

Образац 1.

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ
35/391
(Број захтева)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
(Назив већа научне области и коме се захтев упућује)

19.01.2021.
(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„Порозне електроде на бази угљеничних влакана и спинела прелазних метала за примену у складиштењу електричне енергије“
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: **ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО**
ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

ДАНИЕЛ (Милан) МИЈАИЛОВИЋ, мастер инжењер технологије

2. Назив и седиште факултета на коме је стекао основно образовање: **Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет.**

3. Година дипломирања: **2013.**

4. Назив и седиште факултета на коме је стекао мастер образовање: **Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет.**

5. Година дипломирања: **2014.**

Студент је уписан на докторске академске студије школске 2014/2015. године.

На захтев студента декан је донео Решење број 20/181 од 29.09.2020. године о продужењу рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја школске 2022/2023. године.

Обавештавамо Вас да је **Наставно-научно веће**, на седници одржаној **24.12.2020. године** размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Петар Ускоковић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем
2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације
3. Подаци о ментору.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Даниел М. Мијаиловић

Име и презиме ментора: Петар С. Ускоковић

Звање: Редовни професор, Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Mijailović D.M., Radmilović V.V., Lačnjevac U.Č., Stojanović D.B., Jović V.D., Radmilović V.R., Uskoković P.S.: *Core-shell carbon fiber@Co_{1.5}Mn_{1.5}O₄ mesoporous spinel electrode for high performance symmetrical supercapacitors*, - Applied Surface Science, Vol 534, 2020, 147678, pp. 1-11; IF 6.182; ISSN 0169-4332.
2. Stojanović D.B., Brajović Lj., Obradović V., Mijailović D., Dramlić D., Kojović A., Uskoković P.S.: *Hybrid acrylic nanocomposites with excellent transparency and hardness/toughness balance*, - Progress in Organic Coatings, Vol 139, 2020, 105437, pp. 1-8; IF 4.469; ISSN 0300-9440.
3. Simić D.M., Stojanović D.B., Dimić M., Mišković K., Marjanović M., Burzić Z., Uskoković P.S., Zak A., Tenne R., *Impact resistant hybrid composites reinforced with inorganic nanoparticles and nanotubes of WS₂*, - Composites Part B: Engineering, Vol 176, 2019, 107222, pp. 1-9; IF 7.635; ISSN 1359-8368.
4. Mijailović D.M., Vukčević M.M., Stević Z.M., Kalijadis A.M., Stojanović D.B., Panić V.V., Uskoković P.S.: *Supercapacitive Performances of Activated Highly Microporous Natural Carbon Macrobundles*, - Journal of The Electrochemical Society, Vol 164, No 6, 2017, pp. A1061-A1068; IF: 3.721; ISSN 0013-4651.
5. Radmilović V.V., Carraro C., Uskoković P.S., Radmilović V.R., *Structure and properties of polymer nanocomposite films with carbon nanotubes and graphene*, - Polymer Composites, Vol 38, 2016, pp. E490-E497; IF: 2.324; ISSN 0272-8397.

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

(А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са

релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум: 14.12.2020

М.П.

Проф. др Петар Ускоковић

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл.31. и 32. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 24.12.2020. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **Даниела Мијаиловића**, број индекса 4005/2014, под називом: **„Порозне електроде на бази угљеничних влакана и спинела прелазних метала за примену у складиштењу електричне енергије“**.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За ментора се одређује др Петар Ускоковић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, ментору, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Podobnost teme i kandidata Daniela M. Mijailovića, master inženjera tehnologije, za izradu doktorske disertacije

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta br. 35/314 od 05.11.2020. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Daniela M. Mijailovića za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme pod nazivom "Porozne elektrode na bazi ugljeničnih vlakana i spinela prelaznih metala za primenu u skladištenju električne energije".

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći

R E F E R A T

1. Podaci o kandidatu

1.1. Biografski podaci

Daniel M. Mijailović, master inženjer tehnologije, rođen je 07.10.1990. godine u Rumi. Osnovnu školu „Slobodan Bajić Paja“ završio je u Pećincima kao nosilac Vukove diplome i Đak generacije. Opšti smer gimnazije u Staroj Pazovi završio je 2009. godine kao nosilac Vukove diplome. Osnovne studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, studijski program Inženjerstvo materijala, završio je 2013. godine, sa prosečnom ocenom 9,92. Završni rad sa naslovom „Dobijanje i karakterizacija aktivnih i pasivnih slojeva organskih solarnih ćelija“ odbranio je na Katedri za konstrukcije i specijalne materijale, pod mentorstvom prof. dr Petra Uskokovića. Tokom osnovnih studija, boravio je na Katoličkom univerzitetu u Luvenu, gde se bavio dizajniranjem i karakterizacijom kompozitnih materijala primenjenih u sportu. Master studije je završio sa prosekom 10,00, odbranom master rada „Polimerna nanovlakna dobijena elektropredenjem i mogućnosti korišćenja u kontrolisanom dostavljanju lekova“ 2014. godine, na istoj katedri, pod mentorstvom prof. dr Petra Uskokovića. Dobitnik je četiri nagrade Panta Tutundžić, nagrade Srpskog hemijskog društva za izuzetan uspeh na studijama i Dositejeve nagrade za najbolje studente u Srbiji. Doktorske studije upisao je 2014. godine na Tehnološko-metalurškom fakultetu, studijski program Inženjerstvo materijala. Istraživanje u oblasti elektroda zasnovanih na nanostrukturnim materijalima sa primenom u skladištenju električne energije započeo je kao stipendista u okviru projekta Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije III 45019 „Sinteza, razvoj tehnologija i primena nanostrukturnih multifunkcionalnih materijala definisanih svojstava“. 2018. godine je izabran u zvanje istraživača pripravnika Inovacionog centra, Tehnološko-metalurškog fakulteta. Boravio je na Institutu za hemiju i tehnologiju materijala Tehničkog univerziteta u Gracu, u okviru istraživačke grupe renomiranog naučnika dr Štefana Frojnbergera, gde se bavio fundamentalnim istraživanjima materijala za skladištenje električne energije u litijum-vazduh sekundarnim baterijama.

Daniel M. Mijailović je autor tri naučna rada i brojnih saopštenja (štampanih u izvodu i celini) sa nacionalnih i međunarodnih konferencija. Dobitnik je nagrada za najbolje usmeno predavanje na međunarodnim konferencijama: The 17th Young Researchers' Conference (YRC2018) i The Young Researchers Conference (YOURS2019). Dobitnik je i najboljih posterskih saopštenja na dve međunarodne konferencije - Electrospinning for Energy (ElEn2018) i The 21st Annual Conference on Material Science "YUCOMAT 2019". Učestvovao je u e-MINDS elektrohemijskom programu u okviru COST akcije MP1407.

1.2. Stečeno naučnoistraživačko iskustvo

Daniel M. Mijailović, master inženjer tehnologije, upisao je 2014. godine doktorske studije na Katedri za konstrukcije i specijalne materijale Tehnološko-metalurškog fakulteta, pod mentorstvom prof. dr Petra Uskokovića. U zadatom roku je položio sve ispite predviđene planom i programom, i to sa prosečnom ocenom 10,00. Završni ispit na doktorskim studijama pod nazivom „Superkondenzatori na bazi prirodnih vlakana“ odbranio je sa ocenom 10.

Spisak položenih ispita na doktorskim studijama:

Redni broj:	Predmet	ESPB	Ocena
1	Teorija formiranja vlakana	5	10
2	Nauka o materijalima i inženjerstvo materijala	6	10
3	Fizičko-mehanička ispitivanja materijala – viši kurs	5	10
4	Struktura i svojstva kompozitnih materijala sa polimernom matricom	5	10
5	Polimerni biomaterijali	5	10
6	Biokompozitni materijali	5	10
7	Inženjerstvo tkiva	4	10
8	Odabrana poglavlja matematičke analize	5	10
9	Termodinamika čvrstog stanja	5	10
10	Hemijska kinetika	5	10
11	Engleski jezik	0	10
12	Završni ispit	30	10
UKUPNO / PROSEK		80	10,00

Na projektu Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije III 45019 „Sinteza, razvoj tehnologija i primena nanostrukturnih multifunkcionalnih materijala definisanih svojstava” angažovan je od novembra 2014. godine. Zaposlen je u Inovacionom centru Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu od oktobra 2017. godine, a zvanje Istraživač pripravnika je stekao u julu 2018. godine. Koautor je tri naučna rada (dva M21a i jedan M21 kategorija) i deset saopštenja na međunarodnim i nacionalnim skupovima (pet M33 i pet M34 kategorija).

Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta od 05.11.2020. imenovana je Komisija za ocenu podobnosti teme i kandidata Daniela M. Mijailovića za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme „Porozne elektrode na bazi ugljeničnih vlakana i spinela prelaznih metala za primenu u skladištenju električne energije“.

Spisak objavljenih naučnih radova i saopštenja:

Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21):

- **Mijailović D.M.**, Radmilović V.V., Lačnjevac U.Č., Stojanović D.B., Jović V.D., Radmilović V.R., Uskoković P.S.: *Core-shell carbon fiber@Co_{1.5}Mn_{1.5}O₄ mesoporous spinel electrode for high performance symmetrical supercapacitors*, - Applied Surface Science, Vol 534, 2020, 147678, pp. 1-11; IF 6.182; ISSN 0169-4332.
- Stojanović D.B., Brajović Lj., Obradović V., **Mijailović D.**, Dramlić D., Kojović A., Uskoković P.S.: *Hybrid acrylic nanocomposites with excellent transparency and hardness/toughness balance*, - Progress in Organic Coatings, Vol 139, 2020, 105437, pp. 1-8; IF 4.469; ISSN 0300-9440.
- **Mijailović D.M.**, Vukčević M.M., Stević Z.M., Kalijadis A.M., Stojanović D.B., Panić V.V., Uskoković P.S.: *Supercapacitive Performances of Activated Highly Microporous Natural Carbon Macrofibers*, - Journal of The Electrochemical Society, Vol 164, No 6, 2017, pp. A1061-A1068; IF: 3.721; ISSN 0013-4651.

Saopštenja na međunarodnim skupovima štampana u izvodu (M33):

- **Mijailović D.M.**, Lačnjevac U.Č., Jović V.D., Stojanović D.B., Radmilović V.V., Radmilović V.R., Uskoković P.S.: *Synthesis and Supercapacitive Performances of Electrospun Carbon Nanofibers Decorated with Spinel $\text{Co}_{1.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ Nanocrystals*, - First YOUNg ResearcherS Conference, YOURS 2019, Belgrade, Serbia, March 26 2019, The Book of Abstracts, pp. 10; ISBN 978-86-84231-48-4
- **Mijailović D.**, Stević Z., Panić V., Vukčević M., Stojanović D., Uskoković P.: *The capacitive performances of porous carbon electrodes investigated by novel system for electrochemical testing of supercapacitors*, - Proceedings of the Fourth International Conference on Renewable Electrical Power Sources, Belgrade, Serbia, October 17-18, 2016, pp. 467-472; ISBN: 978-86-81505-80-9.
- Stević Z., Rajčić-Vujasinović M., Radovanović, I., **Mijailović D.**, Stević M.: *Supercapacitors test methods*, - Proceedings of the Fourth International Conference on Renewable Electrical Power Sources, Belgrade, Serbia, October 17-18, 2016, pp. 461-466. ISBN: 978-86-81505-80-9.
- **Mijailović D.**, Stević M., Stević Z., Bondarenko O., *Computer Controlled System for Thermogravimetric Analysis*, - IEEE International Conference on Electronics and Information Technology (EIT'16), Odessa, Ukraine, May 23-27, 2016, pp. 17-20; ISBN: 978-1-5090-2224-3.
- Stević Z., Rajčić-Vujasinović M., **Mijailović D.**, Bondarenko O., *System for Characterization of Supercapacitors*, - IEEE International Conference on Electronics and Information Technology (EIT'16), Odessa, Ukraine, May 23-27, 2016, pp. 14-16; ISBN: 978-1-5090-2224-3.

Saopštenja na međunarodnim skupovima štampana u izvodu (M34):

- **Mijailović D.M.**, Radmilović V.V., Lačnjevac U.Č., Stojanović D.B., Jović V.D., Radmilović V.R., Uskoković P.S.: *High-performance supercapacitors based on core-shell structured carbon fibers@spinel oxide composites*, - Twenty-first Annual Conference YUCOMAT 2019, Herceg Novi, Montenegro, September 2-6, 2019, The Book of Abstracts, pp. 127; ISBN 978-86-919111-4-0.
- **Mijailović D.M.**, Lačnjevac U.Č., Radmilović V.V., Stojanović D.B., Radmilović V.R., Jović V.D., Uskoković P.S.: *Electrospun hybrids of carbon nanofibers with mixed metal oxide nanoparticles as high-performance battery-type supercapacitors*, - Seventeenth Young Researchers' Conference - Materials Science and Engineering, Belgrade, Serbia, December 5-7, 2018, The Book of Abstracts, pp. 60; ISBN: 978-86-80321-34-9.
- **Mijailović D.M.**, Lačnjevac U.Č., Radmilović V.V., Stojanović D.B., Radmilović V.R., Jović V.D., Uskoković P.S.: *Electrospun Hybrids of Carbon Nanofibers with Cobalt and Manganese Oxide Nanoparticles as High-Performance Electrodes for Supercapacitors*, - First International Conference: "Electron Microscopy of Nanostructures", ELMINA 2018, Belgrade, Serbia, August 27-29, 2018, pp. 87; ISBN: 978-86-7025-785-6.
- **Mijailović D.M.**, Radmilović V.V., Radmilović V.R., Stojanović D.B., Jović V.D., Lačnjevac U.Č., Uskoković P.S.: *Electrospun carbon nanofibers decorated with mixed Co and Mn oxide nanoparticles as high-performance hybrid electrodes for supercapacitors*, Second Electrospinning for Energy Conference, ELEN2018, Montpellier, France, 13-15 June 2018, pp. 38.
- **Mijailović D.M.**, Radojević V.J., Stojanović D.B., Janačković Đ.T., Uskoković P.S.: *The fabrication of tubular spinel cobalt manganese oxide by single-spinneret electrospinning as a high-performance electrode for aqueous supercapacitors*, Nineteenth Annual Conference, YUCOMAT 2017, Herceg Novi, Montenegro, September 4-8, 2017, The Book of Abstracts, pp. 85; ISBN 978-86-919111-2-6

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Tokom poslediplomskih studija i kroz naučno-istraživački rad na projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije pod nazivom „Sinteza, razvoj tehnologija i primena nanostrukturnih multifunkcionalnih materijala definisanih svojstava“ (III 45019), Daniel M. Mijailović je pokazao izrazitu sklonost i sposobnost za bavljenje naučno-istraživačkim radom. Ovo se ogleda u samostalnom planiranju i realizaciji istraživanja vezanih za temu doktorske disertacije, obradi i tumačenju dobijenih eksperimentalnih podataka, kao i zapaženoj prezentaciji rezultata na većem broju nacionalnih i međunarodnih naučnih skupova. Iz oblasti materijala za skladištenje električne energije, iz koje je predložena tema doktorske disertacije, do sada je kao prvi autor objavio dva naučna rada u vrhunskim međunarodnim časopisima i deset saopštenja sa međunarodnih skupova. Na osnovu biografskih podataka kandidata, njegovih naučnih i stručnih aktivnosti, kao i objavljenih radova, Komisija smatra da Daniel M. Mijailović u potpunosti ispunjava sve potrebne uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. Predmet i cilj naučnog istraživanja

Istraživanja u oblasti skladištenja električne energije su trenutno jedan od najvećih naučnih i inženjerskih izazova u svetu. U cilju napretka ove oblasti, ključan je razvoj bezbednijih, jeftinijih i efikasnijih tehnologija sa potencijalnom primenom u širokom opsegu od prenosne elektronike do električnih vozila. Među različitim tehnologijama, superkondenzatori, uređaji koji skladište električnu energiju putem elektrostatičkih i elektrohemijjskih procesa, poseduju niz atraktivnih svojstava poput sposobnosti isporučivanja velike količine energije u kratkom vremenskom intervalu (visoke vrednosti električne snage), trenutnog punjenja i dugačkog radnog veka ($>10^5$ ciklusa pri procesu punjenje/praznjenje). Međutim, glavni nedostatak ove tehnologije je niska gustina električne energije koja je od presudnog značaja za širu primenu.

Performanse superkondenzatora određuju materijali, od kojih su sačinjene elektrode, koji mogu drastično uticati na povećanje kapacitivnosti u odgovarajućem opsegu potencijala, što istovremeno dovodi i do povećanja gustine skladištene energije. Komercijalno dostupni uređaji se sastoje od dve identične elektrode na bazi poroznih ugljeničnih prahova između kojih se nalazi separator nakvašen elektrolitom. Sposobnost skladištenja električne energije ovih uređaja zavisi od kapacitivnosti električnog dvojnog sloja koji se formira preraspodelom jona na graničnoj površini elektroda/elektrolit. Doprinos ukupnoj kapacitivnosti daju i oksido-redukциони (redoks) procesi u kojima učestvuju površinske funkcionalne grupe, odnosno tzv. pseudokapacitivnost. Ovaj mehanizam uključuje prenos naelektrisanja kroz električni dvojni sloj, što utiče na povećanje kapacitivnosti i gustine električne energije.

Elektropredena ugljenična vlakna sa poroznom strukturom se posebno ističu kao elektrode visokih performansi zbog svojih jedinstvenih fizičko-hemijjskih svojstava, kao što su odlična hemijska stabilnost, i izuzetna električna i toplotna provodljivost. Imaju veliki potencijal komercijalizacije u superkondenzatorima, jer je relativno jednostavno dobiti samonosive (*eng.* self-standing) elektrode bez korišćenja aditiva/veziva, što doprinosi boljem kontaktu elektrode i elektrolita, a samim tim i poboljšanju performansi. Takođe, idealni su nosači za materijale sa izraženim pseudokapacitivnim ili baterijskim karakteristikama. Spinel na bazi oksida kobalta i mangana su veoma interesantni jer poseduju veoma visoke vrednosti kapacitivnosti/kapaciteta, zavisno od dominantnog mehanizma skladištenja energije u odgovarajućem elektrolitskom rastvoru. Imajući u vidu njihovu nižu električnu provodljivost i kraći radni vek u odnosu na porozne ugljenične materijale, kombinovanje spinela sa ugljeničnim vlaknima otvara brojne mogućnosti dobijanja novih elektroda sa znatno boljim performansama. Shodno tome, predmet istraživanja ove doktorske disertacije je razvoj poroznih materijala na bazi ugljeničnih vlakana i spinela oksida prelaznih metala za primenu u skladištenju energije.

Prvi deo doktorske disertacije će biti posvećen procesiranju i karakterizaciji poroznih ugljeničnih mikrovlakana, dobijenih termičkom obradom elektropredenih polimernih vlakana na bazi poliakrilonitrila/polivinilpirolidona. Variranjem parametara procesiranja, očekuje se dobijanje samonosivih ugljeničnih elektroda koje će biti primenjene u kondenzatorima sa električnim dvojnim slojem. Kako je poznato da elektrohemijske performanse ugljeničnih elektroda zavise od načina pripreme, ispitivaće se tanke elektrode bez dodavanja aditiva/veziva čiji će parametri biti prethodno optimizovani. Posebna pažnja će biti posvećena korelaciji kapacitivnih karakteristika elektroda sa površinskim svojstvima, poput specifične površine, raspodele pora i površinskih grupa.

U drugom delu doktorske disertacije biće prikazano dobijanje ugljenično-spinelnih kompozitnih vlakana sa detaljnom spektroskopskom i elektrohemijom karakterizacijom. Kompozitna vlakna će biti formirana kalcinacijom hibridnih elektropredenih vlakana, što predstavlja jednostavan i napredan način dobijanja novih elektroda. Tokom procesa elektropredenja, variranjem molskog odnosa metalnih prekursora u polimernom rastvoru i naknadnom termičkom obradom, ispitivaće se fazni sastav spinela čija će redoks aktivnost imati značajan uticaj na kapacitivnost/kapacitet. Pored toga, razmatraće se i uticaj površinskih svojstava poput realne površine ugljeničnih vlakana, kao i električna provodljivost kompozita. Istraživanje će obuhvatiti i testiranje elektroda sa najoptimalnijim karakteristikama u posebno konstruisanim uređajima, koji imaju ulogu da oponašaju procese u komercijalnim superkondenzatorima.

Prepoznajući potrebu za povećanjem gustine energije elektrodnih materijala kao glavni izazov u razvoju superkondenzatora, definisani su i naučni ciljevi predloženih istraživanja:

- dizajniranje, procesiranje i karakterizacija novih elektrodnih materijala na bazi poroznih elektroda od ugljeničnih vlakana i spinela oksida prelaznih metala;
- proučavanje mogućnosti kontrolisanja morfologije materijala (dimenzija i oblika) variranjem reakcionih parametara procesiranja;
- ispitivanje elektrohemijskih svojstava elektroda i uspostavljanje korelacija sa strukturom;
- ispitivanje kapacitivnih karakteristika u dvo-elektrodnom sistemu sa simetričnom konfiguracijom i definisanje uređaja sa najoptimalnijim performansama.

Najznačajniji radovi u literaturi koji podržavaju predloženu temu su:

1. Simon P., Gogotsi Y.: *Perspectives for electrochemical capacitors and related devices*, - Nature Materials, Vol 19, 2020, pp. 1151-1163.
2. Han C., Cao W.-Q., Cao M.-S.: *Hollow nanoparticle-assembled hierarchical NiCo₂O₄ nanofibers with enhanced electrochemical performance for lithium-ion batteries*, - Inorganic Chemistry Frontiers, Vol 7, 2020, pp. 4101-4112.
3. Kopec M., Lamson M., Yuan R., Tang C., Kruk M., Zhong M., Matyjaszewski K., Kowalewski T.: *Polyacrylonitrile-derived nanostructured carbon materials*, - Progress in Polymer Science, Vol 92, 2019, pp. 89-134.
4. Chen X., Yan Z., Yu M., Sun H., Liu F., Zhang Q., Cheng F., Chen J.: *Spinel oxide nanoparticles embedded in nitrogen-doped carbon nanofibers as a robust and self-standing bifunctional oxygen cathode for Zn-air batteries*, - Journal of Materials Chemistry A, Vol 7, 2019, pp. 24868-24876.
5. Guo Y., Wu C., Li N.-W., Yuan S., Yu L.: *Formation of Co-Mn mixed oxide double-shelled hollow spheres as advanced electrodes for hybrid supercapacitors*, - Journal of Materials Chemistry A, Vol 7, 2019, pp. 25247-25253.
6. Ho K.-C., Lin L.-Y.: *A review of electrode materials based on core-shell nanostructures for electrochemical supercapacitors*, - Journal of Materials Chemistry A, Vol 7, 2019, pp. 3516-3530.
7. Mathis T.S., Kurra N., Wang X., Pinto D., Simon P., Gogotsi Y.: *Energy storage data reporting in perspective—guidelines for interpreting the performance of electrochemical energy storage systems*, - Advanced Energy Materials, Vol 9, 2019, 1902007.

8. Lee Y.-W., Hong J., An G.-H., Pak S., Lee J., Cho Y., Lee S., Cha S.N., Sohn J.I., Kim J.M.: *Synergistic effects of engineered spinel hetero-metallic cobaltites on electrochemical pseudo-capacitive behaviors*, - Journal of Materials Chemistry A, Vol 6, 2018, pp. 15033-15039.
9. Chen S., Koshy D.M., Tsao Y., Pfattner R., Yan X., Feng D., Bao Z.: *Highly tunable and facile synthesis of uniform carbon flower particles*, - Journal of American Chemical Society, Vol 140, 2018, pp. 10297-10304.
10. Peng S., Gong F., Li L., Yu D., Ji D., Zhang T., Hu Z., Zhang Z., Chou S., Du Y., Ramakrishna S.: *Necklace-like multishelled hollow spinel oxides with oxygen vacancies for efficient water electrolysis*, - Journal of American Chemical Society, Vol 140, 2018, pp. 13644-13653.
11. Yang S., Han Z., Zheng F., Sun J., Qiao Z., Yang X., Li L., Li C., Song X., Cao B.: *ZnFe₂O₄ nanoparticles-cotton derived hierarchical porous active carbon fibers for high rate-capability supercapacitor electrodes*, - Carbon, Vol 134, 2018, pp. 15-21.
12. Chen L.-F., Lu Y., Yu L., Lou X.W.: *Designed formation of hollow particle-based nitrogen-doped carbon nanofibers for high-performance supercapacitors*, - Energy and Environmental Science, Vol 10, 2017, pp. 1777-1783.
13. Bhagwan J., Sivasankaran V., Yadav K.L., Sharma Y.: *Porous, one-dimensional and high aspect ratio nanofibric network of cobalt manganese oxide as a high performance material for aqueous and solid-state supercapacitor (2 V)*, - Journal of Power Sources, Vol 327, 2016, pp. 29-37.
14. Pettong T., Iamprasertkun P., Krittayavathananon A., Sukha P., Sirisinudomkit P., Seubsai A., Chareonpanich M., Kongkachuichay P., Limtrakul J., Sawangphruk M.: *High-performance asymmetric supercapacitors of MnCo₂O₄ nanofibers and N doped graphene oxide aerogel*, - ACS Applied Materials and Interfaces, Vol 8, 2016, pp. 34045-34053.
15. Sun W., Lipka S.M., Swartz C., Williams D., Yang F.: *Hemp-derived activated carbons for supercapacitors*, - Carbon, Vol 103, 2016, pp. 181-192.
16. Peng S., Li L., Hu Y., Srinivasan M., Cheng F., Chen J., Ramakrishna S.: *Fabrication of spinel one-dimensional architectures by single-spinneret electrospinning for energy storage applications*, - ACS Nano, Vol 9, 2015, pp. 1945-1954.
17. Abouali S., Garakani M.A., Zhang B., Xu Z.-L., Heidari E.K., Huang J.-Q., Huang J., Kim J.-K.: *Electrospun carbon nanofibers with in situ encapsulated Co₃O₄ nanoparticles as electrodes for high-performance supercapacitors*, - ACS Applied Materials and Interfaces, Vol 7, 2015, pp. 13503-13511.
18. McCloskey B.D.: *Expanding the Ragone plot: Pushing the limits of energy storage*, - The Journal of Physical Chemistry Letters, Vol 6, 2015, pp. 3592-3593.
19. Brousse T., Belanger D., Long J.W.: *To be or not to be pseudocapacitive*, - Journal of the Electrochemistry Society, Vol 162, 2015, pp. A5185-A5189.
20. Xu Y., Wang X., An C., Wang Y., Jiao L., Yuan H.: *Facile synthesis route of porous MnCo₂O₄ and CoMn₂O₄ nanowires and their excellent electrochemical properties in supercapacitors*, - Journal of Materials Chemistry A, Vol 2, 2014, pp. 16480-16488.
21. Yuan C., Wu H.B., Xie Y., Lou X.W. (David), *Mixed transition-metal oxides: Design, synthesis, and energy-related applications*, - Angewandte Chemie International Edition, Vol 53, 2014, pp. 1488-1504.
22. Wang H., Xu Z., Kohandehghan A., Li Z., Cui K., Tan X., Stephenson T.J., King'onde C.K., Holt C.M.B., Olsen B.C., Tak J.K., Harfield D., Anyia A.O., Mitlin D.: *Interconnected carbon nanosheets derived from hemp for ultrafast supercapacitors with high energy*, - ACS Nano, Vol 7, 2013, pp. 5131-5141.
23. Zhang F., Yuan C., Zhu J., Wang J., Zhang X., Lou X.W. (David): *Flexible films derived from electrospun carbon nanofibers incorporated with Co₃O₄ hollow nanoparticles as self-supported electrodes for electrochemical capacitors*, - Advanced Functional Materials, Vol 23, 2013, pp. 3909-3915.

24. Zhang G., Xia B.Y., Xiao C., Yu L., Wang X., Xie Y., Lou X.W. (David): *General formation of complex tubular nanostructures of metal oxides for the oxygen reduction reaction and lithium-ion batteries*, - *Angewandte Chemie International Edition*, Vol 52, 2013, pp. 8643-8647.
25. Yang L., Cheng S., Ding Y., Zhu X., Wang Z.L., Liu M.: *Hierarchical network architectures of carbon fiber paper supported cobalt oxide nanonet for high-capacity pseudocapacitors*, - *Nano Letters*, Vol 12, 2012, pp. 321-325.
26. Wei L., Yushin G.: *Nanostructured activated carbons from natural precursors for electrical double layer capacitors*, - *Nano Energy*, Vol 1, 2012, pp. 552-565.
27. Li J., Xiong S., Li X., Qian Y.: *Spinel $Mn_{1.5}Co_{1.5}O_4$ core-shell microspheres as Li-ion battery anode materials with a long cycle life and high capacity*, - *Journal of Materials Chemistry*, Vol 22, 2012, pp. 23254-23259.
28. Rakhi R.B., Chen W., Cha D., Alshareef H.N.: *High performance supercapacitors using metal oxide anchored graphene nanosheet electrodes*, - *Journal of Materials Chemistry*, Vol 21, 2011, pp. 16197-16204.
29. Lu W., Hartman R., Qu L., Dai L.: *Nanocomposite electrodes for high-performance supercapacitors*, - *The Journal of Physical Chemistry Letters*, Vol 2, 2011, pp. 655-660.
30. Conway B.E.: *Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals and Technological Applications*, Springer, New York, 1999.

3. Polazne hipoteze

Uzimajući u obzir prethodno iznete činjenice, definisane su sledeće naučne hipoteze koje će biti testirane u okviru doktorske disertacije:

Prva hipoteza ove doktorske disertacije je da će se odgovarajućim izborom polaznih polimera i parametara procesiranja dobiti samonosiva ugljenična vlakna sa optimalnom kombinacijom mezo/mikropora čija je površina dekorisana redoks aktivnim funkcionalnim grupama. Elektrode sačinjene od takvih vlakana bi trebalo da imaju poboljšane kapacitivne karakteristike u kondenzatorima sa električnim dvojnim slojem. Elektrohemijske performanse poroznih elektroda biće ispitane u konvencionalnim sistemima sa tri elektrode, kao i u posebno dizajniranim dvo-elektrodnim uređajima koristeći simetričnu konfiguraciju. Cilj će biti poređenje sa ugljeničnim materijalima u komercijalno dostupnim superkondenzatorima.

Druga hipoteza je mogućnost ostvarivanja značajno poboljšanih elektrohemijskih performansi ugljenično-spinelnih kompozitnih vlakana usled mogućeg efekta sinergije između ugljenika i spinela. Da bi se testirala ova hipoteza, procesiraće se i detaljno okarakterisati kompozitna vlakna, sa različitim faznim sastavima spinela oksida prelaznih metala. Fazni sastav spinela će se kontrolisati variranjem molskog udela metalnih prekursora u rastvoru, kao i dizajniranim termičkim tretmanom. Posebno će se analizirati uticaj na kapacitivnost/kapacitet, stabilnost i radni vek ovih kompozitnih elektroda primenjenih u superkondenzatorima. U ranijim ispitivanjima pokazano je da spineli prelaznih metala imaju izraženu redoks aktivnost sa odličnom sposobnošću skladištenja električne energije.

4. Naučne metode istraživanja

Za dobijanje poroznih ugljeničnih materijala i kompozita sa spinelima na bazi oksida prelaznih metala koristiće se termička obrada polimernih/hibridnih elektropredenih vlakana. Ispitivanja dobijenih elektroda kao komponenata superkondenzatora će obuhvatiti detaljnu analizu strukturnim, spektroskopskim, termo-mehaničkim i elektrohemijskim metodama. Struktura materijala će se ispitati pomoću rentgenske difrakcije (XRD), skenirajuće elektronske mikroskopije (SEM), (skenirajuće) transmisione elektronske mikroskopije ((S)TEM) zajedno sa određivanjem specifične površine BET metodom. Spektroskopske karakterizacije će obuhvatiti infracrvenu spektroskopiju sa Furijeovom transformacijom (FTIR), spektroskopiju na bazi disperzije energije X-zraka (EDX), spektroskopiju na bazi gubitka energije primarnog snopa elektrona (EELS) i rendgensku fotoelektronsku spektroskopiju (XPS). Termo-mehanička svojstva materijala će se

ispitati diferencijalnom skenirajućom kalorimetrijom (DSC), termogravimetrijskom analizom (TGA) i dinamičko–mehaničkom analizom (DMA). Elektrohemijska analiza elektroda će uključivati cikličnu voltametriju (CV), metodu punjenja/pražnjenja konstantnom strujom (GCD) i elektrohemijsku impedansnu spektroskopiju (EIS) u konvencionalnim ćelijama sa tri elektrode, kao i uređajima sa dve elektrode u simetričnoj konfiguraciji.

5. Očekivani naučni doprinos

Očekuje se značajan naučni doprinos planiranih istraživanja, pri čemu će biti:

- usavršena metoda procesiranja poroznih elektroda na bazi ugljeničnih vlakana i spinela prelaznih metala, sa osvrtnom na dobijanje vlakana (1) kontrolisane morfologije, sa što je moguće manjim dimenzijama prečnika vlakana; (2) razvijene porozne strukture, (3) optimalne raspodele pora, i (4) sa površinskim funkcionalnim grupama koje će poboljšati kapacitivne karakteristike;
- dobijena samonosiva ugljenična vlakna visoke poroznosti koja imaju potencijal direktnog korišćenja kao elektrode u elektrohemijskim kondenzatorima sa električnim dvojnim slojem;
- objašnjen uticaj parametara procesiranja na strukturu poroznih materijala i biće uspostavljene korelacije sa elektrohemijskim svojstvima;
- primenjena metoda procesiranja za sintezu novih elektrodnih materijala, sa posebnim osvrtnom na nova ugljenično-spinelna kompozitna vlakna;
- biće ispitane porozne elektrode u posebno konstruisanim uređajima sa simetričnom konfiguracijom sa potencijalom komercijalne primene.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Istraživanja koja će biti rađena u okviru predložene disertacije obuhvatiće sledeće faze:

- izvršiće se odabir polimera iz čijih rastvora će se metodom elektropredenja dobiti vlakna različite morfologije, koja će se naknadnim termičkim tretmanom konvertovati u ugljenična mikrovlakna; variranjem parametara dobiće se samonosivi materijali koji će imati direktnu primenu kao elektrode kondenzatora sa električnim dvojnim slojem;
- testiraće se samonosive ugljenične elektrode metodama ciklične voltametrije, punjenja/pražnjenja konstantnom strujom i spektroskopije elektrohemijske impedanse;
- uspostaviće se korelacije kapacitivnih karakteristika sa površinskim svojstvima, poput specifične površine, raspodele pora i površinskih grupa;
- testiraće se najoptimalniji ugljenični materijali u posebno konstruisanim Swagelok® uređajima sa simetričnom konfiguracijom, koji će se porediti sa komercijalno dostupnim superkondenzatorima;
- procesiraće se ugljenično-spinelnih kompozitnih vlakana, sa različitim faznim sastavom spinela na nosaču od ugljeničnih vlakana razvijene površine primenom kalcinacije hibridnih elektropredenih vlakana; variranjem sastava polaznog rastvora za elektropredanje, tj. molskog udela metalnih prekursora na bazi kobalta i mangana, kontrolisaće se fazni sastav dobijenih spinelnih nanočestica;
- utvrdiće se veličina spinelnih nanočestica, uniformnost njihove raspodele na ugljeničnim vlaknima kao i dimenzije kompozitnih vlakana pomoću skenirajuće/transmisionne elektronske mikroskopije visoke rezolucije;
- identifikacija kristalnih spinelnih faza pomoću rentgenske difrakcije;
- utvrdiće se prosečni elementarni sastav kompozitnih vlakana pomoću energodisperzione spektroskopije X-zraka u transmisionom elektronskom mikroskopu, spektroskopije na bazi gubitka energije elektrona i rendgenske fotoelektronske spektroskopije;
- razvoj novog ugljenično-spinelnog materijala, $\text{C@Co}_{1.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$, sa potencijalnom primenom u vodenim superkondenzatorskim uređajima.

7. Zaključak i predlog

Na osnovu izloženog, Komisija smatra da kandidat Daniel M. Mijailović, master inženjer tehnologije, ispunjava sve potrebne uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije. Takođe na osnovu iznetih podataka, Komisija smatra da je predložena tema pod nazivom "Porozne elektrode na bazi ugljeničnih vlakana i spinela prelaznih metala za primenu u skladištenju električne energije" naučno utemeljena. Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo, uža naučna oblast Inženjerstvo materijala, za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da kandidatu Danielu M. Mijailoviću odobri izradu doktorske disertacije pod navedenim naslovom. Za mentora se predlaže dr Petar Uskoković, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu.

Beograd, 14.12.2020.

ČLANOVI KOMISIJE

.....
prof. dr Petar S. Uskoković, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
prof. dr Velimir R. Radmilović, naučni savetnik u penziji i
dopisni član SANU, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-
metalurški fakultet

.....
dr Dušica B. Stojanović, viši naučni saradnik
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
dr Uroš Č. Lačnjevac, viši naučni saradnik
Univerzitet u Beogradu, Institut za multidisciplinarna
istraživanja

.....
dr Vuk V. Radmilović, docent
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet