

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ

ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ НОВИ САД

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

кандидата Александре П. Милетић, маг. инж. Технологије

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију 13.09.2019., Наставно-научно веће Технолошког факултета Нови Сад</p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен: Проф. др Јарослава Будински-Симендић, редовни професор, Синтетски полимери, 11.10.2007, Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, председник Проф. др Бранка Пилић, редовни професор, Инжењерство материјала, 01.10.2016., Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, ментор Доц. др Иван Ристић, доцент, Инжењерство материјала, 23.06.2016., Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, члан Проф. др Милан Вранеш, ванредни професор, Аналитичка хемија, 01.01.2018., Природно-математички факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, члан Др Јасна Стајић – Трошић, научни саветник, Хемија и хемијска технологија, 12.06.2013., Институт за хемију, технологију и металургију, Универзитет у Београду, члан</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Александра, Предраг, Милетић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 29.02.1988., Врање, Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Технолошки факултет, Фармацеутско инжењерство, мастер инжењер технологије</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2011., Инжењерство материјала</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: /</p> <p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: /</p>
III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
Функционални материјали на бази електроспинованих нановлакана

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Докторска дисертација написана је на српском језику, латиничним писмом, на 113 страна А4 формата, са 63 слике и 30 табела

Докторска дисертација се састоји из 6 поглавља:

1. Увод
2. Циљеви истраживања
3. Преглед литературе
4. Материјали и методе
5. Резултати и дискусија
6. Закључци
7. Литература
8. Прилог

Дисертацију чине и садржај, спискови слика и табела, прилог, кључна документацијска информација са сажетком на српском и енглеском језику.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У Уводу докторске дисертације дат је кратак опис функционалних материјала који су предмет истраживања, као и тренутни изазови у производњи. Наведене су предности коришћења електроспининг технике, као једне од техника за производњу материјала на основу нановлакана и могућности коришћења у производњи функционалних материјала.

У поглављу **Циљеви истраживања** дефинисан је главни циљ истраживања у оквиру докторске дисертације, као и специфични циљеви чија је реализација била неопходна за постизање главног циља.

Преглед литературе даје увид у стање области истраживања, кроз навођење научних резултата који су до сада постигнути и детаљније објашњава мотивацију за истраживањем функционалних материјала. Састоји се из три целине: Функционални материјали, Електроспининг техника и Примена материјала на основу електроспинованих нановлакана. У делу *Функционални материјали* наводе се главна својства поменутих материјала и даје објашњење потребе за развојем и добијањем истих. Наводе се технологије прераде које се користе за добијање функционалних материјала и недостаци коришћења истих. Део *Електроспининг техника* детаљно описује електроспининг процес, параметре који утичу на успешност процеса и морфологију материјала на основу електроспинованих нановлакана и истиче предности и мане коришћења електроспининг процеса за добијање материјала. У делу *Примена материјала на основу електроспинованих нановлакана* описане су главне примене функционалних материјала на основу нановлакана и дати примери до сада развијених материјала. У случајевима где је то било могуће, наведени су и комерцијални производи израђени од материјала на основу нановлакана.

Поглавље **Материјали и методе** садржи списак хемикалија коришћених у оквиру истраживања и описује методе карактеризације материјала на основу нановлакана, са кратким објашњењем о потреби за коришћењем појединачних метода и навођењем коришћених инструмената за анализу.

Резултати и дискусија чине највећи део докторске дисертације и подељени су на независне целине на основу потенцијалне примене функционалних материјала. Један део поглавља посвећен је оптимизацији процесних параметара за добијање нановлакана на основу чистих полимера. Осталих десет целина односи се на приказ и дискусију резултата за појединачне функционалне материјале. Свака од тих целина започиње кратким уводом у ком се наводе главне идеје и мотивација за коришћење материјала и активних компоненти, затим следи начин припреме узорака и анализа резултата карактеризације. Приликом дискусије резултата за појединачне материјале дати су специфични услови који се односе на методу карактеризације, примењени у том случају. На крају сваке целине дат је кратак закључак о постигнутим резултатима, од којих сваки даје одговор на успешност постизања задатог специфичног циља.

У поглављу **Закључци** сумирају се појединачни закључци и изводи се генерални закључак приказаних резултата. На основу изнетих закључака процењује се успешност постизања главног циља истраживања у оквиру докторске дисертације.

Поглавље **Литература** садржи 100 литературних навода, које чине релевантне публикације из области.

Поред наведених поглавља дисертацију чине и Садржај, Списак ознака, симбола и скраћеница, Списак табела, Списак слика, Прилог и Кључна документацијска информација са сажетком на српском и енглеском језику, као и Биографија кандидата.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

M21

1. Tanja Radusin, Sergio Torres-Giner, Alena Stupar, Ivan Ristic, **Aleksandra Miletic**, Aleksandra Novakovic, Jose Maria Lagaron: Preparation, characterization and antimicrobial properties of electrospun polylactide films containing *Allium ursinum* L. Extract, Food Packaging and Shelf Life, 2019, 21, 100357

M22

1. **Aleksandra Miletic**, Branimir Pavlic, Ivan Ristic, Zoran Zekovic, Branka Pilić: Encapsulation of Fatty Oils into Electrospun Nanofibers for Cosmetic Products with Antioxidant Activity, Applied Sciences, 2019, 9(15), 2955

M23

1. Ivan Ristic, **Aleksandra Miletic**, Nevena Vukić, Milena Marinović-Cincović, Krisjanis Smits, Suzana Cakić, Branka Pilić: Characterization of electrospun poly(lactide) composites containing multiwalled carbon nanotubes, Journal of thermoplastic composite materials, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1177/0892705719857780>

M33

1. Tanja Radusin, **Aleksandra Miletic**, Ivan Ristic, Branka Pilić: Possibilities of PLA as food packaging material – nano-reinforcement and electrospinning as future perspective, Modern Polymeric Materials for Environmental Applications, vol.6, str. 289-296, 27-29.04.2016., Krakow, Poljska, organizator Department of Chemistry and Technology of Polymers, Faculty of Chemical Engineering and Technology, ISBN 978-83-937270-4-9

M34

1. **Aleksandra Miletic**, Branimir Pavlic, Ivan Ristic, Branka Pilić, Begonya Marcos. STSM results – Validation of activity of prepared biopolymer-based nanofibers containing plant essential oils, ACTINPAK FAIR AND CONFERENCE: ACTIVE AND INTELLIGENT PACKAGING ON DISPLAY 20-22.11.2018. Vienna, http://www.actinpak.eu/wp-content/uploads/2018/11/Vienna_presentation_miletic.pdf

2. **Aleksandra Miletic**, Ivan Ristic, Branimir Pavlic, Zoran Zekovic, Branka Pilić: Electrospun mats for cosmetics applications, Polymar, Athens, Greece, 8-12.10.2018., pp. 63

3. Branimir Pavlic, **Aleksandra Miletic**, Ivan Ristic, Zoran Zekovic, Branka Pilić: Oral dispersive forms (ODF) for oral cavity hygiene, Polymar, Athens, Greece, 8-12.10.2018., pp. 72

4. **Aleksandra Miletic**, Tanja Radusin, Aleksandra Novakovic, Ivan Ristic, Branka Pilić: Tea tree oil loaded PLA electrospun fibers as active packaging material, MC/WGs meeting: Application & Communication Israel 7-9.11.2017., <http://www.actinpak.eu/wp-content/uploads/2017/11/Aleksandra-Miletic.pdf>

5. Ivan Ristic, Milena Marinović-Cincović, **Aleksandra Miletic**, Nevena Vukić, Suzana Cakić, Branka Pilić: Multiwalled carbon nanotubes as filler for advanced biopolymer composites, Baltic Polymer Symposium 2017 Tallinn (Estonia) 20-22.09.2017., pp. 37

6. **Aleksandra Miletic**, Ivan Ristic, Branka Pilić: Reinforcement of polylactide using silicon(IV)-oxide nanoparticles, 12th Conference for young scientists in ceramics CYSC-2017 Novi Sad 18-21.10.2017., pp. 56

7. **Aleksandra Miletic**, Ivan Ristic, Branka Pilić: Electrospun biobased bioactive platforms, 15th Young Researchers' Conference – Materials Science and Engineering, str. 9, 7-9.12.2016., Beograd, Srbija, organizator Srpska akademija nauka i umetnosti, ISBN 978-86-80321-32-5

8. **Aleksandra Miletic**, Ivan Ristic, Branka Pilić: Electrospinning – advanced technique for materials processing, Industrial technologies – Creating a smart Europe, str. 78-79, 22-24.06.2016., Amsterdam, Holandija

VII ZAKЉUČCI OДНОСНО РЕЗУЉТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Главни циљ ове докторске дисертације био је оптимизација процесних параметара електроспининга за добијање функционалних материјала на основу нановлакана за различите примене. Специфичним циљевима дефинисане су области примене и

потенцијални производи који ће се развијати и на основу тога извршен је одабир полимера, активних компоненти и растварача који ће се користити за добијање функционалних материјала. За сваки појединачан функционални материјал оптимизовани су процесни параметри електроспининга и урађена карактеризација адекватним методама које недвосмислено указују на функционалност материјала.

На основу анализираних резултата испитивања донети су следећи закључци:

- Електроспининг техника представља иновацију у производњи функционалних материјала на основу полимера са додатком различитих компоненти. С обзиром да се процес одвија на собној температури, погодна је за добијање материјала који у саставу имају компоненте осетљиве на повишену температуру. Као таква, са великим успехом може да замени конвенционалне технике (екструзија, бризгање) у производњи функционалних материјала. Електроспинингом добијени су материјали за примену у стоматологији, активној амбалажи, филтрацији, сензорима и козметици.
- Полимери и активне компоненте одабране су у складу са предвиђеном применом функционалних материјала. На основу тога, одабрани су системи растварача и оптимизовани процесни параметри за сваки појединачни случај, што је потврђено анализом морфологије материјала на основу нановлакана. Добијени материјали стурктурирани су од континуалних нановлакана правилног облика.
- Додатком различитих количина наночестица силицијум(IV)-оксида у раствор поли(лактида) и електроспинингом добијених нанокompозитних раствора, добијени су нанокompозитни материјали на основу ПЛА унапређених механичких својстава. Сем тога, присуство наночестица утицало је на топлотна својства и површинске карактеристике ПЛА, што утиче на крајњу примену нанокompозитних материјала.
- Енкапсулација уља биљног порекла (етарска и масна уља) у поли(лактид) и поли(винил-пиролидон) коришћењем електроспининг технике, за примене у одржавању хигијене усне дупље, козметици и у систему активне амбалаже, верификована је резултатима испитивања антиоксидативне активности, који су показали да ови материјали имају одлична антиоксидативна својства. Како су наведене активне компоненте природног порекла и осетљиве на оксидацију, самим тим имају кратак рок трајања, енкапсулацијом у нановлакна постигнута је заштита активне компоненте од спољашњих утицаја и очување активности. Специфична тродимензионална структура материјала на основу нановлакана доприноси активности функционалних материјала.
- Употреба јонских течности као активних компоненти за добијање сензора за влагу и јоне гвожђа, представља нови приступ у формулисању функционалних материјала. Поли(амид) и желатин, као представници хидрофобних и хидрофилних полимерних материјала, коришћени су као полимерна матрица за јонске течности БМИМ-флуоресцеинат и БМИМ-салицилат, које у реакцији са молекулима воде и јонима гвожђа, респективно, дају бојену реакцију. Поли(амид) се у оба случаја показао као боље решење за добијање функционалних материјала јер пружа бољу заштиту активној компоненти.
- Добијање макрокомпозита уз коришћење материјала на основу нановлакана један је од могућих приступа за побољшање својстава денталног цемента. С обзиром на висок садржај неорганских пунила, одликује га кртост и слаба механичка својства. Прављењем слојевитих композита, где слојеве чине дентални цемент и нановлакна на основу поли(амида), добијени су материјали који имају вишеструко побољшана механичка својства у односу на чист дентални цемент.
- Употреба функционалних материјала у систему активне амбалаже испитан је *in vivo* тестирањем одрживости производа, при чему су функционални материјали на основу поли(лактида) са додатком 4 етарска уља коришћени као активне подлоге у

вакуум паковању кобасице. Током 28 дана испитивања, узорковањем на сваких 7 дана, праћен је квалитет упаковане кобасице и дошло се до закључка да до 21-ог дана активне подлоге испољавају очекивана антиоксидативна својства, али да након тога долази до прооксидативног ефекта и погоршања параметара квалитета кобасице. Коришћени материјали су окарактерисани пре и након коришћења, показано је да услед своје 3Д морфологије и порозности апсорбују влагу и маст из производа, што објашњава негативан ефекат након присуства активних подлога у паковању након 21-ог дана.

- Угљенична пунила (модификоване и немодификоване наноцеви, графен и активни угаљ), која важе за пунила високог афинитета ка различитим компонентама, коришћена су за добијање функционалних материјала на основу целулозе ацетата за примене у третману отпадних вода. Адсорпција молекула метил плавог, чији је раствор коришћен као модел раствор хидрофилне боје и смањење његове концентрације у односу на полазни раствор, успешно је постигнута коришћењем ових функционалних материјала. Показано је да материјали на основу целулозе ацетата са најмањим уделом активне компоненте имају највећу моћ адсорпције боје, услед постигнуте најбоље дисперзије унутар нановлакана, док се при вишим концентрацијама формирају агрегати честица пунила, који смањују активност ових функционалних материјала. Функционални материјал који је у саставу имао графен, због специфичне морфологије графена, имао је највећу моћ адсорпције боје.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Приказ резултата у оквиру докторске дисертације подељен је на логичне целине конципиране на основу примене добијених функционалних материјала. Јасно су дефинисани одабир материјала, потреба да се за добијање појединачних функционалних материјала користи електроспининг техника, урађена је добра анализа резултата добијених испитивањем материјала одабраним методама карактеризације. За сваки функционални материјал одабране су методе карактеризације које одговарају његовој крајњој примени и верификована је предвиђена активност. Резултати су приказани графички и табеларно и обрађени на одговарајући начин.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме
Докторска дисертација написана је у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе
Докторска дисертација садржи све битне елементе који су уобичајени за научне радове овог типа.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци
Докторска дисертација представља допринос науци са више аспеката. *Коришћење електроспининг технике* за производњу функционалних материјала уместо конвенционалних попут екструзије, бризгања или термоформирања, својеврсна је иновација у овој области. На тај начин решавају се проблеми деактивације активних компоненти, а предложена техника је финансијски исплативија у односу на конвенционалне. *Избор полимера и активних компоненти и састав материјала*, са освртом на удео активних компоненти који осигурава активност материјала, јединствени су за сваку предвиђену примену и у обрађеној литератури нису пронађени материјали истог састава. Одабрани материјали су *еколошки прохватљиви* и активне компоненте су углавном *природног порекла*. „*Know-how*“ који произилази из истраживања у оквиру докторске дисертације јесу *процесни параметри електроспининга*, који су у овој дисертацији развијени и оптимизовани за сваки појединачни систем полимера и активне компоненте, што је потврђено анализом морфологије материјала на основу нановлакна. Сваки од добијених функционалних материјала окарактерисан је коришћењем адекватних техника, које недвосмислено *верификују предвиђену активност материјала* (антиоксидативна, антимикуробна итд.). Задовољавајући глобални тренд апликативне науке, функционални материјали добијени у оквиру ове докторске дисертације развијени су до нивоа *прототипа* (ТРЛ ниво 4) и као такви се могу пренети са лабораторијског на индустријски ниво производње и комерцијализовати. Резултати из докторске дисертације публиковани су у научним часописима и представљени на међународним конференцијама, што представља потврду квалитета, иновативности и доприноса науци у овој области.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања
Недостаци ове докторске дисертације нису уочени.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
--

Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију маг. инж. Александре П. Милетић, под насловом: „Функционални материјали на бази електроспинованих нановлакна“ и предлаже да се докторска дисертација прихвати, а кандидаткињи одобри одбрана

Проф. др Јарослава Будински – Симендић, редовни професор, председник
Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду

Проф. др Бранка Пилић, редовни професор, ментор
Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду

Доц. др Иван Ристић, доцент, члан
Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду

Проф. др Милан Вранеш, ванредни професор, члан
Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду

Др Јасна Стајић-Трошић, научни саветник, члан
Институт за хемију, технологију и металургију, Универзитет у Београду