

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ШУМАРСКОГ ФАКУЛТЕТА

ВЕЋУ ОДСЕКА ЗА ТЕХНОЛОГИЈЕ ДРВЕТА

ОВДЕ

Предмет: Извештај Комисије о оцени израђене докторске дисертације кандидата Марка Н. Веизовића

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

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

Одлуком Већа научних области Биотехничких наука број 61206-512/2-26 од 10.02.2026. године усвојена је научна заснованост теме докторске дисертације кандидата маг. инж. Марка Веизовића под насловом: „Термо-хидро-механички третман дрвета тополе – утицај процесних параметара на својства дрвета“. За менторе су одређени: др Небојша Тодоровић, редовни професор и др Горан Милић, редовни професор Универзитета у Београду – Шумарског факултета. На основу поднетог рукописа докторске дисертације, Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Шумарског факултета, број 01-2/66 од 29.04.2026.. године, образована је Комисија за оцену израђене дисертације.

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

- 1) др Небојша Тодоровић, редовни професор, научна област: Биотехничке науке, ужа научна област: Примарна прерада дрвета, Универзитет у Београду, Шумарски факултет (изабран: 16.5.2023.)
- 2) др Горан Милић, редовни професор, научна област: Биотехничке науке, ужа научна област: Примарна прерада дрвета, Универзитет у Београду, Шумарски факултет (изабран: 12.5.2021.)
- 3) др Владислав Здравковић, ванредни професор, научна област: Биотехничке науке, ужа научна област: Примарна прерада дрвета, Универзитет у Београду, Шумарски факултет (изабран: 08.10.2024.)
- 4) др Андреја Кутнар, редовни професор, научна област: Наука о дрвету, Универзитет Приморска – Факултет за математику, природне науке и информационе технологије (ФАМНИТ), Копар (изабрана: 25.3.2020.)
- 5) др Алеш Страже, ванредни професор, научна област: Наука о дрвету и лигноцелулозним композитима у технологији дрвета, Универзитет у Љубљани, Биотехнички факултет (изабран: 31.1.2022.)

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме: Марко, Ненад, Веизовић
2. Датум и место рођења, општина, држава: 24.03.1991. године, Београд, Савски Венац, Република Србија

Датум одбране, место и назив мастер рада: 21.09.2017, Београд, „Квалитет сушења и физичко-механичка својства субфосилног храста (*Quercus spp.*) из централне Србије“, Универзитет у Београду - Шумарски факултет

Научна област из које је стечено академско звање магистра наука/мастера: Технологије, менаџмент и пројектовање намештаја и производа од дрвета

Учешће у пројектима:

Учествовао је у реализацији 10 научно-истраживачких и стручних пројеката. Представљено је пет најважнијих:

1. DECORATOR – Danubians Cradle-to-Cradle Architecture and construction processes. Interreg programme – Danube region DRP0200466 (2024 – 2026)
2. DRWO4.0 – Danube Region Wood Industry Transformation Model towards Industry 4.0. Interreg programme – Danube region DRP0200218 (2024 – 2025)
3. FULAR – Shaping new paths towards Furniture Circularity, IPA-ADRION00373 (2024-2027)
4. FORESDA – „Forest-based cross sectoral value chains fostering innovation and competitiveness in the Danube Region“ (2017-2019.) #DTP1-383-1.1
5. Национални пројекат #31041 – Министарство образовања и науке Републике Србије - Шумске плантаже у функцији повећања пошумљености Србије.

Број објављених радова:

Коаутор је 23. рада у националним и међународним часописима, као и саопштењима на међународним и националним научним скуповима. Представљено је пет најважнијих радова:

1. Veizović, M., Todorović, N., Straže, A., & Milić, G. (2026). Bending Performance of Thermo-Hydro-Mechanically Densified Poplar Wood: Effects of Ultrasonic Pretreatment and Thermal Posttreatment at Different Compression Ratios. *Forests*, 17(2), 284.
2. Tojić, T., Milić, G., Vrbničanin, S., Špirović-Trifunović, B., Božić, D., Gavrilović-Grmuša, I., & Veizović, M. (2026). Valorisation of beech steaming condensate: in vitro phytotoxicity and selectivity. *Wood Science and Technology*, 60(2), 31.
3. Milić, G., Todorović, N., Veizović, M., & Popadić, R. (2023): Heating Rate during Thermal Modification in Steam Atmosphere: Influence on the Properties of Maple and Ash Wood. *Forests*, 14(2), 189. <https://doi.org/10.3390/f14020189>
4. Todorović, N., Popović, Z., Milić, G., Veizović, M., & Popadić, R. (2022): Quality evaluation of heat-treated sessile oak (*Quercus petraea* L.) wood by colour and FT-NIR spectroscopy. *Wood Material Science & Engineering*, 17(3), 202–209. <https://doi.org/10.1080/17480272.2020.18471888>
5. Rančić, M., Popović, M., Milić, G., Todorović, N., Veizović, M., Gavrilović-Grmuša, I. (2024): The effect of the beech wood steaming condensate on curing behaviour of urea-formaldehyde adhesive. *Eur. J. Wood Prod.* 82, 2137–2153 <https://doi.org/10.1007/s00107-024-02151-6>

III УВОД

3.1 Хронологија одобравања и израде дисертације:

– Кандидат, маг. инж. Марко Веизовић, уписао је докторске студије школске 2017/18. године

– Одлуком Већа Одсека за технологије дрвета одржаног 26.11.2025. године, образована је Комисија за одбрану предложене теме докторске дисертације под називом: „Термо-хидро-механички третман дрвета тополе - утицај процесних параметара на својства дрвета“ у саставу:

др Небојша Тодоровић, ред. проф. Универзитета у Београду, Шумарског факултета,

др Горан Милић, ред. проф. Универзитета у Београду, Шумарског факултета,

др Алеш Страже, ванр. проф., Универзитета у Љубљани, Биотехничког факултета,

др Ранко Попадић, ванр. проф. Универзитета у Београду, Шумарског факултета,

др Александар Ловрић, ванр. проф. Универзитета у Београду, Шумарског факултета;

– Предложену тему докторске дисертације кандидат је одбранио 12.12.2025. године.

- Одлуком Наставно-научног већа Шумарског факултета 01-2/17 од 28.01.2026. године, усвојена је научна заснованост теме докторске дисертације под називом „Термо-хидро-механички третман дрвета тополе - утицај процесних параметара на својства дрвета“. За менторе су предложени: др Небојша Тодоровић, редовни професор Универзитета у Београду – Шумарског факултета и др Горан Милић, редовни професор Универзитета у Београду – Шумарског факултета

– Одлуком Већа научних области биотехничких наука број 61206-512/2-26 од 10.02.2026. године, дата је сагласност на Одлуку Наставно-научног већа Шумарског факултета о прихватању теме докторске дисертације под називом „Термо-хидро-механички третман дрвета тополе - утицај процесних параметара на својства дрвета“. За менторе су предложени: др Небојша Тодоровић, редовни професор Универзитета у Београду – Шумарског факултета и др Горан Милић, редовни професор Универзитета у Београду – Шумарског факултета

– Одлуком Наставно-научног већа Шумарског факултета, број 01-2/66 од 29.04.2026. године, образована је Комисија за оцену израђене докторске дисертације под насловом: „Термо-хидро-механички третман дрвета тополе - утицај процесних параметара на својства дрвета“, у саставу:

др Небојша Тодоровић, ред. проф. Универзитета у Београду, Шумарског факултета,

др Горан Милић, ред. проф. Универзитета у Београду, Шумарског факултета,

др Владислав Здравковић, ванр. проф. Универзитета у Београду, Шумарског факултета,

др Андреја Кутнар, ред. проф. Универзитета Приморска – Факултета за математику, природне науке и информационе технологије (ФАМНИТ);

др Алеш Страже, ванр. проф. Универзитета у Љубљани, Биотехничког факултета

3.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада ужој научној области Примарна прерада дрвета у оквиру дисциплине Технологије дрвета, област Биотехничке науке. Тема дисертације повезана је са хидротермичким, термо-хидро-механичким и физичким поступцима модификације дрвета, као и са анализом физичких, механичких и димензионих својстава дрвета тополе.

За менторе докторске дисертације именовани су др Небојша Тодоровић, редовни професор и др Горан Милић, редовни професор Универзитета у Београду – Шумарског факултета. Ментори дисертације поседују одговарајуће компетенције за вођење дисертације у виду објављених радова у научним часописима међународног значаја из уже научне области Примарна прерада дрвета. Одговарајући научни радови ментора су наведени приликом пријаве теме докторске дисертације кандидата.

IV ОПИС ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација под насловом „Термо-хидро-механички третман дрвета тополе – утицај процесних параметара на својства дрвета“ садржи укупно 157 страна, од чега је 117 страна текста, 14 страна литературе. Докторска дисертација садржи 10 табела и 37 слика. Списак релевантне литературе, везане за област истраживања, садржи 133 литературна извора. На почетку текста докторске дисертације, налазе се кључне документационе информације и резиме на српском и енглеском језику, са кључним речима. Дисертација садржи списак коришћених скраћеница и симбола, списак табела и слика, садржај, осам основних поглавља, литературу и биографију аутора. Поглавља су:

1. УВОД
2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА
3. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ РАДА
4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА
5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА
6. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА
7. ЗАКЉУЧЦИ
8. БУДУЋА ИСТРАЖИВАЊА
9. ЛИТЕРАТУРА
10. БИОГРАФИЈА АУТОРА

После деветог поглавља, дате су 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 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

У уводном поглављу кандидат полази од ширег контекста глобалних климатских промена, потребе за одрживим материјалима и растуће улоге дрвета у грађевинском сектору и другим областима примене. Посебно је наглашено да повећање употребе дрвета мора бити праћено ефикаснијим коришћењем расположиве сировине, укључујући брзорастуће и плантажно гајене врсте. У том контексту топола је представљена као важна домаћа сировина, али и као врста чија је примена ограничена релативно ниском густином и механичким својствима.

Кандидат уводи проблем модификације дрвета као могућег начина за проширење поља употребе тополе. Посебно се издвајају физички поступци, пре свега термо-хидро-механичка денсификација, која омогућава повећање густине и побољшање механичких својстава без уношења страних хемијских супстанци у материјал.

2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА

У овом поглављу систематизована су досадашња сазнања о модификацији дрвета, са посебним освртом на термо-хидро-механичку денсификацију, термичку модификацију и ултразвучну модификацију. Преглед литературе полази од анатомске и хемијске грађе дрвета, улоге целулозе, хемицелулоза и лигнина у процесима пластичне деформације и утицаја влаге и температуре на температуру омекшавања аморфних компонената ћелијског зида.

Посебно је анализирана појава еластичне релаксације (*spring-back*, SB) и вискоеластичне релаксације (*set-recovery*, SR), које представљају једно од главних ограничења практичне примене денсификованог дрвета. Кандидат је приказао и досадашња истраживања која указују да термички посттретман може смањити вискоеластичну релаксацију, али је не елиминише у потпуности. У том контексту образложена је могућност примене ултразвучног предтретмана, који може утицати на кретање воде (слободне и везане), пропустљивост и равномерност пластификације дрвета.

3. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ РАДА

Предмет истраживања је експериментално испитивање утицаја ултразвучног предтретмана, у комбинацији са термо-хидро-механичком денсификацијом и термичким посттретманом, на физичка, механичка и димензиона својства дрвета домаће тополе. Посебан акценат стављен је на понашање денсификованог дрвета у погледу еластичне и вискоеластичне релаксације, као и на промене механичких својстава при савијању.

Основни циљ дисертације је утврђивање утицаја ТНМ третмана на физичка и механичка својства дрвета тополе, са посебним освртом на улогу ултразвучног предтретмана (US) и термичког посттретмана (TM). Посебни циљеви обухватају испитивање различитих степена упресовања (*compression ratio*, CR): 50%, 60% и 65%, анализу утицаја US предтретмана на стабилност и релаксационо понашање, испитивање улоге TM посттретмана у смањењу релаксације и утврђивање међусобног дејства наведених процесних параметара.

Постављене су четири хипотезе које се односе на утицај ТНМ модификације на густину и механичка својства, везу између степена упресовања, густине и механичких својстава, ефекат ултразвучног предтретмана на релаксационо понашање и могућност постизања повољног односа између побољшаних својстава и дугорочне димензионе стабилности комбинованом применом US, ТМ и одговарајућег нивоа упресовања.

4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

Истраживање је спроведено на дрвету тополе (*Populus x euramericana* cv. 'Robusta') старости 15–20 година, из комерцијалне плантаже у централно-источној Србији. Материјал је припремљен од пет трупаца, из којих је добијено 20 тангенцијално резаних дасака без видљивих грешака. Даске су пре припреме узорака осушене до циљне влажности од око 12%. Примењен је упарени експериментални дизајн, како би се смањио утицај природне варијабилности дрвета и омогућило поузданије поређење третмана.

Експеримент је обухватио четири нивоа упресовања: неденсификовану контролну групу (CR = 0%) и ТНМ-денсификоване узорке са степенима упресовања од 50%, 60% и 65%. Свака група је даље подељена на четири подгрупе: референтни узорци без пред- и посттретмана, узорци са ултразвучним предтретманом (US), узорци са термичким посттретманом (ТМ) и узорци са комбинованим ултразвучним предтретманом и термичким посттретманом (US+ТМ).

Ултразвучни предтретман је изведен у воденој средини, у ултразвучној кади фреквенције 28 kHz и снаге 600 W, током 45 минута. ТНМ денсификација је изведена у хидрауличној преси у отвореном систему, при чему је притисак деловао у радијалном анатомском правцу. Почетна дебљина узорака од 20 mm смањивана је на 10, 8 и 7 mm, што одговара номиналним степенима упресовања од 50%, 60% и 65%. Термички посттретман је реализован у лабораторијској комори на циљној температури од 210 °C.

Одређивани су стварни степен упресовања (CR), еластична релаксација, влажност и густина дрвета, вискоеластична релаксација у условима потапања у воду и контролисане релативне влажности ваздуха, динамички модул еластичности методом слободних резонантних вибрација, као и савојна чврстоћа (MOR) и модул еластичности при савијању (MOE). Статистичка анализа извршена је применом линеарних мешовитих модела, при чему су степен упресовања, третман и њихова интеракција третирани као фиксни ефекти, а фактор „даска“ као случајни ефекат.

5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У поглављу Резултати истраживања кандидат приказује податке о основним физичким карактеристикама ТНМ-денсификованог дрвета, о вискоеластичној релаксацији и сорпционом понашању, као и о механичким својствима

денсификованог дрвета. Након ТНМ денсификације и примене предвиђених предtretмана и постtretмана добијено је укупно 240 основних узорака, из којих је припремљено 560 узорака за даља испитивања.

Резултати су организовани у више тематских целина које обухватају: анализу оствареног степена упресовања и еластичне релаксације (*spring-back*), анализу влажности и густине дрвета, испитивање вискоеластичне релаксације (*set-recovery*) у условима потапања у воду и контролисане релативне влажности ваздуха, испитивање механичких својстава денсификованог дрвета и динамичког модула еластичности.

Показано је да је процес денсификације био добро контролисан, јер су остварени степени упресовања били блиски номинално задатим вредностима. Код референтних узорака остварене су вредности од 49,5%, 59,9% и 65,5% за номиналне степене упресовања од 50%, 60% и 65%. Ултразвучни предtretман је статистички значајно повећао реализовани степен упресовања при CR = 50%, док при вишим степенима упресовања разлике нису биле статистички значајне.

Резултати су показали да повећање степена упресовања доводи до значајног пораста густине, при чему је густина повећана приближно 1,5–2,1 пута у односу на референтне узорке, зависно од степена упресовања и примењеног третмана. У складу са тим, вредности савојне чврстоће (MOR) повећане су за око 40–100%, а вредности модула еластичности при савијању (MOE) за око 30–130%. Највеће вредности механичких својстава постигнуте су код узорака са већим степенима упресовања, али је истовремено уочено да повећање степена денсификације не доводи увек до пропорционалног побољшања стабилности материјала.

Посебно је значајно што је кандидат анализирао утицај ултразвучног предtretмана независно од самог повећања густине. Додатним анализама показано је да се разлике у MOR и MOE између третмана не могу објаснити искључиво повећањем густине, већ резултати указују да ултразвучни третман вероватно утиче на кретање и распоред влаге у структури дрвета, пропустљивост и равномерност пластификације ћелијског зида током самог ТНМ процеса денсификације. Резултати су указали да ефекат ултразвучног третмана није био униформан при свим степенима упресовања, већ да је његов најизраженији позитиван утицај остварен управо код умерених степена денсификације. Термички постtretман је у већини случајева доводио до смањења механичких својстава денсификованог дрвета, нарочито савојне чврстоће, што је доведено у везу са термичком деградацијом хемицелулоза и променама у структури ћелијског зида.

У делу који се односи на еластичну и вискоеластичну релаксацију показано је да су *spring-back* и *set-recovery* снажно зависили од степена упресовања, влажних услова и примењених третмана. Највећи део повратка деформације јављао се током првог циклуса излагања влази, док су каснији циклуси имали значајно мањи додатни ефекат. Термички постtretман се показао као најнефикаснији фактор стабилизације деформисаног стања, јер је доводио до

смањења вискоеластичне релаксације за приближно 30–80% у односу на референтне денсификоване узорке, нарочито при високим релативним влажностима ваздуха, што је доведено у везу са смањењем хигроскопности и структурним променама у ћелијском зиду дрвета. Ултразвучни предтретман није испољио униформан ефекат при свим степенима упресовања, али је код умерених CR ($\approx 50\%$) допринео смањењу еластичне и делимично вискоеластичне релаксације, указујући на могућност равномерније пластификације и стабилнијег деформисања дрвета током ТНМ процеса. Комбинована примена ултразвучног предтретмана и термичког посттретмана у појединим случајевима показала је најповољнији однос између побољшаних механичких својстава и димензионе стабилности денсификованог дрвета.

Кандидат је резултате анализирао применом савремених статистичких метода и одговарајућих софтверских алата за обраду и визуелизацију података. За статистичку анализу коришћени су линеарни мешовити модели, који су омогућили истовремено сагледавање утицаја степена упресовања, третмана и њихових интеракција, уз уважавање природне варијабилности дрвета. Обрада података и графички приказ резултата извршени су у програмском окружењу R, применом више специјализованих пакета за статистичку анализу и визуелизацију, што је омогућило прецизнију интерпретацију добијених резултата и јаснији приказ сложених међусобних односа испитиваних параметара.

6. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА

У дискусији кандидат критички разматра добијене резултате у односу на доступну литературу и објашњава уочене трендове. Повећање густине и механичких својстава тумачи се као последица колапса лумена и смањења порозности материјала током ТНМ процеса. Разлике у ефекту ултразвучног предтретмана при различитим нивоима упресовања објашњене су чињеницом да су при умереним степенима упресовања промене у пропустљивости и кретању влаге значајније за равномерност пластификације, док при високим степенима упресовања доминира механичко ограничење структуре.

Виши степени упресовања омогућавају веће вредности густине и крутости, али су истовремено повезани са већим процесним ограничењима, повећаним ризиком од микроштећења ћелијске структуре и мањим бројем валидних узорака услед сложенијих услова обраде. Поред тога, са повећањем степена упресовања долази и до значајног смањења дебљине и запремине материјала, што може ограничити практичну и економску оправданост примене веома високих степена денсификације у индустријским условима. Управо због тога кандидат истиче да умерени степени денсификације, нарочито око CR = 50%, представљају најповољнији компромис између побољшања механичких својстава, димензионе стабилности, очувања количине материјала и технолошке применљивости поступка.

7. ЗАКЉУЧЦИ

У закључном поглављу кандидат сумира резултате у складу са постављеним циљевима и хипотезама. Наводи се да је ТНМ денсификација у отвореном систему ефикасан поступак за унапређење својстава дрвета тополе ниске почетне густине; да постоји јасна и статистички потврђена веза између степена упресовања, густине и механичких својстава; да ултразвучни предтретман има најизраженије позитивне ефекте при умереним степенима упресовања; да термички посттретман доприноси стабилизацији материјала и смањењу хигроскопности, али уз могуће смањење савојне чврстоће; и да се најповољнији однос својстава и стабилности може очекивати при оптимизованој комбинацији процесних параметара, нарочито при CR = 50%.

8. БУДУЋА ИСТРАЖИВАЊА

У поглављу Будућа истраживања кандидат указује на правце даљег рада који логично произлазе из добијених резултата. Посебно се истиче потреба за детаљнијом микроструктурном и хемијском карактеризацијом модификованог дрвета, применом SEM анализе, FTIR или сродних спектроскопских метода, као и анализом профила густине по дебљини узорака. Оваква истраживања омогућила би јасније повезивање процесних параметара, структурних промена и коначних својстава денсификованог дрвета.

Посебан правац будућих истраживања односи се на оптимизацију параметара ултразвучног предтретмана, пре свега трајања третмана и интензитета деловања, како би се прецизније утврдили услови у којима овај предтретман има стварни технолошки значај. Даља истраживања треба усмерити и ка дефинисању оптималног режима ТНМ обраде, којим би се постигао најповољнији однос између повећања механичких својстава, димензионе стабилности и технолошке применљивости материјала.

9. ЛИТЕРАТУРА

У овом поглављу, кандидат Марко Веизиовић, наводи 133 литературна извора који су суштински везани за проблематику истраживања. Треба истаћи да је кандидат на правилан начин поменуте референце доводио у компаративни контекст са својим истраживањем и на тај начин показао завидан степен обучености за научно-истраживачки рад. Велики број литературних навода је новијег датума. Референце су поређане по алфавитном редоследу.

V ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Савременост, оригиналност и значај истраживања

Докторска дисертација кандидата Марка Н. Веизовића обрађује актуелну и научно значајну тему из области модификације дрвета, са посебним освртом на могућност унапређења својстава дрвета тополе као брзорастуће и релативно доступне домаће сировине. Тема је савремена јер се уклапа у шири истраживачки и технолошки контекст повећања употребе обновљивих материјала, рационалнијег коришћења дрвне сировине и развоја производа више додате вредности од врста дрвета које се у природном стању углавном користе за производе нижих механичких захтева.

Оригиналност дисертације огледа се у комбинованом испитивању ултразвучног предтретмана, термо-хидро-механичке денсификације и термичког посттретмана дрвета тополе. Док је ТНМ денсификација у литератури релативно добро препозната као поступак за повећање густине и механичких својстава дрвета, примена ултразвучног предтретмана као могућег средства за унапређење равномерности пластификације, стабилности деформације и коначних својстава представља истраживачки приступ који има јасан научни и практични потенцијал.

Значај истраживања је и у томе што је кандидат анализирао не само механичка својства денсификованог дрвета, већ и појаве еластичне и вискоеластичне релаксације, које представљају једно од кључних ограничења практичне примене ТНМ модификованог дрвета. На тај начин дисертација доприноси разумевању односа између степена упресовања, примене пред- и посттретмана, повећања густине, механичких перформанси и димензионе стабилности материјала.

Оцена примене научних метода

Комисија констатује да су у дисертацији примењене одговарајуће научне методе, у складу са предметом, циљевима и постављеним хипотезама истраживања. Експериментални план је добро осмишљен и обухвата више нивоа процесних параметара: степен упресовања, примену ултразвучног предтретмана и примену термичког посттретмана. Упарени дизајн узорковања, при којем су узорци за различите третмане изрезивани са еквивалентних анатомских позиција унутар истих дасака, представља посебно добар методолошки приступ, јер смањује утицај природне варијабилности дрвета.

Методе припреме узорака, ултразвучног третмана, ТНМ денсификације и термичког посттретмана описане су довољно детаљно да омогуће разумевање и поновљивост поступка. Физичка и механичка својства испитана су применом стандардизованих метода или метода које су уобичајене у науци о дрвету. Одређивање густине, влажности, савојне чврстоће, модула еластичности и динамичког модула еластичности обезбедило је релевантну основу за оцену

утицаја процесних параметара.

Посебно је значајно што је вискоеластична релаксација испитивана применом два приступа: потапањем узорака у воду и излагањем контролисаним вредностима релативне влажности ваздуха. Овакав приступ омогућио је свеобухватније сагледавање стабилности денсификованог дрвета, како у условима интензивног влажења, тако и у условима који су ближи променљивим експлоатационим условима.

Статистичка обрада података извршена је применом линеарних мешовитих модела, што је примерено структури експерименталних података и усклађено са упареним дизајном узорковања. Увођењем фактора „даска“ као случајног ефекта узет је у обзир утицај природне варијабилности материјала. Примењене су и анализе интеракција између степена упресовања и третмана, као и секундарни модели са густином као коваријатом, што омогућава јасније раздвајање ефеката саме денсификације од ефеката додатних третмана.

Оцена остварености циљева и провера хипотеза

Комисија сматра да су циљеви дисертације у највећој мери остварени. Кандидат је експериментално испитао утицај различитих степена упресовања на својства ТНМ-денсификованог дрвета тополе, анализирао улогу ултразвучног предтретмана, утврдио ефекте термичког посттретмана и разматрао међусобно дејство процесних параметара на коначна својства материјала.

Прва хипотеза, према којој ТНМ модификација има значајан утицај на физичка и механичка својства дрвета тополе, потврђена је резултатима који показују значајно повећање густине, савојне чврстоће, статичког и динамичког модула еластичности након денсификације.

Друга хипотеза, која претпоставља позитивну корелацију између степена упресовања, густине и механичких својстава, такође је потврђена. Резултати показују да се са повећањем степена упресовања повећавају густина и већина анализираних механичких својстава. Истовремено, кандидат је правилно указао да овај однос није неограничен и да при вишим степенима упресовања може доћи до израженијих процесних ограничења и потенцијалних структурних оштећења.

Трећа хипотеза, која се односи на утицај ултразвучног предтретмана на механичка својства и релаксационо понашање, делимично је потврђена. Ултразвучни предтретман је показао позитивне ефекте при умереном степену упресовања, посебно код реализованог степена упресовања и савојне чврстоће, али његов утицај није био једнак при свим нивоима упресовања и код свих испитиваних својстава. Оваква интерпретација је научно оправдана и указује на сложеност утицаја ултразвука на структуру и понашање дрвета.

Четврта хипотеза је потврђена у смислу да комбиновање различитих модификационих поступака омогућава циљано подешавање својстава дрвета

тополе и постизање повољног односа између механичких својстава и димензионе стабилности. При томе, оптимална комбинација процесних параметара није јединствена, већ зависи од захтева крајње примене: за израженије повећање механичких својстава погоднији су виши степени упремовања, док се за добар баланс својстава и технолошке изводљивости као посебно релевантан издваја умерени степен упремовања, око $CR \approx 50\%$, нарочито у комбинацији са ултразвучним предтретманом. За примене у условима повишене релативне влажности ваздуха, термички посттретман има кључну улогу у стабилизацији деформисаног стања.

Оцена резултата и дискусије

Резултати дисертације приказани су систематично, уз јасно раздвајање физичких карактеристика, релаксационог понашања и механичких својстава. Табеларни и графички прикази омогућавају праћење утицаја појединачних фактора и њихових интеракција. Кандидат је резултате тумачио у складу са постављеним циљевима и упоређивао их са подацима из релевантне литературе.

Дискусија је добро усмерена на кључна питања дисертације: утицај степена упресовања на повећање густине и механичких својстава, улогу ултразвучног предтретмана, ефекат термичког посттретмана и стабилност денсификованог дрвета у условима влажења. Кандидат је показао способност да резултате не тумачи само дескриптивно, већ и кроз механизме који стоје иза уочених промена, као што су колапс ћелијске структуре, промена порозности, утицај влаге на пластификацију и ефекти термичке модификације на хигроскопност.

Комисија посебно позитивно оцењује чињеницу да је кандидат критички размотрио ограничења истраживања. У раду је наведено да је број валидних узорака при вишим степенима упресовања био мањи због процесних ограничења, што је узето у обзир при интерпретацији резултата. Такође, кандидат оправдано издваја $CR = 50\%$ као технолошки најрелевантнији ниво упресовања за практичну примену, јер представља компромис између побољшања својстава и очувања стабилности материјала.

Оцена закључака

Закључци су јасно формулисани и произлазе из резултата истраживања. Они су у складу са предметом и циљевима дисертације и дају сажет одговор на постављене хипотезе. Посебно је важно што кандидат не изводи преопште закључке, већ јасно указује на условљеност ефеката примењених третмана степеном упресовања и на потребу за даљом оптимизацијом процеса.

Комисија сматра да су закључци научно засновани и да представљају добру основу за будућа истраживања и потенцијалну практичну примену резултата у области модификације дрвета брзорастућих врста.

VI ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Докторска дисертација кандидата Марка Н. Веизовића даје више научних и практично релевантних доприноса области технологије дрвета и модификације дрвета:

- Дисертација доприноси бољем разумевању утицаја ТНМ денсификације на физичка и механичка својства дрвета тополе као брзорастуће и индустријски значајне врсте у Србији.
- Резултати потврђују да се применом ТНМ поступка може значајно повећати густина, савојна чврстоћа и модул еластичности дрвета тополе, чиме се проширује потенцијално поље употребе ове сировине у производима више додате вредности.
- Дисертација пружа нова сазнања о улози ултразвучног предтретмана у процесу денсификације дрвета. Посебно је значајан налаз да ефекти ултразвука зависе од степена упресовања и да су најизраженији при умереним нивоима денсификације.
- Рад доприноси разумевању улоге термичког посттретмана у стабилизацији денсификованог дрвета, али и указује на компромис између побољшања димензионе стабилности и могућег смањења механичких својстава.
- Значајан допринос представља свеобухватна анализа еластичне и вискоеластичне релаксације денсификованог дрвета, применом више експерименталних приступа и циклуса излагања влази.
- У раду је примењен експериментални и статистички приступ који омогућава раздвајање утицаја природне варијабилности дрвета од утицаја процесних параметара, што је важно за поуздано тумачење резултата код хетерогених биолошких материјала.
- Дисертација даје основу за даљу оптимизацију ТНМ поступака, нарочито у правцу дефинисања процесних услова који обезбеђују најповољнији однос између повећања механичких својстава, димензионе стабилности и технолошке изводљивости.

Имајући у виду важеће нормативе који као обавезан услов постављају објављен рад из дисертације у часопису међународног значаја, Комисија констатује да је кандидат маг. инж. Марко Веизовић, као први аутор, објавио научни рад у међународном часопису (категорија M21):

Veizović M., Todorović N., Straže A., Milić G. (2026). Bending Performance of Thermo-Hydro-Mechanically Densified Poplar Wood: Effects of Ultrasonic Pretreatment and Thermal Posttreatment at Different Compression Ratios. *Forests* 17(2), 284. <https://doi.org/10.3390/f17020284>

VII ZAKЉUČAK I PREDLOG

На основу прегледа и анализе достављене докторске дисертације кандидата Марка Н. Веизовића под насловом „Термо-хидро-механички третман дрвета тополе – утицај процесних параметара на својства дрвета“, Комисија констатује да је дисертација урађена у складу са одобреном темом, постављеним циљевима и прихваћеним програмом истраживања.

Кандидат је у дисертацији успешно обрадио актуелан научни проблем из области модификације дрвета, применио одговарајуће експерименталне и статистичке методе, критички анализирао резултате и формулисао закључке који произлазе из добијених података. Дисертација представља самосталан научноистраживачки рад и даје оригиналан допринос разумевању утицаја термо-хидро-механичке денсификације, ултразвучног предтретмана и термичког посттретмана на својства дрвета тополе.

Комисија сматра да докторска дисертација испуњава услове прописане Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Београду, Статутом Универзитета у Београду – Шумарског факултета и другим релевантним актима који регулишу израду и одбрану докторске дисертације.

Имајући у виду наведено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду – Шумарског факултета да прихвати позитивну оцену докторске дисертације кандидата Марка Н. Веизовића под насловом „Термо-хидро-механички третман дрвета тополе – утицај процесних параметара на својства дрвета“ и да кандидату одобри јавну одбрану докторске дисертације.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Небојша Тодоровић, редовни професор,
Универзитета у Београду, Шумарског факултета

др Горан Милић, редовни професор,
Универзитета у Београду, Шумарског факултета

др Владислав Здравковић, ванредни професор,
Универзитета у Београду, Шумарског факултета

др Андреја Кутнар, редовни професор,
Универзитет Приморска – ФАМНИТ

др Алеш Страже, ванредни професор
Универзитет у Љубљани – Биотехнички факултет