

**Предмет:** Извештај Комисије о оцени завршене докторске дисертације, докторанта мр Драгане Ранђеловић, дипломираног инжењера шумарства за пејзажну архитектуру

Одлуком Већа за студије при Универзитету Универзитета у Београду број 06-4797/П-5208/4-11 донетој на седници одржаној 9. децембра 2014. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације: **"Геоботаничка и биогеохемијска карактеризација рудничке откривке у Бору и могућност примене резултата у ремедијацији "**, кандидаткиње мр Драгане Ранђеловић.

Комисија је прегледала урађену докторску дисертацију кандидаткиње и Већу подноси следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### ОПШТИ ПОДАЦИ О ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Докторска дисертација мр Драгане Ранђеловић, под насловом "Геоботаничка и биогеохемијска карактеризација рудничке откривке у Бору и могућност примене резултата у ремедијацији" приказана је на 376 страница А4 формата. Дисертација садржи: 123 табеле (6 у поглављу Опште одлике истраживаног подручја, 90 у поглављу Резултати, 3 у поглављу Дискусија, и 24 у прилозима), 155 слика (1 у поглављу Увод, 1 у поглављу Материјал и методе, 21 у поглављу Опште одлике истраживаног подручја, 102 у поглављу Резултати и 30 у поглављу Дискусија) и 450 цитираних библиографских јединица. На почетку дисертације приложен је извод на енглеском и српском језику (без пагинације). На крају текста дата су 3 прилога. Пагинирани текст подељен је у 8 поглавља (укупно 352 стране):

1. Увод
2. Предмет, значај и циљ истраживања
3. Материјал и методе
4. Опште одлике истраживаног подручја
5. Резултати
6. Дискусија
7. Закључак
8. Литература

### АНАЛИЗА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

У поглављу **УВОД** кандидаткиња даје приказ основних појмова који се односе на проблематику докторске дисертације, као и детаљан приказ историјата и савремених истраживања у областима геоботанике, биогеохемије и фиторемедијације. Након основних информација о проблематици експлоатације минералних сировина у Србији, карактеризацији насталог отпада и ремедијационим и фиторемедијационим технологијама у санацији последица по животну средину, у првом потпоглављу кандидаткиња детаљније разматра области геоботанике и биогеохемије, историјат настанка и савремене правце развоја ових области. У другом потпоглављу кандидаткиња анализира појам и врсте фиторемедијационих технологија, као и њихове предности и ограничења. Треће потпоглавље односи се на преглед досадашњих истраживања у свету и на територији Србије. Посебан део овог потпоглавља односи се на преглед досадашњих сродних истраживања квалитета животне средине на подручју Бора.

У оквиру поглавља **ПРЕДМЕТ, ЗНАЧАЈ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА** кандидаткиња указује на значај мултидисциплинарног приступа у проблематици биотехнолошке санације

рудничких одлагалишта, дефинише предмет истраживања и полазне хипотезе. Кандидаткиња као научне циљеве дисертације дефинише: утврђивање присуства самониклих врста флоре на одлагалишту рудничке откривке у Бору и њихову еколошку, фитогеографску и вегетацијску анализу; геохемијску и минералошку карактеризацију подлоге; упоредна биогеохемијска испитивања подлоге и биљног материјала одабраних врста биљака; утврђивање повезаности постојећих геохемијских процеса разлагања подлоге и пратеће флористичко-вегетацијске ситуације; а у циљу избора одговарајућих биљних врста са потенцијалом за фиторемедијацију борских јаловишта откривке на основу добијених резултата истраживања.

Поглавље **МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ** састоји се из пет потпоглавља. У уводу овог поглавља наведени су основни подаци о локацији подручја истраживања заједно са одговарајућом картом. Прва три потпоглавља приказују основне методе коришћене за прикупљање и обраду података о стенама (макроскопски преглед и преглед препарата, скенирајућа електронска микроскопија са енергетско-дисперзивним спектрометром, рендгенска дифракција), о депосолу (одређивање гранулометријског састава, хемијске анализе земљишта), као и о самониклој флори и вегетацији истраживаног подручја (фитоценолошко снимање биљног покривача, детерминација биљних таксона, одређивање флорних елемената и њихове припадности одговарајућим ареал групама и ареал типовима, дефинисање животних форми, синтаксономске припадности и биоиндикаторских вредности свих констатованих таксона). Четврто потпоглавље даје обједињени приказ анализа хемијских елемената у стенама, депосолу и биљном материјалу (разарање узорака, одређивање концентрације елемената у стенама, депосолу, корену и надземном делу узоркованих биљака). У петом потпоглављу приказане су методе нумеричке и статистичке обраде података (фактор обогаћења, индекс покривности, биоакумулациони, биоцентрациони, транслокациони фактор, анализа варијансе, post-hoc тестови, коресподентна, канонијска коресподентна, дискриминантна и факторијална анализа).

У поглављу **ОПШТЕ ОДЛИКЕ ИСТРАЖИВАНОГ ПОДРУЧЈА**, груписаном у пет потпоглавља, кандидаткиња даје приказ основних геолошких, климатских, педолошких, флористичко-вегетацијских и осталих, антропогено индукованих, услова средине. У првом потпоглављу кандидаткиња приказује геолошку историју ширег подручја Бора, у оквиру које посебно описује генезу и вулканизам Тимочког магматског комплекса, а у оквиру овог комплекса формирање рудних лежишта и пратећих хидротермалних алтерација у Борској металогенетској зони. Друго поглавље садржи приказе основних климатских параметара (температуре, релативне влажности ваздуха, количине падавина, ветра, облачности и инсолације) за подручје Бора. Израчунати су одговарајући климатски фактори, а посебно је приказан утицај климатских и фактора загађења животне средине на развој вегетације, као и тренд климатских промена на подручју Бора. У трећем потпоглављу кандидаткиња приказује основне педолошке одлике подручја града Бора са непосредном околином, као и самог подручја рудничких одлагалишта. Четврто потпоглавље садржи основне информације о флористичким и вегетацијским карактеристикама Бора и околине, као и површина рудничких јаловишта. Остали антропогено индуковани услови средине разматрани су у петом потпоглављу, где су приказани основни подаци о врсти и степену загађења ваздуха и вода, као последица дејства индустријских активности на територији Бора и околине.

У поглављу **РЕЗУЛТАТИ** кандидаткиња групише добијене резултате истраживања у четири потпоглавља, за која потом даје адекватна тумачења. Прво потпоглавље приказује карактеристике стенске подлоге кроз одговарајуће петролошке, минералошке и геохемијске анализе издвојених литолошких група. У другом потпоглављу представља резултате анализа физичких и хемијских карактеристика депосола утврђених литолошких група, садржаја макроелемената (N, P, K, Ca, Mg) и органске материје у депосолу, као и утврђене садржаје псеудо-укупних и приступачних облика испитиваних макроелемената (As, Cr, Cu, Pb, Zn) и сумпора. Извршена је анализа варијансе сваког појединачног параметра у односу на депосоле утврђених литолошких група, а на основу засебних post-hoc тестова издвојене су статистички

сличне групе депосола. Последњи део овог потпоглавља приказује утврђене међусобне корелације испитиваних параметара. Треће потпоглавље Резултата представља геоботаничке анализе, односно флористичке и вегетацијске карактеристике констатованих биљних таксона, а потом приказује и издвајање укупно четири ценотичка стадијума на истраживаном подручју. Четврто потпоглавље односи се на биогеохемијске анализе, где је анализа варијансе садржаја хемијских елемената у корену и надземном делу биљака на депосолима различитих литолошких група показала статистички значајне разлике у погледу садржаја сумпора у корену узоркованих биљака. Анализа варијансе физичко-хемијских особина депосола у односу на врсте биљака које их насељавају показала је значајне разлике у погледу готово свих испитиваних параметара. У погледу садржаја елемената у корену и надземним деловима узоркованих биљака, утврђене су значајне статистичке разлике у њиховом садржају између узоркованих врста. У последњем делу овог потпоглавља приказани су утврђени биоконцентрациони, биоакумулациони и транслокациони фактори узоркованих врста у односу на концентрације испитиваних микроелемената и сумпора у депосолу.

У поглављу **ДИСКУСИЈА**, кандидаткиња је добијене резултате груписала у пет потпоглавља које је на адекватан начин тумачила и дискутовала, поредећи их са савременим научним сазнањима и сродним истраживањима у Србији и свету. Прво потпоглавље Дискусије приказује карактеризацију издвојених литолошких група самоникло обраслих зељастом вегетацијом. Приказани су фактори обogaћења у односу на средњу вредност садржаја елемената у овим литолошким групама, чиме је омогућен даљи увид у састав формираних депосола, у првом реду у смислу потенцијала за формирање киселих процедних раствора и потенцијалног капацитета за неутрализацију ових раствора. У другом потпоглављу кандидаткиња дискутује карактеризацију депосола формираних над издвојеним литолошким групама, повезујући их са утврђеним петролошким и минераллошким карактеристикама литолошких група, као и са резултатима досадашњих педолошких испитивања на овом подручју. Посебан осврт кандидаткиња даје на карактеризацију депосола према садржају макроелемента и органске материје, као и према садржају микроелемената и сумпора, издвајајући при томе бакар и арсен, као елементе чије концентрације у депосолу одлагалишта вишеструко прелазе прописане ремедијационе вредности и као такве подлежу обавези поступка ремедијације. У последњем делу овог потпоглавља приказује издвојене кластер групе псеудо-укупних и приступачних садржаја микроелемената и сумпора, као и издвојене факторе варијабилитета физичко-хемијских особина депосола одлагалишта у Бору. Треће потпоглавље даје геоботаничку карактеризацију одлагалишта, где анализа биоиндикаторских вредности утврђених биљних врста омогућава да се изврши његова еколошка карактеризација. Дискусија еколошких карактеристика издвојених ценотичких стадијума пружа увид у њихову везу са утврђеним литолошким групама, односно карактеристикама депосола насталих њиховим разлагањем и распадом.

У четвртом потпоглављу кандидаткиња представља биогеохемијску карактеризацију подручја одлагалишта, осврћући се на стратегије и факторе усвајања микроелемената и сумпора у испитиваним врстама биљака. На основу утврђених вредности биоконцентрационих, биоакумулационих и транслокационих фактора, као и констатованих карактеристика издвојених литолошких група и пратећих депосола, кандидаткиња издваја погодне врсте за фитоекстракцију и фитостабилизацију на подручју одлагалишта у Бору. Еколошка диференцијација анализираних врста у односу на факторе средине у овој дисертацији извршена је канонијском коресподентном анализом, а примарну улогу у варијабилности распореда узоркованих врста испољили су хемијски фактори, нарочито концентрација киселих и базних јона у раствору депосола. У петом потпоглављу кандидаткиња дискутује потенцијал испитиваних биљних врста у ремедијацији одлагалишта у Бору, превасходно у односу на елементе чија концентрација захтева ремедијацију подручја.

У поглављу **ЗАКЉУЧАК** кандидаткиња излаже најзначајније закључке добијене из докторске дисертације, сумиране у три тачке. У овим закључцима су концизно и прецизно сублимирани резултати комплетних истраживања и приказане информације о оцени испуњености најважнијих циљева дисертације. Изведени закључци су везани за карактеристике издвојених литолошких група, пратећих депосола и биљних формација које их самоникло обрастају, утврђена је њихова међусобна повезаност као и најзначајније варијабле које утичу на њихову диференцијацију. На крају, кандидаткиња даје предлог за примену појединих доминантних или диференцијалних врста у оквиру издвојених вегетацијских стадијума у процесима фитостабилизације и фитоекстракције загађујућих материја на подручју рудничких одлагалишта у Бору.

Поглавље **ЛИТЕРАТУРА** садржи укупно 450 библиографских јединица. Литературни извори су адекватно и на одговарајућим местима цитирани у тексту докторске дисертације.

## ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација "Геоботаничка и биогехемијска карактеризација рудничке откривке у Бору и могућност примене резултата у ремедијацији" кандидаткиње мр Драгане Ранђеловић представља савремено и оригинално научно дело. Мултидисциплинарни карактер дисертације изражен кроз синергију између биолошких и геолошких дисциплина може се сматрати једним од њених најважнијих оригиналних аспеката, нарочито имајући у виду да су истраживања усмерена на детаљно разумевање међусобних веза процеса органског и неорганског карактера још увек ретка на истраживачком простору у Србији.

Приликом израде ове докторске дисертације детаљно је прегледана релевантна научна и стручна литература, о чему сведочи списак од укупно 450 библиографских јединица, који је приказан на крају дисертације. Број наведених референци указује на ширину научноистраживачког приступа кандидаткиње и на њену темељитост у обради научног проблема студије, посебно када се узме у обзир изражена мултидисциплинарност докторске дисертације.

Научне методе примењене у докторској дисертацији кандидаткиње у целини одговарају постављеном научном проблему и дефинисаним циљевима истраживања. Приликом израде докторске дисертације примењена је комбинација различитих метода које припадају стандардним поступцима обраде и анализе података у савременој проблематици заштите животне средине.

Резултатима ове докторске дисертације дефинисани су узајамни односи литолошке подлоге, депосола, самониклих биљних врста и њихових развојних вегетацијских стадијума на одлагалишту откривке у Бору. Познавање степена и карактера повезаности биолошко-еколошких карактеристика биљака које спонтано насељавају борско јаловиште и геохемијског и минералског карактера подлоге од суштинске је важности за дубље разумевање процеса фиторемедијације и њену успешну примену у пракси, али и за евентуалну примену других биотехнолошких поступака на овом и сличним техногеним стаништима и подручјима.

Кандидаткиња мр Драгана Ранђеловић је током израде докторске дисертације показала систематичност у истраживању, зрелост при анализи и адекватном повезивању расположивих аналитичких података мултидисциплинарног карактера, као и висок степен самосталности при решавању постављених научних проблема. Кандидаткиња је показала изражену способност за самосталан научни рад што је резултирало реализацијом планираног истраживања, од почетне идеје до завршетка докторске дисертације, као и објављивањем научног рада у истакнутом међународном часопису на SCI листи.

## ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Докторска дисертација кандидаткиње мр Драгане Ранђеловић представља значајан допринос мултидисциплинарном приступу проблематици заштите и унапређења животне средине. Резултати ове дисертације обезбеђују значајан напредак у утврђивању везе између појединих биолошких и минералошко-геохемијских процеса антропогено деградираних подручја. Будући да је унапређење сазнања на овом пољу важан корак ка решавању комплексне проблематике санације јаловишта металичних руда, дисертација по први пут пружа и предлог потенцијалних мера за фитосанацију подручја истраживања, прилагођавајући на тај начин овај савремен биотехнолошки приступ нашем поднебљу и врсти геолошке подлоге.

Резултати докторске дисертације кандидаткиње мр Драгане Ранђеловић у великој мери унапређују постојеће знање о степену повезаности геолошке подлоге и биљног света на подручјима рудничких одлагалишта. Они су добијени комбинацијом метода и сазнања различитих научних дисциплина у јединствену еколошку студију истраживаног подручја. Резултати који су произашли из дисертације нуде сазнања од ширег научног значаја, представљајући модел за унапређење квалитета животне средине једног од најзагађенијих подручја у Републици Србији, али и других сличних области у којима се спроводе рударске активности.

## ПУБЛИКОВАНИ РАДОВИ И САОПШТЕЊА ИЗ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

- Randjelović, D., Cvetković, V.D., Mihailović, N.L., Jovanović, S.D. (2014): Relation Between Edaphic Factors and Vegetation Development on Copper Mine Wastes: A Case Study From Bor (Serbia, SE Europe). *Environmental Management*, 53 (4): 800-812. (M22)
- Randjelović, D., Jovanović, S. (2013): Phytoecological analysis of primary and secondary colonization on copper mine wastes (Bor, Serbia), 11<sup>th</sup> Symposium on Flora of Southeastern Serbia and Neighbouring Regions, In: Randjelović, V., Radić.Z. (eds.) *Book of Abstract, Vlasinsko jezero*, 13-16.06. 2013, p. 36. (M64)
- Ранђеловић, Д., Јовановић, С., Шајн, Р., Михаиловић, Н., Цветковић, В. (2014): Потенцијал самониклих биљних врста у ремедијацији откривке рудника бакра у Бору, Србија, Зборник радова XVI Конгреса геолога Србије, Српско геолошко друштво, Доњи Милановац, 22-25.05.2014., стр. 911. (M64)
- Randjelović, D., Vulić, P., Cvetković, V. (2014): Characterization of mine soils formed on loose sediments from the copper mine overburden in Bor, Serbia, *Zbornik izvoda radova XXI konferencije Srpskog kristalografskog društva*, Zlatibor, 12-14.06.2014., str. 54. (M64)

## ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње мр Драгане Ранђеловић, под насловом: "Геоботаничка и биогеохемијска карактеризација рудничке откривке у Бору и могућност примене резултата у ремедијацији", Комисија констатује да наведена докторска дисертација представља свестрано и савремено урађену студију у мултидисциплинарној области науке о животној средини. Докторска дисертација садржи оригинални научни допринос који је реализован захваљујући фокусирању на релевантан научни проблем, креативном мултидисциплинарном приступу и примени савремених аналитичких метода и статистичке обраде тако добијених података. По свом обиму, садржају, оригиналности резултата, начину њиховог представљања и интерпретацији, уз осврт на обимну и релевантну литературу, сматрамо да поднети текст има све одлике докторске дисертације и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању.

На основу свега изнетог, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију кандидаткиње мр Драгане Ранђеловић, под насловом "Геоботаничка и биогеохемијска карактеризација рудничке откривке у Бору и могућност примене резултата у ремедијацији" и са задовољством предлаже Већу за студије при Универзитету да прихвати наш Извештај и одобри њену јавну одбрану.

### КОМИСИЈА:

\_\_\_\_\_  
Др Владица Цветковић, редовни професор  
Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет

\_\_\_\_\_  
Др Слободан Јовановић, ванредни професор  
Универзитет у Београду - Биолошки факултет

\_\_\_\_\_  
Др Бошко Гајић, редовни професор  
Универзитет у Београду - Пољопривредни факултет

\_\_\_\_\_  
Др Невена Михаиловић, виши научни сарадник,  
Универзитет у Београду - Институт за примену нуклеарне енергије

\_\_\_\_\_  
Др Гордана Томовић, доцент  
Универзитет у Београду - Биолошки факултет

У Београду, 18.12.2014.