

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовано комисију: 15. 6. 2023. године, Наставно-научно веће Природно-математичког факултета у Новом Саду		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. др Лана Зорић	редовни професор	Ботаника 7. 4. 2019.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду		председник
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. др Јадранка Луковић	редовни професор	Ботаника 16. 5. 2012.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду		ментор
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. др Милан Боришев	редовни професор	Физиологија биљака 6.7. 2021.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. др Андреј Пилиповић	виши научни сарадник	Семенарство, расадничарство и пошумљавање 27. 3. 2019.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Институт за низијско шумарство и животну средину, Универзитет у Новом Саду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији

<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Име, име једног родитеља, презиме: Зорана (Зоран) Хркић Илић</li> <li>2. Датум рођења, општина, држава: 26. 2. 1981. Градишка, Република Српска, Босна и Херцеговина</li> <li>3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду, мастер академске студије, мастер биолог</li> <li>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2019. година, Доктор наука – биолошке науке</li> </ol>
<b>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>
„Анатомска карактеризација вегетативних органа врба ( <i>Salix spp.</i> ) у циљу селекције генотипова у фиторемедијацији“
<b>IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>
<p>Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.</p> <p>Докторска дисертација кандидата Зоране Хркић Илић „Анатомска карактеризација вегетативних органа врба (<i>Salix spp.</i>) у циљу селекције генотипова у фиторемедијацији“ припада научној области Биологија, ужа научна област Ботаника. Написана је на српском језику, а сажетак је дат на српском и енглеском језику у кључној документацијској информацији.</p> <p>Испред основног текста дисертације налазе се насловна страна, кључна документацијска информација, захвалница и садржај. Дисертација је написана на 296 страница А4 формата и подељена је на 9 поглавља: 1. Увод, 2. Преглед литературе, 3. Циљ и радне хипотезе, 4. Материјал и методе рада, 5. Резултати, 6. Дискусија, 7. Закључци, 8. Литература и 9. Прилог. На крају основног текста дисертације налази се кратка биографија аутора, док се План третмана података налази на крају документа. Главни текст дисертације садржи 34 табеле и 56 слика и фотографија, док прилог обухвата 91 табелу и 35 слика и фотографија. Укупно су цитиране 534 публикације.</p>

## V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

**Наслов докторске дисертације је коректно и прецизно формулисан. Одражава предмет, садржај и циљ истраживања.**

У поглављу **Увод** кандидаткиња представља главне принципе на којима је заснована дисертација. Ово поглавље садржи кратак приказ научних сазнања у области загађења животне средине кадмијумом (Cd). Образлажу се извори загађења животне средине кадмијумом и потенцијална токсичност овог метала на људе, са освртом на технике ремедијације и пречишћавања земљишта загађених Cd. Детаљно се наводе предности примене методе фиторемедијације, као и могућност употребе брзорастућих дрвенастих врста из рода *Salix* у процесу дендроремедијације неорганских и органских загађивача, укључујући Cd. Указује се на научни значај анатомских анализа вегетативних органа и стереолошке анализе избојака врба гајених у условима повећаних концентрација Cd и идентификације оних анатомских карактера вегетативних органа и параметара волуменских густина избојака који могу бити полазна основа у селекцији генотипова врба за потребе дендроремедијације. Наглашава се потреба истраживања анатомског аспекта методологије примене лимунске киселине као хелатора у фиторемедијацији.

Поглавље **Преглед литературе** подељено је на седам потпоглавља и детаљно и свестрано анализира досадашња научна сазнања о утицају Cd на живе организме, посебно на биљке и њихову улогу у уклањању токсичних концентрација Cd из животне средине у целини. Детаљно је објашњена досадашња непрецизна дефиниција и употреба термина „тешки метали“ и потреба његове замене јасним и недвосмисленим термином „потенцијално токсични елементи“ (ПТЕ). Наведени су најзначајнији природни и антропогени извори Cd у земљишту, водама и ваздуху и његова токсичност. Описани су процеси који утичу на биодоступност Cd биљкама, механизми усвајања Cd путем корена и транслокације према надземним органима. Објашњено је токсично дејство повећаних концентрација Cd на све живе организме, а посебно на човека и механизми заштите, адаптације и толеранције биљака на стрес изазван Cd. Опсежно и јасно је истакнута улога појединих ткива, али и вегетативних органа врба у целини, а нарочито корена, у усвајању, акумулацији, дистрибуцији и транслокацији Cd, као и њихова варијабилност и пластичност на анатомском нивоу под утицајем токсичних концентрација Cd. Прецизно је размотрена фиторемедијација као најкориснија техника пречишћавања животне средине загађене ПТЕ, уз навођење предности и недостатака појединих техника фиторемедијације и нови приступ који се заснива на употреби хелатне лимунске киселине која повећава ефикасност фиторемедијације кроз повећавање биодоступности и смањење штетних ефеката Cd. Истицањем технике дендроремедијација фокусирао се на досадашња истраживања улоге, значаја и ефикасности различитих генотипова врба у пројектима уклањања неорганских и органских загађивача из животне средине, посебно земљишта.

*Комисија сматра да су Увод и Преглед литературе систематично и свеобухватно написани и да је дат комплетан увид у проблематику којом се дисертација бави. Имајући у виду досадашње, малобројне резултате анатомских испитивања представника родова *Salix* са потенцијалном улогом у фиторемедијацији Cd, посебно уз присуство лимунске киселине, као и непостојање података о променама волуменских густина ткива избојака генотипова врба третираних Cd са и без лимунске киселине, Комисија сматра да је у овим поглављима јасно указано на оправданост и значај даљих истраживања у овој области. Анализом ових поглавља Комисија констатује да је кандидаткиња темељно изложила досадашње најважније научне резултате, неопходне за постављање јасно дефинисаних Циљева истраживања.*

**Циљеви истраживања** докторске дисертације: Процене постојања генотипске специфичности врба у анатомским карактеристикама, на нивоу свих вегетативних органа; Дефинисање генотипских специфичности у параметрима ксилема корена и стабла, са посебним нагласком на хидрауличку теоријску проводљивост; Утврђивање постојања генотипских разлика врба на анатомском плану у зависности од реакција на третмане Cd са и без присуства лимунске киселине, анализираних у три фазе током раста биљака; Карактеризација ткива од значаја у дендроремедијацији Cd применом стереолошке анализе избојака.

*Комисија сматра да су циљеви ове дисертације правилно конциптирани и да су у складу са пријавом теме и садржајем дисертације.*

Поглавље **Материјал и методе рада** садржи пет потпоглавља који дају детаљан опис биљног

материјала и метода кориштених у раду за остваривање постављених циљева. У првом и другом потпоглављу кандидаткиња је детаљно изложила податке о анализираним биљном материјалу са подацима о пореклу анализираних генотипова врба, условима гајења и дизајну експеримента. Треће и четврто потпоглавље, која се тичу методологије анатомске карактеризације вегетативних органа врба и стереолошке анализе избојака врба, садрже информације о процедурама припреме материјала за анализе и табеле у којима су наведени анатомски карактери резнице, адвентивног корена, избојка и листа који су анализирани. Такође, у овом потпоглављу наведен је и списак параметара избојака који су били предмет стереолошке анализе. У потпоглављу које се бави методама статистичке обраде података кандидаткиња је навела програме који је користила, методе статистичке обраде података, објаснила разлоге због којих су поједине методе одабране, као и детаље анализа и образложења за дефинисање појединих параметара у статистичким пакетима.

*Комисија сматра да је кориштени материјал адекватан и гајен у условима који су омогућили правилан раст вегетативних органа који су били предмет анализа у дисертацији. Методе за реализацију наведених циљева истраживања су савремене, детаљно описане, прецизне и примерене за добијање веродостојних резултата. Изабране методе статистичке обраде података у потпуности су одговарајуће планираном истраживању.*

**Резултати** дисертације су изложени у петом поглављу, а текстуални приказ је илустрован сликама и фотографијама (56) и табелама (34). У потпоглављима су систематично и детаљно приказани резултати анатомске карактеризације резница, адвентивних корена, избојака и лиске генотипова врба. Описана је анатомска грађа лисних дршки. Извршена је стереолошка анализа избојака. Приказане су корелационе везе између анатомских карактера вегетативних органа који се могу довести у везу са продукцијом биомасе. Посебно су истакнуте карактеристике трахеја, теоретска хидрауличка проводљивост и осетљивост ксилема на кавитацију и емболизам. Израчунати су и табеларно представљени параметри дескриптивне статистике. Значајност разлика примењених третмана Cd и Cd+L на анатомске параметаре генотипова врба одређена је уз помоћ Данкановог теста, а између третираних и контролних узорака уз помоћ t-теста, што је представљено табеларно и графички. У циљу утврђивања нивоа статистичке значајности разлика у утицају клона, третмана и њихове интеракције на карактере вегетативних органа врба урађена је трофакторијална анализа варијансе ANOVA. Општа структура варијабилности карактера вегетативних органа утврђена је методом анализе главних компонената (PCA), док је дискриминантна анализа (DA) урађена у циљу провере хипотезе да се анализирани узорак појединих органа састојао од група које се међусобно разликују. Резултати PCA и DA представљени су табеларно и графички. На овај начин јасно су дефинисани квантитативни анатомски карактери који највише доприносе укупној варијабилности и дискриминацији, а показано је и груписање генотипова. Уз помоћ стереолошке анализе дефинисани су карактери који доприносе бољем разумевању развоја једногодишњих избојака клонова врба, као и процени степена лигнификације ксилема дуж сегмената избојака. Резултати стереолошке анализе избојака су јасно табеларно и графички представљени. Анализирани су промене вегетативних органа клонова врба у присуству третмана Cd+L што до сада није урађено и даје сасвим нове податке о заштитиној улози хелатне лимунске киселине на анатомске параметре одабраних клонова врба значајних у дендроремедијацији ПТЕ. На основу добијених резултата утврђена је могућа примена различитих генотипова врба и њихова ефикасност у пречишћавању земљишта загађеног Cd.

*Комисија сматра да је кандидаткиња прегледно, аналитично и систематично представила резултате, да су они јасни за тумачење и остварују постављене циљеве дисертације.*

У делу **Дискусија** кандидаткиња је указала на детаље у анатомској грађи вегетативних органа различитих генотипова врба, са посебним освртом на хидрауличке параметре ксилема, повезаност анатомских карактера са параметрима продукције биомасе, и значај процене волуменских густина ткива што доприноси потпунијој анализи ткива, омогућавајући сагледавање структуре органа као целине. У овом поглављу дато је свеобухватно тумачење и поређење добијених резултата са резултатима радова других аутора који су се бавили проблематиком утицаја ПТЕ на различите анатомске параметре врба и других биљних врста. Подаци о ефикасности примене лимунске киселине у фиторемедијацији Cd и утицај комбинованих третмана Cd + L на анатомску грађу врба допринос су постојећим анализама морфолошко-физиолошких параметара.

*Комисија сматра да Дискусија промишљено прати тему, циљеве и добијене резултате, написана*

је концизно, систематично и научно утемељено.

**Комисија** сматра да су **Закључци** правилно изведени на основу добијених резултата и дискусије, а формулисани су јасно и у складу са постављеним циљевима и хипотезама докторске дисертације.

Укупно 534 **литературне јединице** из водећих међународних часописа и научних књига цитиране су на одговарајући начин, а избор референци је примерен тематици ове дисертације.

На основу одабраних **лиетартурних извора** Комисија закључује да кандидат поседује добро познавање области и предмета истраживања дисертације.

**Прилог** садржи 91 табелу и 35 фотографија са приказом резултата статистичке обраде података.

**Комисија констатује да су сва поглавља написана на адекватан начин и позитивно оцењује све делове докторске дисертације.**

## VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:

### M23 – Рад у међународном часопису

**Hrkić Ilić, Z.**, Borišev, M., Zorić, L., Arsenov, D., Luković, J. (2022): Assessment of differences in anatomical and hydraulic properties of the root and xylem of three willow (*Salix* L.) clones during phytostabilization after exposure to elevated cadmium. Arch Biol Sci, 74 (2), 169-180. <https://doi.org/10.2298/ABS220309016H> (Impact factor 0,856)

### M34 – Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

**Hrkić Ilić Z.**, Luković, J., Borišev, M., Zorić L. (2022): The assessment of root anatomical characteristics of *Salix* spp. in the prediction of the most suitable clones for dendroremediation. In: Kapović-Solomun, M., Dukić, V., Govedar, Z., Stupar, V., Mataruga, M., Marčeta, D., Petrović, D. (eds.): Book of Abstracts / International Scientific Conference „Forestry Science for Sustainable Development - FORS2D“, Perspectives of forestry and related sectors as drivers of sustainable development in the post-Covid era, Banja Luka, the Republic of Srpska / Bosnia and Herzegovina 29–30 September 2022, p. 136.

**Hrkić Ilić Z.**, Borišev L., Zorić L., Luković J. (2021): Differences in the root anatomical traits of three *Salix* L. clones in response to increased Cd concentrations. 8<sup>th</sup> Online International Joint PSU-UNS Bioscience Conference – IBSC2021 „Towards the SDG Challenges“, 25-26 November 2021, University of Novi Sad, Serbia. Book of Abstracts, p. 79-80.

## VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

Клонови три различите врсте врба, 'B-44', 'SV068' и 'SM4041' до сада нису били предмет детаљне класичне анатомске анализе вегетативних органа, а поред тога избојци врба нису били анализирани применом стереолошке методе. Добијени резултати пружају нове податке о анатомским карактеристикама надземних и подземних сегмената резница, адвентивних коренова, избојака и лиски одабраних генотипова врба и имају значај у потпунијем познавању анатомске грађе врста из рода *Salix*. Резултати указују на постојање интергенотипске варијабилности квантитативних анатомских параметара свих анализираних вегетативних органа.

Резултати анализе надземних и подземних сегмената резница указују на значајне интергенотипске разлике међу анализираним генотиповима врба, али дају и другачију слику о анатомским разликама генотипова врба у односу на анализирани сегменте. Подаци указују и на одређене интрагенотипске варијације, које ипак нису утврђене код свих клонова. Такође, ни један од анализираних клонова врба не може се окарактерисати као генотип са брзим или спорим растом резнице, узимајући у обзир анатомске параметре раста, тј. однос ксилема и флоема, број и димензије трахеја. Низак однос ксилема и секундарног флоема у резници клона 'SM4041' је анатомски параметар који указује на нижи потенцијал раста, али овај клон карактерише највећи број крупних трахеја што условљава висок пораст. Клон 'B-44' се карактерише параметрима брзог раста у јувенилној фази. Међу клоновима није утврђена значајна разлика у погледу отпорности на

кавитацију и емболију, која такође указује на брзину пораста, тако да се не може добити јасна слика о интергенотипским разликама у брзини раста.

Анализа анатомских карактера адвентивних корена анализираних генотипова врба пружа нове податке о секундарној грађи корена врста из рода *Salix* и има значај за процену развоја и детерминацију различитих типова коренова. Утврђено је да се према дијаметру и анатомској грађи корени клонова врба могу класификовати као „фини“ коренови, који функционално имају улогу у транспорту воде, нутријената и метаболита ка надземним органима.

На нивоу избојака клонова врба утврђен је мали број генотипских разлика у параметарима трахеја. С обзиром на ниво узорковања (средњи део избојка) да би се у потпуности сагледале интергенотипске разлике клонова врба, проведена је стереолошка анализа која је обухватила више сегмената од врха до базе избојака. Резултати стереолошке анализе пружају потпуно нове податке о волуменским густинама ткива избојака врба и допуњују податке о њиховој анатомској грађи. Између клонова врба најзначајније интер- и интрагенотипске разлике у волуменским густинама (Vv) ткива избојака запажене су на нивоу вршног, најмлађег сегмента и односиле су се највише на Vv епидермиса и Vv интерцелулара примарне коре у односу на остале, старије сегменте. Варијације у Vv осталих ткива избојака указују на генотипске разлике у камбијалној активности и степену сазревања појединих сегмената избојака. Анализом анатомских карактеристика лиске утврђено је да се генотип 'SM4041' разликује по најбоље развијеним ткивима, површином и дебљином лиске. Међутим, PCA анализа показала је да анатомски карактери лиске варирају на сличан начин, због чега не доприносе ни јасној дискриминацији клонова.

Опис анатомске грађе лисне дршке има значај у допуни постојећих података, посебно о облику лисне дршке на попречном пресеку, типу коленхима и распореду трахеја лисне дршке различитих клонова врба и може да послужи као база да би се установиле сличности и/или разлике са другим генотиповима врста *Salix alba*, *Salix viminalis* и *Salix matsudana*.

Дисертација пружа нове податке о разликама у хидрауличким особинама ксилема резница, корена и избојака клонова врба, које имају значај са аспеката проучавања функције усвајања, транспорта и складиштења воде, нутријената али и органских загађивача и ПТЕ. Утврђене су интергенотипске разлике у погледу хидрауличких параметара на нивоу резнице, коренова и избојака. Резултати указују на постојање везе између анатомских карактера ксилема, хидрауличке проводљивости, осетљивости на кавитацију и емболију што може да има значај при процени продуктивности биомасе анализираних клонова врба.

Подаци приказани у овој дисертацији указују да су примењени третмани Cd узроковали различите анатомске одговоре клонова врба, који су зависили од генотипа и концентрације Cd. Поред тога, промене анатомских параметара под утицајем третмана Cd на нивоу резнице зависиле су од сегмента, а на нивоу корена, избојака и лиске од дужине третмана.

У овом истраживању утврђен је значајан утицај Cd на периферна ткива резница који је зависио од концентрације Cd, анализираних сегмента (подземни или надземни), као и од самог генотипа. Подземни сегменти резнице три клона врба су на оба примењена третмана Cd реаговали смањеним процентуалним уделом примарне коре. Ови резултати могу се довести у везу са концентрацијама елемената које су генерално веће у кори стабла него у дрвету клонова врба који се традиционално гаје ради примене у фитоекстракцији ПТЕ из загађених земљишта, на основу чега би клон 'B-44' имао потенцијалну примену у фитоекстракцији Cd на нивоу кортекса резнице. Промене параметара трахеја надземног и подземног сегмента резнице указале су да је реакција истражених генотипова врба зависила од примењене концентрације Cd. Третман Cd 3 генерално је имао израженији позитивни ефекат, посебно на број и површину појединачних трахеја. Параметри груписаних трахеја били су осетљиви на дејство Cd 6. Позитивна процентуална одступања анатомских параметара резница генотипа *Salix viminalis*, на нивоу и надземног и подземног сегмента указује да је клон 'SV068' погодан за фитоекстракцију нижих концентрација Cd у резници, током краћег периода изложености.

Анатомска структура корена три клона врба показује интергенотипске разлике у одговору на ниво токсичност Cd. Параметри трахеја били су најосетљивији анатомски карактери у секундарној структури адвентивних корена врба на третман са две повећане концентрације Cd. На основу највећих измерених вредности анатомских параметара корена, клон 'B-44' би могао да има улогу у фитостабилизацији земљишта загађених Cd.

Промене у анатомским карактеристикама избојака под утицајем Cd 3 и Cd 6, током три фазе узорковања, указале су да су у каснијим фазама узорковања три клона врба били осетљиви на

негативно дејство оба третмана Cd, те нису погодни за примену у фитоекстракцији Cd у избојцима али могу да послуже при праћењу акумулације и транслокације Cd од корена ка избојцима. Стереолошка анализа избојка пружила је нове податке о утицају повећаних концентрација Cd на промене Vv појединих ткива, које су се разликовале у појединим фазама узорковања. Утицај третмана Cd на Vv ткива избојака клонова врба указао је на генотипске специфичности и утицај дужине трајања третмана. У трећој фази узорковања, ефекат третмана Cd на волуменске густине ткива избојака клонова врба био је најмање изражен, што може да укаже на низак степен транслокације и акумулације Cd у избојцима врба.

Добијени резултати су показали да су лиске анализираних клонова врба гајених у присуству Cd 3 и Cd 6 имале значајне промене анатомских параметара, зависно од примењене концентрације Cd, генотипа и дужине третмана. Током дуготрајне изложености повећаним концентрацијама Cd дошло је до значајног смањења површине ћелија адаксијалног и абаксијалног епидермиса и ћелија палисадног и сунђерастог ткива. Карактеристичне промене у структури лиске повезане су са нивоом Cd и указале су да на нивоу лиске, анализирани генотипови врба показују осетљивост на негативно дејство Cd и нису препоручљиви за фитоекстракцију Cd путем листа.

Варијације карактера трахеја и вредности  $k_h$  и  $V_i$  зависе од генетских фактора и концентрације Cd. У анатомској структури избојака клонова врба под утицајем Cd запажа се повећање  $V_i$ , што је последица смањења  $k_h$  и анатомских параметара трахеја. Промене у хидрауличким параметрима ксилема могу да укажу на способност биљака да се адаптирају на повећан садржај ПТЕ у животној средини променама анатомских параметара ксилема. Информације о хидрауличкој проводљивости вегетативних органа врба значајне су у процјени осетљивости различитих генотипова на недостатак воде, јер повећана концентрација Cd може да узрокује смањење садржаја воде у корену и надземним органима.

Примена лимунске киселине утицала је на реакцију врба на присуство Cd кроз модификацију анатомских карактеристика. Резултати овог истраживања су показали да је утицај повишених концентрација Cd у присуству лимунске киселине на анатомску грађу резница три клона врба зависно од одабира клона, сегмента резнице и примењеног третмана. Третмани са двије повишене концентрације Cd у присуству лимунске киселине узроковали су статистички значајно ниже вредности процентуалних удела примарне коре и сржи, параметара појединачних трахеја али и повећање параметара груписаних трахеја резница клонова врба. Промене у анатомским параметрима резница могу да укажу на способност клонова врба да се адаптирају на повећан садржај Cd у присуству лимунске киселине променама структуре покоричних ткива и ксилема резнице.

Утицај Cd у комбинацији са лимунском киселином на анатомске карактеристике корена, избојака и лиске зависно је од генотипа и дужине трајања третмана. Промене анатомских особина корена клонова врба третираних Cd у присуству лимунске киселине запажају се као одступања процентуалне заступљености појединих ткива током трајања експеримента.

На крају експеримента, сви клонови су на присуство третмана Cd + L реаговали редукованим вредностима анатомских карактеристика избојака, мада је негативна реакција била нешто мање изражена код клона 'B-44'. Промене волуменских густина ткива избојака анализираних клонова врба током трајања третмана зависиле су од генотипа али за већину параметара нису била статистички значајно различите у односу на нетретиране узорке.

Резултати анализе утицаја две концентрације Cd у присуству лимунске киселине на анатомске карактере лиске истражених клонова врба указали су на промене измерених параметара које су зависиле од генотипа и дужине трајања третмана. Као најотпорнији на утицај комбинованог третмана Cd + L на нивоу анатомских карактеристика лиске показао се клон 'SM4041'.

Запажене варијације квантитативних параметара вегетативних органа могу бити полазна тачка у програмима селекције генотипова врба који се гаје и истражују за различите примене, укључујући селекцију генотипова са побољшаним нивоом раста, адаптабилности и отпорности на факторе стреса, као што су повећане концентрације ПТЕ у земљишту, води и ваздуху. На основу свеобухватних анатомских анализа и уз примену стереолошког метода узорковања материјала могуће је у будућим истраживањима извршити одабир врста и селекцију клонова који се карактеришу највећим порастом и приносом биомасе. Резултати ове дисертације генерално указују на значај истраживања анатомских карактеристика вегетативних органа различитих клонова врба са потенцијалном улогом у процесу дендроремедијације повишених концентрација Cd. На основу добијених података карактеристике трахеја и хидрауличке особине ксилема су

идентификовани као анатомски параметри повезани са механизмима толеранције, акумулације и транслокације ПТЕ у вегетативним органима врба и имају улогу својеврсног водича у продукцији и селекцији генотипова најпогоднијих за фитоекстракцију и фитостабилизацију. Резултати овог истраживања показују да анализирани клонови поседују генотипску специфичност посматраних анатомских карактеристика у условима повишених концентрација Cd у земљишту. Поређењем анализираних клонова, клон 'B-44' се издваја као генотип са особинама пожељним за фитостабилизацију, а клонови 'SV068' и 'SM4041' за фитоекстракцију.

Ова дисертација покреће и проблемска питања која отварају нове правце истраживања. Резултати дисертације указују на могућност да интерпедијска варијабилност клонова врба у погледу  $k_h$  и отпорности на сушу, кавитацију и емболизам и односи између ових параметара нису повезани само са дијаметром и луменом трахеја, већ да зависе и од других анатомских карактеристика ксилема, пре свега од густине влакана, улоге паренхима ксилема и величине, распореда и броја опшанчених јамица на зидовима трахеја, што је поље које може да пружи нове податке о ксилему врба.

Како су анализом обухваћене волуменске густине ткива избојака које до сада нису биле предмет истраживања, дефинисан је сет нових карактера који доприносе бољем разумевању развоја једногодишњих избојака клонова врба, а могу да се примене и при анализи других вегетативних органа, пре свега лиске и лисне дршке и упореде са морфолошко-физиолошким параметрима водног режима, отпорности на сушу и фотосинтезе. Од посебног значаја била би процена степена лигнизације ксилема дуж сегмената избојака, с обзиром на улогу лигнина у провођењу воде и одржавању чврстине ћелијског зида, као и у везивању ПТЕ за ћелијски зид. Иако је од виталног значаја за опстанак биљака, лигнин има негативан утицај на искориштавање биомасе приликом производње пулпе и папира, што треба узети у обзир приликом разматрања клонова врба који се гаје у економске сврхе.

Дисертацијом су добијена сазнања о анатомском одговору вегетативних органа генотипова врба при комбинованом третману две концентрације Cd са лимунском киселином, која допуњују постојеће податке о морфолошко-физиолошком одговору истих клонова врба на третмане Cd + L. Додавање лимунске киселине у земљиште контаминисаном Cd се може сматрати пожељном и одговарајућом мером фиторемедијације, која доприноси повећању усвајања и акумулације Cd у вегетативним органима одабраних генотипова врба, а самим тим и ефикаснијем уклањању метала из загађеног земљишта. Предност треба дати сукцесивној апликацији овог хелатног једињења, посебно при већим концентрацијама Cd и дуготрајнијем третману, када лимунска киселина може да повећа акумулацију Cd. Лимунска киселина допринела је да у присуству Cd промене у анатомији испитиваних вегетативних органа врба буду мање, односно да се биљка понаша као отпорнија на токсично дејство повећаних концентрација Cd у земљишту.



### VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Кандидаткиња Зорана Хркић Илић је у тези је успешно обрадила и објединила у логичке целине велики број добијених резултата. Експеримент је стручно и темељно испланиран и јасно структурисан. Извршена је одговарајућа статистичка обрада добијених података. Резултати истраживања су логички и аналитички приказани и протумачени уз аргументовано и критичко упоређивање са актуелним литературним подацима и резултатима других аутора. На основу детаљне и научно утемељене дискусије изведени су закључци који дају одговоре на циљеве постављене у пријави ове докторске дисертације. Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

### IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?  
Комисија закључује да је ова дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?  
Комисија закључује да ова дисертација садржи све битне елементе: целовит увод и преглед досадашњих литературних података и постојећих истраживања, дефинисан проблем и циљеве истраживања, јасан и систематичан приказ приказ методологије рада, адекватан и студиозан приказ добијених резултата и научно засновану анализу и дискусију. На основу добијених резултата закључци су разумљиво, јасно и правилно изведени. У списку литературе налазе се све литературне јединице које су цитиране у тексту дисертације.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?  
Комисија сматра да добијени резултати, те научно образложени закључци дају оригиналан допринос научном истраживању у области Ботанике из више разлога. Досадашња истраживања утицаја Cd са и без присуства лимунске киселине на анатомску грађу корена, резнице и листа врба су малобројна, а за избојке уопште нису доступна. Дисертација пружа нове податке о анатомским карактеристикама вегетативних органа одабраних клонова врба. Утврђене су интергенотипске разлике анатомских параметара вегетативних органа, са посебним акцентом на карактере ксилема, на основу којих су издвојени генотипови погодни за дендроремедијацију земљишта загађеног Cd. Поред тога, у литератури су врло оскудни референтни подаци о употреби лимунске киселине у процесу фиторемедијације употребом дрвенастих врста из рода *Salix*. Стога су добијени резултати изузетно значајни са аспекта потпунијих сазнања о анатомском одговору вегетативних органа генотипова врба на третмане Cd са и без присуства лимунске киселине. Резултати анализе анатомских параметара вегетативних органа врба и волуменских густина ткива избојака указују на генотипске специфичности различитих клонова врба које се испољавају већ на анатомском и хистолошком плану. Тиме теза доприноси расветљавању анатомске адаптације врба на повећано присуство ПТЕ. Дискусија и закључци дисертације представљају научно-критички осврт на специфичне анатомске промене изазване утицајем повећаних концентрација Cd, што доприноси селекцији најпогоднијих генотипова за потребе фиторемедијације и ефикасном и поузданом планирању будућих истраживања у овој научној области.  
Напомена: докторска дисертација је прошла проверу оригиналности применом софтвера за детекцију плагијаризма iThenticate, који је показао да "similarity index" износи 7% (према упутству произвођача све вредности испод 15% представљају оригиналан рад).

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

Комисија сматра да дисертација нема недостатака, јер су испуњени задати циљеви истраживања и добијени су резултати који представљају оригиналан и значајан допринос у области Ботанике.

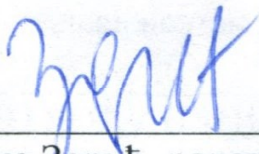
**X ПРЕДЛОГ:**

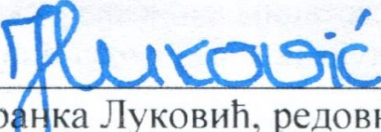
На основу наведеног, комисија предлаже:

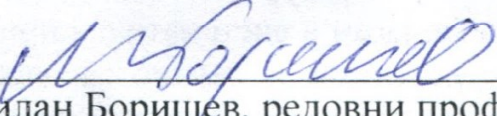
а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана;

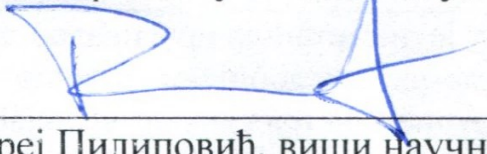
На основу наведеног, Комисија предлаже да се прихвати позитивна оцена докторске дисертације под насловом „Анатомска карактеризација вегетативних органа врба (*Salix spp.*) у циљу селекције генотипова у фиторемедијацији“ и да се кандидаткињи Зорани (Зоран) Хркић Илић одобри одбрана.

У Новом Саду,  
11. 7. 2023.

1.   
др Лана Зорић, редовни професор  
Природно-математички факултет,  
Универзитет у Новом Саду, председник

2.   
др Јадранка Луковић, редовни професор  
Природно-математички факултет,  
Универзитет у Новом Саду, ментор

3.   
Др Милан Боришев, редовни професор  
Природно-математички факултет  
Универзитет у Новом Саду, члан

4.   
Др Андреј Пилиповић, виши научни сарадник  
Институт за низијско шумарство и животну средину  
Универзитет у Новом Саду, члан

**НАПОМЕНА:** Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.