

Образац 3.

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/310

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

3. 10. 2025.

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације
и о одређивању ментора

Молимо да, сходно чл. 48 ст. 5 тач. 3) Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“ бр. 201/2018, 207/2019, 213/2020, 214/2020, 217/2020, 230/21, 232/22, 233/22 и 236/22), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

**Интеракција јона гвожђа и мангана са сојевима екстремофилне зелене једноћелијске
алге *Chlamydomonas acidophila* изолованим из отпадних рудничких вода**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Технолошко инжењерство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Исидора (Младен) Сантрач

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Универзитет у Београду,

Технолошко-металуршки факултет, Хемијско инжењерство, Мастер инжењер технологије

3. Година завршетка
претходног нивоа студија: 2021.

4. Година уписа на докторске студије: 2022.

5. Назив студијског програма
докторских студија: Хемијско инжењерство

6. Датум подношења пријаве
теме докторске дисертације: 28. 8. 2025.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

за кандидата **Исидора Сантрач**

Име и презиме ментора: **др Саша Дрманић**

Звање: ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Taleb, K., Rusmirović, J., Rančić, M., Nikolić, J., Drmanić, S., Veličković, Z., & Marinković, A. (2016). Efficient pollutants removal by amino-modified nanocellulose impregnated with iron oxide. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 81(10), 1199-1213. (Chemistry, Multidisciplinary 120/162; IF2015=0.97) (ISSN: 0352-5139) (DOI: [10.2298/JSC160529063T](https://doi.org/10.2298/JSC160529063T)).
2. Crnković, D., Sekulić, Z., Antonović, D., Marinković, A., Popović, S., Nikolić, J., & Drmanić, S. (2020). Origins of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Danube and Sava rivers and their tributaries in Serbia. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(3), 2101-2110. (Environmental Sciences 226/274; IF2020=1.699) (ISSN: 1230-1485) (DOI: [10.15244/pjoes/111319](https://doi.org/10.15244/pjoes/111319)).
3. Nikolić, J. B., Prlainović, N. Ž., Šekularac, G. M., Matović, L. R., Lazić, A. M., & Drmanić, S. Ž. (2024). The synthesis, characterization, antioxidant and antimicrobial activity of some novel amides of the esters of substituted 1, 4-dihydropyridines. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 89(2), 141-150. (Chemistry, Multidisciplinary 175/231; IF2023=1.0) (ISSN: 0352-5139) (DOI: [10.2298/JSC231023098N](https://doi.org/10.2298/JSC231023098N)).
4. Milosavljević, M. M., Vukicević, I. M., Drmanić, S., Nikolić, J., Marinković, A., Krstić, S. S., & Petrović, S. (2016). Simple one-pot synthesis of thioureas from amines, carbon disulfide and oxidants in water. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 81(3), 219-231. (Chemistry, Multidisciplinary 120/162; IF2015=0.97) (ISSN: 0352-5139) (DOI: [10.2298/JSC150831087M](https://doi.org/10.2298/JSC150831087M)).
5. Budimirović, D., Veličković, Z. S., Bajić, Z., Milošević, D. L., **Nikolić, J. B.**, Drmanić, S. Ž., & Marinković, A. D. (2017). Removal of heavy metals from water using multistage functionalized multiwall carbon nanotubes. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 82(10), 1175-1191. (Chemistry, Multidisciplinary 120/162; IF2015=0.970) (ISSN: 0352-5139) (DOI: [10.2298/JSC170422066B](https://doi.org/10.2298/JSC170422066B)).

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 2:

за кандидата **Исидора Сантрач**

Име и презиме ментора: **др Јелена Даниловић Луковић**

Звање: виши научни сарадник Универзитета у Београду, Институт за мултидисциплинарна истраживања

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Vojvodić, S., Dimitrijević, M., Žižić, M., Dučić, T., Aquilanti, G., Stanić, M., ... & Spasojević, I. (2023). A three-step process of manganese acquisition and storage in the microalga *Chlorella sorokiniana*. *Journal of Experimental Botany*, 74(3), 1107-1122. (Plant Sciences 15/240; IF2021 = 7.378) (ISSN: 0022-0957) (DOI: [10.1093/jxb/erac472](https://doi.org/10.1093/jxb/erac472)).
2. Stanić, M., Jevtović, M., Kovačević, S., Dimitrijević, M., Danilović Luković, J., McIntosh, O. A., Zechmann, B., Lizzul, A. M., Spasojević, I., & Pittman, J. K. (2024). Low-dose ionizing radiation generates a hormetic response to modify lipid metabolism in *Chlorella sorokiniana*. *Communications biology*, 7(1), 821. (Biology 12/92; IF2022 = 5.9) (ISSN: 2399-3642) (DOI: [10.1038/s42003-024-06526-6](https://doi.org/10.1038/s42003-024-06526-6)).
3. Živanović, B. D., Luković, J. D., Korać, A., Stanić, M., Spasić, S. Z., & Galland, P. (2022). Signal transduction in *Phycomyces sporangiophores*: columella as a novel sensory organelle mediating auxin-modulated growth rate and membrane potential. *Protoplasma*, 1-19. (Plant Sciences 75/240; IF2020=3.356) (ISSN 0033-183X) (DOI: [10.1007/s00709-021-01709-y](https://doi.org/10.1007/s00709-021-01709-y)).
4. Vojvodić, S., Stanić, M., Zechmann, B., Dučić, T., Žižić, M., Dimitrijević, M., ... & Spasojević, I. (2020). Mechanisms of detoxification of high copper concentrations by the microalga *Chlorella sorokiniana*. *Biochemical Journal*, 477(19), 3729-3741. (Biochemistry & Molecular Biology 73/299; IF2018=4.331) (ISSN: 0264-6021) (DOI: [10.1016/j.freeradbiomed.2021.08.148](https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2021.08.148)).
5. Vojvodić, S., Luković, J. D., Zechmann, B., Jevtović, M., Pristov, J. B., Stanić, M., ... & Spasojević, I. (2020). The effects of ionizing radiation on the structure and antioxidative and metal-binding capacity of the cell wall of microalga *Chlorella sorokiniana*. *Chemosphere*, 260, 127553. (Environmental Sciences 30/274; IF2020=7.086) (ISSN: 0045-6535) (DOI: [10.1016/j.chemosphere.2020.127553](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127553)).

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

Обавештавамо вас да је

Наставно-научно веће

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 30. 9. 2025. године размотрило предложену тему и закључило да је

тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

ДП

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 33. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 30. 9. 2025. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме
докторске дисертације

Прихвата се Извештај Комисије о научној заснованости теме за израду докторске дисертације кандидата **Исидоре Сантрач**, број индекса 2022/4026, под називом:
„Интеракција јона гвожђа и мангана са сојевима екстремофилне зелене једноћелијске алге *Chlamydomonas acidophila* изолованим из отпадних рудничких вода”.

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

За менторе се одређују др Саша Дрманић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Јелена Даниловић Луковић, виши научни сарадник Универзитета у Београду, Институт за мултидисциплинарна истраживања.

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

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о оцени научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Исидоре Сантрач

Одлуком бр. 35/235 од 28. августа 2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Исидоре Сантрач под насловом „Интеракција јона гвожђа и мангана са сојевима екстремофилне зелене једноћелијске алге *Chlamydomonas acidophila* изолованим из отпадних рудничких вода“.

На основу материјала приложеног уз пријаву теме кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Исидора Сантрач, мастер инжењер технологије, рођена је 6. јула 1996. године у Бањој Луци. Школске 2015/2016. уписала је основне академске студије на Технолошком факултету, Универзитета у Бањој Луци, на студијском програму Хемијско инжењерство. Дипломирала је у септембру 2020. године на Катедри за органску хемију, одбранивши завршни рад на тему „Сорпција диклофенака на ТЕМПО оксидованој целулози“ са оценом 10 и просечном оценом током основних студија 8,18. Школске 2020/2021, уписала је мастер академске студије на студијском програму Хемијско инжењерство, на Технолошко-металуршком факултету, Универзитета у Београду. Завршни мастер рад на тему „Синтеза, карактеризација и антиоксидативна активност супституисаних 1,4-дихидропиридина и његових амида“ одбранила је у октобру 2021. године на Катедри за органску хемију, са оценом 10 и просечном оценом током мастер студија 8,57. У периоду од фебруара до јула 2022. године, била је на приправничкој пракси у Криминалистичком техничком центру при Министарству унутрашњих послова Републике Српске. Докторске академске студије уписала је школске 2022/2023. на Технолошко-металуршком факултету, студијски програм Хемијско инжењерство, под менторством др Саше Дрманића, ванредног професора Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду и др Јелене Даниловић Луковић, вишег научног сарадника Института за мултидисциплинарна истраживања, Универзитета у Београду.

Од марта 2023. године запослена је као истраживач приправник на Институту за мултидисциплинарна истраживања, Универзитета у Београду.

Члан је Биохемијског друштва Србије, Српског друштва за екстрацелуларне везикуле и Српског друштва биљних физиолога. Говори енглески језик.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Исидора Сантрач је школске 2022/2023. уписала 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, као и завршни испит под називом „Микроалге и њихов значај у биоремедијацији отпадних вода“ са просечном оценом 9,82. Списак положених испита на докторским студијама:

Предмет	Оцена	ЕСПБ
Одабрана поглавља нумеричке анализе	10	6
Аналогија феномена преноса	8	6
Хемијска термодинамика	10	6
Виши курс аналитичке хемије	10	6
Одабрана поглавља инструменталне анализе	10	7
Зелена хемија	10	5
Електрокатализа и електродни материјали	10	5
Електрохемијска корозија метала	10	5
Електрохемијски и алтернативни извори електричне енергије	10	5
Биомаса као извор енергије	10	5
Завршни испит	10	30
Укупно	9,82	86

Као студент докторских студија Исидора Сантрач је учесник на Призма пројекту, финансираног од стране Фонда за науку Републике Србије под називом „Biosynthelust – Microalgae for biosynthesis of metal cluster compounds“. Носилац је „Seed Research Grant“ пројекта за младе истраживаче под називом „ALGAFeED+ - Enhanced iron bioavailability in microalgal biomass as a sustainable feedstock for aquaculture and animal feed production“, финансираног од стране *Serbia Accelerating Innovation and Growth Entrepreneurship (SAIGE)*.

У току досадашњег научно-истраживачког рада Исидора Сантрач аутор је и коаутор: једног рада у међународном часопису изузетне вредности (M21a) и шест саопштења са међународног скупа штампана у изводу (M34).

Списак објављених научних и стручних радова:

Рад објављен у међународном часопису изузетне вредности (M21a):

1. Jovičić K, Đikanović V, **Santrač I**, Živković S, Dimitrijević M, Vranković J. (2024) Effects of Trace Elements on the Fatty Acid Composition in Danubian Fish Species. *Animals*. 14(6), 954. (Veterinary Sciences 2023 15/142; IF2023=3,0) (ISSN: 2076-2615) (DOI: [10.3390/ani14060954](https://doi.org/10.3390/ani14060954))

Саопштење са скупа међународног значаја штампано у изводу (M34):

2. Danilović Luković J, **Santrač I**, Milivojević M, Tanović M, Ćurić V, Kovačević S, Dimitrijević M, Stanić M, Spasojević I. (2024) Streamlining Scanning Electron Microscopy (SEM) Sample Preparation Protocols for Analyzing the Mechanisms of Heavy Metal Bioremediation by Microalgae. In *Program and Book of Abstracts/Third International Conference on Electron Microscopy of Nanostructures, ELMINA 2024, Serbian Academy of Science and Arts, Belgrade, Serbia, September 9 -1* (pp. 100-101). (ISBN: 978-86-6184-056-2)

3. Tanović M, Ćurić V, Žižić M, Karpov D, Danilović Luković J, Dimitrijević M, Stanić M, Kovačević S, **Santrač I**, Spasojević I. (2024) Intracellular localization of manganese as a part of Mn-O-Ca cluster in the microalga *Chlorella sorokiniana*. In *Book of Abstracts/5th International Conference on Plant Biology (24th SPPS Meeting), October 3-5, Srebrno jezero, Serbia* (p 151). (ISBN: 978-86-912591-7-4)

4. **Santrač I**, Danilović Luković J, Stanić M, Dimitrijević M, Kovačević S, Tanović M, Ćurić V, Zechmann B, Spasojević I. (2024) Adaptive responses and morphological changes in *Chlamydomonas acidophila* under sublethal manganese exposure. In *Book of Abstracts/5th International Conference on Plant Biology (24th SPPS Meeting), October 3-5, Srebrno jezero, Serbia* (p 137). (ISBN: 978-86-912591-7-4)

5. **Santrač I**, Danilović Luković J, Dimitrijević M, Stanić M, Tanović M, Ćurić V, Kovačević S, Zechmann B, Žižić M, Spasojević I. (2023) Structural adaptability of *Haematococcus pluvialis* green phase cells exposed to manganese excess. In *Book of Abstracts/International Conference on Biochemical Engineering and Biotechnology for Young Scientists, December 7-8, Belgrade, Serbia* (p 44). (ISBN: 978-86-7401-389-2)

6. **Santrač I**, Žižić M, Aquilanti G, Gianoncelli A, Bonanni V, Danilović Luković J, Dimitrijević M, Stanić M, Tanović M, Ćurić V, Kovačević S, Spasojević I. (2023) The coordination and storage of manganese in the microalga *Haematococcus pluvialis*. In *Book of Abstracts/International Conference on Biochemical Engineering and Biotechnology for Young Scientists, December 7-8, Belgrade, Serbia* (p 45). (ISBN: 978-86-7401-389-2)

7. **Santrač I**, Dimitrijević M, Stanić M, Tanović M, Ćurić V, Kovačević S, Spasojević I. (2023) The accumulation of manganese by *Chlamydomonas acidophila* strains isolated from acid mine drainage. In *Proceeding/Serbian Biochemical Society Twelfth Conference: Biochemistry in Biotechnology, September 21-23, Belgrade, Serbia* (p 115). (ISBN: 978-86-7220-140-6)

1.3. Оцена оспособљености кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег рада и остварених резултата током докторских студија, Исидора Сантрач, мастер инжењер технологије, показала је изузетну склоност и способност за бављење научноистраживачким радом. Способна је да самостално креира и реализује истраживања везана за тему докторске дисертације, али се одлично показала и у тимском раду на истраживањима у оквиру пројеката на којима је ангажована. На основу биографских података кандидаткиње, њених научних и стручних доприноса, као и објављених радова, Комисија сматра да је кандидаткиња подобна за ефикасан теоријски и експериментални рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања у предложеној докторској дисертацији је испитивање интеракција јона гвожђа и мангана са три соја екстремофилне зелене једноћелијске алге *Chlamydomonas acidophila*, изолованих из отпадних киселих рудничких вода. Истраживање је усмерено ка разумевању механизма толеранције ових организама на високе концентрације тешких метала, као и на описивање начина њихове акумулације, унутраћелијске локализације и утицаја на метаболичке и структурне особине ћелија.

Микроалге поседују неколико адаптивних механизма за сузбијање токсичности метала. Када је манган у питању њихов одговор укључује појачану антиоксидативну одбрану, као што су повећане активности супероксид дисмутазе и каталазе, које ублажавају оксидативни стрес изазван присуством метала [1]. Такође, код *Chlorella vulgaris* је забележено побољшање фотосинтетичке ефикасности, што се приписује повећаној пластичности фотосистема II (PSII) под стресом изазваним манганом [2]. Сложен одговор на вишак мангана обухвата и ограничену апсорпцију путем излучених полимера (муцилажа), прелазно складиштење у комплексу са полифосфатима и формирање кластера метала код *Chlorella sorokiniana* [3,4]. С друге стране, токсичност, биодоступност и облик гвожђа утичу на ефикасност уклањања од стране микроалги и познато је да врсте које насељавају земљишне екосистеме брже апсорбују соли гвожђа(III), док се соли гвожђа (II) брже акумулирају унутар ћелије [5]. Док су генерално механизми апсорпције и складиштења гвожђа, као и адаптације на његов недостатак, добро описани, ефекти вишка на ћелије микроалги су недовољно истражени [6].

Chlamydomonas acidophila је ацидофилна микроалга, добро прилагођена за раст и опстанак у киселим и металима богатим срединама, као што су оне које се налазе у отпадним рудничким водама [7]. Протеини за избацивање јона (ефлукс протеини) имају кључну улогу у адаптацији на киселу средину [8], док повећана стопа фотосинтезе и активирање алтернативних механизма транспорта електрона, као што је хлорореспирација, омогућавају да у таквим условима фотосинтеза остане неометана [9]. Ови екстремофилни сојеви микроалги поседују развијене адаптивне механизме који им омогућавају опстанак у екстремним условима, укључујући ниске рН вредности и високе концентрације метала. Као вид адаптације на вишак тешких метала, *Chlamydomonas acidophila* показује повећану активност транспозона и експресију гена укључених у биосинтезу уља [8], заједно са ћелијским променама које укључују повећан садржај скроба, појаву вакуола, електроногустих депозита и промене у структури мембране. Захваљујући пластичности метаболичког одговора, *Chlamydomonas acidophila* испољава већу толеранцију на вишак тешких метала у поређењу са другим врстама рода *Chlamydomonas* [10].

Chlamydomonas acidophila показује изузетnu otpornost na visoke koncentracije kadmijuma, bakra i cinka, što se verovatno pripisuje specifičnoj metaboličkoj plastičnosti i promenama u profilu proteina [7]. Mehanizmi odgovora *Chlamydomonas acidophila* na višak gvožđa i mangana nisu dovoljno istraženi, što ukazuje na potrebu za detaljnim ispitivanjima koja bi rasvetlila ulogu antioksidativne zaštite, transporta jona i mogućih mehanizama skladištenja ovih metala. Istraživanje sojeva iste vrste izolovanih iz tri različita staništa značajno proširuje razumevanje ekološke i fiziološke plastičnosti mikroalgi u odgovoru na gvožđe i mangana, omogućavajući identifikaciju opštih i specifičnih adaptivnih strategija [7]. Očekuje se da ovi sojevi pokažu sposobnost akumulacije i inaktivacije jona gvožđa i mangana, što ih čini pogodnim za primenu u biotehnologiji, posebno u procesima remedijacije i proizvodnje biomase u ekološki grančnim uslovima, nepovoljnim za većinu vrsta.

Imajući u vidu sve veću zabrinutost u vezi sa nedostatkom čiste vode, industrijsko gaenje mikroalgi u otpadnim rudničkim vodama predstavlja obećavajući dvostruki pristup: efikasnu bioremedijaciju загаживача и одрживу производњу biomase za dobijanje bioenergenata и других биотехнолошких производа.

Циљ истраживања је свеобухватно карактерисање капацитета *Chlamydomonas acidophila* за уклањање и акумулацију мангана и гвожђа, утицаја на редокс метаболизам, фотосинтетску активност и структуру ћелија. Резултати истраживања имају значај за унапређење нивоа научног сазнања у области примене екстремофилних микроалги у ремедијацији индустријских и отпадних вода, али и за развој одрживих биотехнологија производње biomase.

Списак стручне литературе која ће се користити:

1. Rossini-Oliva, S., Abreu, M. M., & Leidi, E. O. (2021). Strategies in a metallophyte species to cope with manganese excess. *Environmental geochemistry and health*, 43(4), 1523-1535. (Environmental Sciences 92/297; IF2021=4.898) (ISSN: 0269-4042) (DOI: [10.1007/s10653-020-00625-z](https://doi.org/10.1007/s10653-020-00625-z))
2. Smythers, A. L., Crislip, J. R., Slone, D. R., Flinn, B. B., Chaffins, J. E., Camp, K. A., McFeeley, E. W., & Kolling, D. R. J. (2023). Excess manganese increases photosynthetic activity via enhanced reducing center and antenna plasticity in *Chlorella vulgaris*. *Scientific reports*, 13(1), 11301. (Multidisciplinary Sciences 26/134; IF2022=4.6) (ISSN: 2045-2322) (DOI: [10.1038/s41598-023-35895-x](https://doi.org/10.1038/s41598-023-35895-x))
3. Vojvodić, S., Dimitrijević, M., Žižić, M., Dučić, T., Aquilanti, G., Stanić, M., Zechmann, B., Danilović Luković, J., Stanković, D., Opačić, M., Morina, A., Pittman, J. K., & Spasojević, I. (2023). A three-step process of manganese acquisition and storage in the microalga *Chlorella sorokiniana*. *Journal of experimental botany*, 74(3), 1107–1122. (Plant Sciences 18/264; IF2022=6.9) (ISSN: 0022-0957) (DOI: [10.1093/jxb/erac472](https://doi.org/10.1093/jxb/erac472))
4. Vojvodić, S., Stanić, M., Zechmann, B., Dučić, T., Žižić, M., Dimitrijević, M., Danilović Luković, J., Milenković, M. R., Pittman, J. K., & Spasojević, I. (2020). Mechanisms of detoxification of high copper concentrations by the microalga *Chlorella sorokiniana*. *The Biochemical journal*, 477(19), 3729–3741. (Biochemistry & Molecular Biology 95/296; IF2019=4.097) (ISSN: 0264-6021) (DOI: [10.1042/BCJ20200600](https://doi.org/10.1042/BCJ20200600))
5. Subramaniam, V., Subashchandrabose, S. R., Thavamani, P., Chen, Z., Krishnamurti, G. S. R., Naidu, R., & Megharaj, M. (2016). Toxicity and bioaccumulation of iron in soil microalgae. *Journal of Applied Phycology*, 28, 2767-2776. (Biotechnology & Applied Microbiology 60/160; IF2016=2.616) (ISSN: 0921-8971) (DOI: [10.1007/s10811-016-0837-0](https://doi.org/10.1007/s10811-016-0837-0))
6. Glaesener, A. G., Merchant, S. S., & Blaby-Haas, C. E. (2013). Iron economy in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Frontiers in plant science*, 4, 337. (Plant Sciences 23/198; IF2013=3.637) (ISSN: 1664-462X) (DOI: [10.3389/fpls.2013.00337](https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00337))
7. Dean, A. P., Hartley, A., McIntosh, O. A., Smith, A., Feord, H. K., Holmberg, N. H., King, T., Yardley, E., White, K. N., & Pittman, J. K. (2019). Metabolic adaptation of a *Chlamydomonas acidophila* strain isolated from acid mine drainage ponds with low eukaryotic diversity. *The Science of the total environment*, 647, 75–87. (Environmental Sciences 22/264; IF2019=6.551) (ISSN: 0048-9697) (DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.07.445](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.445))
8. Puente-Sánchez, F., Díaz, S., Penacho, V., Aguilera, A., & Olsson, S. (2018). Basis of genetic adaptation to heavy metal stress in the acidophilic green alga *Chlamydomonas acidophila*. *Aquatic Toxicology*, 200, 62-72. (Toxicology 18/93; IF2017= 3.884) (ISSN: 0166-445X) (DOI: [10.1016/j.aquatox.2018.04.020](https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.04.020))

9. Gerloff-Elias, A., Spijkerman, E., & Pröschold, T. (2005). Effect of external pH on the growth, photosynthesis and photosynthetic electron transport of *Chlamydomonas acidophila* Negoro, isolated from an extremely acidic lake (pH 2.6). *Plant, Cell & Environment*, 28(10), 1218-1229. (Plant Sciences 9/137; IF2004=3.634) (ISSN: 0140-7791) (DOI: [10.1111/j.1365-3040.2005.01357.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01357.x))
10. Nishikawa, K., & Tominaga, N. (2001). Isolation, growth, ultrastructure, and metal tolerance of the green alga, *Chlamydomonas acidophila* (Chlorophyta). *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 65(12), 2650-2656. (Biotechnology & Applied Microbiology 65/132, IF2000= 1.039) (ISSN: 0916-8451) (DOI: [10.1271/bbb.65.2650](https://doi.org/10.1271/bbb.65.2650))

3. Полазне хипотезе

Предложеним истраживањем испитују се механизми толеранције и акумулације мангана и гвожђа, код сојева екстремофилне зелене једноћелијске алге *Chlamydomonas acidophila*, изолованих из отпадних киселих рудничких вода. Посебна пажња биће посвећена одређивању координационог стања и особина метала, унутраћелијској локализацији њихових депозита, као и њиховим ефектима на метаболички профил, организацију ћелије, редокс метаболизам и фотосинтетску активност.

Полазне идеје и хипотезе које се проверавају истраживањем:

1. Сојеви *Chlamydomonas acidophila* изоловани из киселих рудничких вода показују високу толеранцију на концентрације гвожђа и мангана, што је последица њихове адаптације на ниске pH вредности и присуство тешких метала у природном станишту;
2. Метали се ефикасно акумулирају унутар ћелија, у локализованим депоима, уз специфичне промене у метаболичком профилу и редокс стању, при чему ћелије развијају механизме за складиштење и инактивацију метала како би се ублажило њихово токсично дејство;
3. Упркос структурним и функционалним променама које изазива присуство метала, адаптирани сојеви задржавају виталност и фотосинтетску активност, што их чини погодним за примену у ремедијацији водених екосистема и различитим биотехнолошким процесима.

Провера ових хипотеза омогућиће детаљнији увид у биолошке механизме интеракције микроалги са јонима метала, као и процену њихове биотехнолошке применљивости у процесима ремедијације и одрживе производње биомасе у еколошки ограниченим условима.

4. Научне методе истраживања

У оквиру ове докторске дисертације биће примењен широк спектар метода и техника како би се испитала толеранција и метаболичке адаптације сојева *Chlamydomonas acidophila* на присуство јона гвожђа и мангана. Културе ових микроалги, узгајане у модификованом медијуму (MAM) у стационарној фази, биће третиране сублеталним концентрацијама јона наведених метала у циљу добијања биомасе обogaћене металима. Да би се проценио ниво оксидативног стреса изазваног третманом, примениће се различити есеји засновани на квантитативној анализи биомаркера оксидативног оштећења. За идентификацију специфичних протеинских одговора користиће се Western Blot техника, која омогућава детекцију циљаних протеина. Морфолошке промене и дистрибуција метала на површини и унутар ћелија биће анализирани применом електронске микроскопије, и то скенирајуће (SEM–EDS) за површинску анализу и трансмисионе (TEM–EDS) за унутраћелијску структуру.

У циљу одређивања количине акумулираног метала у биомаси, биће примењена метода индуковано спрегнуте плазме са оптичком емисионом спектроскопијом (ICP–OES). Промене у односу основних биомолекула — протеина, липида и угљених хидрата — у биомаси након изложености металима биће процењене коришћењем инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовом трансформацијом (FTIR). Рендгенска флуоресцентна спектрометрија (XRF) биће употребљена за одређивање редокс стања метала а електронска парамагнетна резонанца (EPR) омогућиће увид у координационо окружење и редокс стање јона метала унутар ћелија, што ће допринети разумевању молекулских механизма

њихове инактивације и депоновања. Применом апсорпционе спектроскопије рендгенских зрака (XAFS) добиће се информације о оксидационом стању, типу, броју и удаљености атома у непосредном окружењу метала, док ће флуорометрија са модулисаном амплитудом импулса (РАМ) послужити за мерење фотосинтетичке активности третираних ћелија.

5. Очекивани научни допринос

Основни научни допринос предложених истраживања у оквиру дисертације односи се на:

- детаљно испитивање ефеката јона гвожђа и мангана на физиолошке, морфолошке и метаболичке карактеристике три соја екстремофилне алге *Chlamydomonas acidophila* из киселих рудничких вода;
- расветљавање метаболичких и редокс одговора микроалги на високе концентрације метала, што доприноси бољем разумевању механизма толеранције и токсичности;
- одређивање капацитета акумулације, унутарћелијске локализације и редокс стања јона гвожђа и мангана применом савремених аналитичких и спектроскопских метода;
- карактеризацију структурних и функционалних промена ћелија под утицајем метала, са посебним освртом на фотосинтетичку активност и основне метаболичке путеве (протеини, липиди, угљени хидрати);
- проширивање знања у области екстремофилне микробиологије и бионеорганске хемије кроз анализу адаптационих стратегија микроалги на услове ниског рН и високе концентрације метала;
- идентификацију потенцијалних биомаркера за толеранцију на металне јоне и оксидативни стрес, који могу послужити као алати у будућим истраживањима.

Са аспекта примене, очекује се да ће истраживање допринети:

- селекцији ефикасних сојева микроалги за биотехнолошку примену у ремедијацији вода контаминираних тешким металима;
- развоју одрживих биопроцеса заснованих на култивацији екстремофилних микроалги у индустријске сврхе, попут производње биомасе, пигмената или биогорива;
- промоцији концепта циркуларне економије и зелене хемије кроз потенцијалну употребу отпадних киселих рудничких вода као ресурса уместо као отпада;
- унапређењу аналитичких метода за испитивање метала у биолошким системима, што има значај у еколошким и биомедицинским истраживањима.

6. План истраживања и структура рада

Истраживања у овој докторској дисертацији планирана су у следећим фазама:

- припрема и оптимизација култура три соја *Chlamydomonas acidophila* (узгајаних у модификованом медијуму МАМ), укључујући изоловање, умножавање и стандардизацију услова третмана са наведеним шифрама сојева;
- излагање култура сублеталним концентрацијама јона мангана и гвожђа, уз праћење раста, вијабилности и производње биомасе;
- квантитативна анализа акумулације метала у биомаси применом ICP–OES методе;
- микроскопске и спектроскопске анализе ћелијске морфологије и локализације метала, укључујући SEM–EDS и TEM–EDS за испитивање промена на површини и унутар ћелија, XRF за дистрибуцију елемената, XAFS за добијање информација о оксидационом стању, типу, броју и удаљености атома у непосредном окружењу метала и EPR за одређивање редокс и координационог стања метала;
- испитивање метаболичких и ћелијских промена насталих излагањем металима, укључујући одређивање оксидативног стреса, биохемијску FTIR анализу (липиди, угљени хидрати) и Western Blot детекцију протеина повезаних са антиоксидативним одговором;
- анализа фотосинтетске активности култура коришћењем РАМ флуорометрије, са циљем процене фотосистемске ефикасности и адаптације на стресне услове;

- интеграција и интерпретација добијених резултата с циљем процене биотехнолошког потенцијала сојева *Chlamydomonas acidophila* за ремедијацију вода загађених тешким металима и примену у биотехнологији.

Предвиђа се да ће предложена докторска дисертација бити организована по следећим поглављима: *Увод, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература*. У поглављу *Увод* биће дефинисани предмет истраживања, циљеви дисертације, као и сумирана досадашња истраживања у области механизма толеранције и акумулације тешких метала код микроалги, њихов потенцијал у ремедијацији отпадних вода и биотехнологији. У оквиру *Експерименталног дела*, биће описана методологија испитивања ефеката јона мангана и гвожђа на физиолошке, морфолошке и метаболичке карактеристике три соја екстремофилне алге *Chlamydomonas acidophila*. У поглављу *Резултати и дискусија*, биће приказани, анализирани и дискутовани резултати експерименталних истраживања. У поглављу *Закључак* биће сумирани сви кључни налази добијени на основу експерименталних резултата и њихове анализе. У поглављу *Литература* биће наведен списак коришћене литературе, као и публикације проистекле из ове докторске дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу наведених података, Комисија сматра да је предложена тема докторске дисертације под називом: „Интеракција јона гвожђа и мангана са сојевима екстремофилне зелене једноћелијске алге *Chlamydomonas acidophila* изолованим из отпадних рудничких вода“ научно заснована и да кандидаткиња Исидора Сантрач, мастер инжењер технологије, испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Хемијско инжењерство, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет, Универзитета у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да кандидаткињи Исидори Сантрач одобри израду докторске дисертације под наведеним насловом. За менторе се предлажу др Саша Дрманић, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду и др Јелена Даниловић Луковић, виши научни сарадник Института за мултидисциплинарна истраживања, Универзитета у Београду.

У Београду,
(1. септембар 2025. године)

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Саша Дрманић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Јелена Даниловић Луковић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду, Институт за мултидисциплинарна истраживања

.....
Др Душан Мијин, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Милена Димитријевић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду, Институт за мултидисциплинарна истраживања

.....
Др Невена Прлаиновић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет