

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовано комисију: Решењем број 012-199/49-2021 од 26.03.2026., на основу Одлуке Наставно-научног већа одржаног 25.03.2026., а у складу са Статутом Факултета техничких наука, декан Факултета техничких наука, проф. др Борис Думнић, именовано је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1.	Адамовић Драган	Редовни професор
	презиме и име	звање
	Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду	Инжењерство заштите животне средине, датум избора: 10.07.2025.
	установа у којој је запослен-а	ужа научна област и датум избора
		Председник
		функција у комисији
2.	Радонић Јелена	Редовни професор
	презиме и име	звање
	Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду	Инжењерство заштите животне средине, датум избора: 26.09.2019.
	установа у којој је запослен-а	ужа научна област и датум избора
		Члан
		функција у комисији
3.	Шолевић Кнудсен Татјана	Научни саветник
	презиме и име	звање
	Институт за хемију, технологију и металургију, Универзитет у Београду	Хемија животне средине, датум избора: 28.10.2020.
	установа у којој је запослен-а	ужа научна област и датум избора
		Члан
		функција у комисији
4.	Пап Саболч	Научни сарадник
	презиме и име	звање
	<i>Environmental Research Institute, UHI North, West and Hebrides, University of the Highlands and Islands</i>	Инжењерство заштите животне средине, датум избора: 01.10.2023.
	установа у којој је запослен-а	ужа научна област и датум избора
		Члан
		функција у комисији

5.	<b>Продановић Јелена</b>	<b>Ванредни професор</b>	<b>Биотехнологија, датум избора: 23.09.2025.</b>
	презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
	<b>Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду</b>		<b>Ментор</b>
	установа у којој је запослен-а		функција у комисији
6.	<b>Турк Секулић Маја</b>	<b>Редовни професор</b>	<b>Инжењерство заштите животне средине, датум избора: 27.02.2020.</b>
	презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
	<b>Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду</b>		<b>Ментор</b>
	установа у којој је запослен-а		функција у комисији

## II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме:

**Сања, Милко, Ћојбашић**

2. Датум рођења, општина, држава:

**25.05.1994., Нови Сад, Р. Србија**

3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив:

**Факултет техничких наука, Мастер академске студије Инжењерство заштите животне средине, Мастер инжењер заштите животне средине**

4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија:

**2018. година, Инжењерство заштите животне средине**

## III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

**Зелени хибридни системи за деконтаминацију отпадних токова базирани на принципима циркуларне економије**

## IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са знаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.

Докторска дисертација Сање Ћојбашић под називом „Зелени хибридни системи за деконтаминацију отпадних токова базирани на принципима циркуларне економије“ изложена је на 136 страна, садржи 5 поглавља и 76 потпоглавља у оквиру којих је приказана 51 слика и 43 табеле. Списак коришћене литературе састоји се из укупно 242 литературна навода.

Садржај докторске дисертације, по поглављима, је следећи:

1 УВОД

2 КОАГУЛАЦИЈА И ФЛОКУЛАЦИЈА

3 АДСОРПЦИЈА  
4 ИНТЕГРИСАНИ (КОМБИНОВАНИ И ХИБРИДНИ) СИСТЕМИ  
5 ЗАКЉУЧАК И ПРАВЦИ БУДУЋИХ ИСТРАЖИВАЊА

## **V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Докторска дисертација структурирана је у пет основних поглавља. Поред уводног и завршног дела, њен централни део чине три тематске целине, обрађене у оквиру три кључна поглавља: Поглавље 2 - Коагулација и флокулација, Поглавље 3 - Адсорпција и Поглавље 4 - Интегрисани (комбиновани и хибридни) системи.

Поглавље 2 обухвата три потпоглавља: Сушење распршивањем, Лиофилизација и Оцена животног циклуса производа. Поглавље 3 структурирано је кроз две целине - Фосфор и Арсен, док је Поглавље 4 конципирано као јединствена тематска целина. У оквиру сваког потпоглавља, као и Поглавља 4, у уводном делу приказане су теоријске основе релевантних феномена и дат је преглед актуелног стања у области, уз јасно истацање истраживачких недостатака и потребе за даљим истраживањима. Након уводног дела следи систематичан приказ методологије истраживања, који обухвата детаљан опис експерименталних поступака, као и коришћених материјала и опреме. У наставку су представљени и анализирани резултати истраживања, а свака тематска целина заокружена је кратким освртом на кључне резултате и смернице за будућа истраживања.

### **Поглавље 1 – Увод**

У првом поглављу дат је свеобухватан приказ научне проблематике истраживања, са посебним освртом на загађење водних ресурса и присуство полутаната у акватичним системима. Посебно је истакнут значај развоја технологија за третман отпадних вода које истовремено задовољавају еколошке и економске критеријуме, у складу са принципима циркуларне економије. Анализирано је присуство органских и неорганских загађујућих материја, са фокусом на арсен и фосфор као приоритетне полутанте, као и ограничења постојећих технологија пречишћавања.

У оквиру датог поглавља јасно су дефинисани научни изазови и оправданост спровођења истраживања у области интегрисаних (комбинованих и хибридних) система за третман отпадних вода. Приказан је преглед актуелних глобалних и локалних проблема, укључујући присуство циљних полутаната у подземним и површинским водама, утицаја присуства полутаната у отпадним водама и утицај на животну средину и јавно здравље.

Циљ истраживања прецизно је формулисан и усмерен на развој ефикасних коагулационих/флокулационих и адсорпционих медијума природног порекла, као и на њихову примену у интегрисаним системима за уклањање арсена и фосфора. Посебан акценат стављен је на постизање синергетских ефеката и рационално коришћење ресурса, чиме се доприноси развоју ефикаснијих и одрживијих решења за третман отпадних вода.

### **Поглавље 2 - Коагулација и флокулација**

Поглавље 2 се састоји из три главне целине, производње и евалуације биокоагуланата добијених сушењем распршивањем, производње и евалуације биокоагуланата добијених лиофилизацијом и оценом еко-дизајна одабраних биокоагуланата.

У првом делу Поглавља 2 анализирана је производња прашкастих биокоагуланата из семена пасуља применом сушења распршивањем, са циљем превазилажења проблема њихове ниске стабилности у течном стању. Испитан је утицај различитих метода екстракције (конвенционална чврсто/течна и ултразвучна), растварача (дестилована вода и раствор соли (0,5 M NaCl)) и додатка носача (50 и 100 % малтодекстрина и гуме арабике) на принос сушења. Испитане су и коагулационе перформансе (редукција мутноће и органске материје) одабраних биокоагуланата из зрна пасуља. Резултати су показали да сушење распршивањем омогућава ефикасну производњу биокоагуланата уз очувану коагулациону активност, при чему су идентификоване оптималне формулације, односно

производни путеви. У оквиру овог дела истраживања урађена је детаљна карактеризација добијених медијума, применом инструменталних метода анализе.

У другом делу Поглавља 2, испитана је стабилност и трајност прашкастих биокоагуланата добијених лиофилизацијом. Стабилност и трајност биокоагуланата је праћена за биокоагуланте чуване у контролисаним и неконтролисаним условима и то праћењем њихове хигроскопности, индекса растворљивости, садржаја воде, ефикасности редукције мутноће и органске материје. Резултатима је потврђено да добијени прашкасти (лиофилизоване) биокоагуланти из зрна пасуља задржавају високу ефикасност уклањања мутноће и повољне физичко-хемијске карактеристике током дужег периода складиштења. Анализирани узорци показали су ниску хигроскопност, низак садржај воде и високу растворљивост, уз добру репродуктивност резултата. Такође је потврђен њихов потенцијал за примену у реалним воденим матрицама, укључујући језерске и индустријске отпадне воде. И у овом делу истраживања, за одабрану формулацију биокоагуланта, урађена је комплетна инструментална карактеризација чиме је омогућена дубља компаративна анализа биокоагуланата добијених различитим техникама сушења.

Конечно, спроведена је свеобухватна компаративна анализа различитих поступака производње биокоагуланата применом анализе животног циклуса (*LCA*), економске анализе и евалуације перформанси у третману вода. Утврђено је да процеси засновани на сушењу распршивањем имају предност са аспекта еколошке и економске одрживости, док лиофилизација обезбеђује виши квалитет и ефикасност коагулације, али уз веће енергетске захтеве. На основу наведених резултата идентификоване су кључне могућности за оптимизацију и унапређење процеса у циљу њихове будуће примене у индустријским размерама.

### **Поглавље 3 – Адсорпција**

Поглавље 3 се састоји из две главне целине, испитивање адсорпције фосфора и адсорпције арсена из различитих типова акватичних система (модел вода, мултикомпонентних раствора, еутрифичних језерских вода, подземних вода и индустријских отпадних вода). Поглавље адсорпције обухвата детаљан приказ синтезе магнетног биоугља из отпадне лигноцелулозне биомасе (љуске сунцокрета). Описане су све фазе припреме: предтретман, активирање и модификација, са нагласком на магнетизацију као процес побољшања адсорпционих својстава. У оквиру дисертације, детаљно су анализирани физичко-хемијске карактеристике адсорбента (карактеристике површине, тачка нултог наелектрисања и др.). Структурна карактеризација одрађена је употребом напредних инструменталних метода - FESEM/EDX, BET, XRD, XPS, FTIR) док су кинетичка, равнотежна и термодинамичка студија примењене за евалуацију адсорпционих механизма. Способност уклањања фосфата и арсената, као и основни механизми проучавани су у шаржним експериментима при различитим рН вредностима, дозама биоугља, времену контакта, почетним концентрацијама полутаната, присуству коезистирајућих анјона и температуре. Додатно, у оквиру првог дела Поглавља 3, адсорпције фосфора, испитана је и десорпција са zasiћеног биоугља уз помоћ раствора натријум-хидроксида различитих моларности, при чему је испитан потенцијал примене новог биоугља у пољопривреди, као спороотпуштајућег ђубрива. Наглашени су сви аспекти рада који су допринели концепту циркуларне економије.

### **Поглавље 4 - Интегрисани (комбиновани и хибридни системи)**

У Поглављу 4 докторске дисертације разматрана је примена интегрисаних (комбинованих и хибридних) система за уклањање фосфора и арсена, полутаната који често коезистирају у природним и отпадним водама и међусобно утичу на ефикасност третмана. Теоријска анализа указала је на ограничења појединачних технологија, пре свега адсорпције и коагулације/флокулације, али и на њихов значајан потенцијал када се интегришу у циљу постизања синергијских ефеката. Посебан фокус стављен је на интеграцију коагулације/флокулације и адсорпције, при чему коагулација/флокулација доприноси редукцији мутноће и уклањању суспендованих материја, док адсорпција омогућава ефикасно уклањање растворених јона, чиме се унапређује укупна ефикасност процеса.

Експериментални део истраживања обухватио је примену еколошки прихватљивог биокоагуланта UVO и *low-cost* магнетног биоугља FeSUN у појединачним и интегрисаним системима (испитани су различити режими интеграције), на модел води, подземним, језерским и индустријским отпадним водама. Резултати су показали да сама коагулација има занемарљив ефекат на уклањање циљаних полутаната, док адсорпција постиже умерене ефикасности. Међутим, интегрисани системи, посебно хибридни системи са симултаним додавањем коагуланта и адсорбента, значајно су унапредили перформансе, достижући до 76,7 % уклањања фосфата и повећане адсорпционе капацитете. Учени резултати указују на изражен синергијски ефекат коагулације/флокулације и адсорпције. Такође је потврђена већа селективност система према фосфатима у односу на арсенате.

На основу добијених резултата, закључено је да интегрисани системи коагулација/флокулација-адсорпција представљају одрживо и ефикасно решење за третман вода, са додатним предностима у погледу једноставније операције (посебно код хибридних система), потенцијално смањених трошкова и усклађености са принципима циркуларне економије. Употреба природних и отпадних материјала за синтезу биокоагуланата и адсорбената додатно доприноси одрживости процеса. Ипак, наглашена је потреба за даљим истраживањима, посебно у правцу разјашњења механизма синергијског деловања, оптимизације процеса у континуалним системима и евалуације примене на пилот и индустријском нивоу, укључујући анализу трошкова и дугорочне стабилности система.

#### **Поглавље 5 - Закључак и правци будућих истраживања**

Закључна разматрања представљена су систематски и детаљно, указујући на научни и практични допринос развијених технологија. Истакнут је значај примене природних коагуланата и алтернативних адсорбената у интегрисаним хибридни системима, као и потенцијал њихове примене у оквиру принципа циркуларне економије. На основу евалуације резултата утврђени су и пажљиво дефинисани правци будућих истраживања.

На крају рада, налази се значајан број релевантних референци, односно, литературних навода, актуелних истраживања који су одговарали проблематици обрађеној у оквиру докторске дисертације и који су консултовани приликом њене израде.

*Комисија закључује да је докторска дисертација јасно, опсежно и детаљно конципирана. Садржани су и обрађени сви неопходни сегменти који јасно дефинишу проблематику и циљеве истраживања и пружају јаку теоријску потпору спроведеном опсежном истраживању. Резултати истраживања су врло детаљно, разумљиво и научно документовани и анализирани и изведена разматрања и закључци су логично дефинисани и документовани.*

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

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

Објављена су 3 рада директно из теме докторске дисертације (у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду*) на СЦИ листи категорије **M21a+** (Рад у водећем међународном часопису категорије M21a+), **M21a** (Рад у водећем међународном часопису категорије M21a) и **M22** (Рад у међународном часопису категорије M22) и још 2 рада у часописима са СЦИ листе, категорије **M21** и **M22**, а која су делимично у вези са темом докторске дисертације:

**M21a+:**

**Cojbasic (Radovic) S.**, Agarski, B., Vukelic, D., Turk Sekulic, M., Pap, S., Perovic, M., Prodanovic, J. (2025), Life cycle assessment of nature-based coagulant production : Light and dark sides of the freeze-drying process. Industrial Crops and Products, Vol. 226, No.120699, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.120699>

**M21a:**

**Cojbasic (Radovic) S.**, Turk Sekulic, M., Pap S., Taggart, M. A., Prodanovic, J. (2024), Nature-based solutions for wastewater treatment: Biodegradable freeze-dried powdered bio-flocculant. Journal of Water Process Engineering, Vol. 65, No.105863, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105863>

**M21:**

Pap S., Taggart M., Shearer L., Li Y, **Cojbasic (Radovic) S.**, Turk Sekulic M. (2021), Removal behaviour of NSAIDs from wastewater using a Pfunctionalised microporous carbon, Chemosphere, Vol. 264, No.128439, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128439>

**Cojbasic (Radovic) S.**, Pap S., Niemi L., Prodanovic J., Turk Sekulic M. (2023), – A review on sustainable technologies for pharmaceutical elimination in wastewaters – A ubiquitous problem of modern society, Journal of Molecular Liquids, Vol.383, ISSN 0167-7322

**M22:**

**Cojbasic (Radovic) S.**, Turk Sekulic, M., Agarski, B., Pap, S., Vukelic, D., Budak, I., Prodanović, J. (2022), Life cycle assessment of new bio – based coagulant production for sustainable astewater treatment, International Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 20, ISSN 1735-1472

**Cojbasic (Radovic) S.**, Dmitrasinovic S., Kostic M., Turk Sekulic M., Radonic J., Dodig A., Stojkovic M. (2023), Application of machine learning in river water quality management: a review, Water Science and Technology, Vol.88 ISSN 0273-1223

Објављено је укупно 32 рада на научним и стручним националним и међународним скуповима и конференцијама, од којих је 20 радова у потпуности или делом у вези са темом докторске дисертације. Категорије и називи објављених радова су следећи:

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (**M33**):

**Cojbasic (Radovic) S.**, Pap S., Turk Sekulic M. (2022) – Machine learning as a support tool in wastewater treatment systems – a short review, 11. International symposium on graphic engineering and design, Novi Sad, pp.799-807, ISBN 978-86-6022-533-9

**Ćoibašić (Radović) S.**, Pap S., Prodanović J., Bremner B., Turk Sekulić M. (2021), Challenges in removal of emerging contaminants from the wastewater through hybrid treatment system: An eco-friendly approach, International Minisymposium „Socratic lectures“, Ljubljana, pp.98-106. ISBN 978-961-7112-02-3.

Paunovic O., Pap S., **Cojbasic (Radovic) S.**, Turk Sekulic M. (2019), Characterisation of microporous biochar synthesised from lignocellulosic waste biomass, 21. Danube-Kris-Mures-Tisa (DKMT) Euroregion Conference on Environment and Health, Novi Sad: University of Novi Sad, Faculty of Technology Novi Sad, pp.114-119. ISBN 978-86-6253-107- 0

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34):

**Cojbasic (Radovic) S.**, Turk Sekulic M., Prodanovic J. (2023), An overview of drying technologies for the production and preservation of natural coagulants, The 3rd International “World Water Day” Online Conference, Heidelberg, pp.20-20, ISBN 978-3-9822521-4-8

**Cojbasic (Radovic) S.**, Turk Sekulic M., Pap S., Brboric M., Prodanovic J. (2022) – Stability and durability of powdered natural coagulant (*Phaseolus Vulgaris*) – A step towards product commercialization, 9.International Conference WATER FOR ALL, Osijek: Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Food technology Osijek, pp.80-80, ISBN 978-953-7005-8

**Cojbasic (Radovic) S.**, Pap S., Ilic D., Turk Sekulic M. (2023), From waste to riches: Microscale phenomena enabling phosphorus recovery from wastewaters, 1.European GREEN Conference, Vodice: International Association of Environmental Scientists and Professionals (IAESP), Osijek, Croatia, pp. 360-360, ISBN 2991-5171

Brborić M., Dmitrašinić S., **Ćojbašić (Radović) S.**, Turk Sekulić M., Radonić (Jakšić) J. (2023), Selection of significant parameters for river water quality monitoring by multivariate analysis, European Meeting on Environmental Chemistry, Budva, pp. 59-60. ISBN 978-9940-9059-2-7.

Ilic D., **Cojbasic (Radovic) S.**, Pap S., Turk Sekulic M. (2022), Inorganic arsenic removal challenges by utilization of low-cost adsorbents and coagulants as combination of these technologies, 3rd Democratia-Aqua-Technica conference, Heidelberg, ISBN 978-3-9822521-4-8

**Cojbasic (Radovic) S.**, Turk Sekulic M. (2022), Overcoming the shortcomings of traditional computer-based techniques by application of machine learning models, 3rd Democratia-Aqua-Technica conference, Heidelberg, pp. 39-39, ISBN 978-3-9822521-4-8

**Cojbasic (Radovic) S.**, Turk Sekulic M., Pap S., Prodanovic J. (2022), Lyophilisation, an effective drying technology for the production of biocoagulant with prolonged coagulation activity, 2.Environmental Chemistry towards Global Change – Chem2Change, Ljubljana, pp. 50-50, ISBN 978-80-7560-406-4

**Cojbasic (Radovic) S.**, Turk Sekulic M., Pap S., Agarski B., Vukelic Đ., Radonic (Jaksic) J., Dmitrasinovic S., Prodanovic J. (2022), Life cycle assessment of nature-based solution for wastewater treatment, 22. European Meeting on Environmental Chemistry (EMEC22), Ljubljana, pp.111-111, ISBN 978-961-297-034-5

**Cojbasic (Radovic) S.**, Pap S., Prodanovic J., Turk Sekulic M. (2021), Contribution to water resource recovery facilities: Influence of magnetic functionalisation on green single and hybrid systems, 21.European Meeting on Environmental Chemistry, Novi Sad: Serbian Chemical Society, ISBN 978-86-7132-078-8

**Cojbasic (Radovic) S.**, Pap S., Prodanovic J., Turk Sekulic M. (2021), Support of sustainable development – ecologically and economically beneficial technologies for the removal of emerging micropollutants from wastewater effluents, 2nd Democratia-Aqua-Technica conference, Heidelberg

**Cojbasic (Radovic) S.**, Turk-Sekulic M., Pap S., Bremner B., Prodanovic J. (2020), Steps towards green technology: Utilisation of natural 'low-cost' coagulant in wastewater treatment, 1st Democratia-Aqua-Technica conference, Novi Sad, Serbia, pp. 41, ISBN 978-3-9822521-1-7

Turk Sekulic M., Paunovic O., Pap S., **Cojbasic (Radovic) S.** (2019), Functionalisation of biochar derived from lignocellulosic biomass using microwave technology for application in wastewater treatment, 7. International Conference on Radiation in Various Fields of Research (RAD), Herceg Novi: RAD Centre, Niš, Serbia, pp. 99-99, ISBN 978-86-901150- 0-6

Рад у националном часопису категорије M53:

Dakic B., **Cojbasic (Radovic) S.**, Turk Sekulic M. (2022), Technological operations for arsenic separation from drinking water, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka ISSN 0350- 428X, No 8/2022, pp. 1333-1336

Blanusa D., **Cojbasic (Radovic) S.**, Turk Sekulic M., (2023), Significance of biochar in sustainable development: water treatment, soil remediation, energy storage and carbon sequestration, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Vol.5, No.5/2023, pp.703-706, ISSN 0350-428X

Popara D., **Cojbasic (Radovic) S.**, Turk Sekulic M., (2023), Remediation of wastewater loaded with phosphorus using functionalised active carbon, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, No. 10/2023, pp.1430-1433, ISSN 0350-428X

**Cojbasic (Radovic) S.**, Paunovic O., Pap S., Turk Sekulic M. (2019), Microwave-assisted engineering: Synthesis of new medium for emerging pollutants separation, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka ISSN 0350- 428X, Vol. 34, No 5, pp. 935-938

Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу (M64):

**Cojbasic (Radovic) S.**, Pap S., Prodanovic J., Radonic (Jaksic) J., Dmitrasinovic S., Turk Sekulic M. (2023), Unlocking the Remediation Potential of WasteDerived Biochar: Arsenic Shuttle between Groundwater and Environmentally Friendly Medium, 9. Simpozijum „Hemija i zaštita životne sredine – EnviroChem”, Kladovo, pp. 123-123, ISBN 978-86-7132-082-5

## VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

Истраживања спроведена у оквиру дисертације потврђују да биљна биомаса, конкретно зрна пасуља (*Phaseolus vulgaris*) и отпадна лигноцелулозна биомаса, љуске сунцокрета, представљају перспективне сировине за добијање функционалних материјала са израженим коагулационим/флокулационим и адсорпционим својствима. На овај начин доказана је могућност њихове успешне валоризације у складу са принципима циркуларне економије и одрживог управљања ресурсима.

У оквиру првог сегмента истраживања развијена је методологија трансформације течног биокоагуланта у стабилну прашкасту форму, чиме је превазиђен један од кључних недостатака природних коагуланата - њихова ограничена стабилност. Добијени резултати указују на високу коагулациону ефикасност, задовољавајуће физичко-хемијске карактеристике и стабилност током складиштења, што указује на могућност практичне примене и комерцијализације поменутих материјала.

Основни резултати у оквиру дела Сушење распршивањем, указали су на то да је поменута техника сушења ефикасна у производњи прашкастих биокоагуланата из зрна пасуља, уз очување њихове функционалности (редукције мутноће). Највећи принос сушења остварен је током производње UV2 биокоагуланта (69,3 %) добијеног ултразвучном екстракцијом, водом као екстрагентом и уз додатак 100% малтодекстрина, као носача приликом сушења. Резултати су показали да на ефикасност процеса сушења, поред типа и количине носача, значајно утичу и услови екстракције. Гума арабика се издвојила као погоднији носач са екстракте добијене класичном екстракцијом док је

малтодекстрин био ефикаснији код сушења екстраката добијених ултразвучном екстракцијом, а све уз помоћ воде као екстрагенса. Са друге стране, носачи нису имали значајан утицај приликом сушења екстраката добијених екстракцијом са раствором соли.

Главни закључци из дела Лиофилизација потврђују да биокоагуланти добијени из зрна пасуља сорте Градиштанац имају значајан комерцијални потенцијал, уз очување високих коагулационих активности (до 80,2 %), ниског садржаја влаге и високе растворљивости током вишемесечног складиштења, чак и без посебних услова чувања. Међу испитиваним узорцима, UVO биокоагулант се издвојио као најефикаснији и најконзистентнији, са стабилном оптималном дозом, што га чини посебно погодним за примену у реалним условима. Додатно, потврђена је његова ефикасност у третману индустријских ефлуената, где је остварена редукција ХПК од приближно 40-50 %. Ипак, за потпуну комерцијализацију неопходно је спровести даља истраживања, пре свега у правцу скалирања производње, што се у оквиру тезе наводи као један од важних будућих праваца истраживања.

Спроведена анализа животног циклуса (LCA) указала је на повољан еколошки профил развијених биокоагуланата, уз идентификацију енергетске захтевности процеса сушења као кључног ограничења. Изведени резултати представљају значајну основу за даљу оптимизацију производног процеса, посебно у правцу примене енергетски ефикаснијих технологија и обновљивих извора енергије. Резултати истраживања указују да не постоји јединствено оптимално решење за производњу биокоагуланата, већ избор зависи од приоритета између еколошких, економских и перформансних аспеката. Сушење распршивањем се издвојило као енергетски и еколошки повољнија технологија у односу на лиофилизацију, док је биокоагулант добијен лиофилизацијом (UVO) показао највишу ефикасност у редукцији мутноће. Истраживање даје значајан допринос кроз упоредну економску анализу процеса производње и LCA приступ. Такође, указано је на потенцијал интеграције ових биокоагуланата у савремене технологије третмана вода.

У другом делу истраживања успешно је синтетисан и карактерисан магнетни биоугаљ (FeSUN), добијен из љуски сунцокрета, који показује високу ефикасност при уклањању фосфата и арсената из водених матрикса. Експериментални резултати указују на висок адсорпциони капацитет, повољну кинетику и термодинамику процеса, као и на значајну селективност у присуству конкурентних јона. Посебан значај имају степен регенерације адсорбента (преко 96 %) и његова потенцијална даља примена као спороотпуштајућег ђубрива, чиме се значајно доприноси принципима одрживости. Испитивања у реалним воденим матриксима (отпадним индустријским водама, језерској и подземној води) потврдила су стабилност и ефикасност развијеног адсорбента у високо хетерогеним, мултикомпонентним системима, што указује на висок потенцијал његове примене у пракси.

Конкретно, резултати истраживања у домену уклањања фосфата, показују да је добијени магнетни биоугаљ постигао адсорпциони капацитет од 8,9 mg/g, док је значајно виши капацитет имао при адсорпцији арсената (18,35 mg/g) при собној температури (20 °C). Међутим, након експеримената спроведених у мултикомпонентним системима, доказана је већа селективност добијеног биоугља за фосфор, него за арсен. Самим тим, процес адсорпције фосфата није био ометан додатком конкурентних анјона (арсената), док је у обрнутом случају дошло до појаве инхибиторног ефекта. Утврђена оптимална рН вредност за адсорпцију обе врсте полутаната, била је 6, док је доза коришћеног биоугља у експериментима адсорпције фосфора била 4 g/l а у експериментима адсорпције арсена 2 g/l. Резултати рН<sub>pzc</sub> анализе и инструменталне карактеризације, указали су на то да електростатичке интеракције нису доминантан механизам уклањања фосфата и арсената, већ да се адсорпција одвија првенствено формирањем унутрашњих комплекса путем механизма размене лиганата са површинским Fe-OH групама, уз делимично попуњавање мезопора, што је потврђено ВЕТ анализом.

Посебан научни допринос дисертације огледа се у развоју интегрисаног (комбинованог и хибридног) система који комбинује процесе коагулације/флокулације и адсорпције. Доказано је да интеграција ових процеса може да доведе до синергетског ефекта и значајног повећања ефикасности уклањања загађујућих материја, што представља значајан корак ка развоју

иновативних и економски прихватљивих решења за третман вода. На основу експерименталних истраживања показано је да су бенефити интеграције најповољнији у оквиру хибридног система (где се коагулација/флокулација и адсорпција одигравају истовремено у истом стакленом суду) и то за уклањање фосфата из реалних отпадних вода (ефлуенти из система дугог морског испуста у Шкотској). Хибридни систем је постигао високо уклањање фосфата (до 76,7 %) уз истовремену ефикасну редукују мутноће (68,7 %). Поред наглашених перформанси, хибридни систем се показао као повољно технолошко решење у погледу једноставности процеса, потребе за мањим просторним, временским а самим тим и економским захтевима. Систем је додатно у сагласности са принципима циркуларне економије кроз употребу одрживих материјала, уз знатно бољу селективност фосфора у односу на арсен.

У целини посматрано, резултати дисертације представљају оригиналан научни допринос у области. Инжењерства заштите животне средине фокусираних на зелене технологије за деконтаминацију отпадних токова, са јасним потенцијалом за даљи развој и примену у индустријским и комуналним системима. Дисертација је методолошки добро постављена, експериментално утемељена и у потпуности одговара савременим истраживачким трендовима у области зелених технологија и одрживог развоја.

#### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Детаљним увидом у елаборат докторске дисертације, Комисија закључује да су резултати истраживања добијени лабораторијским експериментима детаљно и прецизно документовани, графички и табеларно приказани, софтверски анализирани и тумачени. Анализа резултата је логично постављена и усмерена на извођење релевантних закључака, уз јасно поређење са постојећим методама и резултатима из литературе. Дати су и предлози за даља истраживања, као и могућности скалирања и оптимизације примењених процеса и техника кориштених у оквиру докторске дисертације. У целини, приказ и тумачење репрезентативних резултата су јасни, добро структурирани и у складу са дефинисаним циљевима и задацима истраживања у оквиру докторске дисертације.

**У складу са свиме претходно наведеним, Комисија даје позитивну оцену на начин приказивања и тумачења резултата истраживања.**

#### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE 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. Навести нумеричке податке о резултатима провере оригиналности рада и дати текстуално образложење.

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

**Да, дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.**

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

**Да, дисертација садржи све битне и неопходне елементе својствене докторској дисертацији из области техничко-технолошких наука. Сви елементи дисертације су јасно дефинисани и документовани, резултати професионално и детаљно дискутовани и у складу са захтевима и методом научног рада.**

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Изложена докторска дисертација, кандидаткиње Сање Тојбашић је оригиналан допринос науци са следећих аспеката:

- **Иновације у испитивању, стабилизацији и могућности комерцијализације биокоагуланата** – У наведеном домену по први пут је примењена методологија конверзије течног биокоагуланта из зрна пасуља у прашкасту форму, погодну за комерцијалну употребу, детаљо су упоређене две технике сушења и приоритизавани начини производње прашкастог биокоагуланта из зрна пасуља;
- **Оцене животног циклуса производње биокоагуланта из зрна пасуља** – По први пут је урађена детаљна евалуација различитих начина производње биокоагуланта из зрна пасуља, са аспекта утицаја на животну средину, као и детаљна економска анализа биокоагуланта добијеног лиофилизацијом, што представља новитет у овом пољу;
- **Развоја новог *low-cost* адсорбента** – Утврђивање новог процеса производње магнетног биоугља из отпадне лигноцелулозне биомасе, љуски сунцокрета, са функционализацијом гвожђем, која омогућава ефикасно уклањање фосфата и арсената из различитих типова вода/отпадних вода;
- **Изведена је детаљна карактеризација нових сепарационих медијума** - Спроведена је свеобухватна физичко-хемијска и структурна анализа добијених сепарационих медијума, коришћењем различитих, најсавременијих инструменталних метода карактеризације, при чему су добијене нове информације о карактеристикама алтернативних материјала и њихове потенцијалне примене у третману отпадних вода;
- **Развоја „зеленог“ интегрисаног система коагулације/флокулације и адсорпције** - По први пут је развијен и експериментално испитан интегрисани систем коагулација/флокулација - адсорпција заснован на примени *eco-friendly* биокоагуланта и *low-cost* адсорбента природног порекла за уклањање неорганских полутаната из акватичних система. Дисертација пружа експериментални доказ позитивног синергијског ефекта комбинације алтернативног *eco-friendly* биокоагуланта из зрна пасуља и *low-cost* магнетног адсорбента из љуски сунцокрета у оквиру комбинованих и хибридних система за деконтаминацију течних отпадних токова;
- **Примена нових сепарационих медијума у реалним системима, кроз поштовање основних премиса циркуларне економије** - Истраживање показује могућност практичне примене новог биокоагуланта и биоугља за деконтаминацију различитих типова акватичних система, уз вредновање отпадне биомасе и потенцијалну рекулперацију фосфора;
- **Отварања нових праваца за истраживање** - Дисертација дефинише пут за будућа истраживања у домену оптимизације хибридних система, примени *low-cost* магнетног биоугља као спороотпуштајућег ђубрива и развоју стандарда за *eco-friendly* материјале у третману вода/отпадних вода.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

Дисертација нема недостатака који би утицали на резултате истраживања

5. Образложење rezultata провере оригиналности рада (нумерички и наративно):
Провером оригиналности докторске дисертације применом софтверског алата iThenticate утврђен је укупан проценат преклапања од 6%. Процент преклапања са сваким наведеним извором је мањи од 1%. Уочена подударња доминантно се односе на уобичајене стручне и методолошке формулације и терминолошке одреднице, те Комисија констатује да је кандидат адекватно цитирао коришћену литературу и да оригиналност добијених научних резултата, методолошког приступа и закључака кандидата није упитна.
<b>X ПРЕДЛОГ:</b>
На основу наведеног, комисија предлаже:
<b>а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана;</b> б) да се докторска дисертација врати кандидату на дораду (да се допуни односно измени); в) да се докторска дисертација одбије.

Место и датум:  
Нови Сад, 14.04.2026.

1. Др Драган Адамовић, редовни професор,

\_\_\_\_\_, председник

2. Др Јелена Радонић, редовни професор,

\_\_\_\_\_, члан

3. Др Татјана Шолевић Кнудсен, научни саветник,

\_\_\_\_\_, члан

4. Др Саболч Пап, научни сарадник,

\_\_\_\_\_, члан

5. Др Јелена Продановић, ванредни професор,

\_\_\_\_\_, ментор

5. Др Маја Турк Секулић, редовни професор,

\_\_\_\_\_, ментор

**НАПОМЕНА:** Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.