

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Верице М. Љубић

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду (ТМФ) бр. 2026 - 35/110 од 09. априла 2026. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње Верице М. Љубић, под насловом:

„Егзополисахариди из бактеријских сојева *Lactobacillus reuteri* В2 и *Klebsiella oxytoca* Ј7: изоловање, карактеризација и примена за уклањање тешких метала из воде“

После прегледа достављене дисертације са пратећим материјалом и разговора са Кандидаткињом, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Школске 2019/20. год. – Кандидаткиња Верица М. Љубић, уписала је докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Хемијско инжењерство.

22. новембра 2022. год. - Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду бр. 35/273 од 22. новембра 2026. године именована је Комисија за оцену подобности теме и кандидаткиње Верице М. Љубић, за израду дисертације под називом „Добијање, карактеризација и примена егзополисахарида изолованих из бактеријских сојева *Lactobacillus reuteri* В2 и *Klebsiella oxytoca* Ј7“.

29. децембра 2022. год. - Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду бр. 35/340 од 29. децембра 2022. године прихваћен је Реферат комисије за оцену подобности теме и кандидаткиње Верице М. Љубић за израду докторске дисертације под називом „Егзополисахариди из бактеријских сојева *Lactobacillus reuteri* В2 и *Klebsiella oxytoca* Ј7: изоловање, карактеризација и примена за уклањање тешких метала из воде“. За менторе ове докторске дисертације именоване су др Катарина Тривунац, доцент Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду и др Мина Поповић, научни сарадник Института за хемију, технологију и металургију – Института од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду (ИХТМ).

23. јануара 2023. год. - Одлуком Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду бр. 61206-170/2-23 од 23. јануара 2023. године дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Верице М. Љубић под називом „Егзополисахариди из бактеријских сојева *Lactobacillus reuteri* В2 и *Klebsiella oxytoca* Ј7: изоловање, карактеризација и примена за уклањање тешких метала из воде“.

2. октобра 2023. год. – Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду бр. 20/163 од 2.октобра 2023. године одобрено је мировање за школску 2023/2024. годину на докторским студијама, због неге детета до годину дана.

17. фебруара 2025. год. - Одлуком Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду бр. 61206/2-25 од 17. фебруара 2023. године промењен је други ментор, уместо др Мине Поповић, је именован др Слободан Цветковић, виши научни сарадник Института за хемију, технологију и металургију – Института од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду.

9. априла 2026. год. – Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду бр. 2026-35/110 од 9. априла 2026. године именована је Комисија за оцену докторске дисертације Верице М. Љубић, под називом „Егзополисахариди из бактеријских сојева *Lactobacillus reuteri* В2 и *Klebsiella oxytoca* Ј7: изоловање, карактеризација и примена за уклањање тешких метала из воде“.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство и ужој научној области Хемијско инжењерство за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментори, проф. др Катарина Тривунац, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Слободан Цветковић, виши научни сарадник Института за хемију, технологију и металургију – Института од националног значаја за Републику Србију, су на основу досадашњег научно-истраживачког рада, објављених публикација и искуства компетентни да руководе израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Верица Љубић је рођена 9. фебруара 1983. године у Београду. Основну школу завршила је у Београду, а затим и средњу Медицинску школу у Београду, на смеру Фармацеутски техничар. Дипломирала је на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду 2011. године, на студијском програму Биохемијско инжењерство и биотехнологију. На Пољопривредном факултету Универзитета у Београду, студијски програм Прехрамбена технологија, одбранила је завршни мастер рад 2014. године. Октобра 2019. године уписала је докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Хемијско инжењерство. Положила је све испите предвиђене планом и програмом докторских академских студија. Истраживања везана за дисертацију реализована су у Институту за вирусологију, вакцине и серуме „Торлак“ у Београду и на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду.

Радно искуство прехрамбеног технолога стекла је у периоду 2014-2017. године, у прехрамбеној индустрији. Од марта 2019. године запослена је у ИХТМ као лабораторијски аналитичар акредитоване лабораторије за испитивање предмета опште употребе. У периоду 2019-2021. године, активно је учествовала у лабораторијским анализама, изради документације и акредитацијама лабораторије. У јулу 2020. године изабрана је у звање истраживач-приправник. Од 2021. године у оквиру Центра за екологију и техноэкономику, ИХТМ, ради на истраживањима у области биосорпције загађујућих материја из воде применом различитих биолошких материјала. У истој области, радила је истраживања за своју докторску дисертацију, са фокусом на добијању и карактеризацији нових биоматеријала на бази бактеријских егзополисахарида и испитивању могућности њихове примене за биосорпцију загађујућих материја (тешких метала) из воде. У мају 2023. године изабрана је у звање истраживач сарадник. Верица М. Љубић је аутор три публикована рада у научним часописима међународног значаја и једног рада у часописима националног значаја. Аутор је два саопштења на конференцијама међународног значаја штампаних у целини, три саопштења на међународним скуповима штампаних у изводу и једног саопштења на скупу националног значаја штампаног у целини. Из области истраживања којој припада тема докторске дисертације до сада је објавила два рада у водећим међународним часописима категорије М21.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Верице Љубић, под називом „Егзополисахариди из бактеријских сојева *Lactobacillus reuteri* В2 и *Klebsiella oxytoca* Ј7: изоловање, карактеризација и примена за уклањање тешких метала из воде“ обухвата добијање и карактеризацију егзополисахарида из два јединствена бактеријска соја изолована из истог извора, пробиотског соја *Lactobacillus reuteri* В2 и патогеног соја (*Klebsiella oxytoca* Ј7), и испитивање адсорпционих способности ових нових биоматеријала у погледу уклањања тешких метала из водених раствора. Дисертација је написана на

148 страна од којих је 140 нумерисано. У оквиру Дисертације се налазе 54 слике, 12 табела и 247 литературних навода. Докторска дисертација садржи следећа поглавља: Сажетак (на српском и енглеском језику), Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература. Кандидаткиња је уз текст дисертације приложила Биографију и три изјаве (Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада, као и Изјаву о коришћењу) прописане правилима Универзитета о подношењу докторских дисертација на одобравање. По својој форми и садржају, текст докторске дисертације задовољава све стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу Увод дефинисани су предмет и циљ докторске дисертације, са посебним освртом на бактеријске егзополисахариде, као актуелну и значајну тему савремених научних истраживања. Приказан је значај егзополисахарида, као нетоксичних и безбедних биоматеријала, са извесним биолошким својствима и адсорптивним способностима. Такође, истакнуто је да се добијају из обновљивих извора, на технолошки приступачан и релативно економичан начин, без потребе за хемијским модификацијама. Наглашено је да посебну пажњу научне јавности последњих година привлаче егзополисахариди пробиотских бактерија, због својих биолошких и функционалних својства. Због тога је за истраживања у оквиру ове дисертације одабрано да се испита могућност изоловања егзополисахарида из пробиотског соја и поређења ради, из патогеног бактеријског соја. У поглављу је дат преглед тока израде дисертације, од почетне идеје, преко добијања нових врста адсорбената на бази егзополисахарида и свеобухватне карактеризације, до испитивања могућности њихове примене у лиофилизованом, немодификованом облику, као еколошки прихватљивих и економичних материјала за процесе адсорпције тешких метала из водених раствора.

У теоријском делу дисертације представљена су досадашња сазнања о егзополисахаридима. Дефинисан је појам егзополисахарида, њихово порекло, микроорганизми који их синтетишу, као и хемијски састав и структурне карактеристике егзополисахарида. Приказана је класификација бактеријских полисахарида, у оквиру које је јасно дефинисано место и значај егзополисахарида и њихова даља подела према саставу, структури и хомогености. Описани су механизми биосинтезе егзополисахарида код бактерија, уз приказ опште шеме синтетичких путева и ензима неопходних за синтезу. Разматрани су поступци изолације и пречишћавања егзополисахарида и приказана уопштена шема изолације егзополисахарида. Наведене су методе карактеризације и врсте информација (структура, микроструктура, састав, молекулска маса, функционалне групе, кристалинност и термостабилност егзополисахарида), које се применом појединих аналитичких техника могу добити. У теоријском делу анализиран је функционални и биолошки значај егзополисахарида, са посебним освртом на могућност примене егзополисахарида пробиотских бактерија у медицини, биотехнологији, фармацеутској и прехранбеној индустрији. Приказане су и комерцијалне примене појединих егзополисахарида, из пробиотских и патогених бактеријских сојева, уз навођење комерцијално најзначајнијих представника у индустријској пракси. Значајан сегмент теоријског дела посвећен је примени егзополисахарида као биосорбената у процесима уклањања тешких метала из водених система. Размотрене су предности и ограничења ове примене, као и индустријски аспекти њихове употребе. Представљени су литературно доступни резултати остварени применом адсорбената на бази егзополисахарида, без модификација, у уклањању јона метала из воде. Детаљно су описани механизми адсорпције тешких метала на егзополисахариде, а посебно је издвојен никл као тешки метал. Анализирани су биолошки и еколошки значај никла, његово порекло у животном окружењу, утицај на живе организме, као и примена никла у индустрији и биолошким истраживањима.

У Експерименталном делу дисертације шематски је приказан план истраживања, који обухвата детаљан опис свих фаза рада укључујући умножавање два бактеријска соја, екстракцију егзополисахарида из одабраних бактеријских сојева, поступак пречишћавања егзополисахарида, њихову карактеризацију применом инструменталних метода и биолошких тестова, испитивање могућности примене у биосорпционим процесима. У експерименталном делу рада систематично су наведени употребљени реагенси, експериментални услови и методолошки приступи примењени у поступцима култивације бактерија, изолације и пречишћавања егзополисахарида, и испитивања физичко-хемијских особина егзополисахарида. Такође су описани експериментални услови и методе примењене за процену цитотоксичних и антиоксидативних својстава испитиваних егзополисахарида. Детаљно су описани експерименти адсорпције и испитивање утицаја кључних параметара (маса

егзополисахарида, почетна концентрација јона Ni^{2+} , температура, време контакта, радна рН вредност) на процес уклањања јона Ni^{2+} , из водених раствора у шаржном систему.

Поглавље Резултати и дискусија обухвата систематски приказ и интерпретацију експерименталних података добијених током реализације истраживања, чији је циљ био потврда почетне хипотезе о могућности изолације, структурне карактеризације и функционалне примене нових бактеријских егзополисахарида у уклањању јона тешких метала (никла) из водених система. Добијени резултати приказани су по фазама истраживања и интерпретирани кроз међусобну корелацију, као и компаративну анализу са доступним литературним подацима. У првом делу поглавља су приказани и анализирани резултати који се односе на ефикасност изоловања и приноса егзополисахарида, уз поређење са вредностима наведеним у литератури и разматрање могућности оптимизације процеса у наставку истраживања. Након тога следи детаљна морфолошка и структурна карактеризација изолованих биоматеријала применом комплементарних инструменталних техника (скенирајућа електронска микроскопија (SEM), инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом (FTIR), нуклеарна магнетна резонанца (NMR), масена спектроскопија базирана на мерењу брзине кретања честица добијених ласерском десорпцијом/јонизацијом потпомогнутом матриксом (MALDI-TOF MS), рендгенска дифракција праха (XRD) и термогравиметрија (TGA)), чији су резултати интегрисано интерпретирани у циљу дефинисања хемијског састава и структурне организације полисахаридних ланаца. SEM анализа омогућила је увид у морфолошке карактеристике и површинску структуру изолованих биоматеријала, при чему су утврђене јасне разлике између егзополисахарида изолованих из два бактеријска соја. На основу ових резултата постављене су почетне претпоставке о могућем саставу и степену уређености добијених материјала. FTIR спектроскопијом су идентификоване карактеристичне функционалне групе и потврђене разлике у хемијском саставу. Детаљнији увид у структуру добијен је анализом NMR спектра, на основу којих су уочене разлике у броју и типу моносахаридних јединица у понављајућим блоковима и претпостављен моносахаридни састав оба егзополисахарида. Резултати MALDI-TOF анализе додатно су подржали претпостављени састав и идентификацију карактеристичних маса олигосахаридних фрагмената. У наставку поглавља приказани су резултати евалуације биолошких карактеристика егзополисахарида, укључујући цитотоксичност на ћелијској линији HT-29 (MTT тест) и антиоксидативну активност (ABTS тест), чиме је процењена њихова биолошка безбедност и потенцијална функционална својства. Други део поглавља посвећен је биосорпционој студији уклањања јона Ni^{2+} из водених раствора применом изолованих егзополисахарида, у шаржном систему. Испитан је утицај кључних процесних параметара, укључујући рН вредност раствора, почетну концентрацију јона никла, дозу егзополисахарида, време контакта и температуру. Добијени експериментални резултати анализирани су применом кинетичких модела и адсорпционих изотерми, док су термодинамички параметри коришћени за интерпретацију природе и спонтаности процеса адсорпције. Механизам адсорпције разматран је у светлу резултата структурне карактеризације и идентификованих функционалних група, чиме је успостављена веза између структуре материјала и његове функционалне ефикасности. Добијени резултати упоређени су са литературним подацима за сличне биосорбенте, што је омогућило процену ефикасности и конкурентности испитиваних биоматеријала. На основу спроведених анализа дефинисани су оптимални услови адсорпционог процеса, при чему је утврђено да испитивани егзополисахариди у немодификованом облику представљају ефикасне биосорбенте за уклањање јона никла из водених раствора. Анализа кинетике, адсорпционих изотерми и термодинамичких параметара омогућила је боље разумевање природе процеса адсорпције и доминантних механизма везивања јона метала. Ово поглавље је омогућило процену степена остварености постављених циљева истраживања, као и научног значаја и потенцијалне примењивости добијених резултата, уз предлог праваца даљих истраживања и могућности практичне примене добијених материјала.

У поглављу Закључак обједињени су и систематично представљени сви добијени резултати истраживања, са освртом на њихов научни допринос и потенцијалну практичну примену. Поред тога, наведени су предлози за наставак истраживања који су произишли из добијених резултата.

Поглавље Литература садржи преглед литературних навода који су од значаја за истраживања у оквиру ове докторске дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Истраживања приказана у докторској дисертацији Верице М. Љубић су оригинална и у потпуности усклађена са савременим истраживањима и потребама. Загађење водених ресурса представља једно од кључних еколошких питања савременог друштва. Присуство јона тешких метала у воденим системима има озбиљне последице по животну средину и здравље људи и животиња. Континуирано опадање квалитета воде услед људских активности намеће потребу за развојем ефикасних, поузданих и еколошки прихватљивих метода за уклањање тешких метала из воде. Адсорпција се међу доступним техникама пречишћавања издваја као једноставна и ефикасна метода, а посебна пажња у савременим истраживањима усмерена је на биосорпцију – адсорпцију уз примену природних материјала као адсорбената, који услед добре порозности, велике специфичне површине и присуства различитих функционалних група омогућавају ефикасно уклањање јона тешких метала и у технолошком смислу су одрживи. Значајан потенцијал у биосорпционим студијама показују егзополисахариди, претежно бактеријски, а посебно егзополисахариди добијени из пробиотских бактеријских сојева, због чега се последњих година они интензивно разматрају као алтернатива конвенционалним адсорпционим материјалима. Њихова способност везивања јона метала, уз истовремено микробно порекло, економичност и еколошку прихватљивост, чини их погодним кандидатима за примену у третману отпадних вода. Њихова примена не представља ризик по здравље људи и животиња, чиме се обезбеђује безбедност процеса добијања и процеса адсорпције. Економској оправданости њихове примене доприноси и чињеница да се могу се добити из отпада и доступних обновљивих извора, на спонтан начин, и да за њихову синтезу нису неопходни скупи хемијски регенси. Будући да су биоразградиви, обновљиви и биокompatibilни, употреба оваквих материјала у складу је са принципима одрживог развоја.

Истраживања спроведена у оквиру ове тезе била су усмерена на два нова егзополисахаридна, егзополисахаридна пробиотске бактерије *Lactobacillus reuteri* В2 и егзополисахаридна патогеног бактеријског соја *Klebsiella oxytoca* Ј7, који су по први пут изоловани и окарактерисани у истраживањима приказаним у овој тези. Истраживање је обухватило и испитивање могућности њихове примене у биосорпционим процесима, за уклањање тешких метала из водених раствора, са акцентом на јоне никла, који су у литератури ретко разматрани у контексту биосорпционих процеса са егзополисахаридима. Такође, испитана су и одређена биолошка својства ових егзополисахаридна чиме је дат основ за будуће разматрање могућности проширења спектра њихове примене. Научни допринос ове дисертације огледа се у синтези и испитивању нових биосорбената на бази бактеријских егзополисахаридна са израженим адсорпционим капацитетом за јоне никла, чиме се остварује могућност за даљи развој еколошки прихватљивих технологија пречишћавања вода и проширују се правци за будућа истраживања.

Савременост и оригиналност истраживања приказаних у овој докторској дисертацији потврђени су објављивањем резултата из тезе у оквиру два рада у истакнутим међународним часописима (М21) и саопштењима на скуповима од националног и међународног значаја.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији наведено је укупно 247 литературних јединица, од којих већину чине радови новијег датума, објављени у међународним часописима највишег ранга, што потврђује актуелност и релевантност истраживане тематике. Током израде докторске дисертације детаљно су анализирани и критички интерпретирани савремени литературни подаци који се односе на примену бактеријских егзополисахаридна, како немодификованих тако и модификованих, са посебним освртом на њихову улогу и значај у поступцима адсорпције тешких метала из воде. Закључци изведени на основу прегледа литературе послужили су као основа концепта експерименталног дела истраживања, карактеризацију добијених материјала, анализу и дискусију добијених резултата, и извођење коначних закључака. На основу образложења теме докторске дисертације и приказа коришћене литературе, може се закључити да кандидаткиња Верица М. Љубић добро познаје актуелно стање у областима истраживања ове докторске дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру ове докторске дисертације примењене су стандардне и савремене микробиолошке, биохемијске и инструменталне методе са циљем изолације, пречишћавања, структурне карактеризације и функционалне евалуације егзополисахарида из два бактеријска соја. Избор метода усклађен је са постављеним истраживачким циљевима и омогућио је добијање репрезентативних и поузданих резултата.

У првој фази истраживања, извршено је умножавање одабраних бактеријских сојева у контролисаним условима, након чега је спроведена ферментација у одговарајућим медијумима. Изолација и пречишћавање егзополисахарида изведени су применом стандардних процедура, чиме су обезбеђени узорци одговарајуће форме и чистоће, погодни за даљу анализу.

У другој фази истраживања спроведена је структурна карактеризација егзополисахарида комбинацијом комплементарних инструменталних техника. SEM је омогућила увид у морфологију и површинске карактеристике материјала значајне за процес биосорпције. FTIR спектроскопија коришћена је за идентификацију функционалних група егзополисахарида одговорних за везивање јона метала. NMR је омогућила детаљну анализу полисахаридних ланаца егзополисахарида, потенцијални распоред и тип моносахаридних јединица. MALDI-TOF масена спектрометрија примењена је за одређивање молекулске масе, детекцију олигосахаридних фрагмената, док је XRD анализа пружила информације о степену кристаличности материјала. TGA је коришћена је за процену термостабилности и састава добијених биоматеријала. Одређивањем тачке нултог наелектрисања (pH_{pzc}) дефинисана је зависност површинског наелектрисања од pH вредности, што је кључно за разумевање интеракције са јонима метала.

У трећој фази истраживања испитана су биолошка својства добијених егзополисахарида. МТТ тест је примењен за испитивање цитотоксичности оба егзополисахарида на ћелијској линији HT-29 (хумана ћелијска линија аденокарцинома дебелог црева), док је антиоксидативна активност егзополисахарида из пробиотског соја испитана ABTS тестом. Сви експерименти рађени су у три понављања, ради провере репродуктивности и обезбеђивања поузданости резултата.

Након изоловања и карактеризације добијених материјала, у четвртој фази испитано је понашање егзополисахарида у процесу адсорпције јона никла. Одређивање концентрације јона метала у раствору након адсорпције извршено је пламеном атомском апсорпционом спектрометријом (FAAS). Применом Ленгмировог (Langmuir) и Фројндлиховог (Freundlich) модела адсорпционих изотерми описан је процес адсорпције за добијене материјале, док су за анализу механизма адсорпције коришћене једначине кинетичких модела псеудо-првог реда (Lagergren), модела псеудо-другог реда (Ho-McKay) и модела унутарчестичне дифузије (Weber-Morris). Топлотни ефекат процеса адсорпције за добијене биоматеријале процењен је на основу резултата адсорпционих експеримената урађеним на температурама 25, 45 и 65 °C. Вредности термодинамичких параметара процеса (промене стандардне Гибсове слободне енергије (ΔG°), енталпије (ΔH°) и ентропије (ΔS°)), одређене су применом Вант Хофове (Van't Hoff) једначине, ради процене спонтаности и енергетских карактеристика процеса адсорпције.

На основу наведеног може се закључити да су за остваривање постављених истраживачких циљева примењене методе адекватне, међусобно комплементарне и довољне за поуздану структурну и функционалну карактеризацију изолованих егзополисахарида, као и за процену њихове потенцијалне примене у уклањању јона Ni^{2+} из водених система.

3.4. Применљивост остварених резултата

Након анализе до сада објављених резултата у области истраживања, може се закључити да је израдом ове докторске дисертације остварен значајан научни допринос у области примене бактеријских егзополисахарида као безбедних, биоразградивих и обновљивих сировина за синтезу нових врста адсорбената за уклањање токсичних јона из водених раствора. Поред тога, егзополисахариди изоловани из пробиотског бактеријског соја, у светлу у дисертацији показане биолошке активности и биокомпатибилности, имају перспективу за примену у прехранбеној и фармaceutској индустрији, посебно у развоју функционалних производа и формулација са додатом биолошком вредношћу.

Резултати ове докторске дисертације указују да се материјали на бази немодификованих бактеријских егзополисахарида могу применити као еколошки прихватљиви адсорбенти којима се остварује значајно смањење концентрације јона никла у воденим растворима.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кроз досадашњи рад, кандидаткиња Верица М. Љубић је показала изузетно теоријско знање, стручност и велику заинтересованост за научноистраживачки рад. Посебно се истиче њена креативност и самосталност у формулисању идеја, реализацији истраживачких задатака, обради и анализи добијених података и дискусији резултата.

Комисија је на основу досадашњег залагања и постигнутих научних резултата, као и на основу поднете докторске дисертације, утврдила да кандидаткиња поседује све квалитете неопходне за самостални научноистраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру ове докторске дисертације остварени су следећи научни доприноси:

- по први пут су изоловани ЕПС из два бактеријска соја *Lactobacillus reuteri* В2 и *Klebsiella oxytoca* Ј7, чиме су добијени нови биоматеријали за даља испитивања,
- по први пут су добијени подаци о структурним хемијским и морфолошким својствима и функционалним карактеристикама нових ЕПС, применом савремених експерименталних техника карактеризације и у биолошким тестовима,
- разјашњене су структуре и хемијски састави испитиваних ЕПС и утврђене су разлике два ЕПС различитог биолошког порекла (из пробиотског и из патогеног бактеријског соја) у погледу тродимензионалне структуре, моносахаридног састава и организације моносахаридних јединица у понављајућим блоковима полисахаридних ланаца,
- успостављена је веза између структурних, морфолошких и хемијских карактеристика ЕПС и њихових адсорпционих својстава,
- идентификоване су функционалне групе у структури оба ЕПС и дефинисана је њихова улога у интеракцији са јонима Ni^{2+} , Настав
- утврђен је утицај процесних параметара на ефикасност процеса адсорпције јона Ni^{2+} из воденог раствора на ЕПС у шаржном систему (рН, температура, почетна концентрација јона Ni^{2+} , доза ЕПС и време контакта),
- утврђени су механизми адсорпције јона Ni^{2+} на ЕПС из два бактеријска соја, при чему су идентификоване разлике у доминантним типовима интеракција између јона Ni^{2+} и ЕПС различитог биолошког порекла,
- одређени су кинетички и термодинамички параметри адсорпције чиме су разјашњене динамика и природа процеса и додатно објашњене разлике у ЕПС различитог биолошког порекла,
- дат је допринос проширењу базе података о биосорпцији јона Ni^{2+} на ЕПС,
- показана је могућност ефикасне примене немодификованих ЕПС, као еколошки прихватљивих бисорбента за уклањање јона Ni^{2+} из водених раствора.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Остварени резултати представљају значајан научни допринос и унапређење знања у областима примене бактеријских егзополисахарида и уклањања тешких метала из водених раствора. Добијени егзополисахариди су еколошки прихватљиви и њихова примена је економски исплатива. Они се добијају из обновљивог ресурса и представљају природни продукт бактерија који се спонтано синтетише под одређеним условима. Изолација, култивација и умножавање бактерија, као и синтеза егзополисахарида је једноставан поступак, не захтева дуг временски период, не захтева примену токсичних хемикалија, не захтева уништавање биљака, нити жртвовање животиња, чиме је дат допринос очувању животне средине. У изради докторске дисертације примењене су савремене научне методе и мултидисциплинарни приступ истраживању. Научни доприноси ове докторске дисертације огледају се и у томе што ова теза пружа могућност за наставак истраживања у области даљег развоја и примене како немодификованих, тако и модификованих материјала на бази егзополисахарида. Посебна

пажња у даљим истраживањима требало би да буде усмерена на егзополисахарид из пробиотског бактеријског соја, јер су пробиотске бактерије генерално прихваћене као безбедне и са позитивним ефектима на здравље људи и животиња.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидаткиња Верица Љубић је до сада презентовала резултате свог научноистраживачког рада у оквиру пет библиографских јединица: два рада у водећим међународним часописима категорије M21, два саопштења на скуповима међународног значаја штампана у целини (M33) и једно саопштење на скупу међународног значаја штампано у изводу (M34).

Категорија M21:

1. **Ljubić V.**, Milošević M., Cvetković, S., Stojanović, M., Novović K., Dinić M., Popović M. (2022). The novel exopolysaccharide produced by a probiotic strain *L. reuteri* B2: Extraction, biological properties and possible applications for Ni²⁺ ions removal from contaminated water, *Biomass Conversion and Biorefinery* 14(10):11523-11538, (IF=4,0) (ISSN 2190-6815). (<https://doi.org/10.1007/s13399-022-03292-5>).
2. **Ljubić V.**, Perendija J., Cvetković S., Rogan J., Trivunac K., Stojanović, M., Popović M. (2023). Extraction of new exopolysaccharide from *K. oxytoca* J7 and its possible application in biosorption of Ni²⁺ ions from contaminated water, *Journal of Polymers and Environment* 32(3):1105-1121, IF=5,3) (ISSN 1566-2543). (<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3009517/v1>).

5. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду, бр. 204 од 22. јуна 2018. године), коришћењем програма iThenticate (9. априла 2026. године) извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидата Верице М. Љубић под називом „Егзополисахариди из бактеријских сојева *Lactobacillus reuteri* B2 и *Klebsiella oxytoca* J7: изоловање, карактеризација и примена за уклањање тешких метала из воде“.

Извештај који садржи резултате провере оригиналности ментори су добили дана 9. априла 2026. године. Утврђени проценат подударности је 5 %. Овај степен подударности последица је употребе термина типичних за област којој припада дисертација, назива примењених метода истраживања, физичких величина, установа у којима су запослени чланови Комисије и слично. У тексту докторске дисертације постоје и подударања са радовима у којима су објављени резултати докторандовога истраживања, који су проистекли из рада на изради докторске дисертације.

На основу свега изложеног, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду Комисија сматра да је докторска дисертација кандидата Верице М. Љубић оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега изложеног, Комисија сматра да докторска дисертација кандидаткиње Верице М. Љубић, мастер инжењера технологије, под називом „Егзополисахариди из бактеријских сојева *Lactobacillus reuteri* B2 и *Klebsiella oxytoca* J7: изоловање, карактеризација и примена за уклањање тешких метала из воде“ представља значајан и оригиналан научни допринос у области Технолошког инжењерства, ужа област Хемијско инжењерство. Значај и квалитет резултата је потврђен и објављивањем радова проистеклих из ове докторске дисертације у водећим међународним научним часописима категорије M21. Постављени предмет и циљеви истраживања, који су дефинисани у

извештају за оцену научне заснованости теме су у потпуности остварени. Комисија такође оцењује да ова докторска дисертација испуњава све захтеване критеријуме, као и да је кандидаткиња током израде дисертације показала научноистраживачку способност и самосталност у свим фазама израде дисертације.

Узимајући у обзир квалитет, обим и научни допринос постигнутих и презентованих резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом „Егзополисахариди из бактеријских сојева *Lactobacillus reuteri* B2 и *Klebsiella oxytoca* J7: изоловање, карактеризација и примена за уклањање тешких метала из воде“ кандидаткиње Верице М. Љубић, преда на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да се након завршетка ове процедуре кандидаткиња позове на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 4. мај 2026. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Рада Петровић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Милан Миливојевић, ванредни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Маријана Стојановић, научни саветник
Универзитета у Београду, Институт за биолошка истраживања "Синиша
Станковић" – Институт од националног значаја за Републику Србију