

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**

**ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ**

**НАУЧНО-НАСТАВНОМ ВЕЋУ ШУМАРСКОГ ФАКУЛТЕТА**

**ВЕЋУ ОДСЕКА ЗА ШУМАРСТВО И ЗАШТИТУ ПРИРОДЕ**

**ОВДЕ**

**Предмет: Извештај Комисије о оцени израђене докторске дисертације кандидаткиње Јелене Д. Урошевић**

**I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ**

1. Орган који је именовao (изабрао) комисију и датум:

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Шумарског факултета број 03-1604/1 од 24.02.2023. године, усвојена је научна заснованост теме докторске дисертације кандидаткиње, мастер физикохемичара, Јелене Д. Урошевић, под насловом: „Истраживање фиторемедијационог и енергетског потенцијала различитих клонова врба (*Salix sp.*)“. За менторе су одређени: др Душан Јокановић, ванредни професор Универзитета у Београду - Шумарског факултета и др Драгица Станковић, научни саветник Универзитета у Београду - Института за мултидисциплинарна истраживања. На основу поднетог материјала докторске дисертације, одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Шумарског факултета, број 01-2/101 од 26.06.2024. године, образована је Комисија за оцену израђене предметне докторске дисертације.

2. Састав комисије (уз навођење уже научне области и датума последњег избора у звање за сваког члана)

- 1) др Мирјана Шијачић-Николић, редовни професор; научна област Биотехничке науке, ужа научна област Семенарство, расадничарство и пошумљавање; избор у звање 14.12.2011. године, Универзитет у Београду – Шумарски факултет ( председавајућа Комисије)
- 2) др Бранко Стајић, редовни професор; научна област Биотехничке науке, ужа научна област Планирање газдовања шумама; избор у звање 13.04.2021. године, Универзитет у Београду – Шумарски факултет
- 3) др Зоран Милетић, научни саветник; научна област Биотехничке науке, ужа научна област Гајење шума - Педологија; избор у звање 17.07.2022. године, Институт за шумарство - Београд

**II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ**

1. Име, име једног родитеља, презиме: Јелена, Драган, Урошевић

2. Датум и место рођења, општина, држава: 02.04.1975. године, Београд, Република Србија
3. Датум одбране, место и назив магистарске тезе/мастер рада: 29.09.2017. године, Факултет за физичку хемију, Универзитета у Београду, Београд, "Примена јонске хроматографије за одређивање неорганских супстанци у електрофилтерском пепелу".
4. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука/мастера: Физичка хемија животне средине

### III УВОД

#### 3.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- Кандидаткиња, мастер физикохемије, Јелена Д. Урошевић, је уписала докторске студије школске 2018/19. године
- Одлуком НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА Шумарског факултета, број 03-1604/1 од 24.02.2023. године, за менторе докторске дисертације, под називом „Истраживање фиторемедијационог и енергетског потенцијала различитих клонова врба (*Salix sp.*)“, одређени су др Душан Јокановић, ванредни професор Универзитета у Београду - Шумарског факултета и др Драгица Станковић, научни саветник Универзитета у Београду – Института за мултидисциплинарна истраживања
- Одлуком НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА Шумарског факултета, број 01-2/65 од 24.06.2020. године, образована је Комисија за одбрану пројекта докторске дисертације под називом "Истраживање потенцијала различитих генотипова врбе (*Salix sp.*) у фиторемедијацији тешких метала" у саставу:
  - 1) др Драгица Станковић, научни саветник Универзитета у Београду, Института за мултидисциплинарна истраживања,
  - 2) др Мирјана Шијачић-Николић, ред. проф. Универзитета у Београду, Шумарског факултета,
  - 3) др Душан Јокановић, ванр. проф. Универзитета у Београду, Шумарског факултета;
- Пројекат докторске дисертације под називом "Истраживање потенцијала различитих генотипова врбе (*Salix sp.*) у фиторемедијацији тешких метала", кандидаткиња је одбранила 21.09.2020. године пред трочланом комисијом у саставу:
  - 1) др Драгица Станковић, научни саветник Универзитета у Београду, Института за мултидисциплинарна истраживања,
  - 2) др Мирјана Шијачић-Николић, ред. проф. Универзитета у Београду, Шумарског факултета,
  - 3) др Душан Јокановић, ванр. проф. Универзитета у Београду, Шумарског факултета;
- Одлуком НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА Шумарског факултета, број 03-1604/1 од 24.02.2023. године, образована је Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под насловом "Истраживање фиторемедијационог и енергетског потенцијала различитих клонова врба (*Salix sp.*)", у саставу:
  - 1) др Мирјана Шијачић-Николић, ред. проф. Универзитета у Београду, Шумарског факултета,

- 2) др Бранко Стајић, ред.проф. Универзитета у Београду, Шумарског факултета,
  - 3) др Зоран Милетић, научни саветник Института за шумарство у Београду
- Одлуком НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА Шумарског факултета, 03-1604/1 од 24.02.2023. године, усвојена је научна заснованост теме докторске дисертације под називом "Истраживање фиторемедијационог и енергетског потенцијала различитих клонова врба (*Salix* sp.)". За менторе су одређени: др Душан Јокановић, ванредни професор Универзитета у Београду – Шумарског факултета и др Драгица Станковић, научни саветник Универзитета у Београду – Института за мултидисциплинарна истраживања;
  - Одлуком ВЕЋА НАУЧНИХ ОБЛАСТИ BIOTEHНИЧКИХ НАУКА, Број 61206-818/2-23 од 14.03.2023. године, дата је сагласност на Одлуку НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА Шумарског факултета о прихватању теме докторске дисертације под називом "Истраживање фиторемедијационог и енергетског потенцијала различитих клонова врба (*Salix* sp.)". За менторе су одређени: др Душан Јокановић, ванредни професор Универзитета у Београду – Шумарског факултета и др Драгица Станковић, научног саветника Универзитета у Београду – Института за мултидисциплинарна истраживања.
  - Одлуком НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА Шумарског факултета, број 01-2/101 од 26.06.2024. године, образована је Комисија за оцену израђене докторске дисертације под насловом "Истраживање фиторемедијационог и енергетског потенцијала различитих клонова врба (*Salix* sp.)", у саставу:
    - 1) др Мирјана Шијачић-Николић, ред.проф. Универзитета у Београду, Шумарског факултета,
    - 2) др Бранко Стајић, ред.проф. Универзитета у Београду, Шумарског факултета,
    - 3) др Зоран Милетић, научни саветник Института за шумарство у Београду.

### 3.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада ужој научној области Семенарство, расадничарство и пошумљавање, у оквиру дисциплине Шумарство, област Биотехничке науке. За менторе докторске дисертације именовани су: др Душан Јокановић, ванредни професор Универзитета у Београду – Шумарског факултета, УНО Семенарство, расадничарство и пошумљавање (изабран 09.11.2021. године) и др Драгица Станковић, научни саветник Универзитета у Београду – Института за мултидисциплинарна истраживања, УНО Екологија шума и заштита животне средине (изабрана 27.09.2017. године).

Др Душан Јокановић, ванредни професор Универзитета у Београду – Шумарског факултета, поседује следеће компетенције за вођење докторске дисертације:

1. **Jokanović, D.**, Urošević, J., Stojnić, S., Nikolić Jokanović, V., Stanković, D., Ištók, I. (2024): Variability of Morpho-Anatomical Characteristics of Different Willow Clones Contaminated with Heavy Metals. Croatian Journal of Forest

- Engineering 45 (2), 421-432, <https://doi.org/10.5552/crojfe.2024.2289> (M21, IF = 3.2)
2. Urošević, J., Stanković, D., **Jokanović, D.**, Trivan, G., Rodzkin, A., Jović, Đ., Jovanović, F. (2024): Phytoremediation Potential of Different Gynotypes of *Salix alba* and *S.viminalis*. *Plants-Basel* 13 (5), <https://doi.org/10.3390/plants13050735>. (M21, IF = 4.5)
  3. Lozjanin, R., **Jokanović, D.**, Nikolić Jokanović, V., Živanović, K., Desimirović, I., Marinković, M. (2024): Anatomical Characteristics and Assessment of Wood Fiber Quality of Mature Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.) Trees Grown in Different Environmental Conditions. *SEEFOR* 15 (1): 51-57, <https://doi.org/10.15177/seefor.24-05>. (M23, IF = 0.6)
  4. **Jokanović, D.**, Devetaković, J., Nikolić-Jokanović, V., Živanović, K., Mijatović, Lj., Desimirović, I. (2024): Variability of Anatomical and Morphological Traits of *Pinus Nigra* and *Pinus Sylvestris* Seedlings Affected by Different Container Type. *Wood Research* 69 (1): 37-49 (M22, IF = 1.3)
  5. Nikolić Jokanović, V., **Jokanović, D.**, Savić, R., Vulević, T., Anđelković, A., Lazarević, K., Kovačević, R., Momirović, N. (2023): Monitoring of the Surface Water Regime of the Sava River Alluvium in Serbia Using Geographic Information System (GIS) Techniques. *Water* 15 (23), <https://doi.org/10.3390/w15234175>. (M22, IF = 3.4)

Према бази Research Gate, др Душан Јокановић, ванредни професор, има 51 хетероцитат, а Хиршов индекс износи 4. Према бази Web of Science, Хиршов индекс др Душана Јокановића, ванредног професора, износи 5.

Др Драгица Станковић, научни саветник Универзитета у Београду – Института за мултидисциплинарна истраживања, поседује следеће компетенције за вођење докторске дисертације::

1. Jokanović, D., Urošević, J., Stojnić, S., Nikolić Jokanović, V., **Stanković, D.**, Ištok, I. (2024): Variability of Morpho-Anatomical Characteristics of Different Willow Clones Contaminated with Heavy Metals. *Croatian Journal of Forest Engineering* 45 (2), 421-432, <https://doi.org/10.5552/crojfe.2024.2289> (M21, IF = 3.2)
2. Urošević, J., **Stanković, D.**, Jokanović, D., Trivan, G., Rodzkin, A., Jović, Đ., Jovanović, F. (2024): Phytoremediation Potential of Different Gynotypes of *Salix alba* and *S.viminalis*. *Plants-Basel* 13 (5), <https://doi.org/10.3390/plants13050735>. (M21, IF = 4.5)
3. Devetaković, J., **Stanković, D.**, Ivetić, V., Mitrović, B., Todorović, N. (2017): The concentration of Zn, Mn and Fe in leaves of *Ulmus laevis* Pall. at Veliko ratno ostrvo island (Belgrade, Serbia). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 12 (1): 69-75. (M23, IF = 0.671)
4. Devetaković, J., **Stanković, D.**, Ivetić, V., Šijačić-Nikolić, M., Maksimović, Z. (2016): Potential of Different European White Elm (*Ulmus laevis* Pall.) Genotypes for Phytoextraction of Heavy Metals. *Fresenius Environmental Bulletin* 25 (10): 4318-4323. (M23, IF = 0.425)
5. Ivetić, V., Devetaković, J., Nonić, M., **Stanković, D.**, Šijačić-Nikolić, M. (2016): Genetic diversity and forest reproductive material – from seed source selection to planting. *I-Forest - Biogeosciences and Forestry* 9: 801-812.

(M22, IF = 1.623)

Према бази Research Gate, др Драгица Станковић, научни саветник, има 355 хетероцитата, а Хиршов индекс износи 9. Према бази Web of Science, Хиршов индекс др Драгице Станковић, научног саветника, износи 8.

#### **IV ОПИС ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Докторска дисертација под насловом "Истраживање фиторемедијационог и енергетског потенцијала различитих клонова врба (*Salix* sp.)" садржи укупно 164 стране, од чега је 146 страна текста, а 18 страна литературе. Докторска дисертација садржи 97 табела и 90 слика. Списак релевантне литературе, везане за област истраживања, садржи 333 литературна извора. На почетку текста докторске дисертације, налазе се кључне документационе информације и резиме, на српском и енглеском језику, са кључним речима. Текст је подељен у седам поглавља, са припадајућим потпоглављима, која су структурирана тако да представљају посебне, али логички повезане целине:

1. УВОД (1–14 стр.)
2. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА И ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ (15–16 стр.)
3. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА (17–21 стр.)
4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА (22–27 стр.)
5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ДИСКУСИЈА (28–142 стр.)
6. ЗАКЉУЧАК (143–146 стр.)
7. ЛИТЕРАТУРА (147–164 стр.)

После поглавља 7 - Литература, дате су потребне изјаве кандидата о ауторству, истоветности штампане и дигиталне верзије рада, као и овлашћење о начину коришћења. Дисертација је написана ћириличним писмом, у складу са Упутством за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду.

Кратак приказ појединачних поглавља:

**Наслов** докторске дисертације је јасно конципиран и одговара дефинисаном предмету и постављеним циљевима истраживања. Наслов истиче тематику и садржај дисертације.

#### **1. УВОД (1–14 стр.)**

Прво поглавље докторске дисертације се састоји од 10 потпоглавља. У првом потпоглављу, 1.1. Биологија испитиваних клонова врба, кандидаткиња даје кратак осврт на морфолошке карактеристике рода *Salix*, затим на биоеколошке особине ових врста, као и на ареал распрострањења који обухватају. У потпоглављу 1.2. се говори о фиторемедијацији као веома ефикасној методи за санацију земљишта и неопходности њене примене због веома позитивног утицаја на стање целокупне животне средине. Следећих пет потпоглавља у оквиру Увода, почев од 1.3., па закључно са 1.7., описују поједине технике фиторемедијације које су нашле своју примену у деконтаминацији земљишта оптерећених тешким металима, а разлике се односе на начине усвајања и акумулације поменутих полутаната. Поменуте технике обухватају:

фитоекстракцију (тешки метали се кореном извлаче из земљишта, а по уласку у биљку се транспортују у надземне органе); фитодеградацију (деградација загађујућих материја путем метаболичких процеса који се одвијају у самим биљкама); фитостимулацију (разлагање полутаната из земљишта помоћу микроорганизама); фитостабилизацију (одвија се у зони корена и доводи до промене хемизма земљишта или полутанта); фитоволатизацију (процес који код виших биљака подразумева усвајање, транспорт и ослобађање загађујућих материја путем транспирације у истом или измењеном облику у атмосферу). Потпоглавље 1.8. говори о предностима и недостацима фиторемедијације. Као главне предности наводе се: неинвазивност, еколошка прихватљивост, економска оправданост и енергетска ефикасност. Са друге стране, главне мане су: дуг временски период за чишћење земљишта, затим је ефикасност фиторемедијације код великог броја хиперакумулатора (врсте које могу усвојити велике концентрације тешких метала, а да им то не угрожава раст и опстанак) лимитирана њиховим спорим растом и малом биомасом и, најзад, треба истаћи да је фиторемедијација примењива само на подручјима са ниским до умереним концентрацијама тешких метала, јер је биодоступност појединих полутаната у земљишту ограничена. У потпоглављу 1.9. се дефинишу хиперакумулаторске биљке и физиолошки механизми који им омогућавају висок степен толеранције на повећане концентрације тешких метала. Такође се наводе одређени критеријуми које хиперакумулаторска биљка треба да задовољи да би нашла примену у фиторемедијацији: да има брз дебљински и висински раст; да има висок степен продукције органске материје; да има моћан, дубок и разгранат коренов систем; да у високом степену акумулира поједине тешке метале из земљишта; да транслоцира тешке метале из корена у надземне делове; да је толерантна на токсичне ефекте тешких метала; да је добро адаптирана на постојеће станишне услове; да није превише захтевна у смислу узгоја и одржавања. У последњем потпоглављу у оквиру Увода фокус је на енергетским потенцијалима плантажа, при чему се наводи да косагоревање биомасе врба са лигнитом обезбеђује двоструки бенефит – еколошки чистија животна средина и значајна економска добит. Оснивање плантажа врба, поред фитоекстрактивне улоге везивања и акумулације тешких метала, делује превентивно и штити од ерозије земљишта захваљујући разгранатом и густом кореновом систему.

**2. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА И ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ (15-16 стр.)** На почетку овог поглавља се наводи да су за истраживања у оквиру ове докторске дисертације коришћена три клона беле врбе (*Salix alba*) и један клон кошарасте врбе (*Salix viminalis*). Главни циљ овог рада је био да се истражи фитоекстрактивни потенцијал четири генотипа аутохтоних врба за усвајање шест анализираних тешких метала (Cd, Pb, Ni, Cu, Cr, As), затим да се утврди енергетски најперспективнији клон који би сагоревао самостално или заједно са лигнитом у различитим процентуалним односима ради добијања енергије, као и да се дефинише клон са најповољнијим морфо-анатомским карактеристикама. **Потпоглавље 2.1.** носи назив **Специфични циљеви**, који су дефинисани на следећи начин:

- Утврђивање варијабилности морфолошких карактеристика (висина и пречник у кореновом врату биљака) различитих клонова врба у

- контаминираном и неконтаминираном (контролном) земљишту
- Утврђивање варијабилности димензија анатомских елемената (дрвна влакна, трахеје, траке дрвета, удео коре, сржи и дрвета) различитих клонова врба у контаминираном и неконтаминираном (контролном) земљишту
- Утврђивање варијабилности топлотног садржаја различитих клонова врба у контаминираном и неконтаминираном (контролном) земљишту у процесу самосталног сагоревања
- Утврђивање физичких и хемијских особина земљишта и квантитативно одређивање садржаја тешких метала у контаминираном и неконтаминираном (контролном) земљишту
- Утврђивање варијабилности топлотног садржаја различитих клонова врба у контаминираном и неконтаминираном (контролном) земљишту у процесу самосталног сагоревања
- Утврђивање енергетског потенцијала различитих клонова врба у контаминираном и неконтаминираном (контролном) земљишту у процесу косагоревања са лигнитом
- Селекција најперспективнијих клонова у односу на анализиране параметре и третман

**У потпоглављу 2.2., под називом Основне хипотезе, наводи се да:**

- Постоји варијабилност морфолошких особина различитих клонова врба раслих на контаминираном и контролном станишту
- Постоји варијабилност димензија анатомских елемената различитих клонова врба раслих на контаминираном и контролном станишту
- Постоји могућност коришћења различитих клонова (генотипова) за фиторемедијацију земљишта оптерећеног тешким металима
- Постоје разлике у фитоекстрактивном потенцијалу везивања тешких метала између појединих клонова
- Постоје разлике између клонова у топлотним вредностима биомасе приликом самосталног сагоревања, као и у процесима косагоревања са лигнитом у различитим процентуалним односима

### **3. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА (17–21 стр.)**

У овом поглављу, кандидаткиња даје веома детаљан приказ истраживане литературе. Говори се о штетним ефектима повећаних концентрација тешких метала у земљишту, које резултују смањењем прираста и приноса биљака, а доводе и до деградације екосистема у ширем смислу, што има негативне реперкусије на живот људи. Такође се анализирају радови који се баве пореклом тешких метала присутних у води, земљишту и ваздуху и констатује да је главни разлог гомилања полутаната у поменутих медијумима негативно деловање антропогеног фактора. Један од највећих проблема везан за драстично повећан садржај тешких метала односи се на чињеницу да су тешко разградиви, што значи да их је немогуће уништити, већ се само могу трансформисати у хемијски мање активне облике. Напомиње се, о чему сведоче и резултати појединих

аутора, да врбе имају знатно већи потенцијал усвајања и акумулације тешких метала у поређењу са другим брзорастућим таксонима попут тополе и пауловније. Кошараста врба је у појединим експерименталним истраживањима показала висок фитоекстрактивни потенцијал за усвајање кадмијума, цинка и бакра. Тип клона, односно генотипа, у великој мери условљава фиторемедијациони капацитет врба, што је веома значајно када се говори о врстама које се превасходно репродукују вегетативним путем и показују висок степен генетичке варијабилности. Веома значајан фокус, приликом анализе расположиве литературе, стављен је на коришћење засада врбе за производњу биоенергије, при чему је наглашено да узгој ове брзорастуће врсте обезбеђује, за веома кратко време (2-3 вегетациона периода) знатно већи принос биомасе у односу на неке друге дрвенасте таксоне. Наглашава се значај биомасе као обновљивог извора енергије који је могуће користити у котловима у термоелектранама, где би сагоревала заједно са лигнитом или би се користила самостално у биоенерганима. Синергија обновљиве и фосилне енергије довела би до смањења емисије штетних гасова, који узрокују негативни ефекат стаклене баште, а да би биомаса била енергетски што ефикаснија, треба да буде произведена на одржив начин, односно, енергетске плантаже треба оснивати са брзорастућим врстама попут врба и топола. Добијени резултати у бројним радовима показују да се након 2-3 године врши тзв. „чеповање“, односно, биљке се секу до пања, а захваљујући великом потенцијалу за вегетативну репродукцију, оне се из избојака релативно брзо обнављају и на овај начин је могуће извући 8-10 производних циклуса. У оквиру овог поглавља је детаљно изаниализирана и литература која се бави морфо-анатомским карактеристикама, превасходно, брзорастућих врста у јувенилном стадијуму развоја.

#### **4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА (22–27 стр.)**

У поглављу Материјал и метод рада, кандидаткиња, Јелена Д. Урошевић, детаљно описује начин дизајнирања и постављања пољског огледа, а потом и методолошки оквир који се односи на физичка и хемијска својства земљишта, морфолошке, анатомске и физиолошке параметре, садржај тешких метала у биљци, као и на калоријске вредности, како биомасе различитих клонова и различитих узорака угља, тако и калоријске вредности само генотипова врба, односно само узорака угља. На крају овог поглавља је дефинисана статистичка обрада података. Што се тиче постављања огледа, контаминирано земљиште је багером ископано са подручја РБ „Колубара“, потом спаковано у полиетиленске кесе, а овако хомогенизовани супстрат је пренет у расадник Шумарског факултета у Београду и коришћен за садњу четири клона аутохтоних врба (три клона беле врбе и један клон кошарасте врбе). Овако измешаним земљиштем је напуњено 120 кеса по клону (укупно 480 кеса). На почетку сваког вегетационог периода, супстрат је, ради додатне контаминације, заливан воденим раствором соли тешких метала [ $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ , 112,4 ppm;  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 63,5 ppm;  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 104,0 ppm;  $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 74,9 ppm;  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 58,7 ppm;  $\text{PbNO}_3$ , 207,2 ppm] у концентрацији  $10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ . Оглед за анализу реакције четири генотипа врба у неконтаминираној и контаминираној подлози и њиховог фиторемедијационог



потенцијала постављен је у расаднику Шумарског факултета Универзитета у Београду. Крајем марта 2019. године, засађене су по три резнице у сваку кесу са контаминираним супстратом, укупно 1440 резница. Преостали број резница врба (1440) засађен је на контролно земљиште (леја расадника) за испитивање разлика између утицаја контаминираних и неконтаминираних подлоге. Све резнице (2880) су пре садње потопљене у фунгицид „Бакарни оксихлорид-50“ [Cu<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>Cl] (Галеника а.д. Београд).

Анализа физичких особина земљишта се састојала у одређивању текстурног састава по Ехвалдовим границама за текстурне класе (Cools, DeVos, 2020).

Анализе хемијских карактеристика земљишта су обухватиле одређивање:

1. Активне киселости земљишног раствора (pH у H<sub>2</sub>O), потенциометријски (Cencelj, 1966);

2. Супституционе киселости (pH у KCl), потенциометријски (Cencelj, 1966);

3. Садржаја слободних (земноалкалних) карбоната, волуметријски, односно дејством раствора хлороводоничне киселине (HCl) на земљиште и мерењем запремине ослобођеног угљендиоксида (CO<sub>2</sub>) (Džamić et al., 1996);

4. Садржаја укупног хумуса и органске материје (%), методом по Тјурину у модификацији Симакова, волуметријски (Džamić et al., 1996);

5. Садржаја укупног азота (N) у земљишту (%), методом по Кјелдалу (Džamić et al., 1996);

6. Односа угљеника и азота (C/N), рачунски;

7. Садржаја биљкама лако приступачних облика фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (mg/100 g), Al-методом по Egner-Riehm-у, колориметријски;

8. Садржаја биљкама лако приступачних облика калијума (K<sub>2</sub>O) (mg/100 g), Al-методом по Egner-Riehm-у, пламенфотометријски.

Хемијске анализе су изведене на ваздушно сувим узорцима, а количине одређиваних анализата су прерачунате на апсолутно суво стање земљишта. Тешки метали, који су растворени у царској води, екстраховани су дигестацијом у микроталасном дигестору ETHOS EASY (Milestone Srl, Sorisole, Italy). Добијени екстракт је профилтриран и допуњен до 50 ml. У тако добијеном екстракту, садржај тешких метала је читаван у неколико понављања (n = 6) за контаминирано и контролно земљиште у ICP-OES спектрометру VISTA-PRO (Varian Australia Pty. Ltd., Victoria, Australia), према методологији Cools и De Vos (2020). Добијене вредности су упоређене са граничним максималним вредностима (GMV), као и ремедијационим вредностима (RV) концентрација опасних и штетних материја и вредностима које могу указати на значајну контаминацију земљишта, према Уредби о граничним вредностима загађујућих, штетних и опасних материја у земљишту („Сл. гласник РС“, бр. 30/2018 и 64/2019).

Од морфололошких параметара су анализирани: висина (растојање од кореновог врата до терминалног попуљка са тачношћу од 0.1 cm), пречник у

нивоу кореновог врата (мерен у зони транзиције од корена до надземног дела коришћењем дигиталног нонијуса са тачношћу од 0,1mm), а од анатомских: дужина дрвних влакана, ширина дрвних влакана, ширтина лумена дрвних влакана, дебљина ћелијског зида, ширина трахеја, ширина и висина трака дрвета, као и процентуални удео ксилема, флоема и сржи. Када је реч о физиолошким елементима, посматрани су следећи: интензитет фотосинтезе, стоматерна проводљивост, интерцелуларна концентрација угљен-диоксида, интензитет транспирације и ефикасност коришћења воде. Што се тиче анализе садржаја истраживаних тешких метала (Ni, Cu, Cr, Cd, Pb и As) у биљном материјалу, резнице су посечене пред крај вегетационог периода 2021. године, а за одређивање садржаја тешких метала у биљци раслој на контаминираној и контролној парцели, узети су узорци корена, стабла и листа. У потпоглављу статистичка обрада података наводи се да је примењена двофакторска ANOVA и Tukey-ев HSD (Honestly significant difference) тест у нивоу значајности 95% за анатомске показатеље клона, третмана и њихове интеракције, док је у осталим случајевима, као *post hoc* тест, примењен Fisher-ов тест најмањих значајних разлика (енгл. Least significant difference – LSD). У појединим случајевима, тумачење структуре мерења и јаснија интерпретација резултата су изведени анализом главних компонената (енгл. Principal Component Analysis – PCA). У циљу идентификације променљивих, које у највећој мери доприносе дискриминацији узорака – свих генотипова врба у односу на тешке метале, биљни материјал је анализиран каноничком дискриминантном анализом (енгл. Canonical Discriminant Analysis – CDA). Тако су добијени дводимензионални графикони дистрибуције тачака за садржај тешких метала у органима проучаваних генотипова врба у зависности од третмана. За сваку осу (DA1, DA2) упоређене су својствене вредности (eigenvalues) и представљен је проценат којим свака оса учествује у описивању укупне варијабилности променљивих и узорака.

Свим статистичким анализама је претходило тестирање нормалности и колинеарности података. Нормалност дистрибуције података је процењена коришћењем Shapiro–Wilk-овог теста, колинеарност Pearson-овим коефицијентом корелације.

Статистичке анализе су изведене у рачунарском програмима Microsoft Excel, DSAASTAT (верзија 1.101.) STATISTICA 8.0 (StatSoft Inc. 2001) и 12 (StatSoft, Inc. 2012), као и STATGRAPHICS CENTURION XVI.I (2009; Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, USA).

## **5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ДИСКУСИЈА (28 – 142 стр.)**

У оквиру овог поглавља су на веома темељан и свеобухватан начин приказани резултати из домена педолошких анализа, фиторемедијације, енергетске ефикасности, морфо-анатомије и физиологије, а потом аналитично истумачени и компарирани са резултатима других радова који су се бавили сличном проблематиком. Добијени резултати који се односе на физичке карактеристике земљишта показују да контролно земљиште у леји припада по

текстурном саставу глиновитим иловачама, а да међу текстурним фракцијама доминира фракција ситног песка, а потом глине и праха. Са друге стране, контаминирано земљиште је нешто тежег текстурног састава у односу на контролно, иако припадају истој текстурној класи. Услед тежег текстурног састава, ово земљиште је теже пропустљиво за воду и лошијих ваздушних карактеристика у односу на оно из леје. Хемијска својства истраживаних земљишта показују следеће – активна и супституциона киселост су нешто веће код контролног у односу на контаминирано земљиште, док је присуство карбоната знатно веће на контролној парцели. Са друге стране, присуство хумуса је доста мање на контролном земљишту, што га сврстава у слабо хумусна земљишта, док је контаминирано на прелазу између доста и јако хумузног.

Добијени резултати висинске анализе истраживаних генотипова раслих на контролној парцели показују супериорност клона број III (*Salix alba*, клон 347), док је клон IV (*Salix alba*, клон НС 73/6) имао најмањи висински прираст. Сличне тенденције су добијене и за генотипове култивисане на контаминираној парцели, само су разлике нешто мање. Анализа пречника у нивоу кореновог врата на контролној парцели показује највеће вредности дебљинског прираста за клон број III (*Salix alba*, клон 347), док су најмање регистроване код клона број I (*Salix viminalis*). Са друге стране, на контаминираном земљишту, највећи прсни пречник на крају вегетационог периода 2021. године детектован је код клона број IV (*Salix alba* НС 73/6), а најмањи код клона број II (*Salix alba* Б-44). Што се тиче резултата везаних за лисну површину, анализом варијансе (ANOVA), утврђење су значајне статистичке разлике (на нивоу значајности 95%) између средњих вредности површине листова код биљака гајених у контаминираном земљишту у односу на оне биљке које су гајене у неконтаминираном - контролном земљишту. Резултати анализе варијансе (ANOVA) и (LSD) теста су указали на постојање статистички значајних разлика између свих истраживаних клонова. На контаминираном земљишту, прву групу, са највећом средњом вредношћу површине листова, чини IV клон, другу групу чине I и III клон, док трећу групу, са најмањом средњом вредношћу површине листова, чини II клон. На неконтаминираном земљишту се издвајају исте хомогене групе.

Према резултатима F-теста двофакторијалне ANOVA анализе, на варијацију свих истраживаних анатомских особина, осим ширине трака дрвета и ширине лумена влакана, значајно су утицала оба фактора (клон и третман). Нађен је значајан ефекат „клона“ и „третмана“ за ширину трака дрвета и ширину лумена влакана. Штавише, двофакторијална ANOVA је открила значајан ефекат интеракције „клон по третману“ за све истраживане параметре, осим ширине влакана. Јединке *S. alba* клона НС 73/6 (клон IV) показале су најмање варијације истраживаних параметара у оба третмана од свих тестираних клонова, са највишим средњим вредностима дужине влакана и ширине трахеја и припадајући првој хомогеној групи по ширини влакана, ширини лумена влакана и висини трака дрвета. Насупрот томе, клон Б-44 (клон II) карактеришу

мале вредности дужине влакана, ширине влакана и ширине лумена влакана у оба третмана. Ако анализирамо резултате добијене за дужину дрвених влакана (FL), очигледно је да сви клонови имају дужа влакна на контролном локалитету, а изузетак је само *Salix viminalis*, где су дужа влакна добијена на контаминираном подручју. Што се тиче ширине трахеја, код сва четири клона забележене су веће вредности на контролном у односу на контаминирани локалитет. Највећа ширина регистрована је код клона НС 73/6 (36,11  $\mu\text{m}$ ), када је реч о контролним парцелама. На основу овога се може утврдити да загађена средина смањује ширину трахеја код врбе и као резултат тога код ове врсте се постепено сужавају спроводни елементи, како би спречили транспорт тешких метала кроз цитоплазматски матрикс и тако одржавали метаболичке процесе на оптималном нивоу. Што се тиче процентуалне заступљености појединих сегмената (дрво, кора и срж), дертектован је већи удео дрвета и коре код биљака гајених у контролном третману, што би значило да је процес ксилогенезе (образовања дрвета) интензивнији на контролном локалитету, јер се камбијалне ћелије брже деле када нема десструктивног деловања тешких метала, док је код сржи супротна ситуација. Посматрајући на нивоу клона, *S. alba* клон 347 је имао највећи удео дрвета (70,4%) и најмањи удео сржи (17,1%) у контролном третману. Занимљиво је да је клон НС 73/6 показао супротне тенденције код два третмана - у контролном третману овај клон је имао најмањи удео дрвета (60,9%) и највећи удео сржи (27,1%). У третману тешким металима имао је највећи удео дрвета (63,3%) и најмањи удео сржи (26,5%). ) и коре (10,2%).

Када је реч о резултатима који се односе на основне физиолошке (фотосинтетске) параметре, поређењем 4 генотипа врба на контролним варијантама може се установити да између 3 клона (клона I, II и III) нема статистички значајних разлика у интензитету фотосинтезе, а да се од њих статистички једино разликује само IV клон. Загађење станишта је статистички значајно утицало на све анализирани клонове који су различито реаговали на степен загађења. Највећи интензитете фотосинтезе имао је I клон, а најмањи клон број IV. Што се тиче стоматерне проводљивости, на контролном станишту су највеће вредности за овај параметар добијене код клона број IV (*Salix alba* НС 73/6), а најмање за клон број II (*Salix alba* Б-44), док контаминација тешким металима у великој мери инхибира овај процес што резултира тиме да, у условима загађења, најмању вредност овог параметра показује клон број IV (*Salix alba* НС 73/6), а највећу клон број I (*Salix viminalis*). Интерцелуларна концентрација CO<sub>2</sub> на контролном земљишту највећа је код клона број IV (*Salix alba* НС 73/6), а најмања код клона број II (*Salix alba* Б-44), док на контаминираном земљишту важи потпуно обратна тенденција - највећу вредност показује клон број II (*Salix alba* Б-44), а најмању клон број IV (*Salix alba* НС 73/6). Највећи интензитет транспирације у контролним условима регистрован је код клона број III (*Salix alba* 347), а најмањи код клона број I (*Salix viminalis*), док на контаминираном земљишту највећу вредност има клон

број I (*Salix viminalis*), а најмању клон број IV (*Salix alba* HC 73/6). Последњи анализирани физиолошки параметар – ефикасност коришћења воде, установио је следеће тенденције – на контролном земљишту, највеће вредности показује клон број I (*Salix viminalis*), а најмање клон број III (*Salix alba* 347), док на контаминираним земљишту највећу вредност има такође клон број I (*Salix viminalis*), а најмању клон број II (*Salix alba* Б-44).

Тешки метали у земљишту су одређени у контролном земљишту узетом из леје Шумарског факултета и из земљишта РБ Колубара, које је додатно контаминирано воденим растворима тешких метала. На основу добијених резултата, уочава се да постоје разлике између ове две врсте земљишта у садржају тешких метала. За додатну контаминацију земљишта РБ Колубара коришћени су водени раствори соли тешких метала и то: Cd (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, Na<sub>2</sub>HAsO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, NiCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O и PbNO<sub>3</sub> у концентрацијама од 10<sup>-3</sup> mol/dm<sup>3</sup>.

Добијени подаци дескриптивне статистике јасно показују да постоје статистички значајне разлике између ова два типа станишта.

Што се тиче просечног садржаја никла, у неконтминираним земљишту износи 26,80 mg/kg, а у контаминираним 37,60 mg/kg. Опсег концентрација у узорцима земље из неконтминираним земљишта је од 25,85 mg/kg до 27,63 mg/kg, док је у контаминираним земљишту од 36,47 mg/kg до 39,17 mg/kg. Вредности просечног садржаја никла у корену неконтминираних биљака су варирале од 1,59 mg/kg (за I клон) до 6,91 mg/kg (за IV клон), а у контаминираним земљишту од 17,68 mg/kg (I клон) до 25,78 mg/kg, за IV клон. Просечан садржај никла у корену биљака гајених у контаминираним земљишту је знатно већи од просечног садржаја никла у корену неконтминираних биљака. Када се посматра стабло, запажају се веома сличне тенденције као код корена - просечан садржај никла у стаблу контаминираних биљака је доста већи од просечног садржаја никла у стаблу неконтминираних биљака. У односу на корен и стабло, концентрација никла у листу је значајно мања. Интересантан је податак да IV клон, који карактерише највећа акумулација никла у стаблу и корену, има значајно мању количину никла у лишћу и то чак за 50% мање. Добијени резултати указују да степен акумулације никла у корену, стаблу и листу биљке зависи од генотипа биљке. На основу резултата, могу се уочити две групе клонова. Једну чине I и II клон које карактерише способност фитоекстракције (преко листа) и фитостабилизације (преко корена), док другу групу чине III и IV клон које готово искључиво карактерише способност фитостабилизације никла. Анализа садржаја бакра показује да његова просечна концентрација у неконтминираним земљишту износи 15,90 mg/kg, а у загађеном земљишту 14,14 mg/kg, где је минимална вредност у узорку 12,36 mg/kg, а максимална 18,87 mg/kg, што је свакако утицало на разлике између ова два станишта. Добијени резултати показују да је садржај бакра у корену неконтминираних биљака био готово уједначен за I, II и III клон, док је IV клон садржао нешто мању количину у корену. У контаминираним биљкама су клонови II, III и IV клон (*Salix alba*) имали готово уједначену количину бакра у

корену (51,69 mg/kg; 51,63 mg/kg; 48,82 mg/kg), док је I клон (*Salix viminalis*) имао мању количину (30,28 mg/kg). Сва три клона беле врбе поседују већи потенцијал ка фитостабилизацији бакра у односу на кошарасту врбу. Садржај бакра у стаблу контаминираних биљака је варирао од 7,89 mg/kg за II клон до 9,38 mg/kg за I клон, на основу чега се може закључити да сва четири истраживана генотипа врба карактерише способност акумулације бакра. Просечан садржај бакра у стаблу неконтаминираних биљака је варирао од 4,40 mg/kg за II клон, до 5,25 mg/kg за IV клон. Највећа количина бакра у лишћу неконтаминираних биљака је акумулирана од стране II клона (5,88 mg/kg), док је најмања количина акумулирана у лишћу I клона (5,04 mg/kg). У контаминираним биљкама, највећу количину бакра је акумулирао I клон (17,67 mg/kg), а најмању III клон (12,01 mg/kg). Анализа концентрације кадмијума показује да је у свим узорцима из неконтаминираних и контаминираних земљишта садржај кадмијума испод граничне максималне вредности и ремедијационе вредности. На основу резултата може се констатовати да је садржај кадмијума у корену неконтаминираних биљака био готово уједначен, док се у контаминираним биљкама доста разликовао, на основу чега можемо да закључимо да способност апсорпције кадмијума у корену (фитостабилизације) зависи од генотипа врбе. Највећу способност фитостабилизације кадмијума има II клон, затим IV клон, па III клон, а најмању способност има I клон. Обзиром да су II, III и IV клон *Salix alba*, а да је I клон *Salix viminalis*, може се закључити да је бела врба бољи фитостабилизатор кадмијума од кошарасте врбе. Садржај кадмијума у корену неконтаминираних биљака је варирао од 0,32 mg/kg (I клон) до 0,44 mg/kg (IV клон), а у корену контаминираних биљака од 1,54 mg/kg (I клон) до 5,88 mg/kg за II клон. Резултати анализа акумулације кадмијума у стаблу указују да контаминација биљака различито утиче на различите генотипове врба, односно да степен акумулације кадмијума у стаблу зависи од генотипа биљке. Просечан садржај кадмијума у лишћу неконтаминираних биљака је варирао од 0,93 mg/kg (III клон) до 1,23 mg/kg (I клон), а у контаминираним биљкама од 3,12 mg/kg (II клон) до 6,75 mg/kg за IV клон. На основу добијених резултата за концентрацију хрома у земљишту може се закључити да, у свим узорцима из неконтаминираних и контаминираних земљишта, детектован је садржај хрома мањи од граничне максималне вредности и ремедијационе вредности. Опсег концентрација у узорцима неконтаминираних земљишта је од 34,94 mg/kg до 41,71 mg/kg, док у контаминираним земљиштима од 50,89 mg/kg до 54,70 mg/kg. Такође је садржај хрома у узорцима контаминираних земљишта знатно већи од узорка неконтаминираних земљишта. Садржај хрома у корену неконтаминираних биљака је варирао од 1,76 mg/kg (II клон) до 5,71 mg/kg (IV клон), а у корену контаминираних биљака од 2,77 mg/kg (I клон) до 8,18 mg/kg за IV клон. Просечан садржај хрома у стаблу неконтаминираних биљака је најмањи код III клона (0,93 mg/kg), а највећи код IV клона (2,47 mg/kg). Просечан садржај хрома у лишћу неконтаминираних биљака је био од 0,20 mg/kg (III клон) до 0,87 mg/kg

(I клон), а у контаминираним биљкама од 0,28 mg/kg (III клон ) до 2,63 mg/kg за IV клон. Резултати показују да се II клон и IV клон истичу у акумулацији хрома у лишћу у поређењу са I и III клоном. Добијени резултати указују да се највећа количина хрома акумулирала у корену, како неконтаминираних (3,17 mg/kg), тако и контаминираних биљака (5,58 mg/kg). Најмања количина хрома је акумулирана у лишћу и неконтаминираних и контаминираних биљака. Што се тиче олова, у свим анализираним узорцима у неконтаминираним и контаминираним земљишту, садржај олова је испод граничне максималне вредности. Просечан садржај олова у неконтаминираним земљишту Шумарског износи 23,71 mg/kg, а у контаминираним 26,96 mg/kg. Сви клонови контаминираних биљака су акумулирали олово у свом корену, при чему је највећу количину олова акумулирао II клон (5,91 mg/kg), а најмању IV клон (4,22 mg/kg). Добијени просечни резултати показују да, код неконтаминираних биљака, I клон не карактерише способност акумулације олова, док III клон има најбољу акумулацију у корену (1,92 mg/kg). Просечан садржај олова у стаблу, како неконтаминираних, тако и контаминираних биљака, најмањи је код II клона (0 mg/kg) и III клона (0 mg/kg), а највећи код IV клона, при чему је IV клон неконтаминираних биљака акумулирао само 0,15 mg/kg олова, а контаминираних биљака 1,48 mg/kg. Клон број I у неконтаминираним земљишту је акумулирао у стаблу само 0,12 (mg/kg), а у контаминираним просечно 1,19 mg/kg. Посебно је интересантан податак да клон број II и клон III нису акумулирали олово у стаблу, како на контаминираним, тако и на неконтаминираним земљишту. На основу резултата лишћа неконтаминираних биљака може се уочити да I, III и IV клон на незагађеном земљишту нису акумулирали олово у лишћу, односно лишће садржи количину која је испод границе детекције. Најмању количину олова поседује трећи клон у лишћу (0,04 mg/kg), што је близу границе детекције истог. На основу добијених резултата се може рећи да се у неконтаминираним биљкама највише олова акумулира у корену, затим мања количина у стаблу и занемарљива количина у листу. Оваква расподела олова у органима биљака се може објаснити слабом покретљивошћу и мобилношћу олова, због његове велике тежине, али и генотипом биљака, као и морфо-анатомијом контаминираних биљака. Просечан садржај арсена у неконтаминираним земљишту износи 7,48 mg/kg, а у контаминираним земљишту 15,75 mg/kg, што је далеко испод и граничне максималне и ремедијационе вредности. Опсег концентрација у узорцима неконтаминираним земљишта је од 5,89 mg/kg до 9,71 mg/kg (просечно 7,48 mg/kg), а у контаминираним земљишту варира од 13,73 mg/kg до 17,90 mg/kg (просечно 15,75 mg/kg). Просечни садржај арсена у корену неконтаминираних биљака I, II и IV клона је испод границе детекције, док II клон показује минималну способност акумулације арсена у свом кореновом систему (0,44 mg/kg). Код контаминираних биљака, клон са највећом количином арсена у корену је IV клон, са просечном вредношћу од 8,49 mg/kg, док I клон контаминираних биљака има најмањи просечни садржај арсена у корену (1,04 mg/kg). Просечни

садржај арсена у стаблу неконтаминираних биљака је најмањи код II клона (0,0 mg/kg), а највећи код I клона (1,04 mg/kg). Код контаминираних биљака, клон са највећом количином арсена у стаблу је I клон, са просечном вредношћу од 2,15 mg/kg, док IV клон биљака има најмањи просечни садржај арсена (0,44 mg/kg). У лишћу контаминираних биљака, највећу количину арсена има III клон (1,49 mg/kg), а најмању IV клон (0.35 mg/kg). Способност транслокације арсена у стабло варира од клона до клона, при чему је највећа количина арсена акумулирана у корену биљака, тако да можемо рећи да је реч о фитостабилизацији арсена.

Потпоглавље 5.6. се односи на варијабилност енергетских потенцијала плантажа и у оквиру овог потпоглавља су одређивани следећи параметри: садржај укупне влаге у узорцима врба, садржај укупне влаге у узорцима угља, садржај пепела у узорцима врба, садржај пепела у узорцима угља, варијабилност калоријских вредности врба и угља, варијабилност енергетске ефикасности биомасе у косагоревању са лигнитом, одређивање калоријских вредности неконтаминираних и контаминираних биомасе појединих клонова са различитим узорцима угља. Калоријске вредности биомасе генотипова врба кретале су се око 18000 (kJ/kg) за оба третмана. На основу добијених резултата, може се закључити да побољшање калоријске вредности угља биомасом врба мање зависи од генотипа, а више од узорка угља и удела биомасе. На основу калоријских вредности три узорка угља у косагоревању са биомасом четири клона врба у уделу 5%, 10%, 15%, или 20%, може се закључити да су сви клонови повећали калоријску вредност угља без обзира да ли су гајени на неконтаминираним или контаминираним станишту.

Топлотна разлика ( $\Delta$ ) између угља и смеше угља и додате биомасе клонова врба са контаминираним и неконтаминираним станишта (kJ/kg) имала је блиску средину средина ( $\bar{X}$ ), при чему је контаминирана средина ( $\bar{X}$ ) износила 682 kJ/kg, а неконтаминирана 694 (kJ/kg). Другим речима, вредности су им изузетно блиске. Добијени резултати јасно указују да контаминација тешким металима веома мало утиче на топлотну вредност биомасе врба, изузев приноса биомасе који је био знатно мањи од контролне варијанте. Могу се издвојити клонови III и IV, као клонови са највећом вредношћу биомасе у току експеримента. Контаминирано станиште смањује биомасу врба скоро за једну половину, а биљке у обе варијанте достижу време за сечу за 2-3 године. Топлотна енергија биомасе се не разликује значајно, између контаминираних и неконтаминираних биљака, већ само принос. Добијени резултати имају изузетно апликативан карактер у електропривреди у смислу да врбе које се користе за производњу биомасе са енергетских плантажа, истовремено могу вршити и рекултивацију земљишта на којем расту, а да им се не наруши енергетски потенцијал, већ само принос биомасе. Апликативност резултата истраживања се такође огледа и у препоруци коришћења мањих количина биомасе, која би косагоревала са „лошим“ (нискокалоричним угљем) повећавајући му калоријску вредност, односно могла би да врши и улогу мазута



који се користи у термоелектранама, а који је изузетно велики полутант. Могућност суспституције мазута биомасом би електропривреди обезбедила материјалну уштеду, док би се истовремено вршила заштита животне средине. Косагоревање биомасе биљака у различитим процентима са угљем доводи до повећања калоријске вредности и смањења емисије CO<sub>2</sub>. Усвајање CO<sub>2</sub> током раста биљака доводи до издвајања кисеоника, а у процесу сагоревања биомасе добија се неутралан баланс угљендиоксида. Поред тога, сагоревањем биомасе и угља, смањује се количина издвајања сумпора и побољшава финансијски ефекат електрана.

## **6. ЗАКЉУЧАК (143-146 стр.)**

Закључци су приказани на јасан и концизан начин презентујући суштину резултата израђене докторке дисертације. У закључцима се даје јасан одговор на постављене хипотезе.

## **7. ЛИТЕРАТУРА (147-164 стр.)**

У овом поглављу, кандидаткиња, Јелена Д. Урошевић,, наводи 333 литературна извора који су суштински везани за проблематику истраживања. Треба истаћи да је кандидаткиња на правилан начин поменуте референце доводила у компаративни контекст са својим истраживањем и на тај начин показала завидан степен обучености за научно-истраживачки рад. Велики број литературних навода је новијег датума, а такође је веома много цитираних радова писано на енглеском језику. Референце су поређане по абецедном редоследу.

## **V ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Кандидаткиња Јелена Д. Урошевић се у дисертацији под насловом „Истраживање фиторемедијационог и енергетског потенцијала различитих клонова врба (*Salix* sp.)“, бави веома актуелном и мултидисциплинарном проблематиком, чији је главни фокус истраживања усмерен на анализу фитоекстрактивног потенцијала за усвајање тешких метала 4 клона врбе (*Salix viminalis*, *S.alba* клон Б-44, *S.alba* клон 347 и *S.alba* клон НС 73/6). Поред тога, анализирани су и морфолошки, анатомски и физиолошки параметри, како би се утврдило који је клон најпогоднији за фиторемедијацију земљишта загађеног повишеним концентрацијама тешких метала. Такође, у оквиру дисертације анализирана је и енергетска ефикасност у смислу одређивања топлотне вредности косагоревајуће смеше биомасе различитих генотипова врба и три узорка угља и установљено да калоријска моћ превасходно зависи од врсте угља и процентуалног удела биомасе, док генотип има мањи утицај. Треба нагласити

да добијени резултати имају велики апликативни и практични значај, јер се, на основу њих, може утврдити који клон има највећи фиторемедијациони капацитет за усвајање и акумулацију одређених тешких метала, те се може селекционисати одређени генотип врбе, на одговарајућем типу загађеног станишта, зависно од врсте полутаната који тамо преовладавају – остварење механизма тзв. екофизиолошке адаптације. У раду су резултати веома јасно и студиозно представљени великим бројем графичких и табеларних приказа који олакшавају њихово тумачење. Примењена методологија, за сваки сегмент истраживања, веома је актуелна и општеприхваћена. Полазне хипотезе и циљеви истраживања су пажљиво одабрани. Дискусија је правилно изложена уз поређење властитих са резултатима других радова који су се бавили сличном проблематиком. Дисертација представља оригиналан и самосталан научно-истраживачки рад, писана је разумљивим језиком и јасним стилем. Распоред изложене материје има методолошки логичан редослед.

## VI ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Кандидаткиња Јелена Д. Урошевић је у дисертацији под насловом „Истраживање фиторемедијационог и енергетског потенцијала различитих клонова врба (*Salix* sp.)“ остварила следеће научне доприносе:

- Идентификована је способност појединих клонова врба за усвајање и акумулацију тешких метала у различитим станишним условима
- Детерминисане су морфо-анатомске и физиолошке карактеристике различитих генотипова врба у варијабилним станишним условима који могу имплицирати њихов фитоекстрактивни потенцијал
- Утврђена је калоријска вредност косагоревајуће смеше биомасе врба и различитих узорака угља ради добијања различитих видова енергије
- Установљено је да су основни принципи фиторемедијације као зелене технологије за санацију контаминиране животне средине – еколошка прихватљивост, економска оправданост и енергетска ефикасност задовољени

Имајући у виду да универзитетски и факултетски нормативи, који се тичу процеса израде и одбране докторске дисертације, као обавезан услов постављају објављен рад из дисертације у часопису међународног значаја, Комисија констатује да је кандидаткиња, мастер физикохемије, Јелена Д. Урошевић, као први аутор, објавила научни рад у врхунском међународном часопису (категирија M21): **Urošević, J., Stanković, D., Jokanović, D., Trivan, G., Rodzkin, A., Jović, Đ., Jovanović, F.** 82024): Phytoremediation Potential of Different Genotypes of *Salix alba* and *S.viminalis*. *Plants* 13. 735, <https://doi.org/10.3390/plants13050735>. Из докторске дисертације кандидаткиње, Јелене Д. Урошевић, објављен је још један рад из категорије M21 (врхунски међународни часопис) под насловом: Jokanović, D., **Urošević, J.**, Stojnić, S., Nikolić Jokanović, V., Stanković, D., Ištók, I. (2024): Variability of Morpho-Anatomical Characteristics of Different Willow Clones Contaminated with Heavy Metals. *Croatian Journal of Forest Engineering* 45 (2): 421-432. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2024.2289>. Чињеница да су из докторске дисертације резултати објављени у два врхунска часописа категорије M21 несумњиво говори у прилог квалитету ове тезе.

## VII ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу анализе и оцене докторске дисертације кандидата, мастера физикохемије, Јелене Д. Урошевић под насловом „Истраживање фиторемедијационог и енергетског потенцијала различитих клонова врба (*Salix* sp.)“, Комисија закључује да је дисертација у целини урађена према прописаним критеријумима обима и квалитета научног рада и у складу с одобреном темом и пријавом на коју је Универзитет у Београду дао своју сагласност (Одлука ВЕЋА НАУЧНИХ ОБЛАСТИ БИОТЕХНИЧКИХ НАУКА, Број 61206-818/2-23 од 14.03.2023. године). У дисертацији су представљени научно аргументовани и утемељени резултати, који дају значајан допринос у домену фиторемедијације и заштите животне средине.

Комисија констатује да дисертација садржи све неопходне елементе: насловну страну на српском и енглеском језику, именоване менторе и чланове комисије,

кључне документационе информације на српском и енглеском језику, резиме на српском и енглеском језику, садржај, поглавља дисертације, списак литературе, биографију кандидата, изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

Докторска дисертација кандидаткиње, мастера физикохемије, Јелене Д. Урошевић представља оригиналан научни допринос у домену истраживања фиторемедијационог потенцијала различитих клонова врба са веома значајним апликативним карактером. Комисија није уочила недостатке који би евентуално могли утицати на резултате истраживања у току израде докторске дисертације.

На основу свеобухватне оцене докторске дисертације и претходно изложеног образложења, Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду - Шумарског факултета да прихвати позитивну оцену докторске дисертације под називом „Истраживање фиторемедијационог и енергетског потенцијала различитих клонова врба (*Salix* sp.)“ кандидаткиње, мастера физикохемије, Јелене Д. Урошевић и да је упути на коначно усвајање Већу научних области биотехничких наука Универзитета у Београду. За јавну одбрану докторске дисертације предлаже се Комисија у истом саставу.

#### **ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:**

---

др Мирјана Шијачић-Николић, редовни професор  
Универзитета у Београду, Шумарског факултета

---

др Бранко Стајић, редовни професор  
Универзитета у Београду, Шумарског факултета

---

др Зоран Милетић, научни саветник  
Института за шумарство у Београду