

VIJEĆU METALURŠKO-TEHNOLOŠKOG FAKULTETA

Ovdje

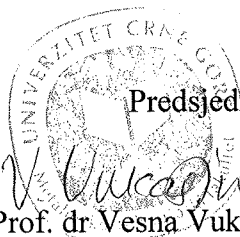
UNIVERZITET CRNE GORE
METALURŠKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
Broj 2610
Podgorica, 48. 12. 24 god.

PREDMET: Predlog Komisije za odbranu master rada

Shodno dopisu broj 2574 od 16.12. 2024. god., u kome smo obaviješteni da je Komisija za pisanje izvještaja o ocjeni master rada pod nazivom: "**Komina masline kao resurs za održivu proizvodnju elektrodnih materijala za superkondenzatore**", kandidatkinje Kristine Lalatović, 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, redovni profesor MTF-a, predsjednica
2. Prof. dr Veselinka Grudić, redovni profesor MTF-a, mentorka
3. Dr Jana Mišurović, MTF, komentorka
4. Dr Milica Vujković, naučni savjetnik Fakulteta za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu i gostujući istraživač i predavač u Centru za interdisciplinarne i multidisciplinarne studije Univerziteta Crne Gore, članica
5. Doc. dr Milica Kosović Perutović, docent na MTF-u, članica

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


Predsjednica Komisije,
V. Vukašinović-Pešić
Prof. dr Vesna Vukašinović-Pešić

VIJEĆU METALURŠKO-TEHNOLOŠKOG FAKULTETA UNIVERZITETA CRNE GORE

Predmet: Izvještaj Komisije o master radu pod nazivom "**Komina masline kao resurs za održivu proizvodnju elektrodnih materijala za superkondenzatore**", kandidatkinje Kristine Lalatović, 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 23.5. 2024., u sastavu:

1. Prof. dr Ivana Bošković, redovni profesor MTF-a, predsjednica
2. Prof. dr Veselinka Grudić, redovni profesor MTF-a, mentorka
3. Dr Jana Mišurović, MTF, komentorka
4. Dr Milica Vujković, naučni savjetnik Fakulteta za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu i gostujući istraživač i predavač u Centru za interdisciplinarne i multidisciplinarne studije Univerziteta Crne Gore, članica
5. Doc. dr Milica Kosović Perutović, docent na MTF-u, članica

nakon uvida u kompletan priloženi materijal podnosi:

**IZVJEŠTAJ
o master radu**

Imajući u vidu globalne izazove u pogledu smanjenja nivoa emisije štetnih gasova i potrebu za alternativnim izvorima energije, istraživanje elektrodnih materijala dobijenih iz obnovljivih resursa kao što je biomasa predstavlja ključan korak u neophodnoj zelenoj tranziciji. Karbonizacija biomase je efikasan način valorizacije sa ekološkog i energetskog aspekta.

Posljednjih decenija istraživanja su pokazala da elektrodni materijali na bazi aktiviranog ugljenika, dobijeni iz različitih vrsta biomase, posjeduju izuzetne strukturne i elektrohemijske karakteristike.

U tom kontekstu, pronalaženje i primjena alternativa za konvencionalne elektrodne materijale u superkondenzatorima, predstavlja značajan korak ka primjeni modela cirkularne ekonomije. Jedan od perspektivnih prekursora za dobijanje elektrodnih materijala je komina masline, nusprodukt maslinarske industrije, koji se često zanemaruje i nepravilno odlaže.

Komina masline je bogata organskim materijama, mineralnim komponentama, ugljenikom, lako dostupna i ekološki prihvatljiva. Adekvatnim metodama sinteze prevodi se u visokofunkcionalni elektrodni materijal na bazi aktiviranog ugljenika koji se može koristiti u superkondenzatorima. Superkondenzatori su sistemi koji mogu brzo da skladište i oslobode velike količine energije, s toga su ključna tehnologija za unapređenje energetske efikasnosti, uključujući električna vozila, pametne mreže i prenos energije.

U ovom master radu je ispitan potencijal komine masline kao sirovine za održivu proizvodnju elektrodnih materijala, sinteza i način aktivacije, sa fokusom na njihovu primjenu u superkondenzatorima. Analiza elektrohemijskih i strukturnih karakteristika materijala dobijenih iz komine masline daje poseban doprinos u oblasti održivog razvoja u energetskim tehnologijama.

Glavni cilj istraživanja je zaštita životne sredine kroz korišćenje alternativnih izvora energije i razvoj efikasnog postupka za iskorišćavanje otpada kao vrijedne sirovine za proizvode visoke vrijednosti. Fokus istraživanja je na optimizaciji procesa sinteze aktiviranog ugljenika polazeći od komine masline kao prekursora, kako bi se dobili elektrodni materijali s optimalnim karakteristikama za skladištenje naelektrisanja.

Istraživanje je realizovano kroz nekoliko ključnih faza:

Prva faza: Optimizacija procesa hidrotermalne karbonizacije u poređenju sa postojećim istraživanjima, uz analizu uticaja temperature, trajanja sinteze, odnosa prekursora i aktivatora na svojstva aktiviranog ugljenika.

Druga faza: Strukturna karakterizacija aktiviranih ugljeničnih materijala radi poređenja uticaja različitih aktivatora na svojstva materijala.

Treća faza: Ispitivanje elektrohemijskih performansi i potencijalne primjene sintetisanih elektrodnih materijala u superkondenzatorima.

Hidrotermalnom karbonizacijom prekursora komine masline iz maslinarske industrije sa područja Bara (Crna Gora) je dobijen ugljenični materijal koji je, nakon tretmana usitnjavanja i prosijavanja, hemijski aktiviran sa dva različita aktivatora (eutektičkom smjesom soli ZnCl_2 , NaCl i KCl i 40% H_3PO_4) 2 h na 700°C u atmosferi argona. Aktivacija je značajno doprinijela razvoju poroznosti ugljenične površine, kao značajnog parametra za adsorpciju velike količine jona elektrolita, što je detektovano dobrim kapacitivnim odgovorom tokom elektrohemijskih mjerenja.

Strukturne osobine materijala su ispitane infracrvenom spektroskopijom sa Furijeovom transformacijom (FTIR) i rendgenostrukturnom analizom (XRD).

Električna provodljivost uzoraka određena je na presovanim pastilama napravljenim od homogenizovanog praha uzoraka.

Cikličnom voltametrijom ispitano je elektrohemijsko ponašanje dobijenih aktiviranih ugljeničnih materijala, u vodenim elektrolitičkim rastvorima (1 M H_2SO_4 , 1 M Na_2SO_4 , i 6 M KOH). Mjerenja su vršena u troelektrodnoj ćeliji koja je uključivala zasićenu kalomelovu elektrodu (ZKE) kao referentnu, platinsku elektrodu (Pt) kao pomoćnu i ugljeničnu elektrodu kao radnu elektrodu. Na osnovu snimljenih voltamograma izračunate su vrijednosti specifičnih kapaciteta ugljeničnih materijala.

Ekperimentalni dio rada je urađen na Metalurško-tehnološkom fakultetu.

Rad je dat kroz 7 poglavlja.

Poglavlje I, **Uvod**, obuhvata:

- pravce u kojima su urađena istraživanja u radu
- definisanje osnovnog cilja istraživanja i aktuelnost teme, kao i poseban doprinos korišćenja dobijenog visokofunkcionalnog elektrodnog materijala na bazi aktiviranog ugljenika u superkondenzatorima.

Poglavlje II, **Pregled literature**, obuhvata:

- teorijska saznanja principa rada različitih vrsta superkondenzatora
- pregled istraživanja o ugljeničnim materijalima kao elektrodama u uređajima za skladištenje energije
- opis mogućnosti iskorišćenja agro-otpada za dobijanje aktiviranog ugljenika
- opis procesa konverzije biomase u ugljenične materijale
- pregled dosadašnjih istraživanja iz oblasti dobijanja aktiviranih ugljenika iz različitih vrsta otpadnih sirovina maslinarske industrije, iz oblasti njihove primjene u proizvodnji superkondenzatora sa visokom gustinom energije i snage i iz oblasti ispitivanja elektrohemijskih performansi tih materijala.

Poglavlje III, **Cilj rada**, sadrži:

- objašnjenje svrhe i cilja ovog istraživanja u smislu definisanja optimalnih uslova procesa hidrotermalne karbonizacije, strukturne karakterizacije aktiviranih ugljeničnih materijala i potencijalne primjene dobijenih elektrodnih materijala u superkondenzatorima

Poglavlje IV, **Eksperimentalni dio**, obuhvata:

- opis sinteze
- opis aktivacije ugljeničnog materijala
- metode karakterizacije dobijenih materijala (FTIR i XRD)
- opis mjerenja električne provodljivosti ugljeničnih prahova
- elektrohemijsku karakterizaciju elektrodnih materijala metodom ciklične voltametrije

Poglavlje V, **Rezultati i diskusija**, sadrži detaljnu analizu ispitivanja izvršenih sljedećim metodama:

- infracrvena spektroskopija sa Furijeovom transformacijom (FTIR)
- rendgenska difrakcija na prahu (XRD)
- mjerenje električne provodljivosti
- ciklična voltametrija u različitim elektrolitima

Poglavlje VI, **Zaključak**, obrađeno je kroz sublimaciju svih rezultata istraživanja:

- Hidrotermalnom karbonizacijom komine masline iz maslinarske industrije, sa područja Bara (Crna Gora) sintetisana su dva tipa ugljeničnih materijala različite poroznosti. Komina masline je sa dodatkom destilovane vode hidrotermalno karbonizovana u HTC reaktoru, a zatim je dobijena hidročad aktivirana sa H_3PO_4 i smješom soli $ZnCl_2$, $NaCl$ i KCl i karbonizovana na $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ u inertnoj atmosferi. U radu su ispitane strukturne karakteristike i

elektrohemijsko ponašanje donijenih ugljeničnih materijala $HTC_{OMW}H_3PO_4$ i $HTC_{OMW}ZnNaK$.

-Strukturna karakterizacija dva uzorka $HTC_{OMW}ZnNaK$ i $HTC_{OMW}H_3PO_4$, pomoću FTIR i XRD metoda vršena je sa ciljem ispitivanja uticaja vrste aktivatora na strukturu sintetisanih ugljeničnih materijala. FTIR spektar HTC uzorka, dobijenog hidrotermalnom karbonizacijom otpada vlažne masline, otkriva prisustvo različitih funkcionalnih grupa kao što su hidroksilne (-OH), karbonilne (C=O) i aromatične (C=C) grupe. Na osnovu toga zaključuje se da primijenjeni hidrotermalni tretman nije bio dovoljan da se u potpunosti razgrade sve organske komponente. Analizom FTIR spektara uzoraka $HTC_{OMW}ZnKNa$ i $HTC_{OMW}H_3PO_4$, uočava se gubitak većeg broja traka kao rezultat razgradnje organskih komponenti tokom visoke temperature (700 °C) i efikasne hemijske obrade (uticaj aktivatora). U spektrima aktiviranih uzoraka ($HTC_{OMW}ZnKNa$ i $HTC_{OMW}H_3PO_4$), jasno se ističu samo dvije karakteristične slabe trake, koje se pripisuju aromatinim vibracijama: C=C (1572 cm^{-1}) i C-O (1144 cm^{-1}). XRD metodom dobijeni difraktogram aktiviranog ugljenika $HTC_{OMW}H_3PO_4$ karakteriše njegovu amorfnu prirodu i visok stepen čistoće, jer umjesto oštih refleksija posjeduje široke, slabe pikove koji ukazuju na nedostatak jasno definisane kristalne strukture. XRD difratogram za $HTC_{OMW}ZnKNa$ prikazuje više oštih refleksija što ukazuje na prisustvo nečistoća koje mogu uticati na njegova svojstva. Prisustvo refleksija jakog intenziteta u opsegu od 10–70 °/2θ sugerije na postojanje neorganskih nečistoća u uzorku. Zaključeno je nakon strukturne analize da uzorak $HTC_{OMW}H_3PO_4$ posjeduje viši stepen čistoće u odnosu na $HTC_{OMW}ZnKNa$.

-Električna provodljivost, za uzorak $HTC_{OMW}H_3PO_4$ je 222,7 S/m, dok je kod uzorka $HTC_{OMW}ZnKNa$ iznosi 317,5 S/m. Ova povećana električna provodljivost kod $HTC_{OMW}ZnKNa$ uglavnom se može objasniti prisustvom neorganskih nečistoća u materijalu koje su potvrđene XRD-om. Nečistoće u ovom materijlu djeluju kao dopanti koji poboljšavaju mobilnost elektrona u strukturi materijala što dovodi do povećane električne provodljivosti.

-Elektrohemijska karakterizacija je vršena cikličnom voltametrijom u vodenim elektrolitičkim rastvorima (1 M H_2SO_4 , 1 M Na_2SO_4 i 6 M KOH). Mjerenja su pokazala da materijal $HTC_{OMW}H_3PO_4$ ima bolji elektrohemijski odgovor od $HTC_{OMW}ZnNaK$ u sva tri elektrolitička rastvora (posebno u neutralnom i kiselom) i visoku sposobnost skladištenja naelektrisanja. Materijal $HTC_{OMW}H_3PO_4$ pored visoke sposobnosti skladištenja naelektrisanja u formi dvojnog električnog sloja pokazuje i sposobnost skladištenja vodonika. $HTC_{OMW}ZnNaK$ pokazuje sličan oblik cikličnog voltamograma u KOH, ali sa nešto nižim strujnim odgovorom, dok je znatno slabiji strujni odgovor i drugačiji oblik voltamograma registrovan u H_2SO_4 i posebno u Na_2SO_4 . Slabiji strujni odgovor $HTC_{OMW}ZnNaK$ u svim elektrolitima je vjerovatno posljedica manje specifične površine ovog materijala. Aktivacija pomoću fosforne kiseline (H_3PO_4) je rezultovala materijalom boljih elektrohemijskih performansi na osnovu čega je zaključeno da je ona doprinijela stvaranju razvijene poroznosti $HTC_{OMW}H_3PO_4$, dok kombinacija soli $ZnCl_2$, $NaCl$ i KCl u primijenjenom odnosu najvjerovatnije nije imala sličan efekat. Na razlike u poroznosti dva materijala posebno ukazuju njihova ponašanja u kiselom i neutralnom elektrolitu gdje se javlja jasna razlika između voltamograma na pozitivnijim potencijalima. U oblasti pozitivnijih potencijala strujni odgovor $HTC_{OMW}ZnNaK$ je drastično sužen u odnosu na $HTC_{OMW}H_3PO_4$, što se može dovesti u direktnu korelaciju sa poroznošću materijala.

Uzorak $HTC_{OMW}H_3PO_4$ pokazuje najveći specifični kapacitet skladištenja naelektrisanja, a specifični kapacitet materijala ostaje veoma visok u svim elektrolitičkim rastvorima čak i pri ekstremnim brzinama polarizacije od 400 mV/s. Zadržavanje kapaciteta sa porastom brzine polarizacije od 10 do 400 mV/s za $HTC_{OMW}H_3PO_4$ je približno: 90 % u KOH, 90 % u H_2SO_4 i

66 % u Na_2SO_4 . Značajno lošije ponašanje je zabilježeno za $\text{HTC}_{\text{OMWZnNaK}}$, gdje je primijećen nagli pad specifičnog kapaciteta sa porastom brzine polarizacije, uz zadržavanje kapaciteta od samo 16 % u KOH, 25 % u H_2SO_4 i 25 % u Na_2SO_4 .

$\text{HTC}_{\text{OMWH}_3\text{PO}_4}$ pokazuje bolja elektrohemijska i strukturna svojstva u poređenju sa $\text{HTC}_{\text{OMWZnNaK}}$, pa se zaključuje da impregnacija sa 40 % H_3PO_4 daje bolje performanse elektrodnih materijala za primjene u superkondenzatorima.

- Ovo istraživanje doprinosi razvoju novih strategija za korišćenje agro-otpada iz maslinarske industrije u proizvodnji visoko efikasnih i ekološki prihvatljivih elektrodnih materijala. Dalji razvoj i optimizacija $\text{HTC}_{\text{OMWH}_3\text{PO}_4}$ materijala može doprinijeti unapređenju tehnologije superkondenzatora čime se istovremeno smanjuje negativan uticaj na životnu sredinu

Poglavlje VII, **Literatura** sadrži 107 referenci.

Zaključni stav i prijedlog

Na osnovu prezentiranih rezultata u predmetnom radu, zaključuje se da je kandidatkinja Kristina Lalatović, BSc Hemijske tehnologije predmet, naučni cilj i metode istraživanja jasno definisala i dobijenim eksperimentalnim rezultatima dala značajan doprinos razvoju novih strategija za korišćenje agro-otpada iz maslinarske industrije u proizvodnji visoko efikasnih i ekološki prihvatljivih elektrodnih materijala i unapređenju tehnologije superkondenzatora čime se istovremeno smanjuje negativan uticaj na životnu sredinu.

Komisija je pozitivno ocijenila stručne i naučne kvalitete master rada pod nazivom "**Komina masline kao resurs za održivu proizvodnju elektrodnih materijala za superkondenzator**" i predlaže da se kandidatkinji Kristine Lalatović, BSc Hemijske tehnologije, dozvoli javna odbrana master rada.

Podgorica, 17. 12. 2024.

Komisija:

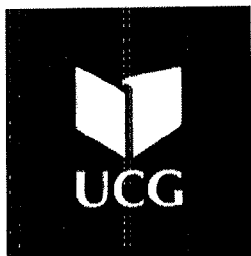
Prof. dr Ivana Bošković, MTF, Podgorica, predsjednica

Prof. dr Veselinka Grudić, MTF, Podgorica, mentorka

Dr. Jana Mišunović, MTF, komentorka

Dr. Milica Vujković, članica

Doc. dr Milica Kosović Perutović, 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 01/6-16-1923/5
Datum / Date 16.12.2024.

Crna Gora
UNIVERZITET CRNE GORE
METALURŠKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
Broj 2569/3
16.12.2024 god.

UNIVERZITET CRNE GORE
METALURŠKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

Sekretar

Gospođa Seka Šekularac-Petrović

Predmet: Vraćanje master rada kandidatkinje Kristine Lalatović sa uvida javnosti

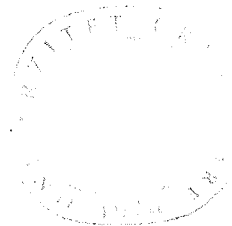
Poštovana gospođo Šekularac,

U prilogu akta dostavljamo Vam master rad pod nazivom: „**Komina masliné kao resurs za održivu proizvodnju elektrodnih materijala za superkondenzatore**“ kandidatkinje **Kristine Lalatović**, koji je u skladu sa članom 21 stav 2 Pravila studiranja na master studijama dostavljen **Centralnoj univerzitetskoj biblioteci** dana 06. 12. 2024. 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

Mr Bosiljka Cicmil

Pripremila:

Milica Barac
Administrativna asistentkinja
Tel: 020 414 245
e-mail: cub@ucg.ac.me



Univerzitet Crne Gore
Centar za unapređenje kvaliteta

11000 20 41 1 112
Zemljopisna adresa



Crna Gora
UNIVERZITET CRNE GORE
METALURŠKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

Broj: 01/3- 1923/3

Broj 2491
Podgorica, 06. 12 20 24 god.

Podgorica, 05. 12 24 godine

METALURŠKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

KOMISIJI ZA MASTER STUDIJE

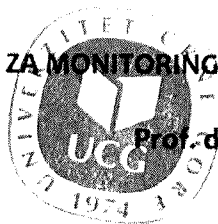
PREDSJEDNIKU KOMISIJE

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 29.11-01.12.2024. godine, razmatrao izvještaj softvera sa rezultatima provjere master rada kandidatkinje **Kristine Lalatović** pod nazivom „**Komina masline kao resurs za održivu proizvodnju elektrodnih materijala za superkondezatore**” 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



Svetlana Perović
Prof. dr Svetlana Perović