

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ БИОЛОШКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

На IX редовној седници Наставно-научног већа Биолошког факултета Универзитета у Београду, одржаној 11.09.2020. године, на основу молбе ментора др Јасмине Шинжар-Секулић, ванредног професора Биолошког факултета, Универзитета у Београду и др Маје Лазаревић, доцента Биолошког факултета, Универзитета у Београду одређена је Комисија за преглед и оцену докторске дисертације **Уне Н. Матко Стаменковић**, под насловом „Потенцијал врста *Alyssum murale* Waldst. & Kit., *Thlaspi kovatsii* Heuffel и *Lepidium campestre* (L.) R. Br. (Brassicaceae) са серпентинитских станишта у Босни и Херцеговини за биоакумулацију метала“, у саставу:

др Јасмина Шинжар-Секулић, ванреди професор, Универзитет у Београду – Биолошки факултет; др Маја Лазаревић, доцент Универзитет у Београду – Биолошки факултет и др Ана Чучуловић, научни сарадник, Универзитет у Београду - Институт за примену нуклеарне енергије.

Комисија је прегледала урађену докторску дисертацију кандидата и Наставно-научном већу Биолошког факултета Универзитета у Београду подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

Општи подаци о докторској дисертацији

Докторска дисертација **Уне Н. Матко Стаменковић** под насловом „Потенцијал врста *Alyssum murale* Waldst. & Kit., *Thlaspi kovatsii* Heuffel и *Lepidium campestre* (L.) R. Br. (Brassicaceae) са серпентинитских станишта у Босни и Херцеговини за биоакумулацију метала“ написана је на укупно 146 страна и састоји се од следећих поглавља: **Увод** (стр. 1-28), **Циљеви рада** (стр. 29), **Материјал и методе** (стр. 30-38), **Резултати** (стр. 39-86), **Дискусија** (стр. 87-105), **Закључци** (стр. 106-109), **Литература** (стр. 110-125) и **Прилози** (стр. 126-134). Поред наведеног, докторска дисертација обухвата и биографију аутора (стр. 135), као и следеће целине: насловну страну на српском и енглеском језику, сажетак дисертације на српском и енглеском језику, листу ментора и чланова комисије, садржај, изјаву о ауторству, изјаву о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

Докторска дисертација садржи укупно 19 слика (5 у поглављу Увод, 1 у поглављу Материјал и методе и 13 у поглављу Прилози), 33 графикона (33 у поглављу Резултати) и 31 табелу (11 у поглављу Увод, 2 у поглављу Материјал и методе, 14 у поглављу Резултати и 4 у поглављу Прилози). Поглавље Литература садржи 211 библиографских јединица.

Анализа докторске дисертације

Ова докторска дисертација припада ужој научној области екологија, биогеографија и заштита животне средине.

Предмет истраживања докторске дисертације Уне Н. Матко Стаменковић је анализа биоакумулационог потенцијала одабраних биљних врста из фамилије Brassicaceae (*Alyssum murale* Waldst. & Kit., *Thlaspi kovatsii* Heuffel и *Lepidium campestre* (L.) R. Br.) са серпентинитских станишта у Босни и Херцеговини.

Поглавље **УВОД** је подељено у 5 целина. У оквиру првог поглавља изложена је научна проблематика, подржана бројним литературним наводима, на основу које је дефинисан предмет истраживања ове докторске дисертације. У првом потпоглављу дате су опште карактеристике ултрамафита, групе метаморфних или магматских стена које у свом саставу имају мање од 45% силиката и садрже високе концентрације магнезијума, гвожђа, хрома, кобалта и никла, као и њихово распрострањење у свету и на Балканском полуострву. Објашњен је, такође, процес формирања серпентинитске подлоге, односно серпентинизација, при ком настају метаморфне ултрамафитске стене које садрже велику количину серпентинитске групе минерала (кризолит, лизардит, антигонит). Друго потпоглавље даје преглед физичких карактеристика ултрамафитских стена, као и особине земљишта које се на њима формирају, док су у трећем издвојене хемијске карактеристике ултрамафита и серпентинитских земљишта. Четврто потпоглавље посвећено је детаљном прегледу односа биљака према ултрамафитској подлози. Посебни одељци у оквиру овог потпоглавља посвећени су основним одликама биљака на серпентинитима и њиховој подели, затим ограничавајућим едафским факторима за њихово преживљавање на овом типу подлоге, пре свега садржају и односу калцијума и магнезијума, недостатку макронутријената и високом нивоу потенцијално токсичних елемената, као и феномену хиперакумулације, односно способности биљака да усвајају метале и металоиде и депонују их у својим стаблима, листовима и цветовима у изузетно високим концентрацијама. У петом потпоглављу дат је преглед геоморфолошких и климатских карактеристика истраживаних станишта са серпентинита Босне и Херцеговине, као и опште карактеристике испитиваних врста биљака.

У оквиру поглавља **ЦИЉЕВИ РАДА** наведени су циљеви истраживања ове докторске дисертације. Основни циљеви докторске дисертације односили су се на утврђивање основних физичких и хемијских карактеристика земљишта на истраживаним локалитетима, испитивања концентрација макро- и микроелемената (укључујући и потенцијално токсичне метале) у подземним и надземним деловима изабраних врста са серпентинитских станишта у Босни и Херцеговини, процену капацитета толеранције и биоакумулације одређених микроелемената, нарочито потенцијално токсичних метала, као и утврђивање и откривање нових потенцијалних акумулаторских и/или хиперакумулаторских врста са могућом применом за уклањање загађујућих материја неорганског порекла (фиторемедијација) и екстракцију вредних метала (фитомајнинг).

Поглавље **МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ** садржи укупно 6 потпоглавља. У оквиру првог потпоглавља дат је преглед истраживаних локалитета и биљног материјала који је прикупљен за анализу, у другом су наведени коришћени реагенси, а у трећем опрема. Четврто потпоглавље детаљно описује методологију анализе земљишта и укључује одељке који се односе на одређивање механичког састава, мерење стварних и изменљивих рН вредности, одређивање доступног P_2O_5 и K_2O , приступачног Са и Mg, органског угљеника и хумуса, као и одређивање укупних и доступних концентрација метала у земљишту. Пето потпоглавље детаљно описује методологију анализе прикупљеног биљног материјала. Ово потпоглавље подељено је на одељке који се односе на одређивање фосфора и калијума, као и одређивање укупних метала, макро- и микроелемената у биљкама. Последње, шесто потпоглавље односи се на методе статистичке обраде података и коришћено софтверско окружење.

Поглавље **РЕЗУЛТАТИ** организовано је у четири потпоглавља. У првом потпоглављу су приказани резултати анализа физичких и хемијских карактеристика земљишта. Резултати гранулометријске анализе показују да истраживана земљишта са серпентинитских локалитета у Босни и Херцеговини припадају крупно-зрнастом типу тла, односно песковитим иловачама. Измерене вредности активне киселости варирале су од неутралних до алкалних, док је супституциона киселост била нешто нижа. У свим испитиваним узорцима земљишта садржај органске материје, хумуса, P_2O_5 и K_2O био је изузетно низак. У анализираним узорцима тла из Босне и Херцеговине однос Са/Mg био је мањи од 1,00, док је концентрација гвожђа, укупних и доступних метала у траговима била висока у свим анализираним узорцима. У другом потпоглављу дати су резултати садржаја елемената у истраживаним биљним врстама, у трећем односи концентрација испитиваних елемената у земљишту и биљкама, а четвртом процена акумулационих потенцијала истраживаних биљних врста. Резултати истраживања у дисертацији су показали да су се испитиване врсте из породице Brassicaceae различито прилагодиле животу на стаништима са неповољним односом Са и Mg. Код врсте *Alyssum murale* присутни су механизми за селективно усвајање веће количине Са у односу на Mg, при чему је у самој биљци транслокација Са ефикаснија у односу на Mg. Код врста *Thlaspi kovatsii* и *Lepidium campestre* резултати истраживања показују да ове две врсте усвајају више Mg у односу на Са, толеришући високе концентрације овог елемента у својим ткивима. Добијени резултати показују да је концентрација гвожђа висока у свим испитиваним врстама. Код све три истраживане врсте утврђене су веома високе концентрације никла које превазилазиле доступну концентрацију овог елемента у земљишту. Измерене концентрације у надземним органима код свих истраживаних врста превазилазе праг од 1000 mg kg^{-1} којим се дефинише хиперакумулација никла код биљака. Због тога се све три истраживане врсте могу означити као хиперакумулатори овог елемента. Истраживане врсте усвајају нижу концентрацију мангана у односу на доступну концентрацију овог елемента у земљишту и показују различити однос према овом елементу. Врсте *T. kovatsii* и *L. campestre* са серпентинитских станишта Босне и Херцеговине могу се окарактерисати као ексклудери Mn, јер контролишу усвајање овог елемента задржавајући га на нивоу кореновог система. С друге стране, *A. murale* највећи проценат усвојеног Mn преноси у

надземни део биљке и акумулира у листовима. Резултати истраживања показују да је код свих истраживаних врста са серпентинитских станишта Босне и Херцеговине констатован уобичајени садржај хрома за биљке које живе на овом типу подлоге. Израчунате вредности фактора биоконцентрације (BCF) и транслокације (TF) показују да истраживане врсте припадају ексклудерима овог елемента, јер усвојени Cr не транспортују у надземне органе, већ задржавају на нивоу кореновог система. Код врсте *A. murale* измерене су релативно високе концентрације Co, које су биле пропорционалне вишим концентрацијама овог елемента у земљишту. Добијени резултати показују да се усвојени Co код анализираних јединки ове врсте ефикасно транспортује из корена у надземни део биљке и акумулира у листовима. С друге стране, *T. kovatsii* и *L. campestre* из земљишта усвајају много већу концентрацију Co, али га не транспортују у надземне делове биљке, већ акумулирају на нивоу кореновог система. Истраживане врсте из породице Brassicaceae са серпентинитских станишта у Босни и Херцеговини одликују се различитим односом према цинку. У популацијама врсте *A. murale* измерене су ниске и уједначене концентрације овог елемента, како у корену, тако и у надземном делу биљке, без обзира на релативно висок садржај Zn у подлози. На основу добијених резултата врста *A. murale* се може окарактерисати као ексклудер цинка. Резултати показују да анализиране јединке из популација врсте *L. campestre*, а посебно *T. kovatsii* из земљишта усвајају изузетно велике концентрације цинка, који се ефикасно транспортује кроз биљку, тако да знатне количине овог елемента акумулирају у надземним органима. С обзиром да измерене концентрације Zn у надземним деловима ових врста не прелазе границу којом се дефинише хиперакумулација овог елемента код биљака, оне се могу означити као акумулатори Zn. Код свих истраживаних врста измерене су ниске концентрације бакра које су биле пропорционалне његовој концентрацији у подлози. У већини случајева највеће концентрације бележе се у корену, тако да се истраживане врсте могу означити као ексклудери бакра. Измерене концентрације Cd код свих истраживаних врста са серпентинита Босне и Херцеговине, биле су веће како од доступних тако и укупних концентрација овог елемента у земљишту. Код врсте *A. murale* измерена је нешто виша концентрација Cd у листовима, док је код врста *T. kovatsii* и *L. campestre* изражено ефикасно усвајање и акумулација овог елемента на нивоу кореновог система, што указује да су оне ексклудери овог елемента. Резултати ове дисертације су показали да су, у односу на повећан садржај олова у земљишту, код свих истраживаних врста измерене и више концентрације овог елемента биљкама у односу на оне које расту на природно незагађеним местима. Резултати мерења концентрације Pb код *A. murale* показују да су у надземним органима измерене нешто више концентрације Pb у односу на коренове, док су код *T. kovatsii* и *L. campestre* највише концентрације измерене у кореновима, тако да се оне могу окарактерисати као ексклудери олова.

У поглављу **ДИСКУСИЈА** које је подељено на три потпоглавља кандидаткиња уз коришћење литературних извора разматра резултате добијене у оквиру ове дисертације. У оквиру првог потпоглавља дискутују се физичке и хемијске карактеристике земљишта и њихови међусобни односи. Поређењем добијених резултата у овој дисертацији са резултатима из бројних релевантних литературних

извора, утврђено је да су физичке и хемијске особине земљишта са истраживаних серпентинитских локалитета у Босни и Херцеговини у складу са типичним карактеристикама тла на ултрамафитској геолошкој подлози широм света. Констатоване специфичности анализираних земљишта везане су за њихову геохемију и минералогiju, као и климатске факторе, попут температуре и падавина, који значајно утичу на педогенетске процесе. У другом потпоглављу изнета је дискусија садржаја елемената и њихових међусобних односа у истраживаним биљним врстама. Користећи релевантну литературу дискутовани су могући путеви усвајања и транспорта, као и локализација анализираних елемената у истраживаним биљним врстама који су изузетно значајни за разумевање механизма толеранције прекомерне количине токсичних елемената, као и хиперакумулације појединих елемената код хиперакумулаторских врста. Треће потпоглавље посвећено је дискутовању процене акумулационог потенцијала истраживаних биљних врста у односу на доступне податке из литературе.

У оквиру поглавља **ЗАКЉУЧЦИ** наведен је јасан преглед најзначајнијих закључака који су изведени на основу добијених резултата. На основу резултата анализа физичких и хемијских карактеристика земљишта са истраживаних локалитета у Босни и Херцеговини, закључује се да она припадају типичним серпентинитским земљиштима која се формирају на ултрамафитској геолошкој подлози. На основу резултата анализа садржаја елемената и њихових међусобних односа у истраживаним биљним врстама, закључује се да истраживане врсте из породице Brassicaceae, *Alyssum murale*, *Thlaspi kovatsii* и *Lepidium campestre*, на својим стаништима у Босни и Херцеговини успешно превазилазе специфичне изазове едафског стреса који намеће серпентинитска подлога, а међу којима су најважнији мала доступност калцијума у односу на магнезијум, недостатак есенцијалних макронутријената, као и високе концентрације потенцијално фитотоксичних метала као што су Ni, Cr, Co и Mn. На основу добијених резултата у овој дисертацији може се закључити да све истраживане врсте имају потенцијал за фитостабилизацију земљишта оптерећених токсичним металима који су типично присутни у високим концентрацијама на ултрамафитској подлози, попут никла, хрома, кобалта и мангана, али такође и цинка, кадмијума и олова. У закључцима је посебно истакнуто да су код свих истраживаних врста утврђене веома високе концентрације никла које су превазилазиле доступну концентрацију овог елемента у земљишту. Такође, концентрације у надземним органима код свих врста биле су више од прага којим се дефинише хиперакумулација овог елемента код биљака што указује да се све могу окарактерисати као хиперакумулатори Ni. Податак о хиперакумулацији Ni код *L. campestre* до сад није био забележен у литератури. Вредности фактора биоконцентрације (BCF) и транслокације (TF) за истраживане врсте са серпентинитских станишта Босне и Херцеговине упућују на закључак да постоји градијент потенцијала за акумулацију Ni у поретку $A. murale > T. kovatsii > L. campestre$. Закључује се да се као потврђени хиперакумулатори никла, истраживане врсте могу користити за фитоекстракцију и комерцијално добијање овог метала користећи технологију агромајнинга, тј. фитомајнинга. Имајући у виду да добијени резултати у дисертацији показују да врста *A. murale* испољава најизраженију

хиперакумулацију Ni, изражену толеранцију у односу на повишене концентрације анализираних токсичних метала у земљишту и највећу биомасу, закључује се да управо ова врста представља најперспективнијег кандидата за фитоекстракцију Ni из загађених земљишта, и да има највећи потенцијал за примену у технологији агромајнинга, тј. фитомајнинга никла на локалном нивоу.

Поглавље **ЛИТЕРАТУРА** садржи 211 библиографских јединица из међународних и домаћих извора који покривају све области овог истраживања. У овој докторској дисертацији доследно је коришћен АПА стил навођења извора.

Поглавље **ПРИЛОГ** садржи фотографије биљака и истраживаних локалитета, као и табеле са додатним резултатима добијеним током истраживања у оквиру докторске дисертације.

Радови и конгресна саопштења из докторске дисертације

Б1. Радови у часописима међународног значаја

1. **Matko Stamenkovic, U.**, Andrejic, G., Mihailovic, N., & Šinžar-Sekulić, J. (2017). Hyperaccumulation of Ni by *Alyssum murale* Waldst. & Kit. from ultramafics in Bosnia and Herzegovina. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(3), 359-372. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1503_359372 **M23**
2. Šinžar-Sekulić, J., **Matko Stamenković, U.**, Tomović, G., Tumi, A. F., Andrejić, G., Mihailović, N., & Lazarević, M. R. (2019). Assessment of trace element accumulation potential of *Noccaea kovatsii* from ultramafics of Bosnia and Herzegovina and Serbia. *Environmental monitoring and assessment*, 191(9), 540. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7711-x> **M22**

Провера оригиналности докторске дисертације

Докторска дисертација кандидата **Уне Н. Матко Стаменковић**, број индекса E5203/2008, подвргнута је електронској провери обима и садржине подударања текста са текстовима који су у Универзитетској библиотеци „Светозар Марковић“ доступни за поређење. Извештај који садржи резултате провере оригиналности ментори су добили дана 02.07.2020. године.

Резултати електронске провере ове докторске дисертације показују да **индекс подударности износи 9%**. Детаљним увидом у Извештај утврђено је да су готово сва уочена појединачна подударања у опсегу мањем од 1%, а подударања са 4 извора су у опсегу од 1%. Највеће подударање (2%) је уочено у звањима, именима и афилијацији чланова комисије, као и називима поглавља тезе. Преостале уочене подударности текста се највећим делом односе на мерне јединице, ознаке хемијских елемената, имена цитираних аутора у оквиру самог текста, као и кратке фразе уобичајене у српском језику и области истраживања. Осим тога, делови текста код којих је утврђено подударање нису смислено повезани.

Узимајући у обзир наведено и Правилник о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на универзитету у Београду ("Гласник Универзитета у Београду" број 201/18), извештај указује на оригиналност докторске дисертације кандидата **Уне Н. Матко Стаменковић**, под насловом „Потенцијал врста *Alyssum murale* Waldst. & Kit., *Thlaspi kovatsii* Heuffel и *Lepidium campestre* (L.) R. Br. (Brassicaceae) са серпентинитских станишта у Босни и Херцеговини за биоакумулацију метала”, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Мишљење и предлог Комисије

На основу изложене анализе докторске дисертације кандидата **Уне Н. Матко Стаменковић** Комисија сматра да ова дисертација представља оригиналан научни рад који испуњава постављене циљеве истраживања који су наведени у пријави теме и да испуњава све критеријуме прописане стандардима Универзитета у Београду. Уна Н. Матко Стаменковић је добијене резултате адекватно приказала и критички дискутовала користећи релевантне литературне податке у оквиру области истраживања. Резултати ове докторске дисертације дају важан допринос бољем познавању карактеристика серпентинитских станишта у Босни и Херцеговини, као и капацитета појединих биљних врста из фамилије Brassicaceae са наведених станишта за толеранцију или биоакумулацију одређених метала у траговима и токсичних метала, као и утврђивању и откривању нових потенцијалних акумулаторских и/или хиперакумулаторских врста које се могу користити за фитостабилизацију и фитоекстракцију (агромајнинг, тј. фитомајнинг). Другим речима, добијени резултати имају вишеструки значај, како у фундаменталном, тако и у апликативном погледу. Резултати упућују на избор врсте *A. murale* као најперспективнијег кандидата за примену у технологији агромајнинга, тј. фитомајнинга никла на локалном нивоу. На основу свега наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Биолошког факултета Универзитета у Београду да прихвати овај Извештај и одобри кандидату **Уни Н. Матко Стаменковић** јавну одбрану докторске дисертације под насловом „Потенцијал врста *Alyssum murale* Waldst. & Kit., *Thlaspi kovatsii* Heuffel и *Lepidium campestre* (L.) R. Br. (Brassicaceae) са серпентинитских станишта у Босни и Херцеговини за биоакумулацију метала“.

У Београду, 22.10.2020.

КОМИСИЈА:

др Јасмина Шинжар-Секулић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Биолошки факултет

др Маја Лазаревић, доцент
Универзитет у Београду - Биолошки факултет

др Ана Чучуловић, научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт за примену нуклеарне енергије