

Биолошки факултет  
Број захтева: 50/58-1  
Датум: 14. 4. 2026.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ВЕЋУ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ПРИРОДНИХ НАУКА

### ЗАХТЕВ

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

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

КАНДИДАТ: **Дуња Д. Ђукић**

студент докторских студија на студијском програму: Екологија, модул: Екологија биљака и фитогеографија, уписан на докторске студије 2019/2020 године,

пријавио је тему докторске дисертације дана 14. 7. 2023. под називом:

**„Ефикасност фитостабилизације јона олова од стране врсте *Festuca rubra* у присуству брушит-алуминосиликатних материјала”**

НАУЧНА ОБЛАСТ: Биолошке науке.

Универзитет је дана 26. 10. 2023. године. својим актом под бр. 02-07 Број: 61206-3237/4-23 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

**„Ефикасност *Festuca rubra* у фитостабилизацији јона олова у присуству брушит-алуминосиликатних материјала“**

**Име и презиме ментора: др Миљана Мирковић, виши научни сарадник, Универзитет у Београду - Институт за нуклеарне науке „Винча“ - Институт од националног значаја за Републику Србију и др Ксенија Јаковљевић, виши научни сарадник, Универзитет у Београду - Биолошки факултет.**

**Комисија за оцену докторске дисертације образована је на седници одржаној 20. 2. 2026. год, одлуком Факултета под бр. 50/26 у саставу:**

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	др Јасмина Шинжар Секулић	редовни професор	екологија, биогеографија и заштита животне средине	Универзитет у Београду – Биолошки факултет
2.	др Томица Мишљеновић	доцент	екологија, биогеографија и заштита животне средине	Универзитет у Београду - Биолошки факултет
3.	др Александар Крстић	научни сарадник	хемија	Универзитет у Београду - Институт за нуклеарне науке „Винча“ - Институт од националног значаја за Републику Србију

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

**Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности 24. 2. 2026. године.**

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

**Комисија за одбрану докторске дисертације** именована је на седници одржаној 14. 4. 2026. године, одлуком факултета под бр. 50/57, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	др Јасмина Шинжар Секулић	редовни професор	екологија, биогеографија и заштита животне средине	Универзитет у Београду – Биолошки факултет
2.	др Томица Мишљеновић	доцент	екологија, биогеографија и заштита животне средине	Универзитет у Београду - Биолошки факултет
3.	др Александар Крстић	научни сарадник	хемија	Универзитет у Београду - Институт за нуклеарне науке „Винча“ - Институт од националног значаја за Републику Србију

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

Декан Биолошког факултета

Проф. др Љубиша Станисављевић

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



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
БИОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

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

50/58 - 14. 4. 2026.

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

### ОДЛУКУ

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

Дуње Д. Ђукић, под називом:

**„Ефикасност *Festuca rubra* у фитостабилизацији јона олова у присуству брушит-алуминосиликатних материјала“**

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

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

- др Томица Мишљеновић, доцент, Универзитет у Београду - Биолошки факултет - члан,

- др Александар Крстић, научни сарадник, Универзитет у Београду - Институт за нуклеарне науке „Винча“ - Институт од националног значаја за Републику Србију - члан.

Универзитет је дана 26. 10. 2023. године. својим актом под бр. 02-07 Број: 61206-3237/4-23 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

## Образложење

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

### Радове и конгресна саопштења из докторске дисертације:

#### Б1. Радови у часописима међународног значаја:

1. **Ђukić, D.**, Krstić, A., Jakovljević, K., Butulija, S., Andjelković, L., Pavlović, V., **M22** Mirković, M. (2022). Brushite-Metakaolin Composite Geopolymer Material as an Effective Adsorbent for Lead Removal from Aqueous Solutions. *Sustainability*, 14(7), 4003. <https://doi.org/10.3390/su14074003>. **M22**
2. **Ђukić, D.**, Mirković, M., Andrejić, G., Aleksić, U., Mišljenović, T., Vujičić, M., **M22** Jakovljević, K. (2025). Green solution for lead pollution: Phytoremediation with *Festuca rubra* and brushite–aluminosilicate geopolymer material. *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 159(3), 448–457. <https://doi.org/10.1080/11263504.2025.2485975>. **M22**

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

Декан Биолошког факултета

Проф. др Љубиша Станисављевић

Доставити:

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

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ - БИОЛОШКОГ ФАКУЛТЕТА

На IV редовној седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Биолошког факултета, одржаној 20.02.2026. године, на основу молбе ментора, др Миљане Мирковић, вишег научног сарадника, Института за нуклеарне науке „Винча“ - Института од националног значаја за Републику Србију Универзитета у Београду и др Ксеније Јаковљевић, научног саветника, Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ - Института од националног значаја за Републику Србију Универзитета у Београду, одређена је Комисија за преглед и оцену докторске дисертације Дуње Д. Ђукић, под насловом: „**Ефикасност *Festuca rubra* у фитостабилизацији јона олова у присуству брушит-алуминосиликатних материјала**“, у саставу: проф. др Јасмина Шинжар Секулић, редовни професор Биолошког факултета Универзитета у Београду; др Томица Мишљеновић, доцент Биолошког факултета Универзитета у Београду; др Александар Крстић, научни сарадник Института за нуклеарне науке „Винча“ - Института од националног значаја за Републику Србију Универзитета у Београду.

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

### ИЗВЕШТАЈ

#### Општи подаци о докторској дисертацији

Докторска дисертација Дуње Д. Ђукић, под насловом „**Ефикасност *Festuca rubra* у фитостабилизацији јона олова у присуству брушит-алуминосиликатних материјала**“, садржи укупно 100 страна и обухвата следећа поглавља: **Увод** (стр. 1-19), **Циљеви рада** (стр. 20), **Материјал и методе** (стр. 21-34), **Резултати** (стр. 35-69), **Дискусија** (стр. 70-80), **Закључци** (стр. 81-82), **Литература** (стр. 83-96) и **Прилози** (стр. 97-100). Поред наведеног, докторска дисертација обухвата и биографију аутора, као и следеће целине: насловну страну на српском и енглеском језику, листу ментора и чланова комисије, захвалницу, сажетак дисертације на српском и енглеском језику, садржај, изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације и изјаву о коришћењу.

Докторска дисертација садржи **16** табела, (1 у поглављу Увод, 2 у поглављу Материјал и методе, 9 у поглављу Резултати и 4 у поглављу Прилози) и **46** слика (6 у поглављу Увод, 4 у поглављу Материјал и методе и 36 у поглављу Резултати). Поглавље Литература садржи 220 библиографских јединица.

#### Анализа докторске дисертације

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

Предмет истраживања докторске дисертације Дуње Д. Ђукић обухвата синтезу и карактеризацију брушит-алуминосиликатних материјала, анализу ефикасности и механизма адсорпције олова из водених раствора коришћењем новосинтетисаних

материјала и испитивање њиховог утицаја на ефикасност *Festuca rubra* у фитостабилизацији олова у третираном супстрату.

Поглавље **УВОД** организовано је у седам потпоглавља. У оквиру прва два потпоглавља описани су проблематика и различити извори загађења животне средине потенцијално токсичним елементима, са посебним освртом на олово. У другом потпоглављу описани су и наведени штетни ефекти олова по човека. Треће потпоглавље описује утицај потенцијално токсичних елемената на биљке и промене у физиолошким процесима које изазивају када се нађу у биљним ткивима. Четврто потпоглавље се фокусира на стратегије које су биљке развиле као одговор на повишене концентрације потенцијално токсичних елемената. У првом делу овог потпоглавља наведена је подела биљака које имају способност опстанка на земљиштима које садрже повишене концентрације потенцијално токсичних елемената у три категорије и њихов детаљан опис. Затим критеријуми, молекуларни механизми, таксони и хипотезе еволутивних механизма за хиперакумулацију, а поред тога у овом потпоглављу детаљно су описани и наведени главни механизми одговора биљака и избегавања штетних утицаја потенцијално токсичних елемената. Пето и шесто потпоглавље посвећено је техникама фиторемедијације. У оквиру петог потпоглавља дефинисана је фиторемедијација и детаљно су описане следеће технике фиторемедијације: фитостабилизација, фитоекстракција, фитоволатилизација, фитостимулација и фитодеградација, са посебним акцентом на предностима коришћења ових техника у односу на конвенционалне технике деконтаминације. Затим је у оквиру овог потпоглавља описана врста која је коришћена као модел организам - *Festuca rubra* и дато образложење за њену употребу. Шесто потпоглавље описује могуће начине унапређења фиторемедијационих техника, са посебним освртом на неорганске материјале, и поткрепљено је бројним примерима из претходних истраживања. У оквиру седмог потпоглавља описани су материјали који су коришћени као прекурсори за добијање брушит-алуминосиликатних материјала, њихове карактеристике, добијање/проналажење у природи и разноврсна примена. Текст у оквиру свих седам наведених целина је подржан и поткрепљен бројним литературним наводима.

У поглављу **ЦИЉЕВИ РАДА** наведени су циљеви истраживања докторске дисертације. Основни циљеви су се односили на карактеризацију новосинтетисаних брушит-алуминосиликатних материјала са различитим масеним уделом брушита у алуминосиликатном матриксу (2 wt%, 4 wt%, 6 wt%, 8 wt% и 10 wt%) и утврђивање њихове ефикасности и механизма адсорпције олова из воденог раствора, као и испитивање утицаја брушит-алуминосиликатних материјала који поседују задовољавајуће резултате ефикасности адсорпције на имобилизацију олова од стране *Festuca rubra* у контаминираном супстрату и утврђивање фиторемедијационог потенцијала биљака након анализе елементарног састава супстрата и биљног материјала, садржаја органске материје и рН вредности супстрата. Циљеви докторске дисертације обухватили су и утврђивање физиолошких и биохемијских маркера стреса код испитиваних биљних узорака анализом садржаја хлорофила *a* и *b*, укупних хлорофила, укупних каротеноида, пролина и укупних фенола и одређивањем ефикасности инхибиције DPPH у надземном делу биљке.

Поглавље **МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ** подељено је у девет потпоглавља. У оквиру првог потпоглавља описан је процес добијања новосинтетисаних брушит-алуминосиликатних материјала са различитим масеним уделом брушита (2 wt%, 4 wt%, 6 wt%, 8 wt% и 10 wt%). Да би се окарактерисали прекурсори који су коришћени за

добијање жељених материјала детаљно је описана синтеза брушита коришћењем ацетатних соли, како нуспродукти не би имали штетан утицај на околину, и добијање метакаолина који води порекло од каолинита узетог из напуштеног лежишта глине (локалитет: Рудовци, Србија). Друго потпоглавље обухвата методе које су коришћене за физичко-хемијску карактеризацију новосинтетисаних брушит-алуминосиликатних материјала. У оквиру овог потпоглавља описане су следеће методе: рендгенска дифракција на поликристалном узорку (XRPD) како би се одредиле фазне особине и структурне карактеристике материјала, инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом (FTIR) како би се квалитативно детектовале функционалне групе, скенирајућа електронска микроскопија и електронско дисперзивна спектроскопија (SEM/EDS), како би се одредиле микроструктурне особине, морфолошке карактеристике зрна и семиквантитативно хемијски састав материјала и метода адсорпције-десорпције азота на температури течног азота са коришћењем ВЕТ (ВЕТ: Brunauer-Emmett-Teller) методе, како би се одредиле специфична површина, величина и расподела пора материјала. У оквиру трећег потпоглавља описане су методе које су коришћене за одређивање ефикасности и механизма адсорпције јона олова из водених раствора на брушит-алуминосиликатним материјалима. Описан је процес припреме и извођења експеримената током којих су испитивани утицаји следећих параметара: рН вредности раствора, времена контакта за одређивање кинетике адсорпције и почетних концентрација олова за извођење модела адсорпционих изотерми (Ленгмиров и Фројндлихов). Поред тога наведено је да је мерење резидуалних концентрација олова спроведено на оптичком емисионом спектрометру са индуковано спрегнутом плазмом (ICP-OES) и истакнуте су једначине које су коришћене током адсорпционих експеримената. Такође, описана је метода за одређивање рН вредности тачке нултог наелектрисања брушит-алуминосиликатних материјала. У четвртном потпоглављу детаљно је описана поставка експеримента система *Festuca rubra* у присуству одабраних брушит-алуминосиликатних материјала који су показали најбоље адсорпционе карактеристике у воденим растворима (GPB2%, GPB4% и GPB6%), у оквиру кога су приказане припрема и третман супстрата оловом и брушит-алуминосиликатним материјалима и услови и дужина гајења биљака у комори за гајење. У оквиру овог потпоглавља у табелама су наведене ознаке узорака супстрата и биљног материјала у односу на различите начине третмана супстрата и у њима гајених биљака. У оквиру петог и шестог потпоглавља описане су хемијске анализе различитих узорака супстрата, коренова и надземних делова *Festuca rubra*. У петом потпоглављу описана је припрема узорака за анализе супстрата у које спадају следеће методе: одређивање активне и супституционе киселости (рН вредност), одређивање органског угљеника и садржаја органске материје дихроматном дигестијом, одређивање садржаја укупног азота, лако приступачног Р и К у супстрату, садржаја приступачних Mg и Ca, садржаја псеудо-укупних концентрација елемената (Fe, Pb, Cu, Mn, Zn, Cr, Ni, Cd, Co) киселим разарањем, као и садржаја приступачних концентрација хемијских елемената (Fe, Pb, Cu, Mn, Zn, Cr, Ni, Cd, Co) екстрахованих уз помоћ EDTA. У оквиру шестог потпоглавља описана је обрада и припрема биљних узорака за анализе садржаја елемената у надземним деловима и кореновима. Затим су описане коришћене методе: одређивање концентрација укупног азота, укупне концентрације Р и К и одређивање укупних концентрација хемијских елемената (Mg, Ca, Fe, Pb, Cu, Mn, Zn, Cr, Ni, Cd, Co). У оквиру седмог потпоглавља описане су методе коришћене за одређивање физиолошких и биохемијских параметара у испитиваним узорцима *Festuca rubra*: одређивање садржаја хлорофила а и b, укупних хлорофила, укупних каротеноида, пролина, укупних фенола и антиоксидативног капацитета биљке коришћењем DPPH методе. У осмом потпоглављу су наведене једначине за израчунавање биоконцентрационог, биоакумулационог и

транслокационог фактора како би се одредио потенцијал *Festuca rubra* за акумулацију олова, док су у деветом потпоглављу описане статистичке методе коришћене за обраду података и софтвери у којима су рађене.

Поглавље **РЕЗУЛТАТИ** подељено је у шест потпоглавља. У првом потпоглављу описани су резултати физичко-хемијске карактеризације новосинтетисаних брушит-алуминосиликатних материјала са различитим уделом брушита у њима. Резултати фазног састава брушит-алуминосиликатних материјала пре адсорпционих анализа, који су одређени XRPD методом, указују на постојање делимичне очуваности уређене структуре у материјалима и дела који је аморфан тј. структурно неуређен и који указује да је дошло до процеса геополимеризације. Поред тога резултати дифрактограма након редгенске дифракције на поликристалном узорку материјала, након адсорпционих анализа, указују на то да је олово највероватније везано у аморфном матриксу и да његово присуство није довело до формирања нове фазе, што указује да су особине овог материјала највероватније хемисорпционог типа. Различите функционалне групе у синтетисаним брушит-алуминосиликатним материјалима детектоване су коришћењем FTIR методе и у њих спадају: Si-O, -P-O-Al-O-, Si-O-Si, -Si-O-Si-O-Al-O-Si-O-P-O- и нецентрична карбонатна група која настаје услед везивања Na<sup>+</sup> из раствора за CO<sub>2</sub> из ваздуха. Након адсорпционих анализа на брушит-алуминосиликатним материјалима FTIR спектри указују на формирање олово-карбоната и на могућност уградње јона олова у геополимерну матрицу. Микрографије добијене на скенирајућем електронском микроскопу показују да брушит у материјалу има плочаст, призматичан облик зрна са правилним моноклиничним обликом између 1 и 2 μm, док је геополимер сачињен од агрегата мањих од 1 μm. Такође се може видети да са повећањем удела брушита у материјалу долази до веће повезаности честица у матриксу. На основу резултата EDS семиквантитативних анализа прерачунат је однос Si:Al:Na који приближно износи 2:1:1. Што се тиче специфичне површине материјала и величине и расподеле пора у материјалу резултати показују да је специфична површина између 20 и 27 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, док је средњи радијус пора ~11 nm у свим узорцима што указује на мезопорозност материјала. У оквиру другог потпоглавља приказани су резултати адсорпционих експеримената на брушит-алуминосиликатним материјалима у које спадају резултати: утицаја рН вредности на адсорпцију олова из водених раствора, адсорпционе кинетике и адсорпционих изотерми. Резултати показују да је оптимална рН вредност за уклањање олова 5,5, да је одговарајући кинетички модел псеудо-другог реда, што указује да је хемисорпција потенцијални механизам, да међучестична дифузија не представља једини корак који контролише брзину и да постоји гранични слој отпора између адсорбенса и адсорбата и на крају да Фројндлихов модел изотерми верније описује процес адсорпције. У последњем делу овог потпоглавља приказани су резултати одређивања тачке нултог наелектрисања који показују да добијене вредности свих узорака износе око 10,7. У трећем потпоглављу приказани су резултати анализа хемијских карактеристика супстрата. Они указују на то да рН вредност у серијама узорака који нису третираны брушит-алуминосиликатним материјалима варира у мањој мери и да је у контролном узорку рН вредност неутрална. Након додавања материјала рН вредност опада. С друге стране, у узорцима супстрата у којима је гајена биљка долази до пораста рН и у оловом третираном и у нетретираном серијама. Што се тиче садржаја органског угљеника и хумуса, највише концентрације су измерене у контролном узорку и у узорку супстрата третираном само Pb. Што се тиче садржаја N, P и K, удео азота је већи у узорцима супстрата на којима је гајена *Festuca rubra*, док су концентрације фосфора и калијума ниже у овим серијама. Што се тиче концентрација Mg и Ca, највише вредности су измерене у узорцима супстрата који је третиран само брушит-алуминосиликатним

материјалима и то са GPB6% када је у питању Mg и GPB4% када је у питању Ca. Резултати показују да псеудо-укупне концентрације Pb у супстрату опадају са додатком брушит-алуминосиликатних материјала и да смањење прати пораст удела брушита у материјалима и у серијама у којима је гајена *Festuca rubra* и у онима у којима није гајена биљка. С друге стране резултати мерења приступачних концентрација овог елемента такође показују пад у присуству материјала који за разлику од псеудо-укупних концентрација није следљив са уделом брушита у материјалу. Резултати показују да псеудо-укупне концентрације Fe варирају у уском опсегу, док је у случају приступачних концентрација детектован пораст након додатка брушит-алуминосиликатних материјала у узорцима супстрата на којима није гајена биљка и пад у узорцима на којим је гајена *Festuca rubra*. Што се тиче псеудо-укупних и приступачних концентрација Cu, Mn, Ni и Zn резултати показују да нису примећена статистички значајна одступања међу узорцима супстрата. Код приступачних концентрација Mn и Zn, уочен је пад концентрације ових елемената у узорцима супстрата који је претходно третиран Pb и у којем је гајена *Festuca rubra* након додавања брушит-алуминосиликатних материјала и који одговара уделу брушита у њима. Резултати садржаја псеудо-укупног Cr у супстрату указују на пораст концентрација овог елемента након додавања брушит-алуминосиликатних материјала у свим серијама, док су приступачне концентрације испод граница детекције. Анализе указују и да су псеудо-укупне и приступачне концентрације Cd и Co ниске у свим узорцима супстрата. У оквиру четвртог потпоглавља приказани су резултати концентрација елемената у испитиваним узорцима надземног дела и корена *Festuca rubra*. Резултати анализа показују да је удео N у биљкама које су гајене на супстрату третираном Pb нижи, а да је удео P у узорцима надземних делова већи код ових биљака. Такође је примећен пораст концентрација овог елемента у узорцима коренова биљака које су гајене на Pb третираном супстрату у који су додати брушит-алуминосиликатни материјали, који одговара порасту процента брушита у њима. Што се тиче концентрација K резултати указују на то да су више концентрације измерене у узорцима надземног дела, док је су у случају Ca, Fe, Cu и Zn концентрације више у узорцима коренова. Даље, резултати показују да су концентрације Mg приближне у узорцима надземног дела и корена биљака гајених на различито третираним супстратима. Што се тиче концентрација Pb, резултати показују пораст концентрација овог елемента у биљкама које су гајене на супстрату третираном брушит-алуминосиликатним материјалима и исти одговара порасту удела брушита у њима. Резултати указују на пад концентрација Fe у узорцима коренова биљака гајених на Pb нетретираном супстрату након додавања брушит-алуминосиликатних материјала и пораст истих у узорцима супстрата третираним Pb. Што се тиче концентрација Mn уочен је пад концентрација у Pb третираним и нетретираним узорцима супстрата након додавања брушит-алуминосиликатних материјала. Резултати указују на пораст концентрација Cr у биљкама које су гајене у супстратима третираним брушит-алуминосиликатним материјалима, као и у случају Cd у узорцима надземних делова. Резултати анализа су показали да су у узорцима биљака које су гајене на Pb третираном супстрату концентрације Co ниже, али је примећен њихов пораст након додавања брушит-алуминосиликатних материјала и он одговара повећању удела брушита у њима. У оквиру петог потпоглавља представљени су резултати анализа физиолошких и биохемијских маркера и њихова корелисаност са осталим параметрима у супстрату и биљном материјалу. Резултати мерења концентрација фотосинтетских пигмената (хлорофила а и b, укупних хлорофила и укупних каротеноида) указују на њихове ниже концентрације у узорцима надземних делова биљака које су гајене на супстрату третираном Pb и на њихов пораст након додавања брушит-алуминосиликатних материјала у узорцима биљака гајених и на Pb третираним и нетретираним супстратима.

Уочен је пад концентрација пролина у узорцима надземних делова биљака гајених на Рb третираним супстратима након додавања брушит-алуминосиликатних материјала који одговара порасту удела брушита у њима. Резултати указују на пад процента инхибиције DPPH и концентрација укупних фенола у надземним деловима биљака које су гајене на Рb третираном супстрату који одговара порасту удела брушита у материјалу и благи пораст ових параметара на узорцима са нетретираних супстрата. Што се тиче анализа повезаности раличитих параметара у узорцима супстрата и биљног материјала уочена је негативна корелација између садржаја олова у супстрату и фотосинтетских пигмената и позитивна корелација са процентом инхибиције DPPH, садржајем укупних фенола и пролина, док су концентрације олова у биљци позитивно корелисане са садржајем олова у супстрату, процентом инхибиције DPPH и киселошћу земљишта и негативно корелисане са садржајем N, количином биомасе и садржајем фотосинтетских пигмената у биљци. У оквиру шестог потпоглавља приказан је фиторемедијациони потенцијал *Festuca rubra* где је забележен раст BAF (биоаккумуляционог фактора) и BCF (биоконцентрационог фактора) након додавања брушит-алуминосиликатних материјала који је у складу са порастом удела брушита у њима, док је у случају TF примећен обрнути тренд.

У поглављу **ДИСКУСИЈА**, које је подељено на шест потпоглавља детаљно су дискутовани резултати истраживања, са адекватним примерима из пређашњих истраживања и наводима на одговарајућим местима у тексту. У оквиру првог потпоглавља кандидаткиња дискутује резултате физичко-хемијске карактеризације новосинтетисаних брушит-алуминосиликатних материјала са различитим масеним уделом брушита у њима (GPB2%, GPB4%, GPB6%, GPB8% и GPB10%). Појашњени су процеси геополимеризације уз присуство алкалног активатора, могуће инкорпорације брушита у геополимерну матрицу, мезопорозност материјала и одсуство већих фазних и структурних промена у брушит-алуминосиликатним материјалима након адсорпције олова што указује на њихову стабилност у воденим растворима. У другом потпоглављу продискутовани су резултати добијени након анализа адсорпције јона олова из водених раствора на брушит-алуминосиликатним материјалима. Ефикасност адсорпције која сукцесивно опада са повећањем удела брушита у материјалима је подржана резултатима претходних истраживања који показују да метакаолин поседује високу ефикасност за уклањање потенцијално токсичних елемената из водених раствора, док се као могући механизам адсорпције, због присуства брушита, наводи хемисорпција у једном слоју на хомогеној површини. У оквиру трећег потпоглавља интерпретирани су резултати хемијског састава и карактеристика супстрата. Обрађени су резултати рН вредности који показују да третман брушит-алуминосиликатним материјалима не доводи до нарушавања киселинско-базне равнотеже самог супстрата и потврђено је да брушит-алуминосиликати у супстрату у којем је гајена биљка доводе до пораста рН вредности и доприносе имобилизацији потенцијално токсичних елемената што је у складу са литературним подацима. Садржај органске материје је висок у свим серијама, док исти опада у супстратима који су третирани брушит-алуминосиликатним материјалима, а објашњен је присуством неорганске материје која води порекло од брушит-алуминосиликата, чији је удео у супстрату 5%. Поред тога, супстрат припада веома јако хумозним земљиштима и добро снабденим N, P и K што је и очекивано због употребе комерцијалног супстрата, док је садржај макроелемената Mg и Ca остао непромењен додавањем брушит-алуминосиликатних материјала те се сматра да не постоји њихов негативан утицај на садржај есенцијалних елемената. Изражен пад псеудо-укупних концентрација Рb у супстрату након додавања брушит-алуминосиликатних материјала, који одговара повећању удела брушита у њима, објашњен је и поткрепљен резултатима

претходних истраживања који указују на високу ефикасност адсорпције Pb на калцијум-фосфату, док је поред тога пад забележен и у серијама у којима је гајена биљка и у случају приступачних концентрација Pb. У случају концентрација осталих анализираних елемената показано је да брушит-алуминосиликатни материјали утичу на: повећање садржаја приступачног Fe у супстрату, што се може објаснити утицајем на растворљивост преко промене рН вредности, пад концентрација елемената са додатком материјала у случају Mn и Zn што је у складу претходним истраживањима, и пораст у случају Cr што се разликује од података у литератури када су коришћени алуминосиликатни материјали у асистираној фиторемедијацији. У четвртом потпоглављу продискутовани су резултати добијени анализама елементарног састава биљног материјала. Код биљака гајених на Pb третираном супстрату је показан пораст концентрација Pb који одговара уделу брушита у брушит-алуминосиликатним материјалима. Стопа пораста је већа у узорцима коренова у односу на надземне делове, што може указивати на ограничену транслокацију у присуству материјала. Ови резултати се разликују од ранијих експеримената из литературе у којима су коришћени алуминосиликатни материјали, међутим показано је да фосфати утичу позитивно на акумулацију Pb у надземним деловима *Festuca rubra*, чиме се објашњава пораст концентрација овог елемента који одговара уделу брушита у материјалу. Пад концентрација N у биљкама које су гајене на Pb третираном супстрату се приписује токсичном утицају Pb на биљке који доводи до смањење асимилације азота и метаболизма, док је са друге стране уочена стабилност P и K у биљкама у односу на третман супстрата Pb. Позитиван ефекат брушит-алуминосиликатних материјала који одговара порасту удела брушита на акумулацију Fe, Mg и Ca у кореновима биљака које су гајене на Pb третираним супстратима указује на позитиван утицај материјала на садржај есенцијалних елемената у биљци у условима метал-индукујућег стреса. У оквиру петог потпоглавља кандидаткиња је дискутовала резултате физиолошких и биохемијских анализа различитих узорака надземних делова *Festuca rubra* где је показан пад концентрација свих пигмената у биљкама које су гајене на Pb третираним супстратима што је последица фитотоксичних ефеката које Pb изазива у биљкама. Ови резултати су објашњени теоријским подацима и примерима резултата добијених претходним истраживањима. С друге стране показан је пораст концентрација пигмената и позитиван утицај брушит-алуминосиликатних материјала који одговара порасту удела брушита у њима у обе серије супстрата које се односе на третман Pb. У складу са подацима из претходних истраживања детектован је пораст концентрација пролина, процента инхибиције DPPH и укупних фенола код биљака гајених на Pb третираним супстратима што потврђује да и у овом случају Pb изазива оксидативни стрес у биљкама. Насупрот томе, показан је пад вредности сва три параметра у узорцима који су гајени на супстрату који је третиран Pb и брушит-алуминосиликатним материјалима и који одговара повећању удела брушита у њима, где је потврђен позитиван утицај ових материјала на смањење стреса у биљкама што доприноси развоју ефикасних стратегија за фиторемедијацију. У шестом потпоглављу продискутован је фиторемедијациони потенцијал биљке. Резултати указују на одступање од претходних анализа када је у питању TF, тј. забележене су више вредности, у контролном узорку и узорку биљке која је гајена на супстрату који је третиран са GPB2%, чак и више од 1. Међутим, примећује се његов пад са повећањем процента брушита у брушит-алуминосиликатним материјалима којима је претходно третиран супстрат. С друге стране примећен је пораст VCF и VAF у истим серијама који одговара порасту удела брушита, с тим што је пораст VAF нижег степена и ограничен. Ово указује на ефикаснију адсорпцију и акумулацију Pb у коренском систему у присуству материјала што доприноси фитостабилизацији, док

смањење ТФ има исти утицај тако што се ограничавањем транспорта Рб у надземне органе спречава његово даље ширење у екосистему.

У поглављу **ЗАКЉУЧЦИ** таксативно су наведени закључци који прате редослед текста по поглављима. Изведени су следећи закључци: физичко-хемијска карактеризација показује да је спроведена успешна синтеза брушит-алуминосиликатних геополимерних материјала, утврђена је висока ефикасност брушит-алуминосиликатних материјала (GPB2%, GPB4% и GPB6%) у адсорпцији јона Рб из водених раствора, уочена је повећана базност земљишта у којем је гајена *Festuca rubra* и смањена вредност ТФ након додавања брушит-алуминосиликатних материјала која одговара уделу брушита у њима, а што доприноси фитостабилизацији потенцијално токсичних елемената. Затим, потврђен је: позитиван утицај овог материјала на садржај макроелемената у биљци, негативан утицај Рб на фотосинтетске пигменте и пораст концентрација пролина и антиоксидативних једињења што указује на изазивање стреса, док је додавање брушит-алуминосиликатних материјала довело до смањења стреса код анализираних биљака. Поред тога у оквиру овог поглавља истакнути су позитивни аспекти: примене техника фиторемедијације са акцентом на фитостабилизацији, као и поновна употреба сировина и синтеза материјала према принципима зелене хемије.

Поглавље **ЛИТЕРАТУРА** садржи 220 библиографских јединица. Литературни извори су адекватно и на одговарајућим местима цитирани у тексту докторске дисертације.

Поглавље **ПРИЛОЗИ** садржи 4 табеле са додатним резултатима добијеним током истраживања у оквиру израде докторске дисертације

## **Радови и конгресна саопштења из докторске дисертације**

### **Б1. Радови у часописима међународног значаја**

1. **Ђukić, D.**, Krstić, A., Jakovljević, K., Butulija, S., Andjelković, L., Pavlović, V., Mirković, M. (2022). Brushite-Metakaolin Composite Geopolymer Material as an Effective Adsorbent for Lead Removal from Aqueous Solutions. *Sustainability*, 14(7), 4003. <https://doi.org/10.3390/su14074003>. **M22**
2. **Djukić, D.**, Mirković, M., Andrejić, G., Aleksić, U., Mišljenović, T., Vujičić, M., Jakovljević, K. (2025). Green solution for lead pollution: Phytoremediation with *Festuca rubra* and brushite–aluminosilicate geopolymer material. *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 159(3), 448–457. <https://doi.org/10.1080/11263504.2025.2485975>. **M22**

### **Б2. Конгресна саопштења из докторске дисертације**

1. **Djukić, D.**, Nenadović, S., Kljajević, Lj., Pavlović, V., Ivanović, M., Nenadović, M., Mirković, M. (2019). Synthesis and characterization of Brushite-metakaolin-based geopolymer materials. Program and the Book of abstracts/Eighteenth Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering, December 4 - 6, 2019, Belgrade, Serbia, 86. ISBN 978-86-80321-35-6, COBISS.SR-ID 281006348, **M34**

2. **Djukić, D.**, Krstić, A., Jakovljević, K., Gulicovski, J., Mirković, M. (2021). Mechanical, microstructural and adsorption properties of brushite-metakaolin geopolymer materials. Programme and the Book of abstracts/14th ECerS Conference for Young Scientists in Ceramics (CYSC-2021), October 20 - 23, 2021, Novi Sad, Serbia, 136-137. ISBN 978-86-6253-136-0, COBISS.SR-ID 48093961, **M34**
3. **Djukić, D.**, Andrejić, G., Aleksić, U., Mišljenović, T., Jakovljević, K., Mirković, M. (2023). The influence of brushite-metakaolin geopolymer materials on phytostabilization of lead ions by *Festuca rubra*. Program and the Book of abstracts/15th ECerS Conference for Young Scientists in Ceramics (CYSC-2023), October 11 - 14, Novi Sad, Serbia, Book of abstracts, 127. ISBN 978-86-6253-174-2, COBISS.SR-ID 126081289, **M34**
4. **Djukic, D.**, Mišljenović, T., Andrejić, G., Aleksić, U., Jakovljević, K., Mirković, M. (2023). Assisted phytostabilization of Pb-contaminated soil using brushite-metakaolin geopolymer materials and *Festuca rubra*. Program and the Book of abstracts/Twenty-First Young Researchers' Conference - Materials Science and Engineering, November 29- December 1, 2023, Belgrade, Serbia, 21. ISBN 978-86-80321-38-7, COBISS.SR-ID 130053385, **M34**

## Провера оригиналности докторске дисертације

Докторска дисертација кандидата Дуње Д. Ђукић, Е3003/2019 послата је дана 29.01.2026. на софтверску проверу оригиналности. Извештај који садржи резултате провере оригиналности ментори су добили дана 29.01.2026.

Резултати електронске провере ове докторске дисертације показују да индекс подударности износи 14%. Детаљним увидом у Извештај, утврђено је да су готово сва уочена појединачна подударања у опсегу мањем од 1%, подударања са три извора у опсегу од 1%, а са два извора већа од 1%. Највећа поклапања, од 2%, уочена су са предходно публикованим докторским дисертацијама, и то у звањима и афилијацијама чланова комисије, коришћеној методологији, називима хемијских елемената, мерним јединицама, ознакама степена статистичке значајности, општим терминима присутним у свим докторским дисертацијама, као и у фразама уобичајеним у овој области истраживања, али и генерално у српском језику. Поклапања од 1% су уочена са предходно публикованим радовима докторанда, до кога је дошло због сличности у методологији, као и са другим предходно публикованим дисертацијама, а односе се на захвалницу и коришћену методологију. Уочена преклапања из различитих извора у опсегу мањем од 1% односе се на фразе уобичајене у овој области истраживања, јединице, ознаке статистичке значајности. Треба нагласити и да делови текста у којима постоји поклапање нису смислено повезани.

Када се све предходно изнето узме у обзир, извештај указује на оригиналност докторске дисертације кандидата Дуње Д. Ђукић, под насловом “Ефикасност *Festuca rubra* у фитостабилизацији јона олова у присуству брушит-алуминосиликатних материјала”, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, извештај указује на оригиналност докторске дисертације кандидата Дуње Д. Ђукић, под насловом „Ефикасност *Festuca rubra* у фитостабилизацији јона олова у присуству брушит-алуминосиликатних материјала“, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

## Мишљење и предлог Комисије

Докторска дисертација Дуње Д. Ђукић, под насловом „Ефикасност *Festuca rubra* у фитостабилизацији јона олова у присуству брушит-алуминосиликатних материјала” представља интердисциплинарно и савремено истраживање у оквиру науке о материјалима и заштите животне средине. Експерименти на којима је заснована докторска дисертација су адекватно осмишљени и спроведени, док су резултати анализа исправно приказани, продискутовани и критички сагледани уз поређење са релевантним примерима из литературе. Резултати произашли из ове докторске дисертације доприносе бољем разумевању утицаја неорганичних агенаса, као што су брушит-алуминосиликатни материјали, на фитостабилизацију олова од стране *Festuca rubra*. У овој докторској дисертацији, поред фундаменталног, истакнут је и потенцијални апликативни значај спроведеног истраживања за деконтаминацију земљишта која садрже високе концентрације олова. Такође, прекурсори коришћени за синтезу материјала синтетисани су по принципима зелене хемије и рецикулације резидуалних природних сировина, те им је овим путем пронађена нова намена, што доприноси смањењу отпада и нижој потрошњи енергије за добијање материјала који се могу поново користити.

На основу свега наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Биолошког факултета Универзитета у Београду да прихвати овај Извештај и одобри кандидаткињи Дуњи Д. Ђукић јавну одбрану докторске дисертације под насловом „Ефикасност *Festuca rubra* у фитостабилизацији јона олова у присуству брушит-алуминосиликатних материјала ”.

У Београду, 23.02.2026. године

**КОМИСИЈА:**

---

**др Јасмина Шинжар Секулић**, редовни професор,  
Биолошки факултет Универзитета у Београду

---

**др Томица Мишљеновић**, доцент,  
Биолошки факултет Универзитета у Београду

---

**др Александар Крстић**, научни сарадник  
Институт за нуклеарне науке „Винча“ –  
Институт од националног значаја за Републику Србију  
Универзитета у Београду

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

## ОЦЕНА ИЗВЕШТАЈА О ПРОВЕРИ ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација кандидата Дуње Ђукић, Е3003/2019 послата је дана 29.01.2026. на софтверску проверу оригиналности. Извештај који садржи резултате провере оригиналности ментори су добили дана 29.01.2026.

Резултати електронске провере ове докторске дисертације показују да **индекс подударности износи 14%**. Детаљним увидом у Извештај, утврђено је да су готово сва уочена појединачна подударања у опсегу мањем од 1%, подударања са три извора у опсегу од 1%, а са два извора већа од 1%. Највећа поклапања, од 2%, уочена су са предходно публикованим докторским дисертацијама, и то у звањима и афилијацијама чланова комисије, коришћеној методологији, називима хемијских елемената, мерним јединицама, ознакама степена статистичке значајности, општим терминима присутним у свим докторским дисертацијама, као и у фразама уобичајеним у овој области истраживања, али и генерално у српском језику. Поклапања од 1% су уочена са предходно публикованим радовима докторанда, до кога је дошло због сличности у методологији, као и са другим предходно публикованим дисертацијама, а односе се на захвалницу и коришћену методологију. Уочена преклапања из различитих извора у опсегу мањем од 1% односе се на фразе уобичајене у овој области истраживања, јединице, ознаке статистичке значајности. Треба нагласити и да делови текста у којима постоји поклапање нису смислено повезани.

Када се све предходно изнето узме у обзир, извештај указује на оригиналност докторске дисертације кандидата Дуње Ђукић, под насловом “Ефикасност *Festuca rubra* у фитостабилизацији јона олова у присуству брушит-алуминосиликатних материјала”, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

У Београду, 30.01.2026.

Ментори:

---

Др Миљана Мирковић, виши научни сарадник,  
Институт за нуклеарне науке „Винча“ –  
Институт од националног значаја за Републику Србију  
Универзитет у Београду

---

Др Ксенија Јаковљевић, научни саветник,  
Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ –  
Институт од националног значаја за Републику Србију  
Универзитет у Београду



---

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
БИОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

---

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

42/36 - 13. 6. 2025.

На основу члана 93. став 4. Статута Универзитета у Београду-Биолошког факултета и члана 24а став 3. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду-Биолошком факултету, број 15/297 од 20. 5. 2014. године, а на захтев Дуње Ђукић, студента докторских студија, Наставно-научно веће Факултета, на VIII редовној седници одржаној 13. 6. 2025. године, донело је

### ОДЛУКУ

Дуњи Ђукић, Е3003/2019, студенту докторских студија на Биолошком факултету у Београду, одобрава се продужетак рока за завршетак студија најкасније до истека рока у троструком броју школских година потребних за реализацију студијског програма, односно до 30. 9. 2028. године.

### Образложење

Дуња Ђукић, уписала је докторске студије на Биолошком факултету у Београду школске 2019/2020. године.

Пре истека наведеног рока, 30. 9. 2024. године, именована је поднела захтев Наставно-научном већу Факултета да јој се продужи рок за завршетак студија у складу са Статутом Факултета наводећи као разлог проблеме до којих је дошло у процесу завршетка докторске дисертације.

Чланом 101. став 4. Статута Универзитета у Београду прописано је да се студенту на лични захтев, поднет пре истека рока из ст. 1. и 2. овог члана, односно, двоструког броја школских година потребних за реализацију студијског програма, може продужити рок за завршетак студија до истека рока у троструком броју школских година потребних за реализацију студијског програма.

На основу наведеног донета је одлука као у диспозитиву.



Председник ННВ, Декан Факултета

Проф. др Љубиша Станисављевић