

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ
ХЕМИЈСКОГ ФАКУЛТЕТА**

ПРЕДМЕТ: Извештај Комисије за оцену докторске дисертације Снежане Д. Војводић, мастер биолога.

На редовној седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Хемијског факултета, одржаној 12.05.2022. године одређени смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације, мастер биолога, **Снежане Д. Војводић**, истраживача–сарадника Универзитета у Београду – Института за мултидисциплинарна истраживања, под насловом:

„Испитивање интеракције јона Cu(II) и Mn(II) са структурним јединицама полимера ћелијског зида и мукуса једноћелијске алге *Chlorella sorokiniana* изложене абиотичком стресу“

Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на својој седници одржаној дана 27.05.2021. године, на захтев Хемијског факултета, дало сагласност на предлог теме докторске дисертације (евиденциони број 61206-2105/2-21).

Комисија је докторску дисертацију прегледала и Наставно-научном већу подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација **Снежане Д. Војводић** написана је на 133 стране А4 формата (фонт „Book Antiqua“; величина 12 pt; проред 1; маргине 2 cm) и садржи 44 слике, 2 схеме и 9

табела. Рад обухвата следећа поглавља: Увод (22 стране), Циљ истраживања (1 страна), Експериментални део (31 страна), Резултати и дискусија (44 стране), Закључак (2 стране) и Литература (28 страна, 363 цитата). Поред наведеног, дисертација садржи Захвалницу (1 страна), Сажетак на српском и енглеском језику (по 1 страна), Садржај (3 стране), Листу скраћеница (2 стране), Биографију кандидаткиње (1 страна), Изјаву о ауторству (1 страна), Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада (1 страна) и Изјаву о коришћењу (2 стране).

У **УВОДУ** је дефинисана тема и области истраживања дисертације. Дат је преглед литературе у коме је приказан утицај јона Cu(II) и Mn(II) на животну средину и хемијске карактеристике ових метала. Укратко је описан утицаја јонизујућег зрачења на живе организме. Приказана је таксономија и описана морфологија микроалге *Chlorella sorokiniana*, која је била предмет истраживања ове докторске дисертације. Детаљно је објашњена улога микроалги као биосорбента тешких метала у воденим екосистемима и описана грађа и хемијска структура компонената које имају главну улогу у везивању тешких метала - ћелијског зида и мукуса, односно ванћелијског матрикса. Објашњен је ефекат абиотичких стресора на производњу реактивних врста кисеоника, и описане компоненте антиоксидативног система које могу имати улогу у одбрани од реактивних врста кисеоника код микроалги.

У делу **ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА** дефинисани су главни циљеви и задаци дисертације.

У **ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОМ ДЕЛУ** је дат детаљан опис експерименталних услова снимања, коришћених програма и опреме, укратко су описани основни принципи метода коришћених при изради ове дисертације. Јасно и прегледно су написани подаци о узгајању и припреми културе микроалги *C. sorokiniana* за експерименте и третманима абиотичким стресогеним факторима.

Поглавље **РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА** подељено је на три дефинисане целине. Прва целина представља резултате и дискусију експерименталног испитивања утицаја јона Cu(II) на микроалгу *C. sorokiniana* кроз: (i) одређивање сублеталне концентрације јона Cu(II) ; (ii) испитивање структурних и хемијских промена у биомаси микроалги, применом скенирајуће електронске микроскопије са енергетски дисперзивном спектроскопијом X-зрака (SEM-EDS) и инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовом трансформацијом заснованом на синхротронском зрачењу (SR-FTIR); и (iii) одређивање редокс стања и координационог окружења јона Cu(II) применом метода електронске парамагнетне резонанције (EPR) и апсорпционе спектроскопије X-зрака (XANES/EXAFS). Друга целина представља резултате и дискусију експерименталног испитивања утицаја јона Mn(II) на микроалгу *C. sorokiniana*, и заснива се на: (i) одређивању сублеталне концентрације јона Mn(II) ; (ii) испитивању структурних и хемијских промена у биомаси микроалги у

присуству повећане концентрације јона Mn(II), применом метода: SEM-EDS и SR-FTIR, (iii) променама у редокс статусу ћелије (унутарћелијске концентрације реактивних врста кисеоника, редукованих тиола и укупног глутатиона) применом метода флуоресцентне спектроскопије, EPR методе спинских обележивача и UV/Vis спектроскопије; и (iv) одређивању редокс стања јона мангана у биомаси микроалги применом EPR спектроскопије и цикличне волтаметрије. Трећа целина представља испитивање ефеката јонизујућег зрачења на хемијске и структурне промене ћелијског зида микроалги кроз испитивање: (i) оптималних доза јонизујућег X-зрачења; (ii) структурне промене ћелијског зида, применом TEM микроскопије; (iii) промене у хемијском саставу ћелијског зида, применом FTIR и EPR метода, (iv) антоксидативног капацитета изолованог ћелијског зида применом EPR методе; и (v) капацитета полимера изолованог ћелијског зида за везивања јона метала, применом EPR методе.

У **ЗАКЉУЧКУ** су сумирани сви резултати остварени током израде ове докторске дисертације.

У делу **ЛИТЕРАТУРА**, све цитиране референце (363) су наведене по абecedном реду. Ово поглавље обухвата радове из области истраживања и односи се на све делове дисертације.

Б. Кратак опис постигнутих резултата

У овој докторској дисертацији испитане су интеракције јона Cu(II) и Mn(II) са структурним компонентама ћелијског зида и мукуса код једноћелијске зелене алге *C. sorokiniana*. На основу добијених резултата закључено је да *C. sorokiniana* има низ адаптивних одговора на високе, али нетоксичне, концентрације јона Cu(II) и Mn(II) и да се тај одговор мења током времена, односно да постоје фазе самог одговора.

Показано је да као последица излагања повећаним концентрацијама јона Cu(II) и Mn(II) долази до ослобађања мукуса на површини ћелијског зида, акумулације полифосфата унутар мукуса, промене редокс статуса унутар ћелије, и структурних и хемијских промена у ћелијском зиду. Овакви резултати доводе до закључка да ћелијски зид и мукус имају улогу у акумулирању јона метала код микроалги, и да као последица долази до смањења њихове токсичности. Даље се може закључити да полифосфати представљају доминантан облик фосфата који су везани за ћелијски зид и ослобођени мукус, или су складиштени унутар ћелија микроалги. Структурне промене ћелијског зида, у смислу повећања апсорпционог капацитета ћелијског зида, које такође представљају битан адаптивни одговор на стрес, потврђене су добијеним резултатима и подразумевају продукцију

полисахарида, деацетилацију хитозана и смањење уређености ацилних ланаца у липидним мембранама код алги изложених јонима Cu(II) . Добијеним резултатима показано је и да је Cu(II) координован за полифосфате при чему формира комплекс квадратно-пирамидалне геометрије. Такође је закључено да долази до редукције Cu(II) до Cu(I) и до оксидације Mn(II) до Mn(III) и Mn(IV) . Анализа редокс статуса ћелија микроалги изложених јонима Mn(II) показала је да долази до пораста нивоа реактивних врста кисеоника у ћелији и да се он одвија у две фазе. Оваква промена реактивних врста кисеоника у складу је са добијеним резултатима који показују смањење нивоа редукованих тиола, што представља последицу прилагођавања микроалги на прооксидативне улове средине. Добијени резултати важни су за разумевање метаболизма микроалги, толеранције на хемијска загађења водених екосистема, модулације биорасположивости метала и њихове токсичности за друге организме, као и употребу микроалги и микроалгалне биомасе као биосорбента.

Утицај јонизујућег зрачења који је испитан у контексту интеракција са јонима Cu(II) и Mn(II) , показао је да *C. sorokiniana* има развијен брз одговор на абиотички стрес изазван овим зрачењем. У року од једног дана након излагања јонизујућем зрачењу, фибриларни слој ћелијског зида постао је дебљи, док је удео уронских киселина порастао. Излагање микроалги јонизујућем зрачењу имало је утицаја и на антиоксидативни капацитет ћелијског зида што је потврђено повећањем капацитета ћелијског зида за уклањање хидроксил радикала, главног реактивног производа радиолитике. Јонизујуће зрачење довело је и до повећања капацитета полимера ћелијског зида за везивање јона Cu(II) , пре свега за остатке глукозамина у полимеру сличном хитозану који чини спољни ригидни слој зида. На основу добијених резултата можемо закључити да ћелијски зид алги представља динамичну структуру укључену у заштиту ћелије од јонизујућег зрачења, да микроалге имају значајну контролу биорасположивости јона бакра и мангана у воденим екосистемама и значајан потенцијал за пречишћавање вода загађених овим металима, посредством везивања за мукус и ћелијски зид, што претходи даљим процесима у метаболичком и адаптивном одговору на повећано присуство метала.

В. Упоредна анализа резултата кандидата са резултатима из литературе

Кандидаткиња је у оквиру ове докторске дисертације испитала интеракције јона Cu(II) и Mn(II) са структурним компонентама ћелијског зида и мукуса микроалге *C. sorokiniana* изложене абиотичким стресогеним факторима. Бакар и манган били су метали од интереса из разлога што представљају есенцијалне микроелементе неопходне за нормалан метаболизам микроалги, који са друге стране постају токсични за микроалге када су присутни у високим концентрацијама [1]. Из доступних литературних података може се закључити да метаболизам ових метала, као и адаптивни одговор микроалги на услове

повећане концентрације јона Cu(II) и Mn(II) нису у потпуности објашњени. Стога је циљ ове докторске дисертације био да се разјасне механизми токсичности, адаптације и толеранције микроалги на високе концентрације јона Cu(II) и Mn(II) .

Резултати добијени SEM-EDS анализом, који су показали да *C. sorokiniana* има брз адаптивни одговор, који подразумева ослобађање мукуса на површини ћелијског зида, потврђују литературне податке који наводе да ћелијски зид микроалги представља динамичну вишеслојну структуру активно укључену у адаптивни одговор ћелије на различите врсте стресора, односно, има улогу хемијске и физичке баријере [2] и представља главну компоненту за везивање јона метала у биомаси микроалги [3], док ослобађање мукуса представља додатни одговор микроалги на абиотички стрес, којим оне “појачавају” своју одбрану [4,5]. У складу са подацима добијеним EDS анализом као и са доступним литературним подацима, на основу резултата добијених SR-FTIR спектроскопијом закључено је да фосфатне групе имају главну улогу у везивању јона метала [6]. Како би се одредило на који начин се бакар везује за *C. sorokiniana* у оквиру адаптивног одговора, коришћене су EPR и XAFS спектроскопија. Анализа је показала, а на основу доступне литературе је потврђено [7,8], да Cu(II) са полифосфатима формира комплекс квадратно-пирамидалне геометрије. Осим тога, долази и до редукције Cu(II) и појаве Cu(I) .

Литературни подаци указују на то да се током усвајања мангана од стране ћелија *C. sorokiniana* већи део апсорбује на површини ћелије и да се однос јона Mn(II) који се уноси у унутрашњост ћелија у односу на јоне апсорбоване на површини повећава током времена [10]. Како би се испитали наведени литературни подаци, коришћена је EPR метода. Чврсто везани Mn(II) се не може испитивати EPR методом на собној температури због анизотропије цепања при нултом пољу, која је изражена због губитка слободне ротације Mn(II) чврсто везаног за велике молекуле и супрамолекулске структуре, као и због присуства великог броја прелаза, односно линија [11]. Ово је омогућило да се EPR спектроскопија примени како би се испитала промена у количини Mn(II) који је слабо везан за површину ћелије. Добијени резултати показали су да у првих сат времена манган није чврсто везан за полимере мукуса и/или полимере ћелијског зида, док су код третмана од 24 h, јони мангана транспортовани у унутрашњост ћелије или су чвршће везани за полимере ћелијског зида и мукуса, или је дошло до промене редокс стања мангана и самим тим није било могуће детектовати их EPR методом. Добијени резултати су у складу са ранијим налазима по којима усвајање мангана од стране микроалги подразумева вишефазни процес, који укључује везивање за ћелијски зид и мембрану, везивање за синтетисане полифосфате који га акумулирају у ацидокалцизомима, и коначно складиштење у виду депозита [12]. Како би се употпунили резултати добијени EPR спектроскопијом и утврдило да ли долази до промене оксидационог стања мангана, коришћена је циклична волтаметрија. Добијени резултати указују на то да у раној фази микроалге везују манган у облику Mn(II) . Ово је Mn(II) који је слабо везан за мукус и

ћелијски зид, уочен EPR спектроскопијом. У каснијој фази микроалге складиште манган у облику јона Mn(II), али и другим редокс облицима – Mn(III) или Mn(IV).

У овој докторској дисертацији анализиран је ефекат јонизујућег X-зрачења на промене у структури ћелијског зида и капацитета везивања јона метала за изоловане фракције ћелијског зида код *C. sorokiniana*. Досадашња истраживања рађена на микроалгама говоре у прилог томе да оне могу бити отпорне на стрес изазван зрачењем и да могу бити ефикасне у санацији слатководних екосистема које су загађени радиоактивним металима попут стронцијума, цезијума и уранијума [13,14]. Колико ја познато, ефекат јонизујућег X-зрачења на нивоу ћелијског зида до сада није био испитан. Код микроалги је раније забележено да излагање стресним условима средине може да резултира задебљањем ћелијског зида [15]. Оваква запажања у складу су са резултатима добијеним у овој докторској дисертацији за *C. sorokiniana* на коју је примењено јонизујуће X-зрачење, где долази до задебљавања фибриларног слоја ћелијског зида, а у складу са тим и укупан принос изолованог ћелијског зида значајно је повећан у озраченим микроалгама.

Како би се разумеле хемијске промене у структури ћелијског зида након примене јонизујућег зрачења коришћена је метода FTIR спектроскопије. Добијени резултати су показали да не долази до формирања нових функционалних група као последица излагања микроалге *C. sorokiniana* јонизујућем X-зрачењу већ само до повећања броја већ присутних група, пре свега карбоксилних. Даља испитивања била су усмерена на капацитет озраченог ћелијског зида за везивање јона метала. Иако постоје претпоставке да је ћелијски зид одговоран за највећи део капацитета микроалги за акумулацију метала [16], до ове студије то није показано директно на изолованом ћелијском зиду. Постоји низ података о капацитету везивања јона метала за нетретирану биомасу микроалги [17], који су били нижи него што је наведено у овој докторској дисертацији. Резултати кандидаткиње у складу су са подацима који идентификују ћелијски зид као главну биосорпциону компоненту биомасе микроалги [17,18]. Уочени већи афинитет ћелијског зида за везивање јона Cu(II) од јона Mn(II) вероватно је повезан са разликама у координационој хемији ових метала [19].

Постоје бројна истраживања која се заснивају на употреби биомасе микроалги као биосорбента за санацију рударских, индустријских и радиоактивних отпадних вода [20,21], међутим, овај вид биосорбента захтева додатна испитивања. Представљени резултати имплицирају да би се примена микроалги у технологији биосорбента могла побољшати применом изолованих фракција ћелијског зида као сорбента. Међутим, комерцијална страна прераде биомасе се такође мора проценити и узети у обзир.

Литература:

1. Levy, J. L., Stauber, J. L., Jolley, D. F. (2007). Sensitivity of marine microalgae to copper: the effect of biotic factors on copper adsorption and toxicity. *Science of the Total Environment*, 387, 141-154.
2. Baudelet, P., Ricochon, G., Linder, M., Muniglia, L. (2017). A new insight into cell walls of *Chlorophyta*. *Algal Research*, 25, 333-371.
3. Vanhoudt, N., Vandenhove, H., Leys, N., Janssen, P. (2018). Potential of higher plants, algae, and cyanobacteria for remediation of radioactively contaminated waters. *Chemosphere*, 207, 239-254.
4. Watanabe, K., Imase, M., Sasaki, K., Ohmura, N., Saiki, H., Tanaka, H. (2006). Composition of the sheath produced by the green alga *Chlorella sorokiniana*. *Letters in Applied Microbiology*, 42, 538-543.
5. Naveed, S., Li, C., Lu, X., Chen, S., Yin, B., Zhang, C., Ge, Y. (2019). Microalgal extracellular polymeric substances and their interactions with metal(loid)s: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 49, 1769-1802.
6. D'Souza, L., Devi, P., Shridhar, D. M., Naik, C. G. (2008). Use of Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy to study cadmium-induced changes in *Padina tetrastratica*(Hauck). *Analytical Chemistry Insights*, 3, 135-143.
7. Garribba, E., Micera, G. (2006). The determination of the geometry of Cu(II) complexes. *Journal of Chemical Education*, 83, 1229-1232.
8. Hsiao, M. C., Wang, H. P., Yang, Y. W. (2001). EXAFS and XANES studies of copper in a solidified fly ash. *Environmental Science and Technology*, 35, 2532-2535.
9. Chokshi, K., Pancha, I., Ghosh, A., Mishra, S. (2017). Nitrogen starvation-induced cellular crosstalk of ROS-scavenging antioxidants and phytohormone enhanced the biofuel potential of green microalga *Acutodesmus dimorphus*. *Biotechnology for Biofuels*, 10, 1-12.
10. Nakajima, A., Horikoshi, T., Sakaguchi, T. (1979). Uptake of manganese ion by *Chlorella regularis*. *Agricultural and Biological Chemistry*, 43(7), 1461-1466.
11. Sigel, A., Sigel, H. (2000). *Metal Ions in Biological Systems: Manganese and its Role in Biological Processes*. Marcel Dekker, New York.
12. Tsednee, M., Castruita, M., Salomé, P. A., Sharma, A., Lewis, B. E., Schmollinger, S. R., Strenkert, D., Holbrook, K., Otegui, M. S., Khatua, K., Das, S., Datta, A., Chen, S., Ramon, C., Ralle, M., Weber, P. K., Stemmler, T. L., Pett-Ridge, J., Hoffman, B. M., Merchant, S. S. (2019). Manganese co-localizes with calcium and phosphorus in *Chlamydomonas* acidocalcisomes and is mobilized in manganese-deficient conditions. *Journal of Biological Chemistry*, 294, 17626-17641.
13. Fukuda, S. Y., Iwamoto, K., Atsumi, M., Yokoyama, A., Nakayama, T., Ishida, K. I., Inouye, I., Shiraiwa, Y. (2014). Global searches for microalgae and aquatic plants that can eliminate radioactive cesium, iodine and strontium from the radio-polluted aquatic environment: a bioremediation strategy. *Journal of Plant Research*, 127, 79-89.
14. Kalin, M., Wheeler, W. N., Meinrath, G. (2005). The removal of uranium from mining waste water using algal/microbial biomass. *Journal of Environmental Radioactivity*, 78, 151-177.
15. Jeong, S. W., Nam, S. W., HwangBo, K., Jeong, W. J., Jeong, B. R., Chang, Y. K., Park, Y. I. (2017b). Transcriptional regulation of cellulose biosynthesis during the early phase of nitrogen deprivation in *Nannochloropsis salina*. *Scientific Reports*, 7(1), 1-11.

16. Wehrheim, B., Wettren, M. (1994). Biosorption of cadmium, copper and lead by isolated mother cell walls and whole cells of *Chlorella fusca*. Applied Microbiology and Biotechnology, 8, 227-232.
17. Mehta, S. K., Gaur, J. P. (2005). Use of algae for removing heavy metal ions from wastewater: progress and prospects. Critical Reviews in Biotechnology, 25, 113-152.
18. Klimmek, S., Stan, H. J., Wilke, A., Bunke, G., Buchholz, R. (2001). Comparative analysis of the biosorption of cadmium, lead, nickel, and zinc by algae. Environmental Science and Technology, 35, 4283-4288.
19. Hancock, R. D., Martell, A. E. (1996). Hard and soft acid-base behavior in aqueous solution: Steric effects make some metal ions hard: A quantitative scale of hardness-softness for acids and bases. Journal of Chemical Education, 73, 654-661.
20. Bradshaw, C., Meseh, D. A., Alasawi, H., Qiang, M., Snoeijs-Leijonmalm, P., Nascimento, F. J. A. (2019). Joint effects of gamma radiation and cadmium on subcellular-, individual and population-level endpoints of the green microalga *Raphidocelis subcapitata*. Aquatic Toxicology, 211, 217-226.
21. Dessouki, T. C., Hudson, J. J., Neal, B. R., Bogard, M. J. (2005). The effects of phosphorus additions on the sedimentation of contaminants in a uranium mine pit-lake. Water Research, 39, 3055-3061.

Г. Објављени и саопштени радови који чине део дисертације

Резултати ове докторске дисертације су приказани у два рада који су објављени у међународним научним часописима (један рад категорије М21 и један рад категорије М22), као и четири саопштења на домаћим и међународним научним скуповима (три саопштења категорије М34 и једно саопштење категорије М64).

Радови у врхунским међународним часописима (М21):

1. **Vojvodić, S.**, Danilović Luković, J., Zechmann, B., Jevtović, M., Bogdanović Pristov, J., Stanić, M., Lizzul, A. M., Pittman, K. J., 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. DOI:[10.1016/j.chemosphere.2020.127553](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127553)

Радови у истакнутим међународним часописима (M22):

1. **Vojvodić, S.**, Stanić, M., Zechmann, B., Dučić, T., Žižić, M., Dimitrijević, M., Danilović Luković, J., Milenković, R. M., Pittman, J. K., Spasojević, I. (2020). Mechanisms of detoxification of high copper concentrations by the microalga *Chlorella sorokiniana*. *Biochemical Journal* 477, 3729-3741. DOI:<https://doi.org/10.1042/BCJ20200600>

Саопштења са међународних скупова штампана у изводу (M34):

1. **Vojvodić, S.**, Danilović Luković, J., Zechmann, B., Bogdanović Pristov J., Stanić, M., Pittman, J., Spasojević, I. Adaptive response of *Chlorella sorokiniana* to ionizing radiation on the level of cell wall. 7th European Phycological Congress, August 25-30, 2019, Zagreb, Croatia. *Eur J Phycol.* 54:166.
2. Danilović Luković, J., Zechmann, B., **Vojvodić, S.**, Bogdanović Pristov, J., Stanić, M., Pittman, J., Spasojević, I. The effects of ionizing radiation on the cell wall of microalgae *Chlorella sorokiniana* – TEM study. 14th Multinational Congress on Microscopy. September 15-20, 2019, Belgrade, Serbia, pp. 152.
3. **Vojvodić, S.**, Stanić, M., Zechmann, B., Dimitrijević, M., Opačić, M., Danilović Luković, J., Morina, A., Pittman, J. K., Spasojević, I. Mechanisms of detoxification of high manganese concentrations by the microalga *Chlorella sorokiniana*. *Redox Biology in the 21st Century: A New Scientific Discipline*. Society for Free Radical Research Europe Annual Meeting, June 15-18, 2021, Belgrade, Serbia, pp. 145.

Саопштења са скупа националног значаја штампана у изводу (M64):

1. **Vojvodić, S.**, Dimitrijević, M., Dučić, T., Stanković, D., Opačić, M., Stanić, M., Žižić, M., Spasojević, I. Redox changes in microalga *Chlorella sorokiniana* exposed to high concentrations of Mn(II). *Serbian Biochemical Society Tenth Conference*, September 24, 2021, Kragujevac, Serbia. *Book of Abstracts* pp 174. (isbn 978-86-7220-108-6).

Д. Провера оригиналности докторске дисертације

Оригиналност ове докторске дисертације је проверена на начин прописан Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду, бр. 204/22.06.2018.). На основу провере оригиналности докторске дисертације „Испитивање интеракције јона Cu(II) и Mn(II) са структурним јединицама полимера ћелијског зида и мукуса једноћелијске алге *Chlorella sorokiniana* изложене абиотичком стресу“ ауторке **Снежане Д. Војводић**, помоћу програма iThenticate, констатујемо да утврђено подударане текста износи 10%. Овај

степен подударности последица је цитата, личних имена/звања, библиографских података у коришћеној литератури, тзв. општих места и података, и претходно публикованих резултата истраживања кандидаткиње, који су проистекли из ове дисертације што је у складу са чланом 9. Правилника. На основу свега изнетог, Комисија сматра да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Б. Закључак

Комисија је прегледала и на основу приказаних резултата, закључила да је поднета докторска дисертација под називом „**Испитивање интеракције јона Cu(II) и Mn(II) са структурним јединицама полимера ћелијског зида и мукуса једноћелијске алге *Chlorella sorokiniana* изложене абиотичком стресу**“ кандидаткиње **Снежане Д. Војводић**, мастер биолога, производ самосталног рада, да су добијени резултати оригинални и да је успешно одговорено на задате циљеве у оквиру којих је испитана интеракција јона Cu(II) и Mn(II) са структурним јединицама полимера ћелијског зида и мукуса код једноћелијске алге *C. sorokiniana*, описане промене у хемијском саставу и структури мукуса и ћелијског зида, одређене функционалне групе за које се јони бакра и мангана везују, одређене геометрије насталих комплекси оксидационо-редукционе промене до којих долази под утицајем ових абиотичких стресогених фактора. Такође, испитан је утицај јонизујућег X-зрачења на својства ћелијског зида за везивање јона Cu(II) и Mn(II), са циљем одређивања промена у структури ћелијског зида, промена у капацитету за везивање јона Cu(II) и Mn(II), и капацитету за уклањање хидроксил-радикала, до којих долази под утицајем јонизујућег зрачења. Комисија сматра да постигнути резултати поднети у приложеној докторској дисертацији омогућавају разумевање хемијских механизма као основе толеранције и адаптације једноћелијских алги на високе концентрације јона Cu(II) и Mn(II) у воденим екосистемима, а који могу послужити за оптимизацију примене микроалги и алгалних биополимера у уклањању ових метала из отпадних и загађених вода или бити корисни за развој нових материјала који функционишу на датим хемијским принципима.

Научно-истраживачки рад кандидаткиње проистекао из ове дисертације публикован је у оквиру два научна рада, једног у врхунском међународном часопису (категорије M21) и једног у међународном часопису (категорије M22). Поред тога, резултати истраживања проистекли из ове дисертације су представљени у виду четири саопштења на скуповима од међународног и националног значаја (три саопштења категорије M34 и једно саопштење категорије M64).

На основу свега наведеног, а у складу са Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Београду – Хемијског факултета, Комисија сматра да су испуњени сви

услови за одбрану докторске дисертације и са задовољством предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду – Хемијског факултета да поднету докторску дисертацију **Снежане Д. Војводић**, мастер биолога, под насловом „Испитивање интеракције јона **Cu(II)** и **Mn(II)** са структурним јединицама полимера ћелијског зида и мукуса једноћелијске алге *Chlorella sorokiniana* изложене абиотичком стресу“ прихвати и одобри њену јавну одбрану у циљу стицања академског звања доктора хемијских наука.

У Београду, 13.5.2022.

Комисија:

др Драган Манојловић, редовни професор,
Универзитет у Београду – Хемијски факултет

др Милица Миленковић, ванредни професор,
Универзитет у Београду – Хемијски факултет

др Иван Спасојевић, научни саветник,
Универзитет у Београду – Институт за мултидисциплинарна истраживања
