

Биолошки факултет
Број захтева: 50/66-1
Датум: 14. 4. 2026.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ВЕЋУ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ПРИРОДНИХ НАУКА

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуке о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и о именовану комисије за одбрану

Молимо да, сходно члану 48. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 201/2018, 207/2019, 213/2020, 214/2020, 217/2020, 230/21, 232/22 и 236/22), дате сагласност на одлуку о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације:

КАНДИДАТ: **Вукашин Ж. Јанковић**

студент докторских студија на студијском програму: Молекуларна биологија, модул: Молекуларна микробиологија и биотехнологија, уписан на докторске студије 2020/2021 године,

пријавио је тему докторске дисертације дана 12. 5. 2023. под називом:

„Биотехнолошко бојење и деполимеризација текстила применом бактерија из рода *Streptomyces*”

НАУЧНА ОБЛАСТ: Биолошке науке.

Универзитет је дана 21. 9. 2023. године. својим актом под бр. 02-07 Број: 61206-2260/4-23 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„Биотехнолошко бојење и деградација текстила применом одабраних бактерија рода *Streptomyces*“

Име и презиме ментора: др Бранко Јовчић, редовни професор, Универзитет у Београду - Биолошки факултет и др Татјана Илић-Томић, научни саветник, Универзитет у Београду - Институт за молекуларну генетику и генетичко инжењерство.

Комисија за оцену докторске дисертације образована је на седници одржаној 20. 2. 2026. год, одлуком Факултета под бр. 50/29 у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	др Јелена Лозо	редовни професор	биохемија и молекуларна биологија	Универзитет у Београду - Биолошки факултет
2.	др Маја Радетић	редовни професор	технолошко инжењерство, инжењерство материјала	Универзитет у Београду - Технолошко-металуршки факултет
3.	др Маријана Поњавић	виши научни сарадник	хемија макромолекула	Универзитет у Београду - Институт за молекуларну генетику и генетичко инжењерство

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности 4. 3. 2026. године.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној 14. 4. 2026. године.

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној 14. 4. 2026. године, одлуком факултета под бр. 50/65, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1. др Јелена Лозо	редовни професор	биохемија и молекуларна биологија	Универзитет у Београду - Биолошки факултет
2. др Маја Радетић	редовни професор	технолошко инжењерство, инжењерство материјала	Универзитет у Београду - Технолошко-металуршки факултет
3. др Маријана Поњавић	виши научни сарадник	хемија макромолекула	Универзитет у Београду - Институт за молекуларну генетику и генетичко инжењерство

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

Декан Биолошког факултета

Проф. др Љубиша Станисављевић

- Прилог: 1. Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовану Комисије за одбрану докторске дисертације**
2. Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
3. Примедбе на извештај Комисије о оцени докторске дисертације (уколико их је било) и мишљење Комисије о примедбама



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
БИОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

Студентски трг 16
11000 БЕОГРАД
Република СРБИЈА
Тел: +381 11 2186 635
Факс: +381 11 2638 500
Е-пошта: dekanat@bio.bg.ac.rs

50/66 - 14. 4. 2026.

На основу члана 40. став 3. Закона о високом образовању и члана 38. став 1. Правилника о докторским академским студијама Универзитету у Београду - Биолошком факултету, Наставно-научно веће Факултета, на VI редовној седници одржаној 14. 4. 2026. године, донело је

ОДЛУКУ

1. Усваја се Извештај Комисије за оцену докторске дисертације кандидата:

Вукашина Ж. Јанковића, под називом:

„Биотехнолошко бојење и деградација текстила применом одабраних бактерија рода *Streptomyces*“

2. Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације из тачке 1. Ове одлуке:

- др Јелена Лозо, редовни професор, Универзитет у Београду - Биолошки факултет - члан,

- др Маја Радетић, редовни професор, Универзитет у Београду - Технолошко-металуршки факултет - члан,

- др Маријана Поњавић, виши научни сарадник, Универзитет у Београду - Институт за молекуларну генетику и генетичко инжењерство - члан.

Универзитет је дана 21. 9. 2023. године. својим актом под бр. 02-07 Број: 61206-2260/4-23 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Образложење

Наставно-научно веће Факултета, на седници оджаној 14. 4. 2026. године, размотрило је Извештај Комисије за оцену докторске дисертације и констатовало да је докторска дисертација у складу са одобреном темом и да кандидат испуњава све услове за одбрану докторске дисертације предвиђене Правилником о докторским академским студијама на Универзитету у Београду - Биолошком факултету, укључујући и

Радове и конгресна саопштења из докторске дисертације:

Б1. Радови у часописима међународног значаја:

1. **Janković, V.**, Marković, D., Nikodinovic-Runic, J., Radetić, M., & Плић-Томич, Т. **M21** (2023). Eco-friendly dyeing of polyamide and polyamide-elastane knits with living bacterial cultures of two *Streptomyces* sp. strains. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(1), 32. doi: <https://doi.org/10.1007/s11274-022-03473-4> (**M21**)
2. **Janković, V.**, Pantelic, B., Ponjavic, M., Marković, D., Radetić, M., Nikodinovic-Runic, J., & Плић-Томич, Т. (2025). Degradation of Synthetic and Natural Textile Materials Using *Streptomyces* Strains: Model Compost and Genome Exploration for Potential Plastic-Degrading Enzymes. *Microorganisms*, 13(8), 1800. doi: <https://doi.org/10.3390/microorganisms13081800> (**M21**)

Будући да наводи садржани у Извештају Комисије потврђују да су се стекли услови за одбрану докторске дисертације, то је донета одлука као у диспозитиву.

Декан Биолошког факултета

Проф. др Љубиша Станисављевић

Доставити:

- Универзитету у Београду,
- докторанту,
- Стручној служби Факултета.
- Архиви Факултета

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ - БИОЛОШКОГ ФАКУЛТЕТА

На IV редовној седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Биолошког факултета, одржаној 20. 2. 2026. године, на основу молбе ментора, др Татјане Илић-Томић, научног саветника Универзитета у Београду - Института за молекуларну генетику и генетичко инжењерство, и др Бранко Јовчића, редовног професора Универзитета у Београду - Биолошког факултета, одређена је Комисија за преглед и оцену докторске дисертације **Вукашина, Ж. Јанковића**, истраживача сарадника, Универзитета у Београду - Института за молекуларну генетику и генетичко инжењерство, под насловом: **„Биотехнолошко бојење и деградација текстила применом одабраних бактерија рода *Streptomyces*“**, у саставу: проф. др Јелена Лозо, редовни професор, Универзитет у Београду - Биолошки факултет; проф. др Маја Радетић, редовни професор, Универзитет у Београду - Технолошко-металуршки факултет; др Маријана Поњавић, виши научни сарадник, Универзитет у Београду - Институт за молекуларну генетику и генетичко инжењерство. Комисија је прегледала урађену докторску дисертацију кандидата и Наставно-научном већу Универзитета у Београду - Биолошког факултета подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

Општи подаци о докторској дисертацији

Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 21. септембра 2023. године дало сагласност на одлуку Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Биолошког факултета о прихватању теме докторске дисертације Вукашина, Ж. Јанковића под насловом „Биотехнолошко бојење и деградација текстила применом одабраних бактерија рода *Streptomyces*“ (Одлука 02-07 Број: 61206-2260/4-23).

Докторска дисертација **Вукашина Ж. Јанковића** под називом **„Биотехнолошко бојење и деградација текстила применом одабраних бактерија рода *Streptomyces*“** представља оригинално научно истраживање чији је експериментални део реализован у Групи за Еко-биотехнологију и развој лекова, Универзитета у Београду - Института за молекуларну генетику и генетичко инжењерство (ИМГГИ).

Докторска дисертација је написана на 125 страна и подељена је на 7 поглавља: УВОД (25 страна), ЦИЉЕВИ (1 страна), МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ (23 страна), РЕЗУЛТАТИ (43 страна), ДИСКУСИЈА (13 страна), ЗАКЉУЧЦИ (1 страна) и ЛИТЕРАТУРА (16 страна). У оквиру докторске дисертације налази се 40 слика и 19 табела. Дисертација садржи и следеће нумерисане стране које обухватају: насловне стране на српском и енглеском језику, податке о менторима и члановима Комисије, изјаве

захвалности, сажетак докторске дисертације са кључним речима на српском и енглеском језику, листу скраћеница, садржај, биографију и изјаве кандидата (Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације и Изјава о коришћењу).

Анализа докторске дисертације

У првом поглављу докторске дисертације, **УВОДУ**, који је подељен на три потпоглавља, дат је преглед релевантне литературе која доприноси разумевању теме докторске дисертације У првом потпоглављу под насловом **Утицај текстилне индустрије на животну средину**, представљене су штетне последице које ова индустрија има на окружење, обједињујући три кључна проблема: употребу синтетичких боја и њихов утицај на животну средину, сложеност текстилног отпада и могућности његовог рециклирања, као и високу потрошњу енергије у процесима производње.

У другом потпоглављу под насловом **Биотехнолошка решења за проблеме текстилне индустрије**, указано је на значај биотехнолошког потенцијала микроорганизама, посебно кроз примену бактеријских пигмената као алтернативе синтетичким бојама, и ензима микробиолошког порекла у процесу биодеградације текстилног отпада. У делу посвећеном пигментима су издвојени познати примери бактеријских пигмената и њихова примена у бојењу различитих природних и синтетичких материјала, као и комерцијални ентитети који их примењују. Када је реч о биодеградацији, најпре су представљене фазе овог процеса, да би потом била наглашена улога микроорганизама и њихових ензима, и описано компостирање као природни процес деградације у земљишту. Посебан акценат стављен је на различите врсте полимера – од природних попут памука (СО), до синтетичких као што су полиамид (РА), еластан (ЕА) и поли(етилен) (РЕ), и њихову подложност разградњи од стране микроорганизама. Кандидат је при томе навео неке од познатих микробиолошких врста и ензима који могу бити примењени у овом процесу.

У трећем потпоглављу под насловом **Биотехнолошки потенцијал бактерија рода *Streptomyces***, је након увода о овом бактеријском роду и њиховом животном циклусу, фокус био на њиховом секундарном метаболизму и способности производње једињења са различитим биолошким активностима и разноврсном применом у индустрији. Поред овога, дат је преглед бројних ензима које представници овог бактеријског рода могу да производе попут целулаза, хитиназа, лаказа, уз њихов потенцијал у индустријској примени. Напоследку, описана је примена пигмената пореклом из рода *Streptomyces* spp. у циљу бојења текстилних материјала, која је забележена у литератури, као и примена њихових ензима у деградацији полимера попут РЕ, полиетилена велике густине (HDPE), полиетилен терефталата (PET) и других.

У поглављу **ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА** представљени су главни циљеви докторске дисертације, који су сажето формулисани кроз проблематику заштите животне средине у контексту текстилне индустрије, нарочито у погледу загађења и производње отпада. Полазећи од биотехнолошког потенцијала бактерија рода *Streptomyces* spp.,

истраживање је усмерено на проучавање процеса бојења и биодградације текстилних материјала применом ових микроорганизама. Поред главног циља, дефинисано је и пет специфичних циљева који ближе усмеравају истраживачки рад:

1. Претрага лабораторијске колекције стрептомицета Групе за Еко-биотехнологију и развој лекова (ИМГГИ), у циљу одабира кандидата за испитивање процеса бојења текстилних материјала од синтетичких влакана;
2. Бактеријско бојење живим културама, и оптимизација процеса, за текстилни материјал од РА и мешавине РА и еластанских (ЕА) влакана. Карактеризација материјала и испитивање постојаности обојења;
3. Селекција представника рода *Streptomyces* spp. из лабораторијске колекције на основу раста на подлогама обогаћеним полиуретаном (полиуретанска дисперзија „Impranil DLN®-SD“), као и на основу целулазне активности испитиване на подлогама са карбоксиметил целулозом у циљу одабира кандидата за испитивање способности деградације текстилних материјала од синтетичких влакана (РА и мешавине РА/ЕА) и природних влакана (СО);
4. Испитивање деградације текстилних материјала од синтетичких влакана (РА и мешавине РА/ЕА) и природних влакана (СО) у модел компосту обогаћеном одабраним бактеријским сојевима. Одређивање губитка масе, карактеризација текстилног материјала и испитивање биолошке активности;
5. Секвенцирање генома сојева чија се способност деградације текстилних материјала испитивала. Детаљнија анализа генома у циљу одређивања молекулске основе деградације РА, ЕА и СО.

У оквиру поглавља **МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ**, дефинисани су коришћени материјали (хемикалије, текстилни материјали), бактерије, и описане су методе примењене у оквиру истраживања ове дисертације. Ово поглавље се састоји из потпоглавља које описује материјале, и другог потпоглавља које описује методе, а које се даље састоји из 17 потпоглавља које обухватају микробиолошке, молекуларне, као и биоинформатичке методе примењене у оквиру ове дисертације.

У уводном делу поглавља дат је преглед коришћених хемикалија, текстилних материјала, као и одабраних бактеријских сојева који су представљали полазну тачку истраживања, како за испитивање бојења текстилног материјала, тако за испитивање деградације текстилног материјала.

У потпоглављу везаном за методе, описани су услови раста и складишта бактеријских сојева, као и услови гајења и састав подлога у циљу производње пигмената, као и услови гајења и састав подлога за детекцију биодградације ЕА, као и целулозе. Након тога, описани су услови гајења сојева у циљу припреме етил-ацетатног екстракта, као и услови гајења сојева у циљу испитивања производа деградације РА и РА/ЕА текстилних материјала. Затим је је описан есеј за одређивање естеразне активности сојева

користећи 4-нитрофенил-бутират, као и детаљним описом испитивања антимикробне, и цитотоксичне активности екстраката бактеријских сојева МТТ есејом користећи (3-[4,5-диметилтиазол-2-ил]-2,5-дифенил тетразолијум-бромид). Поред испитивања биолошке активности сојева, детаљно је објашњен и методолошки приступ за испитивање цитотоксичности материјала МТТ есејом користећи већ поменуто једињење, као и испитивање токсичности материјала на соју *Aliivibrio fischeri*.

У наредним потпоглављима уследило је описивање методолошког приступа бојењу текстила живим бактеријским културама одабраних пигментисаних бактеријских сојева (*Streptomyces* sp. 6-7, 8-23, 8-24, 9-9, 11-4; 11-5, 15-10, BPS43R, BPS43P, BPS44, BPS51 i BPS59). Иницијално тестирање процеса бојења на различитим врстама текстилних материјала је описано у оквиру потпоглавља „Процес бојења вишеvlakног текстила живим бактеријским културама“, кога даље прати потпоглавље „Процес бојења РА и РА/ЕА плетенина живим бактеријским културама“ у којем је предложен поступак бојења плетенина од РА влакана и мешавине РА/ЕА влакана одабраним бактеријским сојевима, након почетне селекције на комбинованом сету текстилних трака од различитих влакана. У потпоглављу „Оптимизација бојења РА и РА/ЕА плетенина описани су кораци ка оптимизацији овог поступка, у погледу дужине инкубације бактеријских сојева са текстилним материјалима. Напослетку, у поглављу „Одређивање координата боја и испитивање постојаности боја“ описано је одређивање координата боја обојених РА и РА/ЕА плетенина након процеса бојења, као и процес испитивања постојаности обојења након једног и три циклуса прања.

У наредним потпоглављима представљени су методолошки приступи испитивања биодеградације РА, РА/ЕА плетенина, и СО материјала, у модел компосту и, обогађивања модел компоста културама три одабрана бактеријска соја (*Streptomyces* sp. R1, *Streptomyces spectabilis* BPS43, и *Streptomyces rubiginosohelvolus* NP10), карактеризација материјала након деградације, анализа производа деградације, као и биоинформатичка анализа генома три бактеријска соја. Прво је детаљно описан процес припреме модел компоста и дефинисани су услови испитивања деградације РА, РА/ЕА, и СО материјала у модел компосту који је затим обогаћен културама одабраних бактеријских сојева. Такође је окарактерисан модел компост кроз одређивање броја микроорганизама током процеса деградације. На крају је описан и процес деградације синтетичких текстилних материјала (РА и РА/ЕА) у меши супернатанта и укупног ћелијског екстракта у циљу анализе деградационих производа методом течне хроматографије са масеном спектрометријом (LC-MS).

У потпоглављу „Карактеризација текстилних материјала након инкубације у модел компосту“ описана је методологија анализе материјала Инфрацрвеном спектроскопијом са Фуријевом трансформацијом (FTIR-ATR), као и скенирајућом електронском микроскопијом са емисијом поља (FESEM).

У потпоглављу „Биоинформатичка анализа генома бактеријских сојева“ објашњен је методолошки приступ идентификације бактеријских сојева користећи секвенцу гена за

16S рРНК, за пигментисане бактеријске сојеве. За одабране бактеријске сојеве чија се способност деградације испитивала, описана је методолошки поступак за таксономску идентификацију на основу целокупних генома сојева.

У оквиру потпоглавља „Функционална анотација и испитивање потенцијала за деградацију полимерних супстрата“, представљен је методолошки приступ анализи генома одабраних сојева кроз идентификацију ензима који су хомолози познатим ензимима укљученим у разградњу РА и ЕА полимера, користећи базе података „PASY“ и „PlasticDB“. Описан је поступак поређења броја ових хомолога у различитим бактеријским сојевима и испитивање њихове еволутивне сродности. Извршена је и претрага базе „CAZY“ у циљу идентификације ензима који учествују у разградњи целулозе, како би се утврдио њихов потенцијал за деградацију овог природног полимера.

У оквиру потпоглавља „Идентификација биосинтетских кластера гена за синтезу секундарних метаболита“ представљен је методолошки приступ за претрагу биосинтетских кластера гена за синтезу секундарних метаболита, међу одабраним бактеријским сојевима чија се способност деградације испитивала, коришћењем софтверског алата „antiSMASH“.

У оквиру поглавља **РЕЗУЛТАТИ** јасно и систематично су издвојени сви експериментални резултати представљени у оквиру истраживања ове докторске дисертације. Ово поглавље се састоји из 8 потпоглавља која садрже резултате анализе одабраних бактеријских сојева, њихових морфолошких карактеристика, биолошке активности, као и естеразне и целулазне активности. Други део обухвата резултате испитивања процеса бојења текстилних материјала одабраним пигментисаним сојевима, и анализу обојења материјала, док трећи део обухвата резултате испитивања деградације текстилних материјала у модел компосту, као и анализе генома одабраних сојева чија способност деградације се испитивала.

У првом делу су дискутоване морфолошке карактеристике одабраних бактеријских сојева и описани су изглед и боја колонија одабраних бактрија. Издвојене су подлоге коришћене за њихов раст, а представљен је и изглед минималне подлоге обogaћене полиуретанском дисперзијом „Импранил“, на којем су расли одабрани бактеријски сојеви чија способност деградације се испитивала. У наставку, представљени су резултати испитивања целулазне активности користећи подлогу са карбоксиметил целулозом, и графички су представљени резултати испитивања естеразне активности на 4-нитрофенил-бутирату. Ови резултати су издвојили неколико бактеријских сојева са показаном целулазном и естеразном активношћу. На основу резултата испитивања антимикуробне активности, издвојено је седам сојева (*Streptomyces* sp. 6-7, 8-23, 9-9, 15-10, BPS43R, BPS43P, BPS51) који су инхибирали раст две врсте микроорганизама из ATCC (енгл. *American Type Culture Collection*) колекције: *S. epidermidis* 12.228 и *C. albicans* 10.231. Резултати испитивања цитотоксичне активности користећи МТТ есеј су показали да су екстракти већине сојева високо цитотоксични на НаСаТ ћелијама, осим екстраката сојева *Streptomyces* sp. 11-5 и BPS51 који су показали IC_{50} вредност од око $50 \mu\text{g mL}^{-1}$, те се могу

окарактерисати као умерено цитотоксични. Анализа испитивања цитотоксичности самих материјала (РА, РА/ЕА и СО) користећи МТТ есеј, и користећи сој *Aliivibrio fischeri*, је показала да су материјали нетоксични.

У другом делу су презентовани експериментални резултати бојења комбинованог сета текстилних трака од различитих влакана, као и РА и РА/ЕА плетенина, у процесу инкубације са живим бактеријским културама. Интезитет обојења текстилних трака је варирао у зависности од врсте пигментисаног соја, као и врсте влакана. Међу 12 пигментисаних сојева, *Streptomyces sp.* 11-5 и BPS51 су се издвојили као најперспективнији, јер су показали једнаку ефикасност у бојењу текстила од природних влакана као што су СО, свила (SE) и вуна (WO), али и од хемијских влакана попут РА, полиестра (PES) и вискозе (CV). На основу резултата испитивања цитотоксичне активности екстраката ових сојева на НаСаТ ћелијама, ови сојеви су одабрани за даље бојење плетенина од РА и мешавине РА/ЕА. Резултати испитивања бојења плетенина од РА и РА/ЕА показали су да динамички услови, односно константно мешање на брзини од 180 обртаја у минути, доводе до интензивнијег обојења у поређењу са статичким условима. Оптимизација процеса бојења је показала да продужавање времена инкубације са 3 на 5 и 7 дана постепено повећава интезитет обојења код оба испитивана соја, што је потврђено и мерењем К/С вредности (Kubelka-Munk), која је била највиша након седмодневне инкубације. Испитивања постојаности обојења након прања су показала да су узорци обојени сојем *Streptomyces sp.* 11-5, у периоду од 3 и 5 дана, показали бољу стабилност у односу на узорке обојене сојем *Streptomyces sp.* BPS51, при чему је најбољу постојаност имао РА/ЕА узорак обојен сојем *Streptomyces sp.* 11-5 током тродневне инкубације.

У трећем делу, приказани су резултати испитивања деградације РА, РА/ЕА и СО материјала у модел компосту, након обогашивања са одабраним бактеријским сојевима (*Streptomyces sp.* R1, *Streptomyces spectabilis* BPS43, и *Streptomyces rubiginosohelvolus* NP10). У поређењу са осталим сојевима, обогашивање компоста *Streptomyces spectabilis* BPS43 је након 12 месеци деградације резултовало до 16% већег губитка масе РА плетенине у односу на необогаћени компост, док је код РА/ЕА плетенине присуство овог соја резултовало до 7% већег губитка масе након 8 месеци, и 10% већег губитка масе након 12 месеци, у односу на необогаћени компост. Код СО материјала, сој *Streptomyces rubiginosohelvolus* NP10 је током 60 дана деградације у модел компосту довео до 14% већег губитка масе, у односу на необогаћени компост. Анализом FTIR спектра узорака РА након деградације, може се закључити да нема значајних промена у структури РА влакана након периода инкубације, како за необогаћени, тако и за модел компост обогашен сојем *S. spectabilis* BPS43. Поређењем спектра узорака РА, као и FTIR спектра РА/ЕА узорка, који су након деградације указивали на мале промене у хемијској структури, у FTIR спектру СО узорака се јасно уочавају промене, како у смањењу интезитета карактеристичних трака, тако и у нестајању карактеристичних пикова. На основу резултата анализе генома одабраних сојева, уочено је присуство различитих ензима који

представљају хомологе ензима са потенцијалом деградације различитих врста полимера као што су ПЕТ, ПА или ЕА. Међу три одабрана соја, *S. spectabilis* BPS43 је издвојен као сој са највећим бројем хомолога (14), од којих је 6 повезано са деградацијом ПА, а 8 са деградацијом ЕА. Осам идентификованих ензима је показало хомологију са полиамидазом из *Nocardia farcinica*, док је ензим BPS43_Amd8 пронађен само код соја *S. spectabilis* BPS43, и показао је 44% степен сличности са полиуретаназама идентификованим из метагенома: UMG-SP-1 и UMG-SP. Поред тога, у геномима три испитивана соја је идентификовано 13 екстрацелуларних целулаза, међу којима су представници фамилије гликозил-хидролаза 6, укључених у деградацију целулозе, а који су пронађени код сва три бактеријска соја. Анализом соја *Streptomyces* sp. R1, идентификовано је 5, а код соја *S. rubiginosohelvolus* NP10 4 екстрацелуларне целулазе.

У поглављу **ДИСКУСИЈА** су резултати истраживања упоређени са релевантним подацима из литературе, чиме је обезбеђен критички осврт и контекстуално сагледавање добијених резултата у односу на постојећа научна сазнања.

У оквиру потпоглавља „Производња пигментисаних једињења са одабраним сојевима“ дат је кратки осврт на претходне резултате из области бојења материјала пигментима бактеријског порекла, конкретно представницима рода *Streptomyces* spp. који су поређени са резултатима овог истраживања. Посебан фокус је био на саставу подлога за инкубацију бактерија, појединачним компонентама и њиховом утицају на производњу пигмената. Упоредени су резултати испитивања антимицробне и цитотоксичне активности екстраката пигментисаних бактеријских сојева са релевантним литературним подацима, чиме је потврђена разноврсна биолошка активност представника овог рода, и истакнута њихова потенцијална примена као биоактивних једињења.

У оквиру потпоглавља „Бојење различитих текстилних материјала пигментисаним *Streptomyces* сојевима“ упоређени су добијени резултати бојења текстилних трака од различитих влакана одабраним пигментисаним сојевима са доступним литературним подацима, а затим су анализирана два одабрана пигментисана бактеријска соја, *Streptomyces* sp. 11-5 и BPS51, упоређујући боју њихових етил-ацетатних екстраката са бојама других представника рода *Streptomyces* spp. кроз доступне литературне податке. У наставку су кроз поређење са претходним истраживањима упоређени резултати испитивања координата боја обојених ПА и ПА/ЕА плетенина у процесу бојења живим бактеријским културама, као и интезитет и постојаност обојења, упоређени. Интензивније обојење у динамичким условима у сагласности је са литературним подацима који указују да константно мешање омогућава ефикаснију инкубацију бактерија. Најбољи резултати, постигнути након седмодневне инкубације се могу објаснити оптималним условима за развој и активност бактерија овог рода у том временском периоду, што је довело до израженијег степена обојења.

Једна од компоненти анализе постојаности обојења, вредност светлине (L^*), за узорке обојених ПА и ПА/ЕА материјала у оквиру овог истраживања, је упоређена са литературним подацима који описују процесе бојења пигментима пореклом из овог

бактеријског рода, дошло се до закључака да ниже вредности L^* указују на тамније и интезивније нијансе боје материјала, док више вредности L^* означавају светлије нијансе, што је у корелацији са резултатима овог истраживања. K/S вредности обојених PA и PA/EA плетенина су упоређене са K/S вредностима из других истраживања бојења пречишћеним пигментима сличне нијансе као етил-ацетатни екстракти соја *Streptomyces* sp. 11-5. Показано је да су, за исту врсту обојеног материјала, PA, K/S вредности ниже у односу на бојење постигнуто пречишћеним пигментом сличне нијансе, међутим та вредност зависи од врсте материјала као и тачне врсте пигмента. У поређењу са литературним подацима се може закључити да резултати испитивања постојаности обојења, након једног и три циклуса прања се могу сматрати задовољавајућим.

Кроз процес директне инкубације са сојевима *Streptomyces* sp. 11-5 и BPS51, је успешно демонстрирано бојење PA и PA/EA плетенина. Овим поступком бојења, заједно са финалним процесом стерилизације материјала који има за циљ фиксирање пигмената за површину текстила, избегнута је употреба органских растварача за екстракцију пигмената. Добијени обојени материјали указују на успешност процеса бојења кроз директну инкубацију са живим бактеријским културама, као и процес бојења пречишћеним бактеријским екстрактима чија је употреба претходно документована.

У оквиру поглавља „Деградација PA, PA/EA, и CO текстилних материјала у модел компосту“ је кроз преглед литературе установљено да се компост може сматрати богатом и еколошки погодном средином за испитивање деградације различитих природних и синтетичких материјала. Након тога су упоређени добијени резултати губитка масе PA, PA/EA и CO текстилних материјала са релевантним литературним подацима, где је утврђено да полимери попут PA показују отпорност на деградацију у природи и мање су подложни микробиолошкој деградацији, и поред новијих студија које истичу значај појединих микроорганизама у процесима разградње ове врсте материјала. Резултати студија су у корелацији са резултатима проистеклим из тезе где је измерена мала разлика у губитку масе PA и PA/EA материјала, у модел компосту обогаћеном *S. spectabilis* BPS43 у поређењу са небогаћеним. За разлику од PA, деградација EA и полиуретана зависи од његове хемијске структуре, па је утврђена корелација између малих губитака масе, са литературним подацима о деградацији различитих врста полиуретанских материјала. Кроз поређење са бројнијим литературним подацима о деградацији CO, установљена је корелација са великим процентом губитка масе CO влакана са претходним истраживањима, како у небогаћеном, тако и у модел компосту обогаћеном сојем *S. rubiginosohelvolus* NP10. На основу добијених резултата, може се закључити да присуство изабраног соја активно утиче на динамику локалне микробиолошке заједнице компоста, што доводи до убрзане деградације целулозних влакана.

Ослањајући се на литературу, детаљно су анализирани FTIR спектри за PA, PA/EA и CO материјале након инкубације у небогаћеном и обогаћеном модел компосту. На основу јасно идентификованих карактеристичних трака за PA и EA полимере, може се закључити да током 12 месеци деградације није дошло до значајних промена у спектру. За

разлику од резултата добијених за синтетичке материјале, резултати добијени за СО материјал, у поређењу са литературним подацима, јасно потврђују велики губитак масе праћено смањењем интензитета и потпуним одсуством карактеристичних пикова целулозног полимера као последица промена у структури.

Промене у структури материјала су потврђене FTIR спектром, док су промене у њиховој морфологији потврђене FESEM анализом. Забележен је блажи степен морфолошких промена влакана РА и РА/ЕА материјала, након 12 месеци инкубације у модел компосту, што је очекивано с обзиром на резултате ранијих истраживања. Насупрот томе, снимљени микрографи СО узорака након 60 дана инкубације су показале висок степен дезинтеграције влакана, што је у складу са литературним подацима добијеним за приближан временски период инкубације узорака.

У оквиру последњег потпоглавља, дискутоване су геномске претраге три одабрана бактеријска соја са доступним литературним подацима о познатим ензимима укљученим у деградацију РА и ЕА полимера. Користећи познате литературне податке анализирани су присутни хомолози пронађени геномском анализом међу три бактеријска соја, где су се издвојиле амидазе које су већином хомологе полиамидази из *Nocardia farcinica*. Такође, BPS43_Amd8 која је пронађена само код соја *S. spectabilis* BPS43, претпоставља се да учествује у деградацији РА и ЕА влакана, узевши у обзир њен степен сличности од 44% са литературно окарактерисаним полиуретаназама UMG-SP-1 и UMG-SP. Анализиране су целулазе идентификоване код три бактеријска соја, и закључено је да сој *S. rubiginosohelvolus* NP10, који је произвео највећи губитак масе СО материјала након 60 дана деградације у модел компосту, *S. rubiginosohelvolus* NP10, иако не поседује највећи број целулаза, вероватно је боље адаптиран условима средине, или располаже ефикаснијим ензимима у односу на остале сојеве. Овај део је заокружен освртом на пронађене биосинтетске генске кластере међу три бактерија соја, који су упоређени са претходно описаним секундарним метаболитима представника рода *Streptomyces* spp.

У оквиру поглавља **ЗАКЉУЧЦИ** издвојено је шест појединачних закључака који су јасно формулисани тако да одражавају остварене циљеве и резултате представљене у оквиру ове докторске дисертације.

1. Пигментисани представници рода *Streptomyces* spp. имају способност производње разноврсних пигментисаних једињења на различитим подлогама, у оптимизованим условима гајења;
2. Одабрани пигментисани сојеви имају способност бојења различитих врста текстилних материјала, у процесу директне инкубације са бактеријама, при чему су *Streptomyces* sp. 11-5 и BPS51 успешно бојили РА компоненту комбинованог сета текстилних трака од различитих влакана, као и РА и РА/ЕА плетенине, у статичким и динамичким условима инкубације.
3. Постојаност обојења након прања материјала се може сматрати задовољавајућом.
4. Добијени резултати указују да одабрани представници рода *Streptomyces* spp. не само да успешно расту и формирају зоне просветљења на подлози обogaћеној

полиуретанском дисперзијом, већ и поседују значајан потенцијал за деградацију различитих текстилних материјала. У лабораторијском компосту, обогаћивање *S. spectabilis* BPS43 је током 12 месеци резултовало деградацијом текстилног материјала од синтетичких влакана са губитком масе од 16% за РА и 10% за РА/ЕА, док је у присуству *S. rubiginosohelvolus* NP10 соја, СО материјал показао губитак масе од 14%. Ови резултати наглашавају потенцијал примене бактеријских сојева у развоју одрживих стратегија за смањење еколошког оптерећења текстилним отпадом.

5. Анализом генома одабраних сојева идентификовано је неколико потенцијалних хомолога ензима који учествују у разградњи различитих полимера, који се могу даље оптимизовати. Сој *S. spectabilis* BPS43 садржи највећи број РА/PU разграђујућих ензима (14), са 8 пронађених ензима који су хомолози са полиамидазом из *Nocardia farcinica*, док је идентификовано 9 екстрацелуларних целулаза у геномима сојева *Streptomyces* sp. R1 (5) и *S. rubiginosohelvolus* NP10 (4).
6. Идентификација бројних биосинтетских кластера гена указује на изражен потенцијал ових сојева за производњу пигментисаних и других биолошки активних секундарних метаболита.

У оквиру поглавља **ЛИТЕРАТУРА** представљена је листа од 302 библиографске јединице које су послужиле као основа и подршка истраживањима у оквиру докторске дисертације. Ове референце су коришћене за постављање теоријског оквира, поткрепљивање резултата, интерпретацију дискусије и формулисање закључака. Навођење литературе је изведено јасно, конзистентно и примерено, како по садржају, тако и по месту цитирања у тексту.

Радови и конгресна саопштења из докторске дисертације

Б1. Радови у часописима међународног значаја

1. **Janković, V.**, Marković, D., Nikodinovic-Runic, J., Radetić, M., & Ilic-Tomic, T. (2023). Eco-friendly dyeing of polyamide and polyamide-elastane knits with living bacterial cultures of two *Streptomyces* sp. strains. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(1), 32. doi: <https://doi.org/10.1007/s11274-022-03473-4> (M21)
2. **Janković, V.**, Pantelic, B., Ponjavic, M., Marković, D., Radetić, M., Nikodinovic-Runic, J., & Ilic-Tomic, T. (2025). Degradation of Synthetic and Natural Textile Materials Using *Streptomyces* Strains: Model Compost and Genome Exploration for Potential Plastic-Degrading Enzymes. *Microorganisms*, 13(8), 1800. doi: <https://doi.org/10.3390/microorganisms13081800> (M21)

Б2. Саопштења на скуповима међународног значаја

1. **Janković, V.**, Nikodinović-Runić, J., Milivojević, D., Stevanović, M., Ilić-Tomić, T., Antimicrobial and cytotoxic activity of pigmented *Streptomyces* spp. culture extracts. FEMS Conference on Microbiology in association with Serbian Society of Microbiology June 30th - July 2nd 2022; Belgrade, Serbia. Book of Abstracts p. 621-622 (M34)
2. **Janković, V.**, Nikodinović-Runić, J., Radetić, M., Marković, D., Stevanović, M., Nenadović, M., Ilić-Tomić, T., Microbial live interactions with textiles. 10th FEMS Congress of European Microbiologists, Hamburg, Germany, July 9th -13th, 2023. Book of Abstracts p. 835 (M34)
3. **Janković, V.**, Pantelić, B., Jeremić, S., Radetić, M., Marković, D., Kalogirou, C., Ilić-Tomić, T., Degradation of polyamide/polyurethane textile blend by *Streptomyces* sp. R1, XIII Congress of microbiologists of Serbia: From biotechnology to human and planetary health, Aprile 4th - 6th 2024, Mona Plaza hotel, Belgrade, Serbia. Book of Abstracts p. 96 (M34)

Провера оригиналности докторске дисертације

Докторска дисертација кандидата **Вукашина Ж. Јанковића**, број индекса М3014/2020, послата је у Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ дана 06. 02. 2026. године на софтверску проверу оригиналности коришћењем програма *iThenticate*. Извештај који садржи резултате провере оригиналности пристигао је истог дана. Електронском провером оригиналности докторске дисертације кандидата Вукашина Јанковића утврђено је да подударање текста износи 9%. Детаљним увидом у Извештај утврђено је да су појединачна подударања пре свега последица цитирања библиографских података о коришћеној литератури, односно општих места и података као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из његове дисертације што је у складу са чланом 9. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду („Гласник Универзитета у Београду“, број 201/18).

На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације **Вукашина Ж. Јанковића**, под насловом „**Биотехнолошко бојење и деградација текстила применом одабраних бактерија рода *Streptomyces***” те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Мишљење и предлог Комисије

Докторска дисертација кандидата **Вукашина Ж. Јанковића**, истраживача сарадника Универзитета у Београду-Института за молекуларну генетику и генетичко инжењерство, под насловом "**Биотехнолошко бојење и деградација текстила применом одабраних бактерија рода *Streptomyces***", представља оригинални научно-истраживачки рад и значајан напредак у области развоја биотехнолошких стратегија за решавање проблема замене синтетичких боја у текстилној индустрији, као и решавање проблема текстилног отпада. Кандидат је успешно представио процес бојења одабраних синтетичких текстилних материјала живим бактеријским културама представника рода *Streptomyces*, и одредио координате њихових боја и испитао постојаност на материјалима. Додатно је успешно тестирао три одабрана бактеријска представника рода *Streptomyces* у процесу биодеградације плетенина од синтетичких материјала у модел компосту. Овај рад у целини представља перспективу примене биотехнолошких решења бактеријских сојева рода *Streptomyces* spp. у превазилажењу изазова текстилне индустрије, нарочито у погледу употребе синтетичких боја и стварања текстилног отпада. На тај начин дисертација доприноси развоју еколошки одрживе стратегије бојења и третмана текстилног отпада, као и смањењу његовог негативног утицаја на животну средину, са циљем заштите природе и унапређења квалитета свакодневног живота.

Комисија сматра да докторска дисертација **Вукашина Ж. Јанковића** на основу постављених циљева, примењених методолошких приступа, добијених резултата и њиховог тумачења, представља допринос развоју биотехнолошких стратегија за бојење текстилних и других материјала, као и за деградацију и површинску обраду синтетичког текстила. На основу приложеног, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду - Биолошког факултета да прихвати овај Извештај и одобри кандидату **Вукашину Ж. Јанковићу** јавну одбрану докторске дисертације под насловом „**Биотехнолошко бојење и деградација текстила применом одабраних бактерија рода *Streptomyces***“.

КОМИСИЈА:

У Београду, 23. 2. 2026. године

проф. др Јелена Лозо, редовни професор,
Универзитет у Београду, Биолошки факултет

др Маја Радетић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

др Маријана Поњавић, виши научни сарадник,
Универзитет у Београду, Институт за Молекуларну генетику и генетичко инжењерство

Већу докторских студија
Наставно-научном већу
Биолошког факултета Универзитета у Београду

ОЦЕНА ИЗВЕШТАЈА О ПРОВЕРИ ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација кандидата Вукашина Јанковића, број индекса М3014/2020, послата је дана 6.2.2026. на софтверску проверу оригиналности. Извештај који садржи резултате провере оригиналности ментор је добио дана 6.2.2026.

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма iThenticate којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Биотехнолошко бојење и деградација текстила применом одабраних бактерија рода *Streptomyces*”, аутора Вукашина Јанковића, констатујем да утврђено подударање текста износи 9%. Овај степен подударности последица је библиографских података о коришћеној литератури, тз. општих места и података као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из његове дисертације што је у складу са чланом 9. Правилника.

На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујем да извештај указује на оригиналност докторске дисертације Вукашина Јанковића, под насловом „Биотехнолошко бојење и деградација текстила применом одабраних бактерија рода *Streptomyces*” те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

У Београду, 9.2.2026.

Ментор

др Татјана Илић-Томић, научни саветник
Универзитет у Београду- Институт за молекуларну генетику и генетичко инжењерство