog Komisije za odbranu master rada:

1. Prof. dr Ivana Bošković, redovna profesorica MTF, predsjednica
2. Prof. dr Veselinka Grudić, redovna profesorica MTF-a, mentorka
3. Prof. dr Biljana Damjanović-Vratnica, redovna profesorica MTF-a, članica

U dogovoru sa kandidatkinjom termin odbrane master rada će biti naknadno utvrđen.

Predsjednica Komisije,

Prof. dr Vesna Vukašinović-Pešić

VIJEĆU METALURŠKO-TEHNOLOŠKOG FAKULTETA UNIVERZITETA CRNE GORE

Predmet: Izvještaj Komisije o master radu pod nazivom "Sinteza aktivnog ugljenika dopiranog azotom iz otpadne biomase i njegova primjena u superkondenzatorima", kandidatkinje Marije Rašević, BSc Hemijske tehnologije:

Na osnovu odredbi Statuta Univerziteta Crne Gore i Pravila studiranja na postdiplomskim master studijama Univerziteta Crne Gore, Komisija za ocjenu master rada, formirana na sjednici Vijeća Fakulteta 09.05.2022. godine u sastavu:

1. Prof. dr Ivana Bošković, redovni profesor MTF-a, predsjednica
2. Prof. dr Veselinka Grudić, redovni profesor MTF-a, mentorka
3. Prof. dr Biljana Damjanović-Vratnica, redovni profesor MTF-a, članica

nakon uvida u kompletan priloženi materijal podnosi:

IZVJEŠTAJ o master radu

Iscrpljivanje fosilnih goriva i sve strožiji zahtjevi u oblasti zaštite životne sredine zahtijevaju intenzivan razvoj održivih tehnologija za skladištenje energije visokih performansi čime bi se zadovoljile globalne energetske potrebe. Zahvaljujući velikoj gustini snage koju mogu isporučiti, elektrohemijski kondenzatori ili superkondenzatori se ističu kao najefikasniji i najperspektivniji sistemi za skladištenje energije. Glavni nedostatak superkondenzatora je niska gustina energije ($\sim 10 \text{ Wh kg}^{-1}$ za komercijalne superkondenzatore). Jedan od načina povećanja gustine energije je izbor odgovarajućeg elektrodnog materijala sa visokim specifičnim kapacitetom.

Zbog toga se ulažu ogromni naponi u cilju razvoja novih elektrodnih materijala superkondenzatora. Ugljenični materijali dobijeni iz otpadne biomase pokazali su veliki potencijal i privukli ogromnu pažnju zbog svojih odličnih karakteristika: velike specifične površine, poroznosti, dobre elektronske provodljivosti i stabilnosti. Biomasa kao jeftina, obnovljiva i ekološki prihvatljiva sirovina za proizvodnju aktivnog ugljenika postala je predmet istraživanja mnogih naučnika. Konverzija otpadne biomase u aktivni ugalj se može vršiti pirolizom i hidrotermalnim procesima, a na njegov kvalitet i svojstva utiču mnogi faktori, uključujući tip prekursora, vrstu pirolize, uslove pirolize i tip aktivacije (hemijske i/ili fizičke). Vrlo efikasan način za povećanje specifične kapacitivnosti ugljenika je i dopiranje heteroatomima.

Glavni cilj istraživanja je zaštita životne sredine kroz korišćenje alternativnih izvora energije i razvoj efikasnog postupka za iskorišćavanje otpada kao sirovine za proizvode

visoke vrijednosti. Fokus istraživanja je na optimizaciji procesa sinteze aktiviranog ugljenika termohemijskom konverzijom otpadne biomase nastale orezivanjem vinograda kao ekonomski i ekološki prihvatljivog prekursora za sintezu ugljeničnih materijala. Hemijskom aktivacijom pomoću ZnCl_2 i dopiranjem azotom, korišćenjem uree, sintetisani su aktivni ugljenici, obogaćeni funkcionalnim grupama azota koji se, zahvaljujući visokoj vrijednosti specifičnog kapaciteta, mogu koristiti kao elektrodni materijali u elektrohemijskim kondenzatorima

Fizičko-hemijska karakterizacija sintetisanih uzoraka vršena je primjenom eksperimentalnih tehnika elementarne analize i infracrvene spektroskopije sa Furijeovom transformacijom (FTIR). Primjenom ciklične voltametrije dokazana je elektrohemijska aktivnost ugljeničnih materijala i visoka vrijednost specifičnog kapaciteta u vodenim elektrolitičkim rastvorima.

Eksperimentalni dio master rada je urađen u laboratorijama Metalurško-tehnološkog fakulteta Univerziteta Crne Gore u Podgorici i Hemijskog instituta u Ljubljani.

Prikaz rada

Master rad kandidatkinje Marije Rašević, BSc Hemijske tehnologije, pod naslovom **“Sinteza aktivnog ugljenika dopiranog azotom iz otpadne biomase i njegova primjena u superkondenzatorima”**, napisan je na 80 strana, sa ukupno 44 slike, 5 tabela i 166 literaturnih navoda.

Po formi i sadržaju, napisani master rad je u skladu sa Pravilima studiranja na master studijama.

U uvodu rada ističe se važnost razvoja održivih tehnologija za skladištenje energije s obzirom na iscrpljivanje fosilnih goriva i ekološke izazove. Naglašen je značaj superkondenzatora kao efikasnih uređaja za skladištenje energije, s posebnim akcentom na elektrodne materijale dobijene iz otpadne biomase. Takođe, istaknut je značaj hemijske aktivacije i dopiranja heteroatomima za poboljšanje performansi ugljeničnih materijala, kao i mogućnost korišćenja otpadne biomase vinove loze kao ekološki prihvatljivog prekursora za sintezu ovih materijala. Definisan je osnovni cilj i aktuelnost istraživanja sa aspekta sinteze jeftinih i ekološki prihvatljivih elektrodnih materijala superkondenzatora dobijenih valorizacijom otpadne biomase.

Teorijski dio rada sadrži detaljan pregled primjene ugljeničnih materijala, s posebnim akcentom na aktivni ugljenik dobijen konverzijom biomase, u superkondenzatorima, ističući njihove prednosti kao što su: visoka specifična površina, provodljivost i ekološka prihvatljivost. Takođe, razmatrani su osnovni principi funkcionisanja, komponente i vrste superkondenzatora. Pored toga, detaljno su obrađene tehnologije termohemijske konverzije otpadne biomase u aktivni ugalj, s naglaskom na hemijsku aktivaciju, dopiranje heteroatomima i uticaj azotnih funkcionalnih grupa na karakteristike ugljeničnih materijala. U ovom dijelu rada predstavljen je i pregled dosadašnjih istraživanja u oblasti sinteze ugljeničnih materijala dopiranih azotom.

U eksperimentalnom dijelu rada opisani su materijali, metode i postupci korišćeni tokom izrade master rada. Detaljno je prikazana sinteza tri različita uzorka aktivnog ugljenika, koja je obuhvatila predkarbonizaciju, odnosno hidrotermalnu karbonizaciju, uz dodatak različitih količina uree kao izvora azota, a zatim i hemijsku aktivaciju primjenom ZnCl_2 . Takođe, opisane su eksperimentalne tehnike elementarne analize i infracrvene spektroskopije sa Furijeovom transformacijom (FTIR) koje su korišćene za fizičko-hemijsku karakterizaciju

dobijenih materijala. Dodatno je objašnjen princip ciklične voltametrije, kojom je ispitano elektrohemijsko ponašanje sintetisanih aktivnih ugljenika u vodenim rastvorima elektrolita: 1M H₂SO₄, 1M Na₂SO₄ i 6M KOH.

U poglavlju **Rezultati i diskusija** prikazani su i detaljno analizirani rezultati ispitivanja uticaja uree kao izvora azota i aktivacionog agensa (ZnCl₂) na sadržaj azota, površinsku hemiju i kapacitivna svojstva sintetisanih uzoraka u kiselim, neutralnim i alkalnim vodenim elektrolitima. Ispitivanja su vršena primjenom sljedećih metoda:

- Elementarnom analizom utvrđen je sadržaj ugljenika, vodonika, azota i sumpora u prekursoru i sintetisanim ugljeničnim materijalima.
- FTIR metodom analiziran je proces formiranja aktivnog ugljenika polazeći od biomase kao prekursora, kao i promjene funkcionalnih grupa tokom sinteze.
- Metodom ciklične voltametrije ispitano je elektrohemijsko ponašanje ugljeničnih materijala u kiselom, neutralnom i alkalnom rastvoru elektrolita, sa naglaskom na uticaj različitih elektrolita na kapacitivna svojstva sintetisanog materijala.

Takođe, u ovom poglavlju je izvršeno poređenje performansi uzorka sa najvećom vrijednosti specifičnog kapaciteta sa uzorcima pripremljenim identičnim metodama opisanim u literaturi.

Zaključak rada obuhvata sublimaciju svih rezultata istraživanja:

- Karbonizacijom grančica vinove loze (sorta Vranac) uzete iz vinograda u Podgorici u Crnoj Gori sintetisani su uzorci ugljeničnih materijala. Grančice vinove loze su nakon ispiranja destilovanom vodom isjeckane na manje dijelove i sušene na sobnoj temperaturi tokom noći, nakon čega su usitnjene u blenderu i podvrgnute sušenju u peći 2h na temperaturi od 110 °C. Različitim tipovima i uslovima karbonizacije dobijena su tri različita materijala. **Prvi uzorak (ACU)** dobijen je dodatkom uree usitnjennoj biomasi u odnosu 1:1, miješanjem u mlinu 10 minuta, a zatim žarenjem 2h na 300 °C u struji argona. Nakon hlađenja dobijeni biogalj pomiješan je sa ZnCl₂ (u odnosu 1:3) i ponovo žaren 2h na 700 °C. **Drugi uzorak (ACU2)** sintetisan je analogno uzorku ACU uz dodatak duplo veće količine uree. **Treći uzorak (HTACU)** dobijen je miješanjem uree i usitnjene biomase (u odnosu 1:1), a zatim tretiran u hidrotermalnom reaktoru 3h na 190 °C. Nakon hlađenja, osušeni biogalj je hemijski aktiviran sa ZnCl₂ (u odnosu 1:3), a zatim žaren 2h na 700 °C u struji argona.

Rezultati elementarne analize ukazuju na veći sadržaj ugljenika i azota u aktivnim ugljenicima u odnosu na polaznu biomasu. Posebno je evidentan porast sadržaja azota, koji je bio direktno proporcionalan količini uree dodatoj tokom sinteze. Ovaj fenomen potvrđuje efikasnost primijenjenog postupka dopiranja biomase azotom.

Rezultati FTIR spektroskopije pokazuju značajne promjene u funkcionalnim grupama tokom karbonizacije i dodavanja uree. Posebno je kod uzorka ACU2, s većom količinom uree, zabilježena bolja inkorporacija atoma azota, što je jasno uočeno kroz izraženije trake u opsegu 1600-1500 cm⁻¹, ukazujući na prisustvo C=N i C=C veza.

Pored toga, specifični kapaciteti dobijeni za uzorke ACU, ACU2 i HTACU (209, 274 i 177 F s⁻¹ pri brzini polarizacije 5 mVs⁻¹) ukazuju na to da uzorak ACU2, intenzivno dopiran azotom, pokazuje najveći specifični kapacitet. Navedena činjenica je rezultat sinteze uz dodatak veće količine uree, što je poboljšalo elektrohemijske karakteristike materijala. S druge strane, uzorak HTACU, iako pokazuje manji specifični kapacitet, pokazuje odlične rezultate stabilnosti pri većim brzinama polarizacije (200-400 mVs⁻¹), što ga čini veoma

pogodnim za primjenu u sistemima gdje su potrebni materijali koji mogu podnijeti brze promjene napona i struje bez gubitka efikasnosti ili dugoročne degradacije performansi.

Na osnovu svih navedenih činjenica, može se zaključiti da ugljenični materijali i ACU2 i HTACU dobijeni termohemijskom konverzijom otpadne biomase pokazuju značajan potencijal za primjenu u superkondenzatorima i drugim sistemima za skladištenje energije. Uzorak ACU2 je izuzetno perspektivan zbog visokog specifičnog kapaciteta, dok uzorak HTACU nudi prednosti u stabilnosti pri višim brzinama polarizacije, što ga čini pogodnim za aplikacije koje zahtijevaju dugoročnu pouzdanost i stabilnost pri velikim promjenama napona i struje.

Ovi zaključci ističu značaj primjene otpadne biomase u proizvodnji ugljeničnih materijala, čime se otvaraju mogućnosti za dalji razvoj ekoloških i ekonomski povoljnih rješenja u tehnologijama za skladištenje energije.

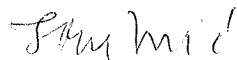
Zaključni stav i prijedlog

Na osnovu rezultata istraživanja prikazanih u master radu, zaključuje se da je kandidatkinja Marija Rašević, BSc Hemijske tehnologije, dala značajan doprinos razvoju novih strategija za korišćenje agro-otpada iz industrije vina u proizvodnji visoko efikasnih i ekološki prihvatljivih elektrodnih materijala i unapređenju tehnologije superkondenzatora čime se istovremeno smanjuje negativan uticaj na životnu sredinu. Kandidatkinja je pronalaženjem i korišćenjem stručne literature, planiranjem i realizacijom eksperimenta, sistematizacijom, analizom i tumačenjem dobijenih eksperimentalnih rezultata, kao i donošenjem zaključaka realizovala postavljene ciljeve istraživanja.

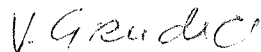
Na osnovu kvaliteta, naučnog i stručnog doprinosa rezultata istraživanja, Komisija predlaže Vijeću Metalurškog- tehnološkog fakulteta Univerziteta Crne Gore da kandidatkinji Mariji Rašević, BSc Hemijske tehnologije, dozvoli javnu odbranu magistarskog rada pod nazivom: **“Sinteza aktivnog ugljenika dopiranog azotom iz otpadne biomase i njegova primjena u superkondenzatorima”**.

Podgorica, 07. 03. 2025.

Komisija:



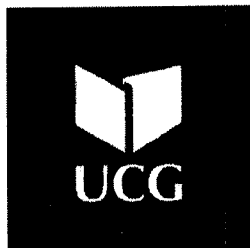
Prof. dr Ivana Bošković, MTF, Podgorica, predsjednica



Prof. dr Veselinka Grudić, MTF, Podgorica, mentorka



Prof. dr Biljana Damjanović-Vratnica, MTF, Podgorica, članica



Univerzitet Crne Gore
Centralna univerzitetska biblioteka
adresa / address_ Cetinjska br. 2
81000 Podgorica, Crna Gora
telefon / phone _00382 20 414 245
fax_ 00382 20 414 259
mail_ cub@ucg.ac.me
web_ www.ucg.ac.me
Central University Library
University of Montenegro

Broj / Ref 01/6-16-507/4
Datum / Date 04.03.2025.

Crna Gora
UNIVERZITET CRNE GORE
METALURŠKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
Broj 438
04.03 25
Podgorica, 20 god.

UNIVERZITET CRNE GORE
METALURŠKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

Sekretar

Gospođa Seka Šekularac-Petrović

Predmet: Vraćanje master rada kandidatkinje Marije Rašević sa uvida javnosti

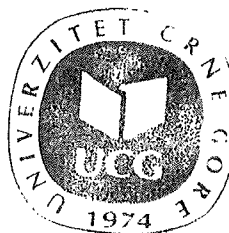
Poštovana gospođo Šekularac,

U prilogu akta dostavljamo Vam master rad pod nazivom: „**Sinteza aktivnog ugljenika dopiranog azotom iz otpadne biomase i njegova primjena u superkondenzatorima**“ kandidatkinje **Marije Rašević**, koji je u skladu sa članom 21 stav 2 Pravila studiranja na master studijama dostavljen **Centralnoj univerzitetskoj biblioteci** dana 24. 02. 2025. godine, na uvid i ocjenu javnosti.

Na navedeni rad, Centralnoj univerzitetskoj biblioteci nijesu dostavljene primjedbe u predviđenom roku od 7 dana.

Molimo Vas da nam nakon odbrane, a u skladu sa članom 30 Pravila studiranja na master studijama, dostavite konačnu verziju master rada.

S poštovanjem,



DIREKTOR

[Signature]
Mr Bosiljka Cicmil

Pripremila:

Milica Barac *[Signature]*
Administrativna asistentkinja
Tel: 020 271 427
e-mail: cub@ucg.ac.me



Univerzitet Crne Gore
Centar za unapređenje kvaliteta

UNIVERZITET CRNE GORE
METALURŠKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET



Broj: 01/3-507/2

Broj: 363
21. 02. 2025 god.

Podgorica, 21. 02. 2025 godine

METALURŠKO - TEHNOLOŠKI FAKULTET

KOMISIJI ZA MASTER STUDIJE

PREDSJEDNIKU KOMISIJE

Poštovani članovi Komisije za master studije,

U skladu sa Odlukom o korišćenju softvera za utvrđivanje plagijata na Univerzitetu Crne Gore, Odbor za monitoring master studija je, na sjednici od 17-19.02.2025. godine, razmatrao izvještaj softvera sa rezultatima provjere master rada kandidatkinje **Marije Rašević** pod nazivom „Sinteza aktivnog ugljenika dopiranog azotom iz otpadne biomase i njegova primjena u superkondenzatorima” i utvrđeno je da u radu nema elemenata koji ukazuju na plagijat.

Predlaže se sprovođenje dalje procedure, u skladu sa Pravilima studiranja na master studijama.

ZA ODBOR ZA MONITORING MASTER STUDIJA



S. Perović
Prof. dr Svetlana Perović