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 кандидата Наталије М. Радуловић

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
1. Орган који је именовао (изабрао) комисију и датум: Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Шумарског факултета број 01-2/50 од 26.04.2023. године, усвојена је научна заснованост теме докторске дисертације кандидата маст. инж. шум. Наталије М. Радуловић. Одлуком Већа научних области биотехничких наука, број 61206-1644/2-23, од 16.05.2023. год. дата је сагласност на одлуку Наставно-научног већа Шумарског факултета о прихватању теме под насловом: „Упоредна екофизиолошка истраживања аутохтоних врста липа (*Tilia cordata* Mill., *T. plathyphyllos* Scop., *T. tomentosa* Moench) у парковима и дрворедима Београда и природном шумском станишту на Фрушкој гори“. Истом одлуком, Већа научних области биотехничких наука, за менторе су одређени др Оливера Кошанин, редовни професор Универзитета у Београду - Шумарског факултета и др Олга Костић, научни саветник Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Института од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду. На основу поднете докторске дисертације, Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Шумарског факултета број 01-2/169 од 30.09.2026. 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 Данијела Ђунисијевић Бојовић, редовни професор; научна област Биотехничке науке, ужа научна област Пејзажна архитектура и хортикултура; избор у звање 10.09.2024. године, Универзитет у Београду – Шумарски факултет 2) др Маријана Новаковић, редовни професор; научна област Биотехничке науке, ужа научна област Екологија шума, заштита и унапређивање животне средине; избор у звање 14.10.2025. године, Универзитет у Београду – Шумарски факултет 3) др Марко Перовић, редовни професор; научна област Биотехничке науке, ужа научна област Екологија шума, заштита и унапређивање животне

средине; избор у звање 14.05.2024. године, Универзитет у Београду – Шумарски факултет

4) др Павле Павловић, научни саветник; научна област Природно-математичке науке, ужа научна област Биолошке науке; избор у звање 05.12.2007. године, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институт од националног значаја за Републику Србију Универзитет у Београду
5) др Драгана Павловић, виши научни сарадник; научна област Природно-математичке науке, ужа научна област Биолошке науке; избор у звање 26.09.2024. године, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институт од националног значаја за Републику Србију Универзитет у Београду

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме: Наталија, Милица, Радуловић
2. Датум и место рођења, општина, држава: 02.09.1995. године, Београд, Савски венац, Република Србија.
3. Датум одбране, место и назив магистарске тезе/**мастер рада**: 13.10.2020. године, Шумарски факултет, Универзитет у Београду, Београд, „Варијабилност материнских стабала и линија полусродника медунца (*Quercus pubescens* Willd.) са подручја Кошутњака“.
4. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука/**мастера**: Биљна производња и конзервација шумских генетичких ресурса/Шумарство, Семенарство, расадничарство и пошумљавање/Шумарство

III УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- Кандидат маст. инж. шум. Наталија М. Радуловић је уписала докторске студије школске 2020/21 године;
- Захтевом за одобрење пребацивања са Подмодула М1.1. Семенарство, расадничарство и пошумљавање, на Подмодул М1.6. Екологија шума, заштита и унапређивање животне средине у оквиру Студијског програма докторских студија Модул 1. Шумарство, је поднела под бројем 03-3556/2 на дан 29.04.2021. године;
- Захтевом, број 03-5030/1 на дан 31.05.2021. године, кандидат Наталија М. Радуловић за потенцијалне менторе предлаже др Оливеру Кошанин, ванредног професора Шумарског факултета, Универзитета у Београду и др Олгу Костић, вишег научног сарадника Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Института од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду;
- Одлуком НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА Шумарског факултета, број 01-2/130 од 28.09.2022. године, образује се Комисија за одбрану пројекта докторске дисертације под називом „Упоредна екофизиолошка истраживања аутохтоних врста липа (*Tilia cordata* Mill., *T. plathyphyllos* Scop., *T. tomentosa* Moench) у парковима и дрворедима Београда и природном шумском станишту на Фрушкој гори“, у саставу:

1) др Оливера Кошанин, ванредни професор Универзитета у Београду, Шумарског факултета,
2) др Олга Костић, виши научни сарадник Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Института од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду,
3) др Раде Цвјетићанин, редовни професор Универзитета у Београду, Шумарског факултета,
4) др Маријана Новаковић Вуковић, ванредни професор Универзитета у Београду, Шумарског факултета,
5) Данијела Ђунисијевић Бојовић, ванредни професор Универзитета у Београду, Шумарског факултета.

- Пројекат докторске дисертације под називом „Упоредна екофизиолошка истраживања аутохтоних врста липа (*Tilia cordata* Mill., *T. plathyphyllos* Scop., *T. tomentosa* Moench) у парковима и дрворедима Београда и природном шумском станишту на Фрушкој гори“ одбранила је 30.09.2022. године.
- Одлуком НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА Шумарског факултета, број 01-2/36 од 29.03.2023. године, образује се Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под насловом „Упоредна екофизиолошка истраживања аутохтоних врста липа (*Tilia cordata* Mill., *T. plathyphyllos* Scop., *T. tomentosa* Moench) у парковима и дрворедима Београда и природном шумском станишту на Фрушкој гори“, у саставу:
    1) др Рајко Милошевић, редовни професор Универзитета у Београду, Шумарског факултета,
    2) др Марко Перовић, ванредни професор Универзитета у Београду, Шумарског факултета,
    3) др Маријана Новаковић Вуковић, ванредни професор Универзитета у Београду, Шумарског факултета,
    4) др Данијела Ђунисијевић Бојовић, ванредни професор Универзитета у Београду, Шумарског факултета,
    5) др Драгана Павловић, научни сарадник, Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду.
- Одлуком НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА Шумарског факултета, број 01-2/50 од 26.04.2023. године, усваја се научна заснованост теме докторске дисертације кандидата Наталије Радуловић под насловом: „Упоредна екофизиолошка истраживања аутохтоних врста липа (*Tilia cordata* Mill., *T. plathyphyllos* Scop., *T. tomentosa* Moench) у парковима и дрворедима Београда и природном шумском станишту на Фрушкој гори“. Одређују се ментори др Оливера Кошанин, редовни професор Универзитета у Београду, Шумарског факултета и др Олга Костић, виши научни сарадник Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ - Института од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду.
- Одлуком ВЕЋА НАУЧНИХ ОБЛАСТИ БИОТЕХНИЧКИХ НАУКА, 02-08 Број 61206-1644/2-23 од 16.05.2023. године, даје се сагласност на Одлуку НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА Шумарског факултета о прихватању теме докторске дисертације Наталије Радуловић под називом: „Упоредна екофизиолошка истраживања аутохтоних врста липа (*Tilia cordata* Mill., *T. plathyphyllos* Scop., *T. tomentosa* Moench) у парковима и дрворедима

Београда и природном шумском станишту на Фрушкој гори“ и одређивању проф. др Оливере Кошанин и др Олге Костић, вишег научног сарадника Универзитета у Београду - Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Института од националног значаја за Републику Србију за менторе.

- Одобрен продужетак рока за завршетак студија за још годину дана у школској 2026/27. године према Решењу Шумарског факултета број 03-10418/2 од 17.09.2026. године.
- Одлуком НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА Шумарског факултета, број 01-2/169 од 30.09.2026. године, образује се Комисија за оцену израђене докторске дисертације под насловом „Упоредна екофизиолошка истраживања аутохтоних врста липа (*Tilia cordata* Mill., *T. plathyphyllos* Scop., *T. tomentosa* Moench) у парковима и дрворедима Београда и природном шумском станишту на Фрушкој гори“, у саставу:
    1) др Данијела Ђунисијевић Бојовић, редовни професор Универзитета у Београду, Шумарског факултета,
    2) др Маријана Новаковић, редовни професор Универзитета у Београду, Шумарског факултета,
    3) др Марко Перовић, редовни професор Универзитета у Београду, Шумарског факултета,
    4) др Павле Павловић, научни саветник Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду,
    5) др Драгана Павловић, виши научни сарадник Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Одговарајућа научна област и ужа научна област за коју је Факултет матичан: Биотехника, Шумарство, Екологија шума, заштита и унапређивање животне средине

Име првог ментора са одговарајућим компетенцијама за вођење дисертације: др Оливера Кошанин, редовни професор Универзитета у Београду, Шумарског факултета.

СПИСАК НАЈЗНАЧАЈНИЈИХ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА:

1. (M24) **Košanin, O.**, Perović, M., Kazimirović, M., Stajić, B., Novaković, M. (2026) Ekološko-pedološke karakteristike nekih zajednica lužnjaka i zajednica poljskog jasena na području Ravnog Srema. Topola 217: 41-56.
2. (M23) **Košanin, O.**, Perović, M., Novaković, M., Ljbičić, J., Radaković, N. (2025) Relationship between site characteristics and plant communities of relict woody species in the „Đerdap“ National Park, Serbia. Sylwan 169(7): 477–498. https://doi.org/10.26202/sylwan.2025015

3. (M14) **Košanin, O.**, Knežević, M., Belanović-Simić, S., Vićentijević, M. (2018) Edaphic characteristics of degraded areas on Zlatibor. Soil and Water Resources Protection in the Changing Environment. Editors: Zlatić, M. and Kostadinov, S. Advances in GeoEcology 45. Catena soil sciences, imprint of Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, Germany, pp 172-187. ISBN 978-3-510-65418-5, US-ISBN 1-59326-267-1
4. (M23) **Kosanin, O.**, Cvjeticanin, R., Karaklic, V. (2021) Podzol properties at a new site in Serbia. Fresenius Environmental Bulletin 30(11A): 12303-12313. file:///C:/Users/olive/Downloads/FEB_11A_2021_Pp_1207912707%20(3).pdf
5. (M22) Ocokoljić, M., Petrov, Đ., Galečić, N., Skočajić, D., **Košanin, O.**, Simović, I. (2023) Phenological Flowering Patterns of Woody Plants in the Function of Landscape Design: Case Study Belgrade. Land 12(3): 706. https://doi.org/10.3390/land12030706

   ЦИТИРАНОСТ: Web of Science – 17 publications; 84 citation; h-index 5; Scopus – 14 publications; 100 citations; h-index 6; Research gate - 272 citation; h-index 9

Име другог ментора са одговарајућим компетенцијама за вођење дисертације**:** др Олга Костић, научни саветник Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ - Института од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду.

СПИСАК НАЈЗНАЧАЈНИЈИХ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА:

1. (M13) **Kostić, O.,** Mitrović, M., Pavlović, P. (2022) Impact of Weathering and Revegetation on Pedological Characteristics and Pollutant Dispersion Control at Coal Fly Ash Disposal Sites. In: Saljnikov E, Müller L, Lavrishchev A, Eulenstein F. editors. Advances in Understanding Soil Degradation. Innovations in Landscape Research. 1st edition. Springer, Cham; pp. 473-505. ISSN 2524-5163; ISBN 978-3-030-85682-3 https://doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3_22
2. (M21a) **Kostić, O.,** Jarić, S., Pavlović, D., Matić, M., Radulović, N., Mitrović, M., Pavlović, P. (2024) Ecophysiological response of *Populus alba* L. to multiple stress factors during revitalisation of coal fly ash lagoons at different stages of weathering. Frontiers in Plant Science 14: 1337700. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1337700
3. (M21a) Mitrović, M., **Kostić, O.,** Miletić, Z., Marković, M., Radulović, N., Sekulić, D., Jarić, S., Pavlović, P. (2023) Bioaccumulation of Potentially Toxic Elements in *Tilia tomentosa* Moench Trees from Urban Parks and Potential Health Risks from Using Leaves and Flowers for Medicinal Purposes. Forests 14(11): 2204. https://doi.org/10.3390/f14112204
4. (M21a) **Kostić, O**., Jarić, S., Gajić, G., Pavlović, D., Pavlović, M., Mitrović, M., Pavlović, P. (2018) Pedological properties and ecological implications of substrates derived 3 and 11 years after the revegetation of lignite fly ash disposal sites in Serbia. Catena 163(1): 78-88. https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.010
5. (M21) **Kostić, O**., Jarić, S., Gajić, G., Pavlović, D., Mataruga, Z., Radulović, N.,

Mitrović, M., Pavlović, P. (2022) The phytoremediation potential and physiological adaptive response of *Tamarix tetrandra* Pall. Ex M. Bieb. during the restoration of chronosequence fly ash deposits. Plants 11(1): 855. https://doi.org/10.3390/plants11070855

ЦИТИРАНОСТ: Web of Science – 53 publications; 1037 citation; h-index 22; Scopus – 51 publications; 1612 citations; h-index 22; Research gate - 2104 citation; h-index 25

IV ОПИС ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација под насловом „Упоредна екофизиолошка истраживања аутохтоних врста липа (*Tilia cordata* Mill., *T. plathyphyllos* Scop., *T. tomentosa* Moench) у парковима и дрворедима Београда и природном шумском станишту на Фрушкој гори“ садржи укупно 384 страница, од чега је 328 странице текста и 55 странице литературе. Докторска дисертација садржи 84 табеле и 162 слика. Списак литературе везане за област истраживања, садржи 882 литературних извора и 51 интернет адресе. На почетку текста докторске дисертације, налазе се кључне документационе информације и резиме, на српском и енглеском језику, са кључним речима. Текст је подељен у десет поглавља, која представљају посебне, али логички повезане целине:

1. УВОД (1–6 стр.)
2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА (7–15 стр.)
3. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСТРАЖИВАНОГ ПОДРУЧЈА (16–25 стр.)
4. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСПИТИВАНИХ ВРСТА (26–29 стр.)
5. ЦИЉЕВИ И ХИПОТЕЗЕ РАДА (30–30 стр.)
6. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ (31–35 стр.)
7. РЕЗУЛТАТИ (36–241 стр.)
8. ДИСКУСИЈА (242–323 стр.)
9. ЗАКЉУЧЦИ (324-328 стр.)
10. КОРИШЋЕНА ЛИТЕРАТУРА (329-384 стр.)

После поглавља 10 налазе се биографија кандидата, потребне изјаве кандидата о ауторству, истоветности штампане и дигиталне верзије рада, као и овлашћење о начину коришћења. Дисертација је написана латиничним писмом, у складу са Упутством о обликовању и садржају докторске дисертације која се брани на Универзитету у Београду.

Кратак приказ појединачних поглавља:

Наслов докторске дисертације је концизно конципиран и одговара дефинисаном предмету и циљевима истраживања. Наслов истиче тематику и садржај дисертације.

1. УВОД (1–6 стр.)

Прво поглавље докторске дисертације није подељено у потпоглавља. Кандидат на почетку истиче да су урбани екосистеми у Европи, као и у Србији, угрожени бројним антропогеним притисцима, укључујући загађење ваздуха и земљишта.

Поред загађења ваздуха, значајан проблем урбаних екосистема представља акумулација потенцијално токсичних елемената (ПТЕ) у земљишту који доспевају у земљиште директно атмосферским таложењем и индиректно кроз кишно отицање тако што се спирају са непропусних површина. Кандидат затим наводи изворе загађења ПТЕ у урбаним земљиштима, укључујући антропогене изворе као што су емисије пореклом из саобраћаја, из градских топлана и индустријских постројења, грађевинских и других материјала који се користе у изградњи саобраћајне инфраструктуре. Повећане концентрације As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb и Zn утврђене су у земљиштима широм Европе и света, због чега су наведени елементи од стране институција Европске уније, препознати као приоритетни загађивачи и предмет су вишегодишњег мониторинга због њиховог потенцијалног еколошког ризика по живи свет. Истакнуто је такође да токсичност ПТЕ у земљишту у великој мери зависи од њихове растворљивости и биодоступности, стога је расподела ПТЕ у фракцијама земљишта (хемијско фракционисање) важан аспект геохемије земљишта, јер детерминише понашање ових елемената у земљишту и одређује њихову доступност биљкама.

Кандидат је такође значајан део поглавља посветио значају урбане вегетације, посебно дрвенастих врста, у ублажавању стресних ефеката абиотичких фактора на урбаним стаништима. Такође, кандидат је посебну пажњу посветио улози и капацитету урбане вегетације у задржавању атмосферских честица на површини листова, што доводи до филтрирања загађивача и општег смањења загађења земљишта. Кандидат наглашава да дрвенасте биљке имају значајну улогу у фиторемедијацији, као и у биомониторингу загађења ваздуха и земљишта. Стрес изазван загађењем земљишта представља један од кључних фактора који утиче на виталност и дугорочну функционалност урбаног дрвећа. Због тога је при селекцији врста за урбане засаде и ублажавање негативних ефеката полутаната неопходно узети у обзир њихов адаптивни потенцијал на локалне услове станишта. То укључује адаптивне механизме толеранције на загађење, који се односе на процесе усвајања, акумулације и транслокације ПТЕ у корену и листовима. Поред тога, обухвата и адаптације на високе температуре и сушу кроз активну контролу проводљивости стома.

Неки ПТЕ су есенцијални за биљке и значајни за одвијање физиолошких процеса док су други неесенцијални и токсични чак и у веома ниским концентрацијама. У високим концентрацијама, како есенцијални тако и неесенцијални елементи могу негативно да утичу на нормално одвијање физиолошких процеса у биљкама.

У условима дуготрајне и континуиране изложености загађењу ПТЕ, постоји већи ризик од акумулације структурних и функционалних оштећења биљака, поготово код дрвенастих врста, што је посебно изражено у дрворедима због њихове изложености емисијама пореклом из саобраћаја. Због способности да акумулирају ПТЕ и испоље мерљиве физиолошке и морфолошке одговоре, дрвенасте биљке могу бити корисни биоиндикатори загађења ваздуха и земљишта. Њихова употреба омогућава дугорочно праћење загађења, квантификацију нивоа полутаната и идентификацију њихове просторне и временске дистрибуције. Због тога су анализе односа земљиште–биљка, у комбинацији са испитивањем морфолошких и физиолошких одговора биљака, од значаја за процену ризика од загађења ПТЕ у урбаним срединама. Методе процене ризика од загађења ПТЕ, како у природним тако и у антропогено

деградованим земљиштима, заснивају се на мерењу и анализи путева контаминације и нивоа изложености (однос земљиште–биљка).
Кандидат је посебно истакао да, због широке примене у урбаним засадима, дугог животног века и изражене способности акумулације полутаната, врсте рода *Tilia* представљају посебно значајну групу за проучавање односа између урбаног загађења, својстава земљишта, морфо-физиолошких карактеристика биљака и њихове способности опстанка у условима савремених урбаних екосистема.

2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА (7–15 стр.)

Поглавље 2 није подељено на потпоглавља и садржи детаљан опис релевантних истраживања која се односе на тему и предмет дисертације, уз коришћење научне литературе. У њему кандидат анализира бројне изворе о тренутном стању знања о контаминацији ПТЕ у урбаним земљиштима – на глобалном нивоу, у Европи и у Србији. Истиче се да новије студије, спроведене у градовима широм света, али и у Србији, показују да урбана земљишта акумулирају повишене концентрације ПТЕ, нарочито у зонама дуж прометних градских саобраћајница и аутопутева. Такође су наведена истраживања која се баве утицајем својстава земљишта (нпр. pH вредност, текстура, минерални састав и др.) на акумулацију ПТЕ. Наглашено је да, поред одређивања укупног садржаја хемијских елемената у земљишту, од значаја је утврдити њихово порекло (литогено или антропогено), као и мобилне и биодоступне форме. Цитирана су истраживања која се баве фракционисањем садржаја појединих токсичних елемената и биодоступним формама ПТЕ, које могу представљати ризик за биљке које их усвајају.
Такође су наведени фактори који утичу на трансфер елемената из земљишта у биљке, као и одговор биљака на повећане концентрације или дефицит есенцијалних елемената. Истраживања, спроведена пре свега у Србији, показала су да урбана земљишта до сада проучавана углавном имају алкалну реакцију, што многе токсичне елементе чини недоступним биљкама и тиме ублажава њихов негативан утицај на урбану вегетацију. У том контексту кандидат је цитирао резултате истраживања на великом броју дрвенастих врста, укључујући и врсте рода *Tilia*, која се односе на ефекте токсичних тешких метала на структуру (нпр. морфолошка оштећења у виду хлороза и некроза) и функционисање биљака (нпр. поремећаји у водном и фотосинтетичком режиму).

3. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСТРАЖИВАНОГ ПОДРУЧЈА (16–25 стр.)

У трећем поглављу, кандидат Наталија М. Радуловић даје детаљан опис истраживаних подручја кроз три потпоглавља.
У оквиру потпоглавља 3.1. **Географски положај, рељеф, педолошке, климатолошке, хидролошке и биогеографске карактеристике Београда**, детаљно су обрађене све наведене одлике овог простора.
У оквиру потпоглавља 3.2. **Квалитет животне средине града Београда** обрађена је тема контроле квалитета ваздуха на територији града системом мониторинга путем мерних станица. Коришћени су подаци Градског завода за јавно здравље (Годишњи извештај о спровођењу програма испитивања загађености земљишта у Београду за 2022. годину), добијени систематским мерењем нивоа загађености земљишта. Укључени су и резултати мерења

концентрације ПТЕ који показују да на више локалитета постоје одступања од граничних вредности за поједине елементе (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb и Zn). Поред тога, наведени су подаци о прекорачењима гасовитих полутаната и PM10 и PM2,5, као и подаци Секретаријата за саобраћај о бројчаном стању возила у периоду 2022–2023. године.
У оквиру потпоглавља 3.3. **Географски положај, рељеф, педолошке, климатолошке, хидролошке и биогеографске карактеристике Фрушке горе** детаљно су обрађене све наведене природне одлике овог простора.

4. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСПИТИВАНИХ ВРСТА (26–29 стр.)

Четврто поглавље докторске дисертације није подељено у потпоглавља. Кандидат, у овом поглављу, даје приказ морфолошких и еколошких карактеристика испитиваних дрвенастих врста *Tilia cordata* Mill., *Tilia plathyphyllos* Scop. и *Tilia tomentosa* Moench.

5. ЦИЉЕВИ И ХИПОТЕЗЕ РАДА (30–30стр.)

Основни циљ истраживања је дефинисање екофизиолошких одговора три аутохтоне врсте рода липа *(Tilia cordata* Mill., *Tilia platyphyllos* Scop. и *Tilia tomentosa* Moench) на садржај ПТЕ у урбаним парковима и дрворедима Београда, као и на природном шумском станишту Фрушке горе. Циљ је утврђивање адаптабилности ових врста у датим условима станишта, са посебним освртом на ефекте ПТЕ, као и процена њиховог потенцијала за примену у биоиндикацији загађења потенцијално токсичним елементима и у фиторемедијацији земљишта и ваздуха. Основне хипотезе рада:

– Аутохтоне врсте липа (*Tilia cordata* Mill., *Tilia platyphyllos* Scop. и *Tilia tomentosa* Moench) акумулирају веће концентрације ПТЕ на урбаним стаништима у Београду у односу на природно незагађено станиште Фрушке горе (контролно станиште);

– На урбаним стаништима испитиване врсте показују смањену виталност услед изложености ПТЕ;

– Изложеност ПТЕ изазива морфолошка и физиолошка оштећења код испитиваних врста;

– Врсте дрвећа у дрворедима су у највећој мери изложене повећаним концентрацијама ПТЕ и другим стресним факторима, због чега трпе највећа оштећења;

– Између три проучаване врсте липа постоје разлике у екофизиолошким карактеристикама које произилазе из њихове адаптабилности на станиште.

6. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ (31–35 стр.)

Ово поглавље се састоји од четири потпоглавља.

У потпоглављу 6.1. **Опис истраживаних локалитета** кандидат наводи локације паркова, дрвореда и контролног локалитета: дрворед у Булевару Николе Тесле (BNT) и парк Ушће (PU) на територији општине Нови Београд; дрворед у Булевару Кнеза Милоша (BKM) и парк Ташмајдан (PT); дрворед у улици Пјарона де Мондезира (PDM) и парк Калемегдан (PK) на територији општине Стари Град; као и контролно станиште на Фрушкој гори (FG, ГЈ Стражилово–Парагово). На свим наведеним локалитетима спроведена су истраживања и узорковање земљишта и биљног материјала. Кандидат је образложио основне критеријуме за избор урбаних локалитета на подручју Београда, који се налазе у приближно сличним еколошко-вегетационим условима као и природно контролно станиште.
Потпоглавље 6.2. **Теренска истраживања**, подељено је у три целине. Прва, **6.2.1. Фитоценолошка и педолошка истраживања**, друга 6.2.2. **Узорковање земљишта и биљног материјала** и трећа 6.2.3. **Мерење фотосинтетичког капацитета и фотосинтетичке ефикасности.** У првој целини, кандидат наводи да су фитоценолошка и педолошка истраживања споведена на Фрушкој гори (ГЈ Стражилово-Парагово), на два локалитета где су отворена два педолошка профила и узета два фитоценолошка снимка. У другој целини наводи се начин на који је споведено узорковање земљишта и биљног материјала и њихова припрема за лабораторијске анализе. Такође, прикупљени су и узорци листова у свежем стању за: одређивање садржаја пигмената, хербаријум и анализу применом скенирајуће електронске микроскопије SEM. У трећој целини, кандидат описује методологију мерења фотосинтетичког капацитета и фотосинтетичке ефикасности, која су спроведена истовремено на основу параметара размене гасова и флуоресценције хлорофила, на истој површини листа. Мерења су извршена на интактним листовима, *in situ* и *in vivo*, коришћењем преносивог система за фотосинтезу (LI-6800, LI-COR, Linkoln, NE, SAD), опремљеног флуоресцентном комором за листове. На крају целине кандидат наводи да су параметри тренутне ефикасности коришћења воде (WUE) и унутрашње ефикасности коришћења воде (iWUE), добијени рачунским путем.
Потпоглавље 6.3**. Лабораторијска истраживања**, подељено је у две целине. Прва, 6.3.1. **Анализе земљишта** и друга 6.3.2. **Анализе биљног материјала**. У првој целини, кандидат наводи која је методологија коришћена за анализу земљишта у докторској дисертацији. Анализа физичких и хемијских особина земљишта обухватила је одређивање: садржаја хигроскопне воде, гранулометријског састава земљишта, активне (pH у H_2O) и супституционе киселости (pH у 0,1M KCl), електропроводљивости (EC), садржаја укупног угљеника (C%) и укупног азота (N%), садржаја хумуса, односа C/N (рачунским путем), лакоприступачног фосфора (P_2O_5) и калијума (K_2O). Такође, одређен је састав адсорптивног комплекса (BCE, ACE, CEC, BS), одређен је укупан садржај ПТЕ у земљишту (Al, As, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Na, Ni, Mg, Mn, Mo, Se, Sr, Pb и Zn), према методи US EPA 3051a (1998), одређен је садржај Hg у земљишту помоћу директног анализатора (DMA-80 evo, Milestone Inc, USA) методом US EPA 7473 (1998) и фракционисање испитиваних елемената BCR оптимизованом

секвенцијалном екстракцијом. Садржај елемената одређен је коришћењем ICP-OES (Spectro Genesis). У другој целини, која се односи на анализу биљног материјала, кандидат наводи аналитичке методе за одређивање садржаја хемијских елемената (Al, As, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Na, Ni, Mg, Mn, Mo, Se, Sr, Pb и Zn) у корену и опраним листовима, по методи US EPA 3052 (1996), затим садржаја Hg у корену и листовима помоћу директног анализатора (DMA-80 evo, Milestone Inc, USA) методом US EPA 7473 (1998), потенцијал испитиваних врста за акумулацију ПТЕ коришћењем биоконцентрационог (BCF) и транслокационог фактора (TF), као и анализе садржаја хлорофила (Chl *a* i Chl *b*) и укупних каротеноида (Tot Carot) у листовима биљака на спектрофотометру (Shimadzu UV-160). Морфолошке карактеристике структура периферијских заштита и стома као и хемијска анализа атмосферских честица депонованих на површини листова су анализиране применом скенирајуће електронске микроскопије (SEM - EDS).

У потпоглављу 6.4. **Статистичка анализа земљишта** кандидат је детаљно описао статистичке методе примењене у анализи добијених резултата (Factorial ANOVA; One-way ANOVA; дискриминантна канонијска анализа - CDA; пирсонов коефицијент корелације (p)).

7. РЕЗУЛТАТИ (36–241 стр.)

Ово поглавље се састоји од пет потпоглавља.

Потпоглавље 7.1. **Фитоценолошка истраживања** садржи опис еколошких карактеристика на контролном станишту (Фрушка гора), где се јављају истраживане врсте *T. cordata*, *T. platyphyllos* и *T. tomentosa*. Приказане су и две асоцијације: *Tilio tomentosae-Fagetum moesiacae* (Janković & Mišić 1960; Mišić 1972) и *Quercetum petraeae* Černjavski & B. Jovanović 1953 s.l., документоване фитоценолошким снимцима. У потпоглављу 7.2. **Морфолошке карактеристике земљишта** дат је опис два профила отворена на контролном станишту (Фрушка гора). Проучена земљишта класификована су према националној класификацији (Шкорић ет ал., 1985) и WRB (2022). Идентификована су два типа: дистрично смеђе земљиште (distrični kambisol; WRB: Cambisol, dystric) и еутрично смеђе земљиште (eutrični kambisol; WRB: Cambisol, eutric).

У потпоглављу 7.3. **Физичко-хемијске карактеристике земљишта** издвојене су четири целине. У првој (7.3.1. **Физичке карактеристике земљишта**) приказан је садржај хигроскопне воде, који је низак и креће се од 2,20 % до 5,33 %, са нешто већим вредностима у PU и PT. Дат је и приказ текстурног састава земљишта у парковима, дрворедима и на контролном станишту. Урбана земљишта Београда углавном имају лакши механички састав (песковита иловача), осим у PT где је текстура тежа (глиновита иловача). Земљишта са Фрушке горе имају повољан текстурни састав (иловача). Генерално, веће учешће песка чини урбана земљишта добро аерисаним али сиромашним у хранљивим материјама, док већи садржај глине на FG обезбеђује бољу способност везивања есенцијалних елемената. У целини 7.3.2. **Хемијске карактеристике земљишта** приказани су резултати електропроводљивости испитиваних земљишта са урбаних локалитета (паркови и дрвореди) и контролног станишта. На основу добијених вредности кандидат класификује земљишта као незаслањена (<2 dS/m). Урбана земљишта карактерише слабо до умерено алкална реакција (pH у H_2O: 7,67–8,42),

што може допринети смањењу мобилности и биодоступности појединих ПТЕ, укључујући и есенцијалне елементе, док земљишта на контролном локалитету имају слабо до јако киселу реакцију (pH у H_2O: 5,16–6,64). Засићеност базама (BS%) у урбаним земљиштима креће се од 79,07 до 98,86 cmol(+) kg^{-1}, а на контролном станишту од 39,78 до 95,29 cmol(+) kg^{-1}, што указује на већу засићеност адсорптивног комплекса базним катјонима у урбаним земљиштима. Садржај доступних облика калијума (K_2O) у урбаним земљиштима износи 10,30–82,00 mg/100g, док је на контролном станишту 3,40–23,70 mg/100g. Доступан облик фосфора (P_2O_5) у урбаним земљиштима варира од 4,88 до 300,22 mg/100g, а на контролном од 0 до 33,4 mg/100g, при чему су највеће вредности утврђене на локалитетима PK и PDM. Насупрот томе, сличан садржај хумуса, органског угљеника, укупног азота и однос C/N на урбаним и природном станишту (C/N < 20) указују на добру снабдевеност органском материјом и повољне услове за њену минерализацију. У целини 7.3.3. **Укупни садржај ПТЕ у земљишту** издвојене су две потцелине: 7.3.3.1. **Садржај приоритетних ПТЕ у земљишту** и 7.3.3.2. **Садржај осталих ПТЕ у земљишту**. Кандидат представља резултате мерења и анализе садржаја хемијских елемената у слоју земљишта (0–10 cm и 10–30 cm) испод сваке индивидуе испитиваних врста. Поређен је садржај ПТЕ између паркова и контролног локалитета, дрвореда и контролног станишта, као и између паркова и дрвореда у непосредној близини. Резултати двофакторске анализе варијансе (Factorial ANOVA) показују да на разлике у садржају ПТЕ значајно утичу два фактора варијабилности – локалитет и врста, при чему локалитет има доминантан утицај на садржај свих испитиваних елемената. Анализе укупног садржаја 21 ПТЕ, од којих је осам приоритетних, показују већи садржај у урбаним земљиштима у односу на контролно, што је последица антропогених притисака, пре свега загађења из саобраћаја. Резултати канонијске дискриминантне анализе указују на раздвајање локалитета према садржају испитиваних елемената и идентификују елементе који највише доприносе тим разликама.

У целини 7.3.4. **Садржај биорасположивих фракција ПТЕ** на основу оптимизоване BCR секвенцијалне екстракције, представљени су резултати за сваки елемент. Утврђено је да највећи потенцијални ризик на истраживаним локалитетима представљају B и Sr, као и локално доступнији As, Pb и Zn, док се већина осталих елемената налази у стабилним фазама са ограниченом биодоступношћу

Потпоглавље 7.4. **Екофизиолошки одговор биљака**, састоји се од четири целине. Целина 7.4.1**. Садржај ПТЕ у корену**, састоји се од две потцелине, 7.4.1.1. **Садржај приоритетних ПТЕ у корену** и 7.4.1.2. **Садржај осталих ПТЕ у корену**. Кандидат наводи резултате мерења и анализе садржаја хемијских елемената у корену испитиваних врста. Поређен је садржај ПТЕ у узорцима из паркова и контролног локалитета, узорцима из дрвореда и контролног станишта, као и узорцима из паркова и дрвореда у непосредној близини. Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA), показују да локалитет има доминантан утицај на садржај већине елемената у корену. Резултати канонијске дискриминантне анализе показују раздвајање локалитета по садржају испитиваних елемената у корену сваке испитиване врсте као и који елемент доприноси тим разликама. Целина 7.4.2. **Садржај ПТЕ у листу**, састоји се од две потцелине, 7.4.2.1. **Садржај приоритетних ПТЕ у листу** и 7.4.2.2. **Садржај осталих ПТЕ у листу**. Кандидат наводи резултате садржаја хемијских елемената

у листу испитиваних врста. Поређен је садржај ПТЕ у узорцима листова на исти начин као у узорцима корена. Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA), показују да локалитет има доминантан утицај на садржај B, K, Li, Mn, Mo, Ni, Zn и Hg, док врста има доминантан утицај на садржај Al, Ca, Fe, Mg, Na и Sr у листу. Такође, резултати канонијске дискриминантне анализе показују раздвајање локалитета по садржају испитиваних елемената у листу сваке испитиване врсте као и који елемент доприноси тим разликама. У целини 7.4.3. **Биоконцентрациони (BCF) и транслокациони фактор (TF) код испитиваних врста**, приказане су вредности израчунатих фактора за испитиване елементе у земљишту и биљном материјалу (корен и лист). Биоконцентрациони фактори указују на однос концентрације елемената у биљном материјалу и њихове концентрације у земљишту, чиме се процењује потенцијал испитиваних врста липа за акумулацију елемената у корену (BCF Корен) и листовима (BCF Лист). Израчунавањем транслокационог фактора (TF) добија се увид у способност биљака да усвојене елементе транспортују из корена у надземне делове, односно листове. Израчунавање BCF и TF омогућава процену потенцијала испитиваних врста липа у сврху биоиндикације и/или фиторемедијације. Целина 7.4.4. **Физиолошке карактеристике биљака**, састоји се од три потцелине, 7.4.4.1. **Садржај фотосинтетичких пигмената**, 7.4.4.2. **Кинетика флуоросценције хлорофила** и 7.4.4.3. **Параметри размене гасова**. У оквиру потцелина презентовани су резултати који се тичу физиолошких одговора испитиваних врста липа на утицај ПТЕ на испитиваним локалитетима, кроз мерење и анализу фотосинтетичког капацитета и ефикасности фотосинтезе на основу параметара размене гасова и флуоресценције хлорофила. Испитиване су разлике у параметрима фотосинтетичке ефикасности фотосистема II (максимална ефикасност Fv/Fm и ефективна ефикасност Fv'/Fm'), садржају хлорофила (хлорофила а – Chl *a*, хлорофила б – Chl *b*, укупног хлорофила – Chl *a+b* и односа хлорофила а и б – Chl *a/b*), затим укупних каротеноида (Tot Carot) и параметара размене гласова (An – интензитет асимилације CO_2; gs – проводљивост стома; Ci – концентрација интерцелуларног CO_2; E – интензитет транспирације; WUE – тренутна ефикасност коришћења воде и WUEi – унутрашња ефикасност коришћења воде) у испитиваним парковима и дрворедима и у поређењу са контролним локалитетом, као и њихов међусобни однос за сваку испитивану врсту. Двофакторска анализа варијанси (factorial ANOVA) показала је да врста има доминантан утицај на параметре Fv/Fm i Fv'/Fm', Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b*, док локалитет има највећи утицај на Chl *a/b*, Tot Carot, An, gs, WUE i iWUE. Резултати дискриминантне анализе показују који анализирани параметри (Chl *a*, Chl *b*, Tot Carot, Fv/Fm, Fv'/Fm', An, E, gs, Ci, WUE, iWUE), измерени у листовима испитиваних врста највише дориносе раздвајању на нивоу локалитета. Исто тако, презентовани су резултати анализе односа између садржаја приоритетних елемената (Cu, Mn, Zn и Hg), као и елемената чији је садржај у токсичном опсегу за биљке (B и Sr) и мерених параметара физиолошког одговора, коришћењем Пирсоновог коефицијента корелације. Утврђено је повећање количине фотосинтетичких пигмената код биљака на урбаним стаништима може бити одговор биљака на деловање стресних фактора на станишту, јер омогућава биљкама већи капацитет фотосинтезе као један од адаптивних механизама за опстанак и функционисање на загађеним урбаним стаништима. Такође, није утврђена значајна повезаност између садржаја ПТЕ у биљним ткивима и испитиваних физиолошких параметара. Добијени резултати показују да

повећана акумулација појединих ПТЕ у листовима не доводи до значајног смањења фотосинтетичке ефикасности, што указује на изражену толеранцију испитиваних врста на стрес загађења на урбаним стаништима.
Потпоглавље 7.5. **Морфолошке карактеристике биљака** састоји се од две целине. Целина 7.5.1. **Морфолошке карактеристике површинских структура листова и карактеристике честица депонованих на њиховој површини**, садржи детаљно презентоване резултате анализа морфолошке структуре листова *T. cordata*, *T. platyphyllos* и *T. tomentosa,* укључујући величину стома, као и опис облика, величине, броја и општег хемијског састава атмосферских честица депонованих на лице и наличје листова испитиваних врста. Такође, приказани су и резултати спектралне анализе приближних концентрација најзаступљенијих елемената у честицама депонованим на лицу и наличју листова. У целини 7.5.2**. Видљиви симптоми оштећења на листовима,** описана су два најчешћа типа симптома оштећења при чему су наизраженије маргиналне и вршне некрозе жуте (нпр. код *T. cordata* и ређе код *T. tomentosa*) и смеђе боје (код *T. cordata* и *T. platyphyllos*).

8. ДИСКУСИЈА (242–323 стр.)

Поглавље Дискусија се састоји од три потпоглавља.
Потпоглавље 8.1. **Физичко-хемијске карактеристике земљишта** подељено је у две целине. У целини 8.1.1. **Физичке карактеристике земљишта** кандидат дискутује резултате механичких анализа. Утврђено је да земљишта из дрвореда BNT, PDM и BKM имају песковито-иловасту текстуру, у парковима PU и PK песковито-иловасту до иловасту, а у PT глиновито-иловасту текстуру. Истакнут је значај гранулометријских фракција за акумулацију и доступност ПТЕ, посебно у урбаним земљиштима. Земљишта са већим учешћем песка су добро аерисана али сиромашна у хранљивим материјама због слабе адсорптивне способности, док земљишта са већим садржајем глине и колоида имају бољу способност везивања есенцијалних, али и токсичних елемената.
У целини 8.1.2. **Хемијске особине земљишта** кандидат наводи да су испитивана урбана земљишта, према вредностима електропроводљивости (EC), незаслањена, што је у складу са најновијим истраживањима урбаних паркова у Европи. Истакнут је значај алкалне pH вредности урбаних земљишта у смањењу мобилности и биодоступности појединих ПТЕ, укључујући и есенцијалне елементе. Дискутован је капацитет катјонске размене (CEC) као параметар од значаја за мобилност ПТЕ. Урбана земљишта генерално карактерише већа засићеност адсорптивног комплекса базним катјонима и већи садржај приступачних облика фосфора и калијума. Наведени су и резултати садржаја хумуса, органског угљеника, укупног азота и односа C/N, који указују на добру снабдевеност органском материјом и повољне услове за минерализацију.
Потпоглавље 8.2. **Садржај и доступност приоритетних и осталих елемената у земљишту** обухвата две целине. У целини 8.2.1. **Садржај приоритетних елемената у земљишту** дат је детаљан приказ литературних извора који се баве садржајем As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn и Hg у земљиној кори, њиховим формама, концентрацијама у земљишту и референтним вредностима у свету, Европи и Србији. Добијени резултати упоређени су са подацима из урбаних земљишта у свету и Србији. Кандидат дискутује биодоступност ПТЕ и фракције елемената

доступне биљкама, које могу представљати ризик. Наглашено је да концентрације појединих елемената премашују граничне и дозвољене вредности прописане законом, при чему највећи потенцијални ризик на истраживаним локалитетима представљају локално доступнији As, Pb и Zn.

У целини 8.2.2. **Садржај осталих елемената у земљишту** кандидат на исти начин дискутује концентрације осталих есенцијалних и неесенцијалних елемената. Истакнуто је да највећи потенцијални ризик представљају B и Sr, док се већина осталих елемената налази у стабилним фазама са ограниченом доступношћу биљкама

Потпоглавље 8.3. **Екофизиолошки одговор биљака** има две целине. У целини 8.3.1. **Акумулација приоритетних и осталих елемената у корену и листовима**, кандидат детаљно дискутује концентрације свих испитиваних елемената у смислу токсичности или дефицита, који неповољно утичу на функционисање биљака. Концентрације свих елемената добијених истраживањима, кандидат пореди са резултатима других аутора и констатује одређену сличност. Кандидат посебно истиче значај врста рода *Tilia* и других лишћарских врста. Такође, утврђене су различите карактеристике испитиваних врста у погледу усвајања, акумулације и транслокације елемената. На нивоу врсте, констатовано је да испитиване врсте ефикасно транслоцирају B и Sr, а у мањој мери и Hg у листове. Такође, кандидат наводи да све три испитиване врсте показују способност за фитостабилизацију Cr, Cu, Ni и Pb, захваљујући доминантној акумулацији и задржавању ових елемената у корену. У целини 8.3.2. **Физиолошки одговор биљака**, дискутована је анализа физиолошких параметара (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b*, Chl *a/b*, Tot Carot, Fv/Fm, Fv'/Fm', An, gs, E, Ci, WUE и iWUE), при чему је утврђено да су екофизиолошке карактеристике детерминисане специфичностима врсте, али и условима на станишту. Посматрано на нивоу таксона, врсту *Tilia tomentosa* одликује изражена стабилност фотосинтетичког апарата, оптимална ефикасност фотохемијских процеса, као и просечно виша стопа нето асимилације угљеника (An) која је праћена већом проводљивошћу стома (gs) на појединим локалитетима. Овакав тренд се може објаснити синергијом морфолошких адаптација и физиолошких регулаторних механизама. Наиме, густ сплет звездастих трихома на абаксијалној страни листа модификује микроамбијент у непосредној близини стоминог апарата тако што обезбеђује повећање релативне влажности ваздуха у граничном слоју. Овај слој смањује градијент притиска водене паре између унутрашњости листа и спољашње средине, чиме се ефикасно регулише транспирација (E). Са физиолошке тачке гледишта, смањење овог хидрауличког притиска омогућава биљци да одржи повољан тургоров притисак и висок водни потенцијал у ћелијама затварачицама, што резултира дужим периодом отворености стома (повишен gs) и стабилним приливом CO_2 у мезофил (Ci), директно стимулишући примарну продукцију. Насупрот томе, код врста *Tilia cordata* и *Tilia platyphyllos* забележен је значајан пораст укупног хлорофила (Chl *a+b*) и каротеноида (Tot Carot) на антропогено оптерећенијим стаништима (у дрворедима у односу на паркове и контролне зоне). Ове промене у пигментном профилу представљају активни биохемијски одговор на стрес урбане средине. Физиолошки гледано, повећање концентрације Chl *a+b* оптимизује капацитет за апсорпцију светлости у условима честе засенчености или замућености атмосфере смогом. Са друге стране, акумулација Tot Carot делује као фотопротективни и антиоксидативни механизам. Каротеноиди врше дисипацију вишка ексцитационе енергије кроз ксантофилни циклус (штитећи

фотосистеме од фотоинхибиције) и неутралишу реактивне врсте кисеоника које индукују оксидативни стрес и деградацију тилакоидних мембрана под утицајем урбаних полутаната. Према томе, модулација ових пигмената представља компензаторну адаптивну стратегију одржавања хомеостазе фотосинтетичког апарата код мање отпорних врста липа.

У потпоглављу 8.4. **Морфолошке карактеристике и симптоми оштећења листова** кандидат наводи да је врста *T. platyphyllos* најподложнија оштећењима, а да је интензитет оштећења најмањи код врсте *T. tomentosa.* Код *T. cordata* уочавају се оштећења кутикуларних воскова на урбаним локалитетима (посебно у ВКМ), уз значајно већи број депонованих честица у дрворедима (ВКМ, PDM) него у парковима. Спектрална анализа показује висок удео C (>60 %), затим Mg, K, Ca, Fe, Si, Al i Cl, као и S и P на појединим локалитетима. *T. platyphyllos* има највећи број честица међу испитиваним врстама, нарочито у дрворедима (ВКМ) и парковима (PU, PT). У хемијском саставу доминирају C (>60 %), Mg, K, Ca, Fe, Si и Cl, уз присуство P, S, Al и ретких елемената In и Ir. *T. tomentosa* задржава најмањи број честица због густог сплета трихома, посебно на наличју листова. Ипак, забележен је висок садржај C (око 70 % у ВКМ), уз присуство Mg, K, Ca, Fe, Si, Al, Cl, S, P и In. Кандидат констатује да је код свих испитиваних врста број честица у узорцима листова са урбаних локалитета већи него на контролном локалитету, као и да је број честица значајно већи у дрворедима у односу на паркове, што указује на већи ниво загађења честицама пореклом из саобраћаја. На нивоу врста, највећи потенцијал филтрирања има *T. platyphyllos* са крупним листовима, док *T. tomentosa* има најмањи потенцијал због специфичне структуре периферијских заштита листова.

9. ЗАКЉУЧЦИ (324-328 стр.)

Закључци су приказани на јасан и концизан начин, приказујући суштину резултата израђене докторке дисертације. У закључцима кандидат даје јасан одговор на постављене хипотезе. Такође, истакнути су најважнији резултати до којих је кандидат Наталија М. Радуловић дошла у својим истраживањима.

10. КОРИШЋЕНА ЛИТЕРАТУРА (329-384 стр.)

У овом поглављу кандидат Наталија М. Радуловић, наводи 882 литературних извора, тематски везаних за проблем истраживања, као и 19 интернет адресе. Кандидат на правилан начин користи наводе из обрађене литературе кроз читав текст дисертације. Коришћена је научна и стручна литература страних и домаћих аутора, где доминирају референце на енглеском језику. Референце су поређане по алфабетном редоследу.

V ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и садржи све неопходне елементе: насловну страну на српском и енглеском језику, информације о менторима и члановима комисије, резиме на оба језика, садржај, текст рада по поглављима, литературу, биографију аутора, изјаву о ауторству,

изјаву о истоветности штампане и електронске верзије рада и изјаву о коришћењу.

Кандидат Наталија М. Радуловић у дисертацији се бави актуелном проблематиком у области науке о земљишту, урбане екологије и екофизиологије дрвенастих врста на урбаним стаништима изложеним снажном антропогеном утицају. Комисија закључује да је ово обимно и савремено дело резултат самосталног рада кандидата, које обједињује испитивања физичко-хемијских карактеристика земљишта са физиолошким и морфолошким истраживањима биљака. По обиму, садржају, начину представљања и интерпретацији резултата, поднети текст има све одлике докторске дисертације.

Истраживање је обухватило више локалитета у Београду (паркови и дрвореди) изложених загађењу ПТЕ, што је омогућило испитивање ефеката полутаната на дрвенасте врсте у различитим урбаним условима. Кандидат је правилно упоредио резултате са релевантним истраживањима других аутора. За обраду података коришћене су одговарајуће методе, а резултати су приказани текстуално, табеларно и графички.

Комисија сматра да дисертација Наталије М. Радуловић представља значајан допринос познавању садржаја потенцијално токсичних елемената у земљиштима урбаних паркова и дрвореда у Београду, као и њиховог садржаја у корену и листовима три аутохтоне врсте липа. Кључна разматрања односе се на физичке карактеристике и хемијске процесе у урбаним земљиштима који имају најважнију улогу у акумулацији и биодоступности токсичних елемената. Истраживања дају одговор на питање како дрвенасте врсте морфо-физиолошки реагују на стрес загађења ПТЕ на стаништима деградираним антропогеним активностима и процену њиховог потенцијала за биоиндикацију и мониторинг загађења.

Сходно томе, дисертација пружа значајан научни допринос кроз *in vivo* и *in situ* квантификацију параметара размене гасова и флуоресценције хлорофила а. Применом савремених аналитичких метода, рад омогућава дубљи увид у екофизиолошке механизме одговора биљака на синергијско деловање различитих стресора, са посебним фокусом на фитотоксичне полутанте у урбаним екосистемима. Комисија позитивно оцењује структуру и елементе дисертације.

VI ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Научни допринос истраживања огледа се у продубљивању разумевања узрочно-последичних веза између утицаја потенцијално токсичних елемената у урбаним земљиштима и ваздуху и екофизиолошких одговора дрвећа на стрес загађења. Идентификовани су елементи одговорни за специфична морфо-физиолошка оштећења врста рода *Tilia*, која представљају ризик по функционисање биљака, урбану средину и здравље људи, уз дефинисање нивоа токсичности изнад којих настају реверзибилна или иреверзибилна оштећења, што је од значаја за управљање урбаном зеленом инфраструктуром.

Резултати истраживања доприносе бољем разумевању сложених односа између загађења на урбаним стаништима (паркови и дрвореди) и адаптивних механизама биљака у условима изложености ПТЕ, као и њиховог потенцијала за ублажавање негативних ефеката. Добијени резултати могу послужити за формирање базе дрвенастих врста погодних за ублажавање последица загађења, повећање биодиверзитета урбаних екосистема и оживљавање деградираних простора, посебно у парковима, дрворедима и индустријским зонама, уз унапређење естетске вредности и дизајна урбаних предела и обнову деградираног и загађеног земљишта.

Имајући у виду да универзитетски и факултетски нормативи, који се тичу процеса израде и одбране докторске дисертације, као обавезан услов постављају објављен рад у часопису међународног значаја, Комисија констатује да је кандидат маст. инж. шум. Наталија М. Радуловић, као први аутор објавила научни рад у истакнутом међународном часопису (категорија М22): Radulović, N., Košanin, O., Pavlović, D., Đunisijević-Bojović, D., Perović, M., Novaković, M., Jarić, S., Sekulić, D., Matić, M., Jonjev, M., Miletić, Z., Kostić, O. (2025) Uptake and distribution of Cu, Pb, and Zn in *Tilia tomentosa* Moench: plant tissue and urban soil interactions. Archives of Biological Sciences, https://doi.org/10.2298/ABS250731027R

VII ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу анализе и оцене докторске дисертације кандидата маст. инж. шум. Наталије М. Радуловић под насловом **„Упоредна екофизиолошка истраживања аутохтоних врста липа** *(Tilia cordata Mill., T. platyphyllos Scop., T. tomentosa Moench)* **у парковима и дрворедима Београда и природном шумском станишту на Фрушкој гори“**, Комисија закључује да је дисертација у целини урађена у складу са прописаним критеријумима обима и квалитета научног рада и у складу са одобреном темом (Веће научних области биотехничких наука, Универзитет у Београду, 02-08 Број 61206-1644/2-23 од 16.05.2023. године, МЦ). У дисертацији су представљени научно утемељени резултати који представљају значајан допринос области биотехничких наука, а посебно ужој области екологије шума, заштите и унапређивања животне средине.

Комисија констатује да дисертација садржи све неопходне елементе: насловну страну на српском и енглеском језику, именоване менторе и чланове комисије, документационе информације, резиме на оба језика, садржај, поглавља дисертације, списак литературе, биографију кандидата, изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије рада и изјаву о коришћењу.

Докторска дисертација кандидата Наталије М. Радуловић представља оригиналан научни допринос проучавању акумулације и биодоступности потенцијално токсичних елемената у земљишту и екофизиолошког одговора биљака на загађење, са значајним потенцијалом практичне примене добијених резултата. Комисија није уочила недостатке који би могли утицати на резултате истраживања и изведене закључке.

На основу свеобухватне оцене дисертације и изложеног образложења, Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду – Шумарског

факултета да прихвати позитивну оцену докторске дисертације маст. инж. шум. Наталије М. Радуловић и омогући даљу процедуру која води јавној одбрани. За јавну одбрану докторске дисертације предлаже се комисија у истом саставу.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

_____

др Данијела Ђунисијевић Бојовић, редовни професор
Универзитета у Београду, Шумарског факултета

_____

др Маријана Новаковић, редовни професор
Универзитета у Београду, Шумарског факултета

_____

др Марко Перовић, редовни професор
Универзитета у Београду, Шумарског факултета

_____

др Павле Павловић, научни саветник
Института за биолошка истраживања
„Синиша Станковић“– Институт од националног
значаја за Републику Србију,
Универзитета у Београду

_____

др Драгана Павловић, виши научни сарадник
Института за биолошка истраживања
„Синиша Станковић“– Институт од националног
значаја за Републику Србију,
Универзитета у Београду