

VSEBINSKO POROČILO

Projekt CRP V4- 2017

Naslov projekta:

Izboljšanje konkurenčnosti slovenske gozdno-lesne verige v kontekstu podnebnih sprememb in prehoda v nizkoogljično družbo

Obdobje trajanja projekta od 1.11.2020 - 31.10.2023

Seznam sodelujočih organizacij

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
Gozdarski inštitut Slovenije
Zavod Lesarski grozd

Avtorji poročila:

Miha Humar, Jožica Gričar, Boštjan Lesar, Sergej Medved, Primož Oven, Viljem Vek, Luka Krajnc, Kristjan Krt, Jaka Levanič, Blaž Jemec

Povzetek vsebinskega poročila

Podnebne meritve kažejo trend dvigovanja temperature zraka. Zadnjih deset let sodi med najtoplejša leta, kar v Sloveniji opazujemo vreme. Poleg tega smo vse pogostejše priča vedno intenzivnejšim ekstremnim vremenskim dogodkom: žledu, viharjem, toči itd. Vse to ima vpliv na drevesno sestavo in kvantiteto in kvaliteto lesa. V projektu smo analizirali stanje gozdno-lesne verige, z vidika povezanosti in opredeliti ključne možnosti za izboljšanje delovanja s poudarkom na lokalnih razvojnih možnostih in novih verigah vrednosti. Tako smo določili vpliv klimatskih sprememb na razpoložljivost in kakovost lesnih vrst v prihodnosti. Poseben poudarek smo posvetili vplivu klimatskih sprememb na relevantne lastnosti lesa (odpornost lesa proti razkroju in navlaževanju, mehanske lastnosti, kemijsko in anatomsko zgradbo ...). Ocenjujemo, da so lastnosti lesa, ki raste na nižjih rastiščih, primerljive z lastnostmi lesa, ki danes raste na višjih rastiščih. Poleg tega smo ovrednotili tudi lastnosti nekaterih tujerodnih lesnih vrst, ki prihajajo, kot na primer rdeči hrast in les lubadrak. V te namene bomo ovrednotili tudi uporabo nove opreme in naprav, ki bi potencialno omogočili hitre in zanesljive smo ključnih lastnosti lesa v različnih postopkih obdelave (npr. gostota, napake itd.) V sodelovanju z izbranimi deležniki smo razvili oziroma optimizirali nove materiale (impregniran les, modificiran les, kompoziti iz skorje, lesni ekstrakti, obžgan les ...) na osnovi lesa manj uporabljanih lesnih vrst za uporabo v gradbeništvu, za infrastrukturne namene, farmaciji ... Za izboljšanje izkoristitve potenciala slovenskih gozdov, smo predlagali tudi nove načine uporabe lesa (modifikacija, obžiganje, ekstrakcija, impregnacija ...). Še posebno veliko priložnost predstavlja koncept biogospodarstva. Določanje biorafinerijskega potenciala relevantnih lesnih vrst za izdelavo finih kemikalij je bila ena od petih pomembnih nalog projekta.

Rezultati in dosežki raziskovalnega projekta

Rezultati in dosežki so predstavljeni po posameznih delovnih sklopih projektnih aktivnosti.

Delo je bilo organizirano v petih sklopih, kot je razvidno v nadaljevanju:

- DS 1 Razpoložljivost in potencial drevesnih vrst v Sloveniji
- DS 2 Relevantne lastnosti lesa
- DS 3 Biorafinerijski potencial izbranih lesnih vrst
- DS 4 Novi materiali za nove verige vrednosti
- DS 5 Koordinacija, diseminacija, promocija

DS 1 Razpoložljivost in potencial drevesnih vrst v Sloveniji

DS 1.1 Analiza razpoložljivosti in izbor drevesnih vrst

Na podlagi podatkov prirastka in poseka nacionalne gozdne inventure Gozdarskega inštituta Slovenije iz leta 2018 (Skudnik in sod. 2021) smo podrobneje pregledali gibanje lesnih zalog izbranih drevesnih vrst, ki imajo glede na trenutne napovedi gibanja podnebnih kazalnikov, gozdne produkcije in lastnosti lesa največji potencial v Sloveniji v prihodnosti. Te drevesne vrste so: navadna bukev, javorji, bela jelka, hrasti, robinija, topoli, črni bor, rdeči bor, navadna ameriška duglazija ter pravi kostanj. Od teh vrst je v lesni zalogi naših gozdov največ bukve (33,4 %), smreke (28,6 %), jelke (7,9 %), hrastov (7,5 %) ter borov (5,5 %).

V preglednici 1 so prikazani podatki o prirastku in poseku (m^3/ha) izbranih drevesnih vrst v Sloveniji v obdobju 2012–2018, izračunani v okviru Nacionalne gozdne inventure. Dodani pa so tudi izračuni razmerja med prirastkom in posekom, ki je eden od kazalcev izkoriščenosti posamezne drevesne vrste, ter podatek o povprečnem deležu sanitarnega poseka za posamezno vrsto za izbrano obdobje. Podatek o deležu sanitarnega poseka je bil pridobljen iz podatkovnih baz o poseku Zavoda za gozdove Slovenije (ZGS, 2023).

Pri sonaravnem gospodarjenju z gozdovi se z redno načrtovanim posekom naj ne bi preseglo 80 % prirastka, vendar je ta delež zaradi sanitarnega poseka pogosto presežen. Na podatke o izkoriščenosti posamezne drevesne vrste tako v veliki meri vpliva sanitarni posek, ki zajema posek bolnega, poškodovanega ali sušečega se drevja z namenom izboljšanja zdravstvenega stanja sestoja oz. preprečitev širjenja bolezni in škodljivcev (podlubniki). Delež sanitarnega poseka je za določene drevesne vrste, kot je denimo smreka, zelo visok zaradi že omenjenih razlogov in je v analiziranih letih predstavljal več kot polovico celotnega poseka na letni ravni. Tudi pri številnih drugih drevesnih vrstah (npr. bori, jelka, pravi kostanj) delež sanitarnega poseka predstavlja preko 30 % poseka. Les, pridobljen s sanitarno sečnjo, je pogosto razvrednoten napram lesu iz rednega poseka zaradi obarvanosti, okužb z glivami ali razkrojenosti zaradi nepravčasnega spravila.

Pri posameznih drevesnih vrstah, kot so smreka, rdeči bor, duglazija, robinija, je bil posek v analiziranih letih večji od prirastka, kar kaže na visoko teh vrst, medtem ko pri drugih predstavlja posek manj kot 40 % letnega prirasta (topoli, javor, cer, puhasti hrast) in torej predstavljajo neizkoriščen potencial možnega in trajnostno vzdržnega poseka.

Preglednica 1: Prirastek in posek izbranih drevesnih vrst v obdobju 2012–2018 (Skudnik in sod. 2022), izkoriščenost posamezne drevesne vrste, izračunana kot razmerje med prirastkom in posekom za posamezno drevesno vrsto ter povprečni delež sanitarnega poseka za posamezno vrsto za izbrano obdobje 2012/2018 (ZGS, 2023). Listavci so napisani s črno barvo, iglavci pa z modro barvo.

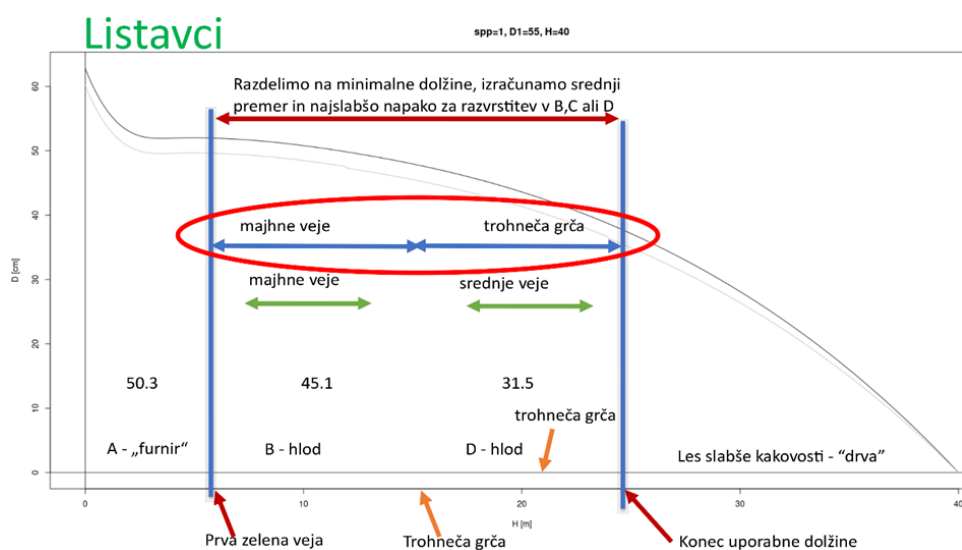
Drevesna vrsta	Prirastek (m ³ /ha leto)	Posek (m ³ /ha leto)	Posek/prirastek (%)	Delež sanitarnega poseka (%)
bukev	2,50	1,20	48	30,6
smreka	2,28	3,19	140	52,9
jelka	0,73	0,47	65	34,8
graden+dob	0,38	0,36	94	23,7
javor	0,26	0,06	22	27,2
rdeči bor	0,23	0,27	118	37,9
pravi kostanj	0,18	0,08	44	31
cer	0,11	0,01	6	19,3
puhasti hrast	0,02	0,001	3	7,5
črni bor	0,10	0,08	77	37,4
duglazija	0,01	0,15	1299	31,2
robinija	0,07	0,08	122	12,9
topoli	0,01	0,001	9	15,2

Za nekatere izbrane drevesne vrste je značilno, da imajo bolj pionirski značaj (topoli, robinja, črni bor), kar pomeni, da uspevajo tudi na zelo zahtevnih rastiščih, predvsem v mladosti hitro priraščajo in so odporne na pričakovane vremenske ekstreme. Izmed hrastov sta zlasti cer in puhasti hrast dokaj odporna na pričakovane višje temperature in občasne sušne razmere. Vendar pa naše gozdove ogrožajo še številni obstoječi in novi škodljivci in bolezni, ki predstavljajo dodatno potencialno težavo za drevesne vrste in izkoriščanje lesa. Eden od primerov so sestoji črnega bora, ki jih ogrožajo številni patogeni tujerodni organizmi, in bi ob razširitvi lahko povzročili množično propadanje dreves te vrste. Poleg tega so borovi sestoji v sušnih obdobjih zaradi velike vsebnosti smole v drevesih in presušenosti močno požarno ogroženi.

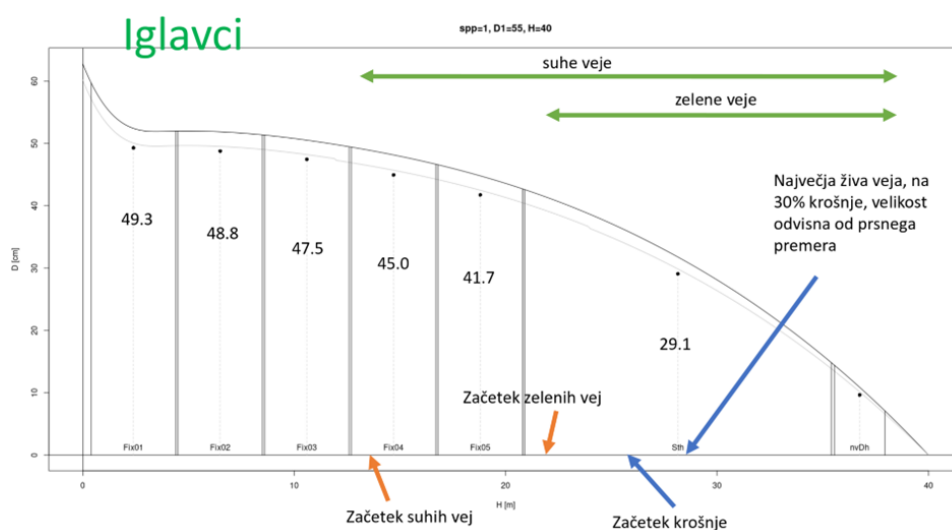
Od izbranih drevesnih vrst je potrebno izpostaviti še duglazijo in robinijo, ki sta tujerodni drevesni vrsti, in so ju poleg drugih drevesnih vrst v Evropo prinesli v 17. stoletju, da bi zadostili naraščajočemu povpraševanju po lesu. Delež duglazije je v Sloveniji relativno majhen v primerjavi z ostalimi drevesnimi vrstami in se bo v prihodnosti najverjetneje še zmanjšal, saj je sadnja neavtohtonih drevesnih vrst v naravnih gozdovih zakonsko prepovedana. Robinija je hitrorastoča drevesna vrsta z veliko obnovitveno močjo, zato zaradi svoje agresivnosti in invazivnosti rasti ogroža ali celo izrinja avtohtono vegetacijo in tako spada med invazivne tujerodne drevesne vrste.

DS 1.2 Razvoj metodologije za oceno kakovosti debel na stoječih drevesih

V projektu se je razvil osnutek metodologije za ocenjevanje kakovosti stoječih dreves preveril v praksi in dodatno izpopolnil. V okviru te naloge je nastal strokovni prispevek (objavljen v reviji Gozdarski vestnik), kjer je opisana obstoječa uporabljena metodologija v Sloveniji. Poleg tega so predstavljene obstoječe metodologije ocenjevanja kakovosti stoječih dreves različnih držav. Na koncu prispevka je predlagana nova metodologija za ocenjevanje kakovosti za potencialno uporabo v gozdarstvu. Ključni cilj opisanega dela je razvoj nove metodologije, s katero bi lahko na objektiven način primerjali kakovost debel med različnimi sestoji in bi omogočala sortiranje prostornine teh dreves v potencialne gozdnolesne sortimente (t.i. »sortimentacija«). Pri razvoju metodologije je bil upoštevan tudi tehnološki razvoj zadnjih nekaj desetletij in prihajajoča tehnologija za izmero dreves. Pri osnovanju posodobljene metodologije so zasledovani naslednji kriteriji: (a) objektivnost, ki omogoča ponovljivost izmere; (b) enostavnost in čim manjša poraba časa za izmero; (c) praktična uporabnost, tj. možnost izpeljave Sortimentacije na ravni drevesa, ter (d) možnost napovedi bodoče kakovosti. V prispevku predstavljen predlog metodologije za ocenjevanje kakovosti stoječih dreves ni nespremenljiv, pri morebitnih spremembah je potrebno le zagotoviti neprekinjenost z morebitnimi preteklimi meritvami. Od obstoječih metodologij prevzema le najbolj uporabne (in s tem preverjene) lastnosti/pristope, verjetno pa se bo tekom uporabe pokazala še kakšna pomanjkljivost/dopolnitev. Metoda je bila preizkušena na več drevesnih vrstah ter je v praksi hitro izvedljiva. Zaradi nejasnosti pri posameznih drevesih na ravni skupin dreves naj ne bi prihajalo do večjih odstopanj v oceni kakovosti na ravni sestojev. V naslednjih korakih je potrebno izvesti primerjavo predlaganega ocenjevanja kakovosti ter trenutno uporabljanih ocen na stalnih vzorčnih ploskvah Zavoda za gozdove Slovenije. Ker se tam neprekinjeno zbirajo podatki o kakovosti že več desetletij, bi bilo nujno narediti vzporedno primerjavo in vzpostaviti prevedbo med obema lestvicama ter s tem zagotoviti neprekinjenost meritev kakovosti ob morebitnih spremembah načina ocenjevanja. Predlagana metodologija izpolnjuje tudi vse štiri zastavljene cilje raziskave. Je objektivna, enostavna zaradi merjenja višin in s tem tudi hitra za izmero. Prav tako je možno izpeljati Sortimentacijo ali približek prihodnje/potencialne kakovosti, metoda pa je primerna tudi za eventuelni prehod na avtomatizirano merjenje s pomočjo terestričnega LIDAR-ja. Uporaba predlagane lestvice kakovosti ne bo spremenila pristopa ali načina dela dolgoletne javne gozdarske službe, lahko pa predstavlja enega izmed pripomočkov pri odločanju kam ter koliko časa ali sredstev vložiti v gozdnogojitvene ukrepe v izbranem sestoji.

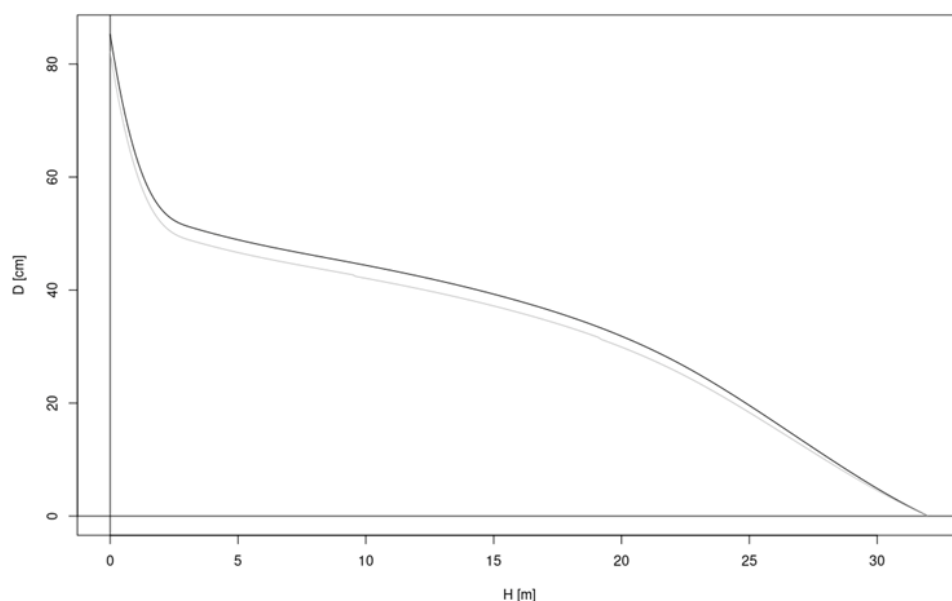


Slika 1: Primer Sortimentacije drevesa bukve na podlagi srednjih premerov sortimentov, lokacij napak ter posnetih najslabših napak za posamezno sekcijo. Druga sekcija je razdeljena na dve podsekciji (označeni z rdečo barvo) z različnimi najslabšimi napakami. Z zeleno barvo označeno dejansko pojavljanje posameznih napak na drevesu.

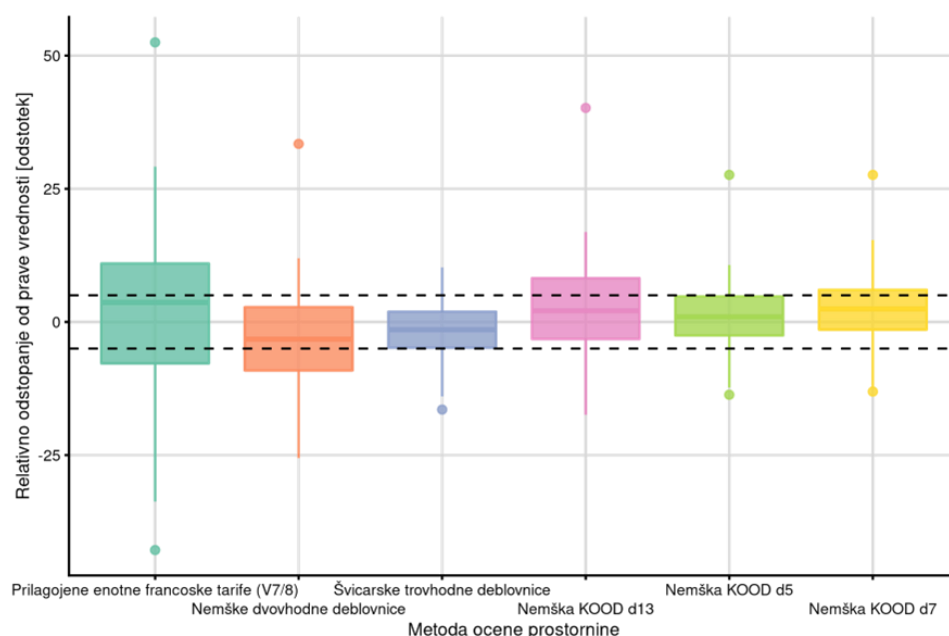


Slika 2: Primer sortimentacije drevesa smreke, fiksna dolžina sortimenta 4 m, 10 cm nadmere in 1 cm za rez motorne žage, na vertikalni osi premer, na horizontalni pa višina drevesa. Z črno črto označen premer s skorjo, s sivo brez skorje, srednji premer posameznega sortimenta prikazan na sredini vsakega sortimenta.

Poleg tega je bil v reviji Gozdarski vestnik objavljen izvirni znanstveni članek o krivuljah, ki se uporabljajo za opis oblike debla (KOOD) (ang. taper functions) in zvezno opisujejo odnos med višino drevesa in premerom debla na ravni posameznega drevesa, tj. od tal do vrha drevesa. Z njihovo pomočjo je mogoče na katerikoli višini drevesa določiti premer debla. Na ta način lahko pri izračunih prostornine drevesa ali sortimentov izberemo poljuben zgornji najmanjši premer, izračunamo srednje premere posameznih sortimentov ali pa izračunamo prostornino posameznih poljubno izbranih delov debla. Za izračun prostornin so potrebni naslednji vhodni podatki: drevesna vrsta, prsni premer in višina drevesa (izmerjena ali izračunana iz višinske krivulje) ter KOOD. Na primeru smreke so bile predstavljene prednosti in omejitve omenjenih krivulj. Nadalje je bila narejena primerjava izdelane slovenske KOOD za smreko z obstoječimi nemškimi KOOD. Rezultati določanja prostornine dreves po obeh KOOD so bili primerljivi. S pomočjo sekcijskih meritev premerov, izmerjenih bodisi ročno ali optično, je mogoče tuje KOOD lokalno prilagoditi za slovenske razmere. Rezultati kažejo, da lahko z uporabo KOOD izboljšamo zanesljivost določanja prostornine dreves in omogočimo nove preračune prostornin potencialnih sortimentov. Da bi poenostavili dostop do teh izračunov za širšo javnost, smo izdelali novo spletno aplikacijo, ki omogoča izračune prostornine dreves po več različnih metodah, vključujoč tudi krivulje za opis oblike debla. Spletna aplikacija je dostopna preko povezave na <http://gozdis.si/volumni>.



Slika 3: Primer KOOD, drevo smreke s prsnim premerom 60 cm in višine 32 m. Črna črta je premer s skorjo, siva pa brez nje. Za izračun je uporabljena nemška KOOD za smreko (Vonderach in dr., 2021).

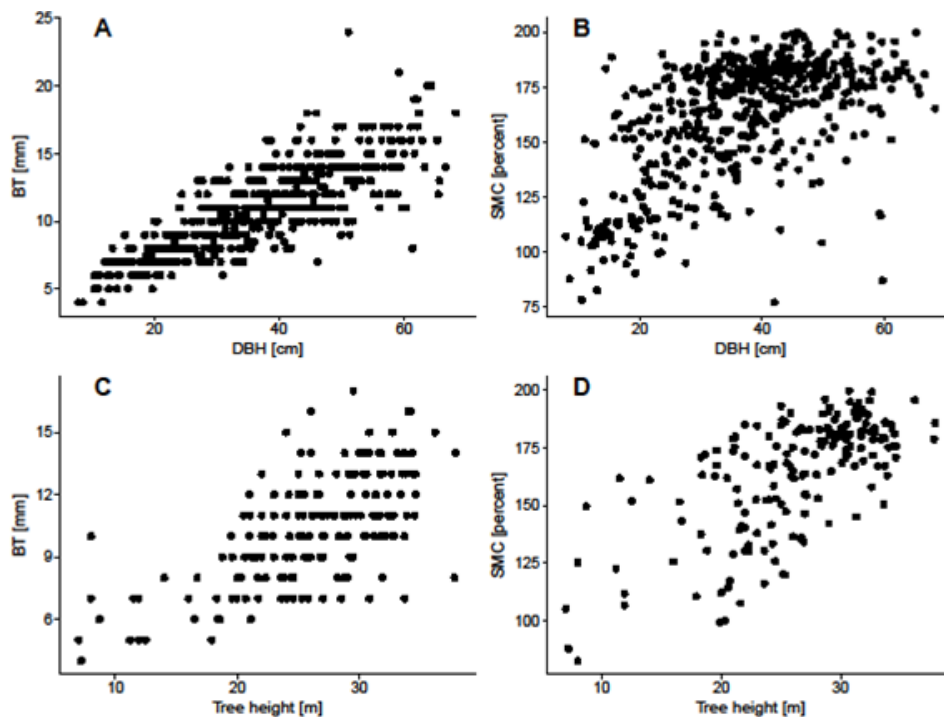


Slika 4: Primerjava metode ocene prostornine: prilagojene enotne francoske tarife (V7/8), nemške dvovhodne deblovnice, švicarske trovhodne volumenske funkcije ter nemške KOOD za smreko. Predzadnji stolpec kot vhodni podatek poleg prsnega premera in višine drevesa vsebuje še dodatni premer na 5 metrih (d_5), zadnji pa dodaten premer na 7 metrih (d_7). S črtkano črto prikazano +5 % in -5 % odstopanje za lažjo oceno natančnosti.

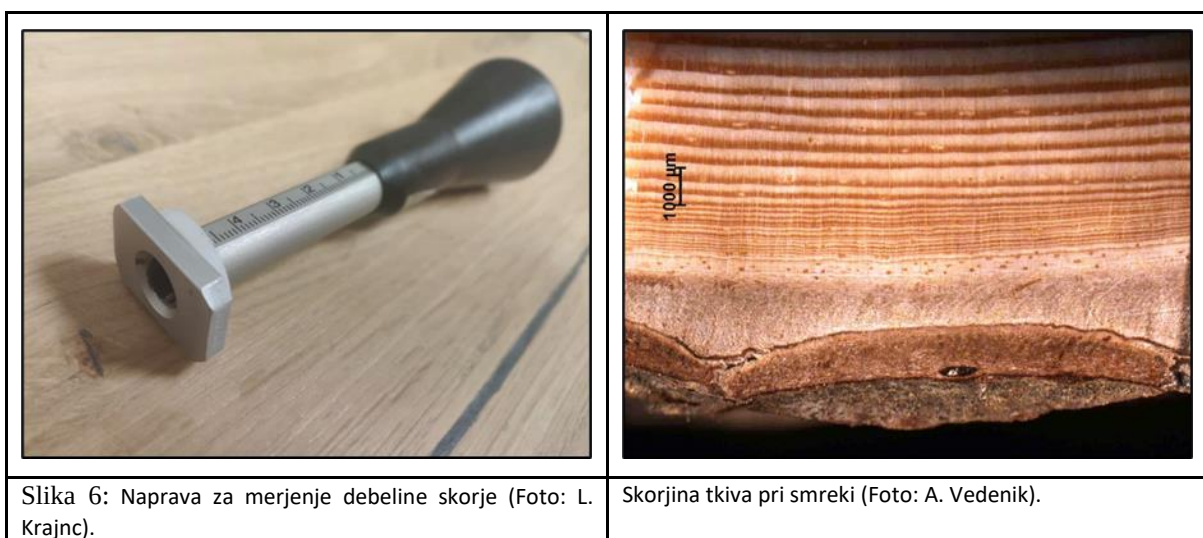
DS 1.3 Količina razpoložljive skorje

Za razvoj ustrezne metodologije opravili preliminarne analize meritev debeline skorje na smreki, pri kateri zaradi velike zastopanosti v slovenskih gozdovih obstaja velik interes za razvoj učinkovitejše uporabe velikih razpoložljivih količin lubja. Raziskali smo vpliv izbranih drevesnih karakteristik (socialni položaj, premer drevesa v prsni višini in višina drevesa) na debelino skorje. Ugotovili smo, da premer

in višina drevesa pozitivno vplivata na debelino skorje, medtem ko socialni položaj drevesa ni imel vpliva na merjen parameter. Meritve na terenu so bile hitre, enostavne in, zaradi nizke cene naprave, cenovno distopne za široko uporabo. Potrdili smo, da je uporabljena metodologija primerna ta oceno razpoložljivosti biomase skorje na ravni Slovenije, kar je prvi pogoj za smotrno nadaljnjo predelavo skorje. Metoda je primerna tudi za modele napovedovanja napada podlubnikov, saj smo v študiji ugotovili, da so struktura in debelina skorje ter vlažnost lesa povezani s fiziološkim stanjem posameznega drevesa.



Slika 5: Prikaz lastnosti vzorčenih dreves (N = 504), odvisnost debeline skorje (BT) od premera (DBH) ali višine (Tree height).



Slika 6: Naprava za merjenje debeline skorje (Foto: L. Krajnc).

Skorjina tkiva pri smreki (Foto: A. Vedenik).

DS 2: Relevantne lastnosti lesa

Na različnih rastiščih smo v dogovoru z lastniki gozdov popisali lastnosti stoječih odkazanih dreves, ki so bila nato podrti in iz katerih smo odvzeli kolute dolžine 40 cm. Vsi koluti so bili razžagani na deske debeline 25 mm. Le-te smo prepeljali na lokacijo Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete ter jih pripravili za zračno sušenje. Skupno smo iz teh kolotov pridobili preko 1500 desk, jih posušili in sušijo pripravili za nadaljnjo obdelavo in analize.

Na podlagi bilateralnega sodelovanja S švicarskim inštitutom, smo pridobili tudi hlodovino iz Švice, ki smo jo vključili v primerjavo.

Preglednica 2: Število vzorčenih dreves za mehanske lastnosti in njihov povprečni prsni premer

<u>Vrsta</u>	<u>Število vzorčenih dreves</u>	<u>Povprečni prsni premer</u>
bukev	25	48.6
javor	10	48.5
jelka	30	64.7
rdeči bor	5	42.2
smreka	36	52.2
zeleni bor	5	61.2

Preglednica 3: Pregled posekanih dreves, vključenih v analizo relevantnih lastnosti

Rastišče	Drevesna vrsta	Število posekanih dreves
Boč	bukev	5
Bohor	bukev	5
	jelka	5
	smreka	5
Brežice	zeleni bor	5
Hrušica	javor	5
	jelka	5
	smreka	5
Javorniki	jelka	5
	smreka	1
Jelovica	bukev	5
	jelka	5
	smreka	5
Ljubelj	smreka	6
	jelka	3
	bukev	3
	javor	3
	breza	3
Mačkovec	jelka	5
Menina	bukev	5
	smreka	5
Pišece	bukev	5
	javor	5
Pohorje	smreka	5
Pokljuka	smreka	10
Ravnik	jelka	5
Zalog	rdeči bor	5
Švica	smreka	3
	smreka	3



Slika 7: Sečnja hlodovine



Slika 8: Žaganje hlodičev na deske



Slika 9: Sušenje žaganic pred pripravo laboratorijskih vzorcev

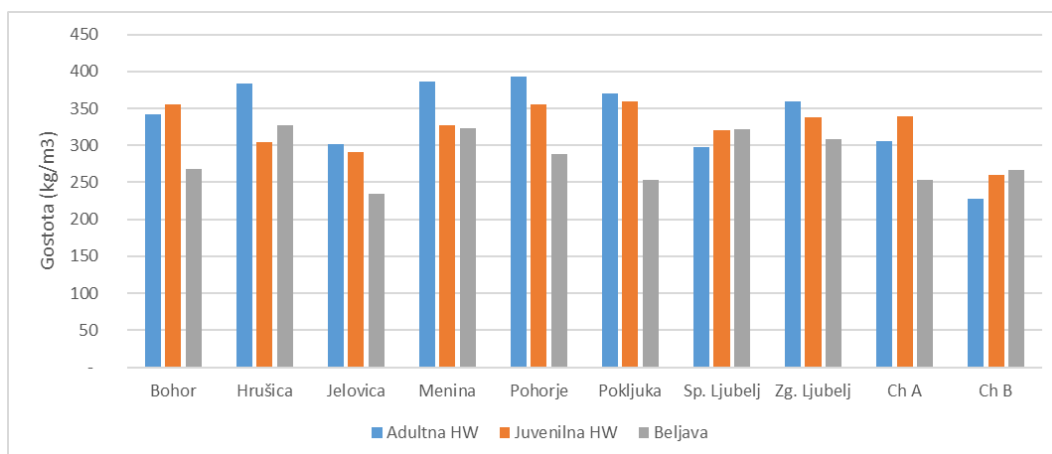


Slika 10: Razžagani vzorci pripravljeni na nadaljnjo analizo

GOSTOTA LESA

Gostota lesa je ključni indikator, ki nakazuje na številne relevantne lastnosti lesa. Pri isti lesni vrsti je ta indikator še pomembnejši. Smreka, ki raste počasneje ima višjo gostoto in boljše mehanske lastnosti. Na sliki spodaj je prikazana razporeditev gostote v odvisnosti od rastišča in analiziranega tkiva. V povprečju smo najnižjo gostoto določili pri beljavi (285 kg/m³), najvišjo pa pri adultni jedrovini (337 kg/m³). Deloma je gostota beljave nižja od gostote jedrovine zaradi odsotnosti ekstraktivnih snovi v beljavi. Vendar je delež ekstraktivov pri smrekovini nizek, zato razlike v gostoti ne moremo pripisati le deležu ekstraktivov. Ta podatek nakazuje, da je les v zadnjih letih priraščal bistveno hitreje. To je verjetno posledica podnebnih sprememb. Gostota beljave je tako za 15% nižja od gostote adultne jedrovine.

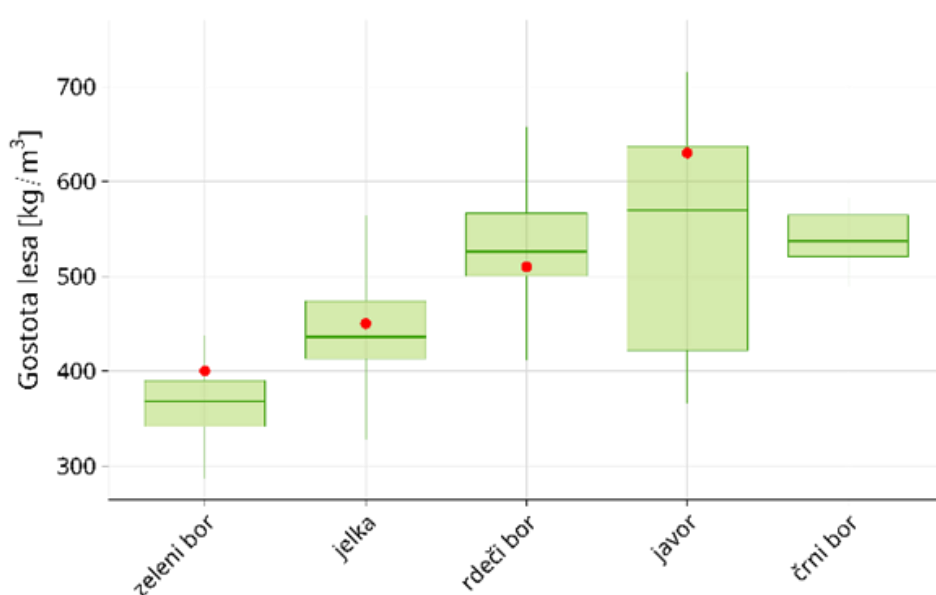
Med testiranimi lokacijami, smo najvišjo lokacijo določili pri smrekovini iz Menine in Pohorja (346 kg/m³). To sta relativno visoki lokaciji. Zanimivo je, da smo najnižjo gostoto določili pri lesu iz Švice (251 kg/m³). V zaključku projekta bomo skušali analizirati vzroke za razlike v gostoti in odpornosti.



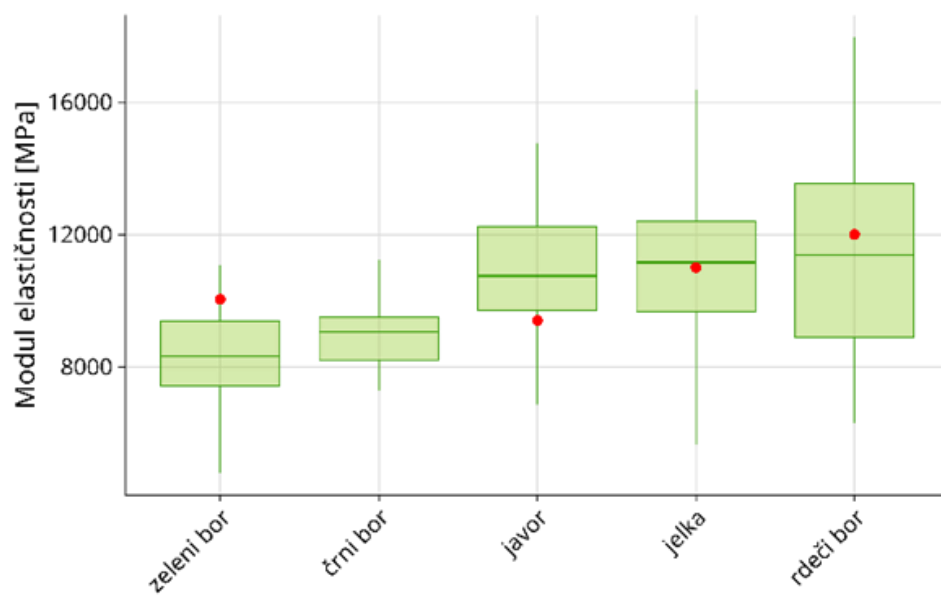
Slika 11: Gostota smrekovine v odvisnosti od rastišča

DS 2.1 Mehanske lastnosti

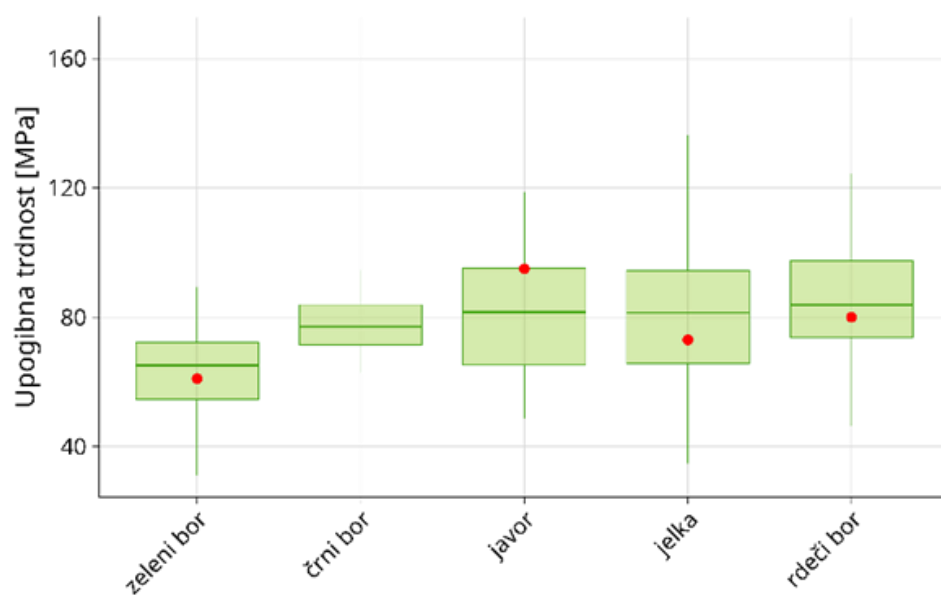
Meritve fizikalnih in mehanskih lastnosti majhnih čistih preizkušancev izbranih drevesnih vrst so prikazane na spodnjih slikah. Skupno smo lastnosti izmerili na 1500+ majhnih čistih preizkušancev. Preizkušanci so bili pripravljeni iz zračno suhih desk, le-te pa so bile nažagane iz kolotov individualnih dreves. Zeleni pravokotniki prikazujejo izmerjene lastnosti slovenskega lesa, z rdečo piko na grafih pa je označena referenčna povprečna vrednost iz evropske enciklopedije lastnosti lesa (Wagenführ in Wagenführ, 2022). Čeprav izmerjene lastnosti lesa slovenskih dreves po vrednostih v grobem ne odstopajo od referenčnih, so razlike še vedno prisotne. Pri določenih vrstah (npr. javor) je les domačega izvora izrazito boljši od evropskega povprečja. Takšna in podobna odstopanja se bodo v prihodnosti zaradi podnebne segrevanja verjetno le še stopnjevala. Tako so raziskave domače surovine ključnega pomena za srednjeročno prihodnost, če želimo les kot material najbolj optimalno izkoristiti.



Slika 12: Gostota zračno suhega lesa izmerjenih majhnih čistih preizkušancev



Slika 13: Modul elastičnosti izmerjenih majhnih čistih preizkušancev



Slika 14: Upogibna trdnost izmerjenih majhnih čistih preizkušancev

DS 2.2 Odpornost – določanje relativne življenjske dobe lesu iz slovenskih gozdov

Za napovedovanje ali oceno življenjske dobe se uporabljajo različni matematični modeli. Glede na sistem, ki bi ga radi analizirali, se lahko tip in struktura najustrežnejšega modela močno razlikujeta. Če vzamemo za primer inženirske modele, ti pogosto delujejo z mejnimi stanji (ang. Limit state design - LSD). Vendar je koncept mejnih stanj velikokrat v nasprotju z biološkimi pristopi, ki so namenjeni prikazovanju celotnega procesa razgradnje, od prvih, komaj vidnih stopenj, do konca življenjske dobe. Zaradi tega je bil razvit pristop, s katerim lahko ocenimo tveganje za biološki razkroj lesa po določenem času izpostavitve, imenovan funkcija odmerka-odziv, pri čemer je odziv (razkroj) odvisen od odmerka (vsota okoljskih dejavnikov) (ang. Dose-response functions) (Brischke & Thelandersson, 2014). Odmerek je funkcija, ki je odvisna od dnevne vlažnosti in temperature lesa, pri čemer je stopnja razkroja ovrednotena s standardom EN 252 (2012).

Trenutno najpogosteje uporabljena metoda za določanja življenjske dobe lesa in lesenih komponent je metoda faktorjev v skladu s standardom ISO 15686-1 (2011). Osnova metode so izhodiščna življenjska doba (običajno je to pričakovana življenjska doba v točno določenih pogojih uporabe) in modifikacijski faktorji, ki se navezujejo na specifične primere. Gre za kombinacijo odmerkov različnih dejavnikov (posrednih in neposrednih), ki jih lahko kvantificiramo. Faktorji, manjši od 1, zmanjšajo ocenjeno življenjsko dobo, faktorji, večji od 1, pa jo povečajo. Enačba, ki se uporablja za ocenjevanje življenjske dobe po metodi faktorjev, je:

$$ESL = RSL \times (A \times B \times C \times D \times E \times F \times G) \quad \dots (1)$$

ESL – ocenjena življenjska doba komponente (ang. Estimated service life),

RSL – izhodiščna življenjska doba komponente (ang. Reference service life),

A – faktor kakovosti komponente (naravna odpornost, modifikacija in zaščita z biocidi),

B – faktor nivoja projektiranja (konstrukcijska zaščita, napušč),

C – faktor kvalitete izvajanja del (spoji),

D – faktor notranjega okolja (mikro okolje; temperatura, zračna vlažnost, kondenzacija),

E – faktor zunanjega okolja (makro okolje; klima, dež, senca),

F – faktor pogojev uporabe (obraba, mehanski vplivi) in

G – faktor nivoja vzdrževanja (obnova premazov)

(ISO 15686, 2000; Brischke, 2006; Brischke & Thelandersson, 2014).

Slabost opisane metode je njen multiplikativni karakter, ki lahko vodi do večjih napak. Faktorji, ki jih vključuje ta pristop, morajo biti določeni zelo natančno in ne zgolj ocenjeni. Iz tega razloga je prišlo do preoblikovanja enačbe (Brischke et al., 2006) v kateri lahko različnim faktorjem vnesemo različno težo:

$$ESL = f(RSL, A, B, C, D, E, F, G) \quad \dots (2)$$

Koncept za napoved življenjske dobe lesa temelji na razvrstitvi faktorjev, ki vplivajo na razkrojne procese lesa. Razlikujemo med direktnimi in indirektnimi faktorji. Direktni faktorji imajo neposreden učinek na življenjsko dobo lesa, indirektni faktorji posredno vplivajo na direktne. Če vzamemo za primer lesno vlažnost, ima ta direkten vpliv na življenjsko dobo lesa, medtem ko ima napušč pri strehi indirektnen vpliv (zmanjša vlažnost lesa) (Brischke et al., 2006). Med direktne vplive uvrščamo tudi vsebnost biološko aktivnih ekstraktivov v lesu. V preteklosti je veljalo, da imajo ti prevladujoč vpliv na naravno odpornost in s tem na življenjsko dobo lesa. Vendar so natančnejša opazovanja pokazala, da na življenjsko dobo poleg biološko aktivnih ekstraktivov vplivajo še drugi dejavniki, ki imajo značilen vpliv na dinamiko vlaženja lesa in s tem na življenjsko dobo lesa, zato jih je smiselno upoštevati pri načrtovanju konstrukcij. Zato so metodo faktorjev še naprej preoblikovali in nastal je nov zapis, ki določa, da je sprejemljivost materiala ali komponente določena z naslednjim pogojem:

$$\text{Izpostavljenost } (D_{Ed}) \leq \text{Odpornost materiala } (D_{Rd}) \quad \dots (3)$$

Znotraj pogoja izpostavljenosti (D_{Ed}) lahko upoštevamo faktorje, ki so zapisani v enačbi 1 in jih predstavljajo črke od A do G. Odpornost materiala je produkt kritične meje D_{crit} in dveh modifikacijskih faktorjev. Prvi je faktor, ki označuje odpornost lesa proti navlaževanju (k_{wa}), drugi pa odpornost lesa proti biološkim škodljivcem (k_{inh}). Isaksson et al., (2013) so zapisali enačbo:

$$D_{Rd} = D_{crit} \times k_{wa} \times k_{inh} [d] \quad \dots (4)$$

D_{crit} = kritična meja, ki ustreza razkroju stopnje 1 (EN 252, 2012) [dni]

k_{wa} = faktor, ki označuje odpornost proti navlaževanju materiala

k_{inh} = faktor, ki označuje odpornost materiala proti biološkemu razkroju

D_{crit} so med prvimi določali Isaksson et al. (2013) za beljavo bora in jedrovino duglazije. Ugotovili so, da je kritična meja za obe vrsti okoli 325 dni z ugodnimi pogoji za glivni razkroj. Faktor odpornosti lesa proti navlaževanju (k_{wa}) je mogoče določiti s kratkotrajno in dolgotrajno izpostavljenostjo lesa vodi, kot tudi z določanjem sorpcijskih lastnosti materialov in kapilarnega navzema vode. Iz podatkov, pridobljenih s testi za določanje biološke odpornosti v skladu s standardom EN 113 (2006) in EN 252 (2012), je mogoče izračunati faktor odpornosti materiala proti biološkemu razkroju (k_{inh}). Vrednosti teh dveh faktorjev so omejene na 5. Iz navedenih faktorjev in kritične meje lahko določimo odpornost materiala. Pri teh testih se praviloma za referenčni material uporablja smrekovina (*Picea abies*) (Brischke et al., 2015). Metodologija je bila že v veliki meri preizkušana in verificirana. Model Meyer-Veltrup je tako prvi in edini model, namenjen določanju življenjske dobe lesa na prostem, vendar ne za les v stiku z zemljo (Meyer-Veltrup et al., 2017).

Izoliranim lesnim vrstam smo določali relativno življenjsko dobo. Povprečna relativna življenjska doba znaša 1. To je obdobje, ko pri uporabi na prostem pride do prvih znakov trohnobe. V našem podnebnem pasu, se prvi znaki razkroja na smrekovini pojavijo po 325 dneh z ugodno mikroklimo (vlažnost lesa nad 25%, temperatura med 4° in 40°C). To v Ljubljani pomeni, da se razkroj pojavi po enem do dveh letih izpostavitve v tretjem razredu uporabe.

Relativno življenjsko dobo smo določali posebej za:

- Adultno jedrovino
- Juvenilno jedrovino
- Beljavo

V ta namen smo uporabili več laboratorijskih testov.

MATERIALI IN METODE

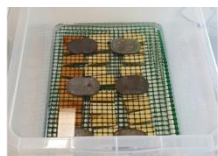
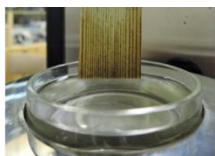
Vzorci dimenzij 1,5 cm × 2,5 cm × 5 cm smo izdelali iz bukovine (*Fagus sylvatica*), jedrovine kostanja (*Castanea sativa*) in hrasta (*Quercus* sp.) ter neodpornega lesa topola (*Populus* sp.). Za primerjavo smo uporabili še smrekovino (*Picea abies*).

Hranilna gojišča za glive smo pripravili v steklenih kozarcih s pokrovčkom z volumnom 350 mL. Kot hranilni medij smo uporabili krompirjev glukozni agar (PDA- DIFCO). V vsak kozarec smo vlili po 50 mL hranilnega gojišča, jih zaprli in avtoklavirali (45 min; 120 °C; 1,5 bar). V avtoklav smo vstavili še mrežice iz umetne mase, ki so v nadaljevanju služile za oporo vzorcem na hranilnem gojišču in preprečevale navlaževanje lesa. Ko so se kozarci ohladili, smo hranilno gojišče inokulirali z izbranimi vrstami gliv. Nato smo kozarce postavili v klimatizirano komoro s konstantno temperaturo 25 °C in vlažnostjo zraka 85 %. Vzorci smo sterilizirali v avtoklavu (45 min; 120 °C; 1,5 bar), nakar smo jih v sterilnih pogojih vstavili v kozarce in jih nato za 16 tednov izpostavili štirim različnim glivam razkrojevalkam lesa, kot zahteva standard EN 113 (2006) in sicer: *Antrodia vaillantii*, *Gloeophyllum trabeum*, *Pleurotus ostreatus* in *Trametes versicolor*. Po izpostavitvi glivam smo vzorce očistili, posušili v sušilniku (103±2 °C) in jim izračunali spremembo mase. Glivam smo izpostavili po pet vzporednih vzorcev.

Odpornost lesa proti navlaževanju lesa smo določali z več metodami, kapilarnim navzemom in dolgotrajnim navzemanjem vode ter uravnovešanjem v komori s 100 % vlažnostjo zraka. Kapilarni navzem vode smo določili s tenziometrom znamke Krüss 100, kot to opisuje standard EN 1609 (1997). Prečno (aksialno) površino vzorcev smo za 200 s potopili v destilirano vodo in vsaki 2 s izmerili maso; globina potopljenosti čela je bila 1,0 mm. Glede na končno maso potopljenega vzorca in površino potopljenega čela smo navzem vode izrazili v gramih na kvadratni meter (g/m²).

Dolgotrajno navzemanje vode smo ugotavljali z modificirano standardno laboratorijsko metodo o izpiranju aktivnih učinkovin iz lesa, EN 1250-2 (1994). V tem prispevku poročamo le o vlažnosti vzorcev, ki smo jo določili po 1 h in 24 h namakanja. Del vzorcev smo namestili v komoro s 100 % vlažnostjo lesa in jim določili maso po 24 urah in 3 tednih uravnovešanja. Vse teste, kjer smo osvetlili interakcije med vodo in lesom, smo opravili na desetih vzporednih vzorcih.

V primeru, da so vrednosti relativne življenjske dobe višje od 1 je življenjska doba daljša od referenčne smrekovine, v primeru da je vrednost nižja pa slabša.



Odpornost na navlaževanje (k_{wa})

Kapilarno
navzemanje
vode
(tenziometer)

Nazem
kapilarne vode
(potapljanje)

Absorpcija
vodne pare
(RH = 100%)

Sušenje
(RH = 0%)

Mehka trohn.

Bela trohnoba

Rjava trohnoba

Odpornost na glivni razkroj (k_{inh})



Slika 15: Shematski prikaz testov za določane relativne življenjske dobe

REZULTATI DOLOČANJE NARAVNE ODPORNOSTI

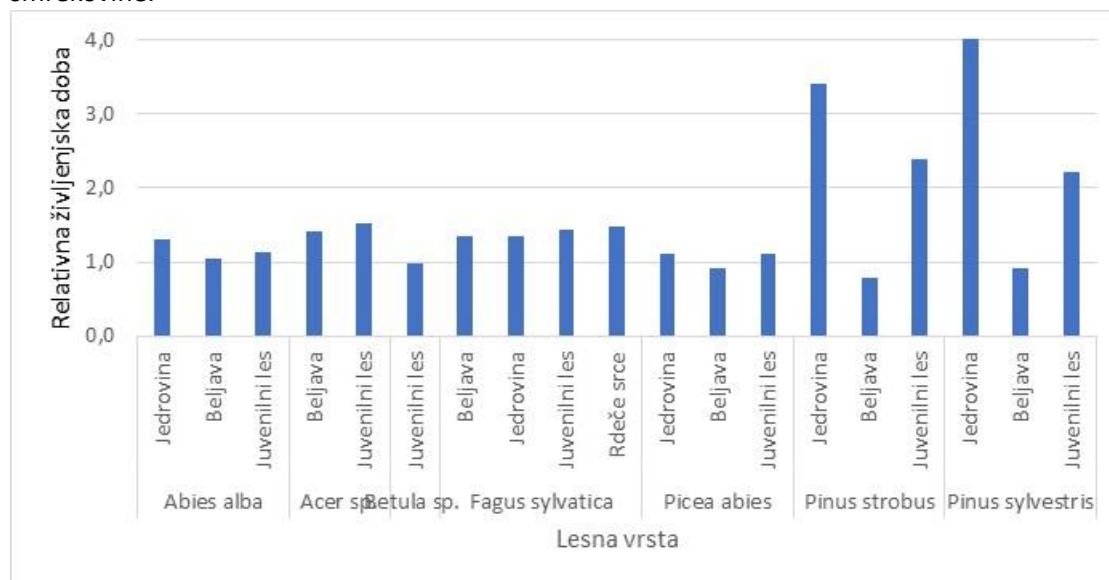
V Spodnji preglednici so prikazani podrobni rezultati naravne odpornosti izbranih lesnih vrst. Pri tem testu so se osredotočili predvsem na lesne vrste, ki so pogoste v Slovenskih gozdovih (smreka, bukev, jelka) in lesne vrste, ki izkazujejo velik potencial, da bo v luči podnebnih sprememb njihov delež narasel (breza, javor, rdeči in zeleni bor). V preglednici so prikazani podatki o gostoti, in dejavnikih, ki vplivajo

Preglednica 4: Izračun relativne življenjske dobe lesa, gostota in pripadajoči faktorji

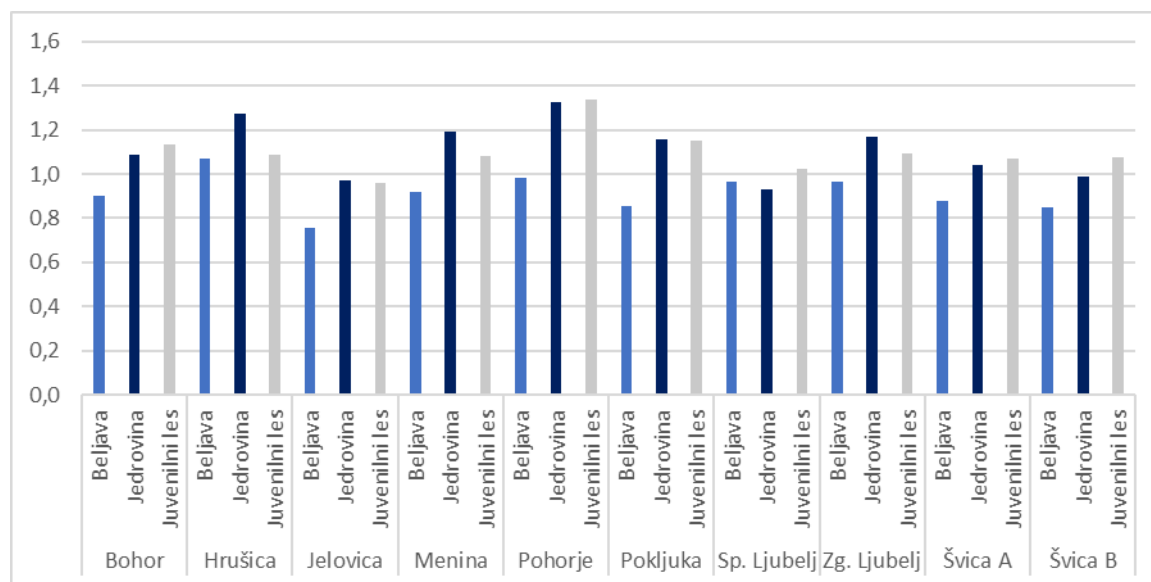
Drevesna vrsta	Del debla	Rastišče	Gostota	Kwa	Kinh	Drd	Povprečje lesna vrsta
<i>Abies alba</i>	Jedrovina	Bohor	405	0,9	1,5	1,4	1,3
		Javorniki	376	1,0	1,4	1,4	
		Jelovica	377	0,8	1,1	0,9	
		Mačkovec	375	0,9	1,5	1,4	
		Ravnik Sp.	370	0,9	1,6	1,4	
		Ljubelj	424	0,9	1,4	1,3	
	Beljava	Bohor	420	0,8	1,4	1,2	1,0
		Javorniki	356	0,8	1,3	1,0	
		Jelovica	389	0,7	1,2	0,8	
		Mačkovec	398	0,7	1,4	1,0	
		Ravnik Sp.	384	0,8	1,4	1,1	
		Ljubelj	419	0,8	1,4	1,1	
	Juvenilni les	Bohor	385	0,9	1,4	1,2	1,1
		Javorniki	358	0,9	1,3	1,2	
		Jelovica	362	0,9	1,1	0,9	
		Mačkovec	344	0,9	1,2	1,0	
		Ravnik Sp.	378	0,9	1,5	1,3	
		Ljubelj	418	0,9	1,3	1,2	
<i>Acer sp.</i>	Beljava	Hrušica	555	1,0	1,4	1,4	1,4
		Pišce Sp.	558	1,1	1,4	1,6	
		Ljubelj	553	1,1	1,1	1,2	
	Juvenilni les	Hrušica	551	1,1	1,5	1,6	1,5
		Pišce Sp.	546	1,1	1,5	1,7	
		Ljubelj	560	1,2	1,1	1,3	
<i>Betula sp.</i>	Juvenilni les	Sp. Ljubelj	617	1,1	0,9	1,0	1,0
		Zg. Ljubelj	586	1,0	1,0	1,0	
<i>Fagus sylvatica</i>	Beljava	Boč	635	1,2	1,2	1,5	1,3
		Bohor	606	1,2	1,2	1,5	
		Menina	598	1,4	0,9	1,3	
		Pišce Sp.	621	1,1	1,2	1,3	
		Ljubelj	656	1,1	1,2	1,3	
		Zg. Ljubelj	584	0,9	1,2	1,1	
		Jelovica	589				
		Menina	588				
	Jedrovina	Boč	690	1,2	1,1	1,3	1,3
		Menina	602	1,1	1,1	1,2	
	Juvenilni les	Boč	681	1,3	1,3	1,6	1,4
		Bohor	621				
		Menina	589	1,4	1,4	1,9	

		Pišece	651	1,2	1,1	1,4	
		Sp.					
		Ljubelj	666	1,0	1,1	1,1	
		Zg. Ljubelj	577	1,1	1,0	1,1	
	Rdeče srce	Boč	642	1,3	1,2	1,7	1,5
		Bohor	612	1,2	1,2	1,5	
		Jelovica	603				
		Menina	606				
		Pišece	624	1,2	1,1	1,4	
		Zg. Ljubelj	616	1,1	1,3	1,4	
<i>Picea abies</i>	Jedrovina	Bohor	409	1,0	1,0	1,1	1,1
		Hrušica	389	1,0	1,3	1,3	
		Jelovica	382	1,0	1,0	1,0	
		Menina	416	1,1	1,1	1,2	
		Pohorje	416	1,3	1,0	1,3	
		Pokljuka	399	1,1	1,0	1,2	
		Sp.					
		Ljubelj	386	0,9	1,0	0,9	
		Zg. Ljubelj	411	1,1	1,1	1,2	
		Švica A	385	1,0	1,0	1,0	
		Švica B	361	1,0	1,0	1,0	
	Beljava	Bohor	427	0,8	1,1	0,9	0,9
		Hrušica	402	0,8	1,3	1,1	
		Jelovica	404	0,7	1,0	0,8	
		Menina	447	0,9	1,0	0,9	
		Pohorje	429	0,9	1,1	1,0	
		Pokljuka	398	0,8	1,0	0,9	
		Sp.					
		Ljubelj	428	0,9	1,0	1,0	
		Zg. Ljubelj	419	0,9	1,1	1,0	
		Švica A	389	0,9	1,0	0,9	
		Švica B	383	0,9	0,9	0,9	
	Juvenilni les	Bohor	401	1,1	1,0	1,1	1,1
		Hrušica	353	1,0	1,1	1,1	
		Jelovica	360	1,1	0,9	1,0	
		Menina	352	1,2	0,9	1,1	
		Pohorje	381	1,4	1,0	1,3	
		Pokljuka	386	1,2	1,0	1,2	
		Sp.					
		Ljubelj	390	1,0	1,1	1,0	
		Zg. Ljubelj	387	1,0	1,1	1,1	
		Švica A	378	1,1	1,0	1,1	
		Švica B	366	1,1	0,9	1,1	
<i>Pinus strobus</i>	Jedrovina	Brežice	328	1,0	3,4	3,4	2,2
	Beljava	Brežice	339	0,7	1,1	0,8	
	Juvenilni l.	Brežice	278	1,0	2,4	2,4	
<i>Pinus sylvestris</i>	Jedrovina	Zalog	481	1,4	2,9	4,0	2,4
	Beljava	Zalog	447	0,8	1,1	0,9	
	Juvenilni l.	Zalog	453	1,4	1,6	2,2	

Relativna življenjska doba preučevanih lesnih vrst je prikazana na spodnji sliki. V raziskavo so bile vključene večinoma slabše odporne lesne vrste, ki predstavljajo večino lesne zaloge. Referenčna lesna vrsta je smrekovina, ki ima po definiciji relativno življenjsko dobo 1. To pomeni, da bo razkroj pri tem lesu nastopil, po približno 150 vlažnih dneh, kar v Ljubljani predstavlja časovno okno dolgo leto in pol. Med preučevanimi lesnimi vrstami je imela najvišjo odpornost jedrovina borov (zeleni in rdeči). Pričakovana življenjska doba, teh borov je približno tri krat daljša, kot življenjska doba smrekovine. Pričakovana življenjska doba juvenilnega lesa borov je krajša, od življenjske dobe adultnega lesa. Ocejnena življenjska doba bukve, javorjev, in jelke je za približno 20 do 40 % daljša, od življenjske dobe smrekovine.



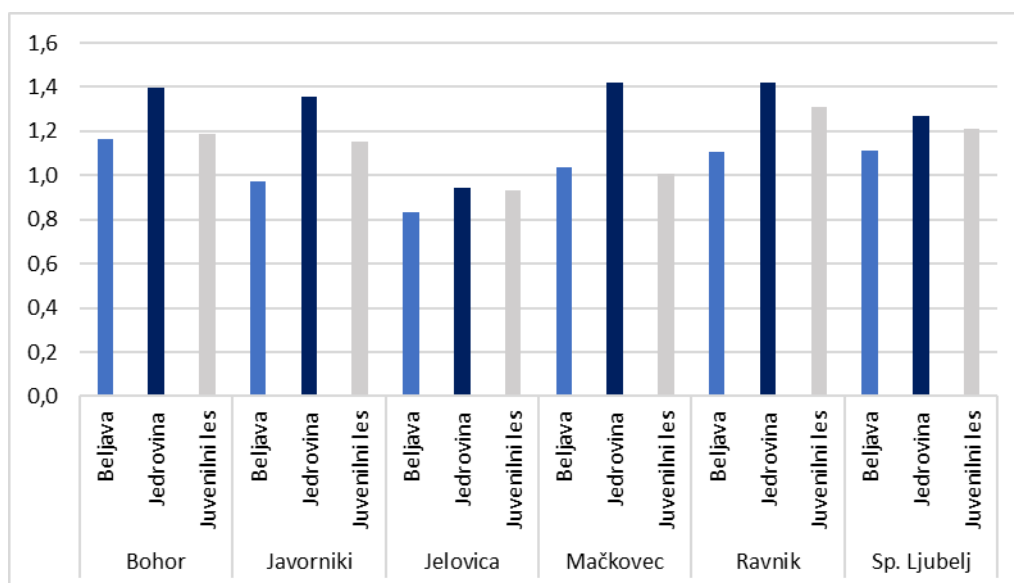
Slika 16: Povprečna relativna življenjska doba preučevanih lesnih vrst



Slika 17: Relativna življenjska doba smrekovine iz različnih slovenskih rastišč in Švice

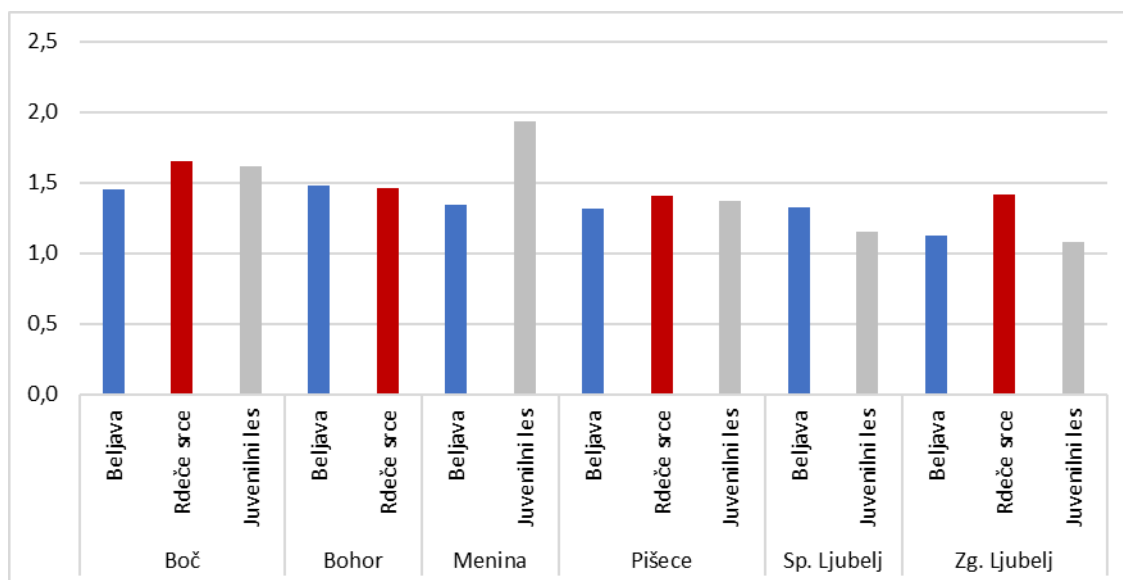
V povprečju med analiziranimi tkivi smreke ni veliko razlik. Med beljavo in adultno jedrovino ni veliko razlik. Po drugi strani pa smo za 10% slabšo odpornost določili pri juvenilni jedrovini. Najboljše lastnosti smo določili pri smrekovini iz Hrušice, Pohorja ter zgornjega Ljubelja. Les iz Hrušice in Pohorja ima za 30 odstotnih točk daljšo pričakovano življenjsko dobo, kot referenčna smrekovina. Med Slovenskimi lokacijami se je najslabše obnesla smrekovina iz Jelovice in spodnjega Ljubelja, ki ima za 5% slabšo

življenjsko dobo kot referenčna smrekovina. Smrekovina iz Slovenije, se je izkazala za odpornejšo, kot smrekovina iz Švice.



Slika 18: Relativna življenjska doba jelovine iz različnih slovenskih rastišč

Pri jelovini smo opazili večje razlike, kot pri smrekovini. Najmanj odporna jelovina uspeva na Jelovici, najbolj odporna pa na Mačkovcu, Bohorju in Ravniku.



Slika 19: Relativna življenjska doba bukovine iz različnih slovenskih rastišč

Večina bukovega lesa je bila rahlo odpornejša od lesa iglavcev. To je posledica dejstva, da so bili za izračun faktorjev uporabljeni le podatki o izgubi mase zaradi delovanja gliv rjave trohnobe.

SKLEPI

Les s slovenskih rastišč ni homogen. Med naravno odpornostjo – pričakovano življenjsko dobo, je opaziti razlike. Razlike med najbolj odpornim in najbolj ne odpornim lesom so lahko tudi 50 %. To pomeni da je življenjska doba nezaščitene lesene konstrukcije na prostem, ki je izdelana iz lesa iz slabših rastišč 4 leta, v primeru da izberemo odpornejši les, ki je zrasel na optimalnih rastiših pa 10 let.

DS 2.3 Vpliv podnebja na dinamiko razkroja lesa (življenjsko dobo lesa)

Les na prostem je izpostavljen delovanju delovanju raznolikemu spektru biotskih in abiotskih dejavnikov. V naravi so ti procesi zaželeni, kadar pa les uporabljamo v gospodarske namene, želimo te procese čim bolj upočasniti. V našem klimatskem okolju les najbolj ogrožajo glive. Intenziteta glivnega razkroja na prostem je v največji meri odvisna od vlažnosti lesa in temperature. Temperaturo in vlažnost lesa lahko skupaj opišemo kot klimo v materialu (ang. material climate).

Klima v materialu je v največji meri odvisna od klimatskih pogojev, v največji meri od temperature in padavinskih dogodkov. Če je klima v materialu ugodnejša, razkroj poteka hitreje. Že dlje časa je znano, da razkroj lesa v različnih klimatskih okoljih poteka različno hitro. Les v Sloveniji propade veliko hitreje, kot v Skandinaviji. Podnebni parametri so zato pomembne vhodne spremenljivke za modeliranje glivnega razkroja lesa, modeliranje življenjske dobe in kartiranje ogroženosti lesa. Pionirsko delo na področju kartiranja ogroženosti lesa zaradi glivnega razkroja je v zgodnjih sedemdesetih letih izvedel Theodore Scheffer. Scheffer je predlagal klimatski indeks za povezavo podnebnih podatkov s potencialnim glivnim razkrojem na določenem območju. Potencial nevarnosti za različne podnebne razmere v ZDA je bil ocenjen z empirično določeno intenzivnostjo razkroja lesa na terenskih testih. Višji kot je indeks SCI, večja je nevarnost razkroja lesa. Vrednosti indeksa SCI se v kontinentalnem delu ZDA gibajo med 0,0 (Yuma, Arizona) in 137,5 (West Palm Beach, Florida). Kasneje so ta pristop posvojile še druge države, kot so Kanada, Koreja, Kitajska, Japonska, Avstralija, Norveška, Španija, Grčija.

Preglednica 5: Seznam klimatoloških postaj, kjer je bila izvedena analiza

Klimatološka postaja	Obdobje meritev	Nadmorska višina
Bilje	Nova Gorica (1970 – 1990)	93
	Bilje (1991 – 2020)	55
Bohinjska češnjica	Stara Fužina (1970 – 2002)	548
	Bohinjska Češnjica (2002 – 2020)	507
Ljubljana	Ljubljana (1948 – 2020)	299
Maribor	Maribor Tezno (1949 – 1962)	262
	Maribor Tabor (1962 – 2004)	275
	Letališče Maribor (2005 – 2020)	267
Murska sobota	Murska Sobota (1953 – 1955)	189
	Rakičan (1956 – 2020)	186
Novo mesto	Kandija (1952 – 1960)	220
	Gotna vas (1961 – 1972)	183
	Novo mesto (1973 – 2020)	220
Portorož	Koper (1954 – 1974)	54
	Beli Križ (1975 – 1990)	93
	Portorož (1991 – 2020)	2
Rateče	Rateče (1951 – 2020)	863
Tolmin	Most na Soči (1949 - 1959)	179
	Tolmin (1953 – 1990)	201

Analiza ogroženosti lesa v odvisnosti od klimatskih pogojev v Sloveniji še ni bila opravljena. Vrednotenje ogroženosti lesa ima danes še večji pomen, kot v preteklosti predvsem zaradi naraščajočega pomena lesene gradnje, omejitve rabe biocidov v EU in naraščajočega pomena rabe domačih lesnih vrst in klimatskih sprememb. Podnebne spremembe so že tu, meritve kažejo na trend dvigovanja temperature zraka. Nenazadnje sodi zadnjih deset let med najtoplejša leta v času opazovanja vremena v Sloveniji. Poleg tega smo vedno pogosteje priča tudi vedno intenzivnejšim ekstremnim vremenskim dogodkom, od žleda, do viharjev, toče Vpliv klimatskih sprememb na rabo lesa bo razviden na več nivojih. Klimatske spremembe bodo vplivale na kakovost in razpoložljivost lesa. Pojavile se bodo nove lesne vrste, ki jih še ne poznamo. Namen tega sklopa razikav je izračunati Schefferjev klimatski indeks za izbrane Slovenske kraje in prikazati, kako se je SCI indeks spreminjal v zadnjih desetletjih.

Analiza je bila opravljena na izbranih lokacijah v Sloveniji, kjer se izvajajo dolgoletne meteorološke meritve v okviru mreže državnih klimatoloških postaj. Ker so se nekatere merilne postaje z leti nekoliko prestavljale, smo postaje na ključnih lokacijah smiselno združevali (Preglednica 5).

Podatke o povprečnem številu padavinskih dni in povprečni mesečni temperaturi, smo pridobili iz arhiva Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2020). Schefferjev klimatski indeks (SCI) je bil določen v skladu z naslednjo enačbo:

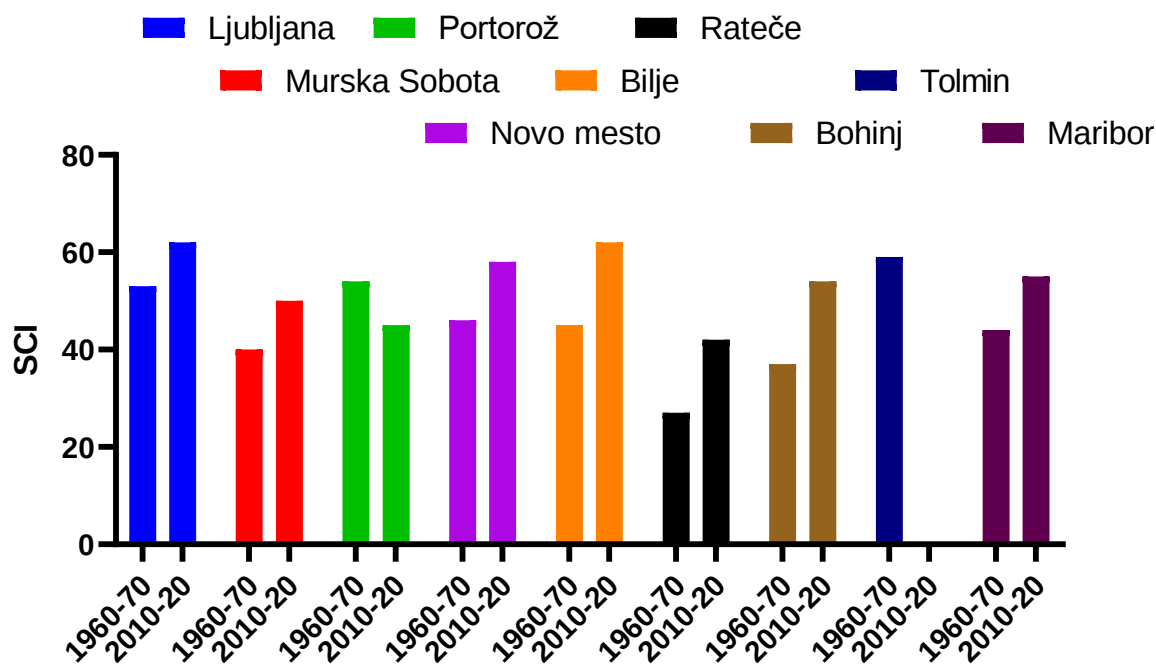
$$SCI = \sum_{Jan}^{Dec} \left[\frac{(T-2)(D-3)}{16,7} \right] \quad [1]$$

T - povprečna mesečna temperatura

D – Število dni, ko dnevna količina padavin preseže 0,25 mm.

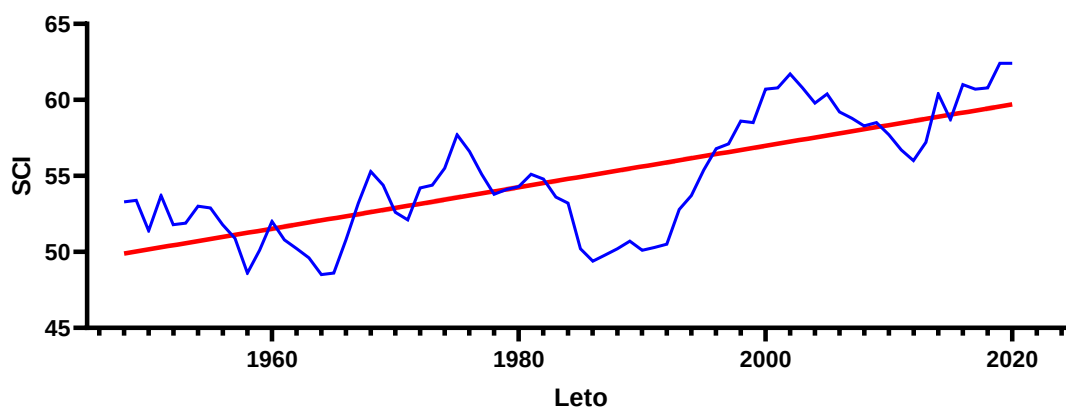
Ker iz arhiva ARSO za celotno obdobje nismo uspeli pridobiti podatkov o številu dni, ko padavine presežejo 0,25 mm, smo Schefferjev klimatski indeks izračunali na podlagi obstoječih podatkov in ga ustrezno korigirali, tako da sovпада z SCI indeksom za referenčno obdobje (1990 -2010). Referenčna vrednost SCI indeksa za Ljubljano znaša 55. SCI indeks smo izračunali za celotno obdobje meritev, kot drseče povprečje desetletnih meritev.

Rezultati kažejo (Slika 1), da je ima največji povprečni Schefferjev klimatski indeks (SCI) v Sloveniji Tolmin. Glavni vzrok za to so zmerne temperature in veliko padavin, ki so razporejene preko celega leta. Najnižji SCI indeks pa smo zabeležili v Ratečah. V tem primeru k nizkemu indeksu prispevajo predvsem nizke zimske temperature.



Slika 20: Sprememba SCI indeksa v izbranih Slovenskih krajih.

Kot je razvidno iz slike 2, se je skoraj v vseh opazovanih mestih klimatski indeks dvignil. K temu v največji meri prispevajo višje temperature. Edina izjema je Portorož, kjer se je ogroženost lesa zaradi vremenskih vplivov zmanjšala. To lahko v največji meri pripišemo spremenjenemu padavinskemu režimu. Po drugi strani smo največjo povečanje ogroženosti lesa zaradi delovanja gliv zabeležili v Ratečah. Glavni vzrok za to povečanje so višje zimske temperature.



Slika 21: Dinamika SCI indeksa v Ljubljani.

V Ljubljani se je ogroženost lesa zaradi spremenjenih klimatskih pogojev povečala za 20%. Klimatski indeks SCI se je iz vrednosti 50 dvignil na 60. To pomeni, da razkroj v Ljubljani poteka za 20% hitreje, kot je potekal pred leti, in da vse zgodovinske izkušnje niso več nujno relevantne. V nadaljevanju bomo ovrednotili še lastnosti lesa in določili kako vplivajo spremenjene lastnosti lesa na življenjsko dobo v spremenjenih klimatskih pogojih.

DS 3: Biorafinerijski potencial izbranih lesnih vrst

Z raziskovalnimi aktivnostmi smo preverili biorafinerijski potencial bele jelke, ki v primerjavi z bukvijo in smreko predstavlja manj uporabno in manj gospodarsko pomembno lesno vrsto, a bi v prihodnje zaradi klimatskih sprememb jelovina lahko pridobila na pomembnosti kot surovina v lesno predelovalni industriji v EU.

Ekstrakcija polifenolov iz lesa in skorje bele jelke

V raziskavo smo vključili adultna drevesa bele jelke (*Abies alba* Mill.). Drevesa smo vzorčili v kočevskih gozdovih v okolici Kočevske Reke (45°34'31.5" N 14°46'27.8" E). Za posek dreves in prevoz materiala na Oddelek za lesarstvo Biotehniške fakultete (BF-OL) so poskrbeli v podjetju Kočevski les d.o.o. V preiskavo smo vključili več dreves, iz vsakega debla smo na različnih višinah/dolžinah vzorčili več debelnih kolotov. Kolote smo natančno pregledali, zabeležili biometrične podatke in ocenili starost kolotov (Slika 1).



Slika 22: Vzorčenje dreves bele jelke (*Abies alba*) v gozdovih Kočevske Reke. Debelne kolote smo natančno preučili, odvzeli biometrične podatke, ocenili smo starost vseh kolotov (foto V. Vek).

Ugotovili smo, da so bile vzorčene jelke v povprečju visoke 32 m in stare okoli 130 let. Sledila je izolacija lesnih tkiv in skorje iz debelnih diskov. To smo storili v mizarski delavnici BF-OL na tračnem žagalnem stroju (Slika 2). Izolirane kose lesa in skorje smo pripravili za ekstrakcijo tako, da smo vzorce najprej razrezali na manjše kose in jih nato zmleli na rezalnem mlinu Retsch SM 2000. Velikost delcev lesa za ekstrakcijo je bila < 1 mm. Vzorce smo nato 24 ur sušili pri - 85° C in 0,045 mbar v liofilizatorju (Telstar LyoQuest CC1930). Ekstrakcijo smo izvedli s sodobnim sistemom za pospešeno ekstrakcijo ASE 350 proizvajalca Thermo Scientific Dionex (Slika 3). Vzorce lesa in skorje smo ekstrahirali z različno polarnimi organskimi topili oziroma vodnimi raztopinami le-teh (cikloheksan, etanol/voda, metanol/voda, aceton/voda) ter vodo. Ekstrakcija je potekala v subkritičnih pogojih v inertni atmosferi pri povišani temperaturi in nadtlaku. Sistem po končani ekstrakciji vzorce tudi filtrira skozi železno frito in celulozni filter papir, s čemer pridobimo ekstrakt, ki je dejansko že pripravljen za kemijske analize. Poglobljene preliminarne kemijske analize so pokazale, da lahko z opisano ekstrakcijsko metodo polifenole iz jelovine in jelove skorje hitro in učinkovito pridobimo z uporabo cikloheksana, vodnega acetona ter vode. Vse ekstrakte lesa in skorje bele jelke smo do pričetka kemijskih analiz hranili v temnem in hladnem prostoru ($T = 4^{\circ}\text{C}$, $- 25^{\circ}\text{C}$).



Slika 23: Vzorčne kolote debla bele jelke (*Abies alba* Mill.) smo grobo razžagali s tračnim žagalnim strojem v delavnici Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete. Iz jelovih kolotov smo izolirali več vzorcev lesa in skorje (foto V. Vek).

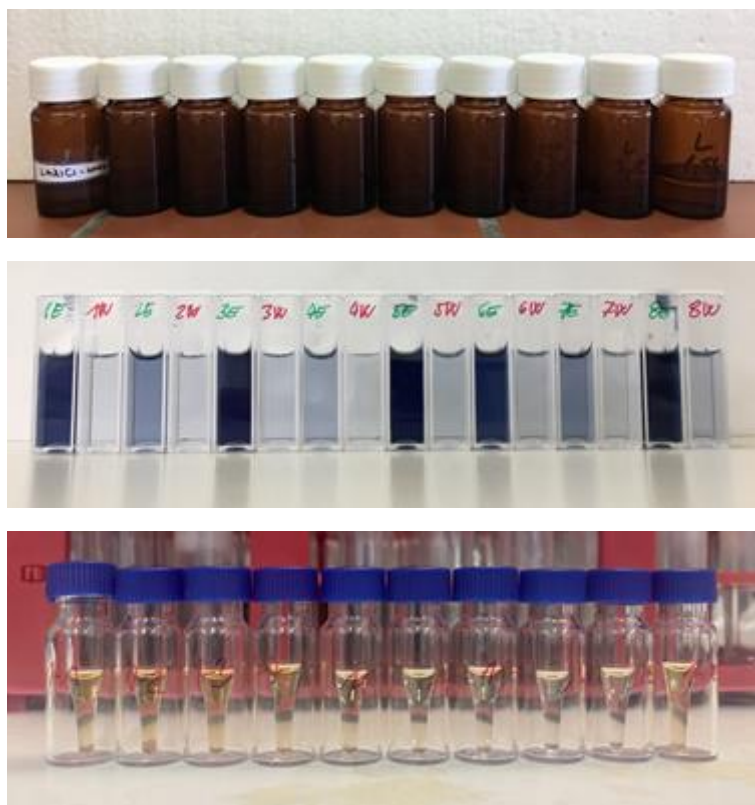


Slika 24: Ekstrakcija lesa in skorje bele jelke (*Abies alba* Mill.) je potekala pri temperaturi nad vreliščem topila in nadtlaku v sistemu za pospešeno ekstrakcijo Thermo Scientific Dionex ASE 350. Vzorci lesa se nahajajo v ekstrakcijskih celicah v pladnju avtomatskega vzorčevalnika (zgornji del sistema). Po ekstrakciji se ekstrakt filtrira v zbiralne steklenice (spodnji del sistema). Vse ekstrakte smo liofilizacijsko posušili ($T = -85^{\circ}\text{C}$, $p < 0,050$ mbar) in ustrezno shranili do pričetka bioloških testiranj (foto V. Vek).

Identifikacija in kvantitativna analiza ekstraktivov

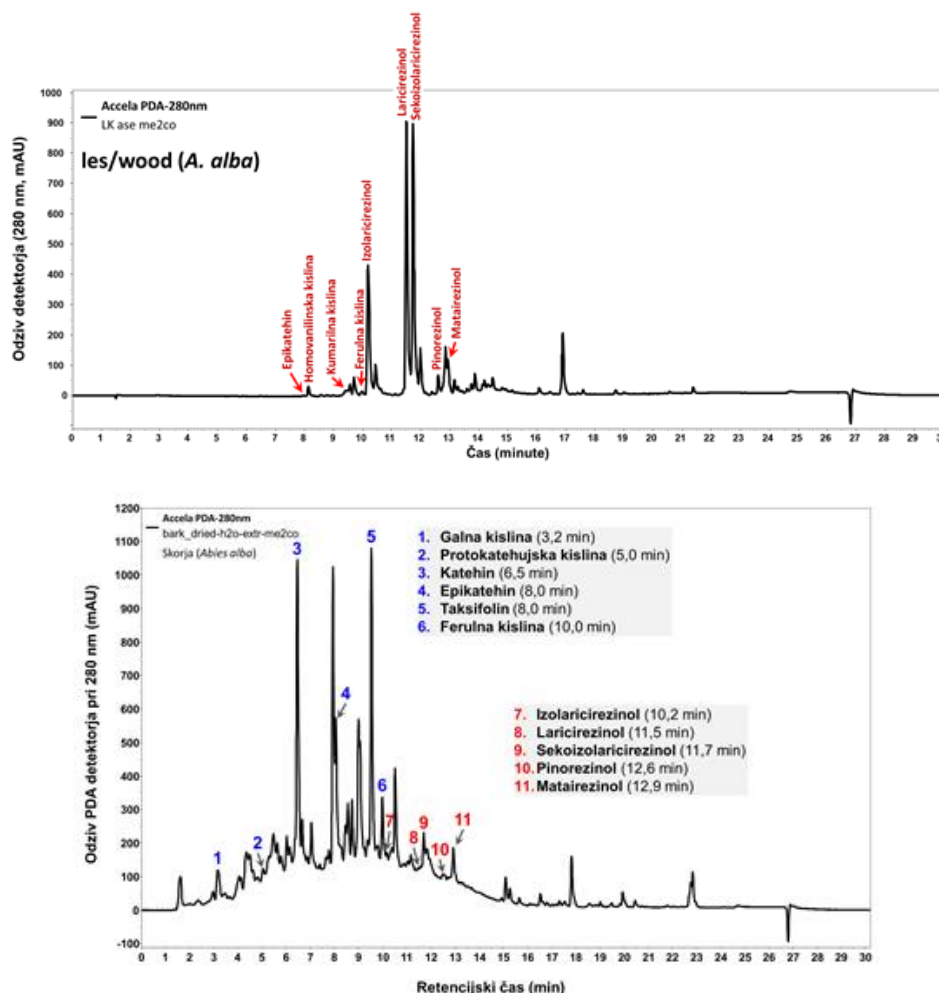
Vse pridobljene ekstrakte lesa in skorje jelke smo ovrednotili gravimetrično, spektrofotometrično in kromatografsko. V prvem koraku smo gravimetrično izmerili delež skupnih ekstraktivov ter vsebnost lipofilnih in hidrofilnih ekstraktivov v lesu debla in vej. Sledila je semi-kvantitativna analiza vsebnosti fenolnih ekstraktivov. Kolorimetrično analizo smo izvedli tako, da smo acetonskim ekstraktom dodali Folin-Cicalteou fenolni reagent in vodno raztopino natrijevega karbonata. Reakcijsko zmes smo

inkubirali 2 uri pri sobnih pogojih. Po inkubaciji smo vzorcem izmerili absorbanco pri 756 nm z UV-Vis spektrofotometrom (Slika 4). Identifikacijo in natančno kvantitativno analizo posameznih spojin, ki so prisotne v ekstraktih bele jelke, smo izvedli kromatografsko. Ekstrakte jelke smo ustrezno redčili in jih prefiltrirali skozi poliamidni filter v temne 20 mL stekleničke. Ekstrakte smo prenesli v 1,5 mL kromatografske vial (Slika 4). Vial smo postavili v avtomatski vzorčevalnik sistema za tekočinsko kromatografijo visoke ločljivosti (HPLC-PDA Accela Thermo Scientific) (Slika 5). Za mobilno fazo smo uporabili vodo (topilo A) in metanol (topilo B), pretok mobilne faze je znašal 1 ml/min, ločba ekstraktivov je potekala na C18 koloni (Accucore, 150 mm, 4.6 i.d.) z 20 minutnim gradientom (od 5% B do 95% B). Identifikacijo ekstraktivov in natančno kvantitativno analizo smo izvedli s pomočjo komercialno dostopnih kromatografskih standardov. Kemijsko identiteto ekstraktivov smo dodatno preverili tudi z masno spektroskopijo (GC-MS). Rezultati raziskovalnih aktivnosti so pokazali, da so grče in skorja v povprečju vsebovali značilno višje vsebnosti hidrofilnih ekstraktivov in polifenolov kot beljava in jedrovina debla. Izvirna je ugotovitev, da juvenilna debelna tkiva oziroma najstarejši deli jedrovine vsebujejo več lignanov kot najmlajši deli jedrovine. Ugotovili smo, da vsebnost polifenolov v lesu vej pada z razdaljo vzorca veje od debla. S HPLC-PDA tehniko smo v hidrofilnih ekstraktih jelovine identificirali številne lignane (izolaricirezinol, laricirezinol, secoizolaricirezinol, pinorezinol, matairezinol), fenolne kisline (homovanilinska kislina, *p*-kumarna kislina, ferulna kislina) in flavonoide (epicatechin, katehin) (Slika 6). Izmerili smo, da je karakteristična fenolna spojina v ekstraktih grč bele jelke lignan sekoizolaricirezinol (Slika 6). Kromatografska analiza je pokazala, da vodni ekstrakt skorje poleg fenolnih kislin in flavonoidov vsebuje tudi manjše količine lignanov (Slika 6). Del izsledkov raziskav, ki so bile narajene na kemizmu ekstraktivov lesa in skorje bele jelke, smo že delili s publiko raziskovalnega področja (Vek et al. 2021, 2023).



Slika 25: Ekstrakte bele jelke (*Abies alba* Mill.) smo pred spektrofotometrično in kromatografsko analizo redčili in filtrirali. Analiza vsebnosti polifenolov v ekstraktih je potekala kolorimetrično. Za detajlno kromatografsko analizo smo ekstrakte prenesli v 1,5 mL steklene vial (foto V. Vek).

Slika 26: Ločba ekstraktivov bele jelke (*Abies alba* Mill.) je potekala na sistemu za tekočinsko kromatografijo visoke ločljivosti (HPLC). Modularni sistem tvorijo termostatiran avtomatski vzorčevalnik, kvarтерна 600 barska črpalka, termostarirana komora s kolono ter fotodiodni PDA detektor (foto V. Vek).



Slika 27: HPLC kromatogram hidrofilnih ekstraktov grče in skorje bele jelke (*Abies alba* Mill.). Karakteristične identificirane spojine hidrofilnih ekstraktov grč so lignani. V skorji se nahajajo fenolne kisline in flavonoidi.

Bioaktivne lastnosti ekstraktivov bele jelke in ocena biorafinarijskega potenciala

Biorafinarijski potencial slovenske bele jelke smo na DS 3 preverili z analizo količin in bioaktivnih lastnosti hidrofinih ekstraktivov lesa in skorje bele jelke. V ta namen smo imerili fungistatičen potencial ekstraktivov jelke. V glivne teste smo vključili ekstrakte tistih tkiv, ki so vsebovali največje koncentracije fenolnih ekstraktivov. O ekstrakciji, kemijskih analizah in protiglivnemu učinku ekstraktivov bele jelke smo širšo strokovno javnost že seznanili s prispevki, ki so bili objavljeni v e-novičniku CRP Gozdno-lesne verige (2021, 2022, 2023). Protiglivni učinek fenolnih ekstraktivov bele jelke smo izmerili z *in vitro* difuzijskim testom na hranilnim gojišču (Vek in sod. 2020). Ekstraktive jelovine in jelove skorje, ki smo jih vključili v *in vitro* difuzijski test, smo pripravili kot različno koncentrirane raztopine v dimetil sulfoksidu (DMSO). Pred izvedbo glivnega testa smo kemijsko identiteto in količino fenolnih ekstraktivov v pripravkih kvalitativno ovrednotili s HPLC-PDA analizo. Za pripravo hranilnega gojišča smo uporabili krompirjev dekstrozni agar (PDA). Hranilno gojišče smo prelili v sterilne petrijevke, nato

smo s kovinskim vrtačem v gojišče naredili 3 izvrtine ($d = 8 \text{ mm}$). V tako pripravljena testna mesta smo prenesli raztopine ekstraktov jelke ter čisti DMSO (Slika 7). Slednji je služil kot negativna kontrola. Sledila je inokulacija, za kar smo uporabili micelij svežih kultur pisane ploskocevke (*Trametes versicolor*), navadne tramovke (*Gloeophyllum trabeum*) in pahljačice (*Schizophyllum commune*) ter suspenzijo spor *Penicillium expynsum* in *Fusarium solani*. Inokulume kulture oziroma suspenzije spor smo cepili na sredino gojišča. Ekstraktivi bele jelke so bili na vsako testno glivo testirani v več ponovitvah. Petrijevke smo nato inkubirali v rastni komori pri 25°C in 75% relativni zračni vlažnosti (Slika 8). Razvoj glivnega micelija smo spremljali vsak drugi dan, toliko časa, da je micelij kulture v eni od testnih smeri prerasel do roba petrijevke.



Slika 28: Ekstraktive bele jelke (*Abies alba* Mill.) smo pripravili v dimetil sulfoksidu (DMSO). Priprava suspenzije testnih plesni. Inokulacija petrijevk je potekala v sterilnih pogojih v brezprašni komori. Glivne teste smo izvajali v laboratoriju Katedre za lesne škodljivce, zaščito in modifikacijo lesa (foto V. Vek).

Protiglivni efekt smo izrazili kot procent inhibicije razvoja glivnega micelija v radialni smeri (IFG%, d/d) (Vek in sod. 2020). Rezultati glivnih testov so pokazali, da so v primerjavi z negativno kontrolo hidrofilni ekstraktivi grč bele jelke opazno inhibirajo razvoj testnih gliv in plesni (Slika 8). V primerjavi z glivami razkrojevalkami lesa so hidrofilni ekstraktivi v večji meri inhibirali micelij plesni. Z raziskovalnimi aktivnostmi smo ugotovili na DS 3, da ekstraktivi jelovine dobro inhibirajo razvoj micelijev kultur *Penicillium expynsum* in *Fusarium solani*. Izmerjen IFG% za plesni se je gibal v območju okoli 25% (I/I). Hidrofili kstraktivi jelove skroje niso izkazali fungistatičnega efekta, so se pa izkazali kot dobri lovilci

prostih radikalov (izverni znanstveni članek z isledki raziskav je v pripravi). Naši rezultati potrjujejo in dopolnjujejo objavljena poročila tujih raziskovalnih skupin. Rezultati aktivnosti na DS 3 so pokazali, da tkiva bele jelke (*Abies alba* Mill.) lahko obravnavamo kot manjvredno naravno surovino za pridobivanje bioaktivnih fitokemikalij. Te spojine izkazujejo aplikativni potencial kot biocidi in antioksidanti v »zeleno« osnovanih zaščitnih pripravkih in tudi v prehranskih dopolnilih in nutraceutikih.



Slika 29: Ekstrakti lesa bele jelke (*Abies alba* Mill.) inhibirajo rast glivnega micelija v radialni smeri (foto V. Vek).

DS 4: Novi materiali za nove verige vrednosti

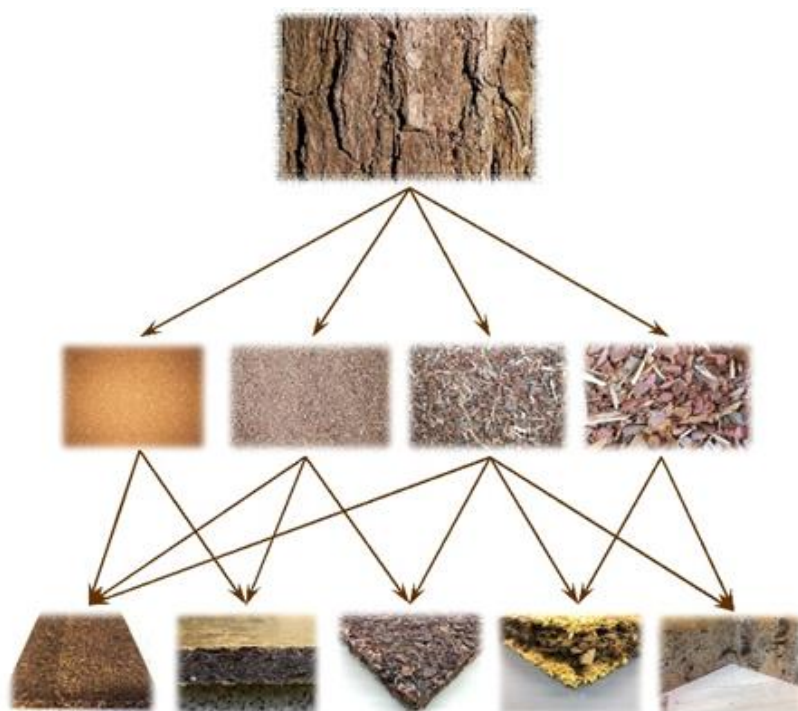
DS 4.1 Skorja – nove verige vrednosti

IZHODIŠČE

Skorja predstavlja 10% do 20% mase drevesa, ki se večinoma porabi za pridobivanje energije, ali pa v hortikulture namene (Gupta in sod., 2011; Miranda in sod., 2012). Del skorje, ki nastane v procesu odstranjevanja skorje v gozdu, na žagarskih obratih ali pri proizvodnji lesnih ploščnih kompozitov ali proizvodnji celuloze za papirno industrijo, se skuri (izkoriščanje energije biomase), medtem ko se manjši delež skorje uporabi v hortikulture namene (urejanje krajine), v farmaciji in strojenju usnja. Kljub omenjenim področjem uporabe skorje pa velik delež skorje ostane neuporabljen, kar ustvarja izzive pri odlaganju le-te. Tudi kurjenje skorje, s ciljem pridobivanja energije ni najboljša rešitev, predvsem zaradi njene nizke kalorične vrednosti. Izzivi vezani rabe skorje so večplastni, saj je zgradba skorje relativno kompleksna. Skorja ima namreč večji delež lignigna, ekstraktivov, mineralov in pepela, medtem ko je delež celuloze in polioz (hemiceluloze) nižji (kot pri lesu). Z aspekta rabe skorje, predvsem za izdelavo različnih kompozitov, je pomembno dejstvo, da skorja vsebuje tudi znaten delež fenolu podobne komponente, ki jih je, ob primerni aktivaciji, mogoče uporabiti ali kot substanco za zmanjšanje emisije formaldehida ali kot dodatka za zmanjšanje delovanja kompozitov v lažnih klimatskih pogojih. Izzivi pri rabi skorje niso povezani izključno z njeno kemijsko zgradbo ampak tudi z njeno strukturno in anatomsko kompleksnostjo, kar se pokaže pri drobljenju skorje. Najpogostejši sistem mehanskega drobljenja skorje je z uporabo

sekirostrojev ali iverilnikov, kjer se skorja zdrobi v manjše frakcije. Te frakcije se lahko uporabijo v različne namene (odvisno od velikosti). Večji gradniki se lahko uporabijo za izdelavo izolacijskih, manjši pa ali za pridobivanje različnih ekstraktov ali pa kot gradniki različnih nosilnih ali nenosilnih plošč.

Zaradi majhne stopnje izkoriščenosti skorje je lahko le-ta pomemben vir vlaknatega elementa za izdelavo različnih biokompozitov, kot je prikazano na sliki 1.



Slika 30: Shematski prikaz potencialne vrednostne verige rabe skorje

MATERIALI IN METODE

V obdobju trajanja projekta smo opravili serijo preskusov pri katerih smo ugotavljali možnost rabe skorje za izdelavo lesnih ploščnih kompozitov. Skorjo iglavcev smo zdrobili v laboratorijskem iverilniku in nato ločili v tri velikostne razrede in sicer fine frakcije (odprina sita $< 0,6$ mm), srednje velike frakcije ($> 0,6$ mm in < 2 mm) ter velike frakcije (> 2 mm). Iz tako pripravljenih gradnikov smo izdelali različne kompozite in sicer:

- Lesno plastični kompozit
- Trislojno iverno plošči z uporabo melamin-urea-formaldehidne lepilne smole in
- Enoslojno iverno plošč z uporabo mokrih gradnikov in taninskega lepila

IZDELAVA LESNO PLASTIČNEGA KOMPOZITA IZ SKORJE

Kombinacijo finih (70 %) in srednje velikih frakcij (30 %) smo pri temperaturi 70 °C posušili na vlažnost < 4 %. Posušene gradnike smo nato zmešali s polietilenskim (PE) prahom (Dowlex, 2631.10UE) in z maleičnim anhidridom (grafiranim s polietilenom MAPE, Graft Polymer, Borovnica). Delež skorje je bil med 10 % in 70 %. Zmešano substance smo natesli v okvir z dimenzijami 300×300 mm² in stisnili na debelino 8 mm. Temperatura stiskanja je bila 180 °C in tlak stiskanja 5 N·mm⁻². Čas stiskanja je bil 10 minut, čemur je sledilo še 10 minutno ohlajanje v hladni stiskalnici (tlak je bil enak kot pri vročem stiskanju).

IZDELAVA PLOŠČ IZ SKORJE Z UPORABO MELAMIN-UREA-FORMALDEHIDNEGA LEPILA

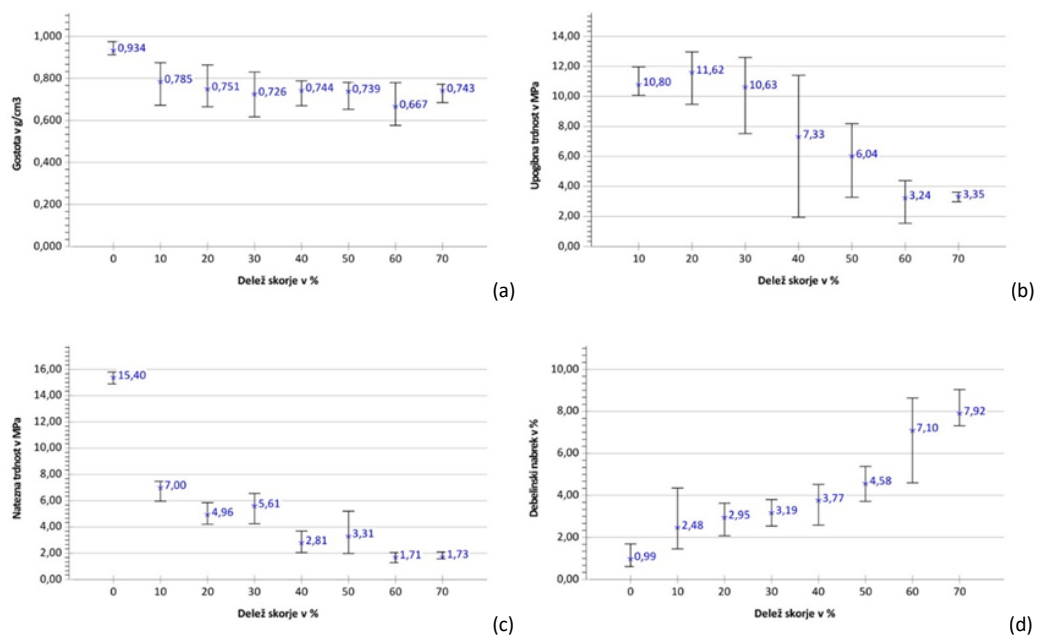
Po separaciji in glede na predhodne ugotovitve smo pripravili mešanice iveri skorje za zunanji in srednji sloj. Za zunanji sloj smo uporabili mešanico iveri in sicer 1/3 skupina M in 2/3 skupina S, v srednjem sloju pa smo uporabili 1/3 iveri skupina S in 2/3 iveri skupine V. Tako pripravljene mešanice iveri skorje smo ločeno oblepili z melamin-urea-formaldehidnim lepilom in sicer je bil delež lepila v zunanjem sloju (ZS) 15 % oz. 20 %, v srednjem sloju (SS) pa 15 % oz. 10 %. Oblepljene iveri smo natesli v okvir z dimenzijami 500×500 mm². Temperatura stiskanja je bila 180 °C in tlak stiskanja 3 N·mm⁻². Čas stiskanja je bil 5 minut. Stiskali smo na debelino 16 mm.

IZDELAVA PLOŠČ IZ VLAŽNIH GRADNIKOV SKORJE IN TANINSKEGA LEPILA

V tem sklopu smo preverjali možnost rabe vlažnih gradnikov skorje za izdelavo plošč z uporabo taninskega lepila. Možnost rabe vlažnih gradnikov smo preverjali ločeno glede na velikost gradnikov. Vlažnost uporabljenih gradnikov je bila približno 10 %, 20 % in 50 %. Izdelovali smo enoslojne plošče nazivne debeline 8 mm. Lepilna mešanica je bila pripravljena iz tanina, kateremu smo dodali hekssametilen tetramin v obliki vodne raztopine. S tako pripravljenim lepilo smo oblepili iveri skorje. Delež lepila je bil %. Oblepljene iveri smo natesli v okvir z dimenzijami 320×320 mm². Temperatura stiskanja je bila 180 °C in tlak stiskanja 3 N·mm⁻². Čas stiskanja je bil 8 minut, pri čemer smo stiskali po protokolu prilagojenem stiskanju z visoko vsebnostjo vlage. Najprej smo 90 sekund stiskali pri najvišjem tlaku (3 N·mm⁻²), nato smo tlak za 210 sekund znižali na vsega 10 % najvišjega tlaka. S tem znižanjem smo omogočili izhajanje vodne pare, mobilizirali lepilo, posušili gradnike in preprečili parno eksplozijo ob odprtju. Zadnja faza stiskanja je trajala 180 sekund in je potekala pri tlaku 3 N·mm⁻². V tej zadnji fazi smo zagotovili primerno zgostitev, utjenost lepila in primerno povezanost gradnikov. Celoten cikel stiskanja je trajal 8 minut.

LASTNOSTI

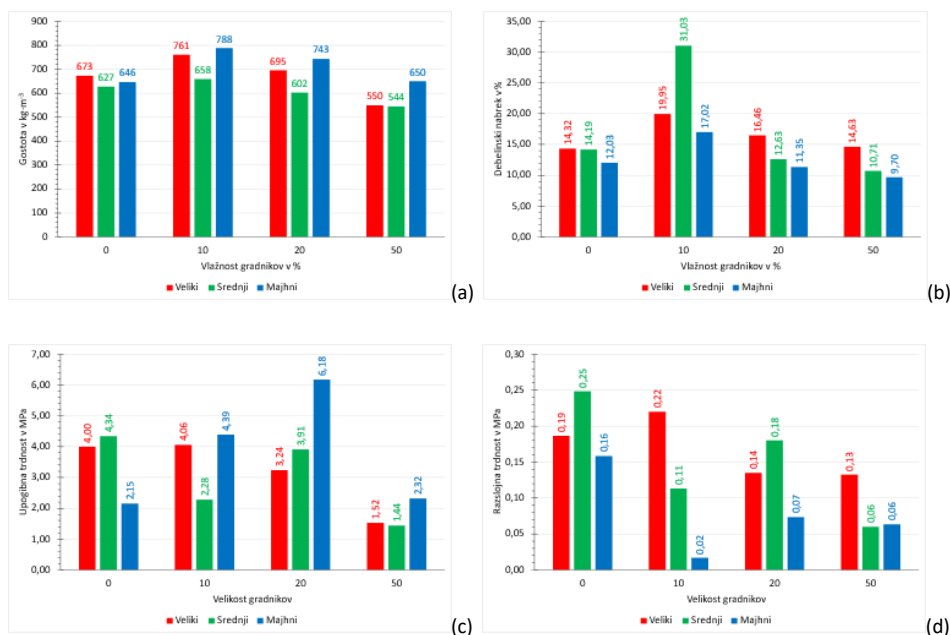
Lastnosti izdelanih plošč so prikazane na sliki 2, preglednici 1 in sliki 3.



Slika 31: Lastnosti lesno-plastičnega kompozita glede na delež skorje (a – gostota; b – upogibna trdnost; c – natezna trdnost in d – debelinski nabrek)

Preglednica 6: Lastnosti trislojne iverne plošče iz skorje

Oznaka plošč		A	B	C
Delež lepila	Zunanji sloj	15 %	20 %	15 %
	Srednji sloj	10 %	15 %	15 %
Debelina [mm]		17,21	17,19	17,22
Gostota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]		0,646	0,666	0,659
Upogibna trdnost [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]		4,66	4,41	3,86
Modul elastičnosti [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]		928	889	830
Razslojna trdnost [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]		0,21	0,25	0,23
Debelinski nabrek [%]		8,56	8,44	8,43
Emisija formaldehida [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}$]		1,490	1,877	2,088



Slika 32: Lastnosti plošč glede na velikost gradnikov in njihovo vlažnost (a – gostota; b – debelinski nabrek po 24 urah; c – upogibna trdnost in d – razslojna trdnost)

Z enakim postopkom, kot smo izdelovali trislojne plošče smo izdelali tudi enoslojno ploščo iz velikih gradnikov skorje, kateri smo nato določili toplotno prevodnost. Toplotna prevodnost plošče iz skorje, v nizko–temperaturnem območju merjenja (spodnja plošča 2,5 °C, zgornja plošča 17,5 °C) je bila 47,22 mW·m⁻¹·K⁻¹.

ZAKLJUČKI

Pri izdelavi biokompozitov iz skorje kot npr.: iverna plošča, lesno-plastični kompozit ali kot izolacijska plošča, so se pokazale nekatere prednosti, kot tudi pomanjkljivosti rabe skorje. Prednosti pri uporabi skorje so:

- Nizka emisija formaldehida
- Manjši debelinski nabrek, še posebej pri rabi finejših frakcij
- Visoka stopnja toplotne izolativnosti
- Relativno dobre mehanske lastnosti v primeru rabe skorje za izdelavo lesno-plastičnega kompozita

Pomanjkljivosti pri rabi skorje pa so naslednje:

- Za doseganje relativno dobrih mehanskih lastnosti potreben večji delež lepila
- Pri običajnih deležih lepila slabše mehanske lastnosti

IZHODIŠČE

Na prostem je les izpostavljen biotskim in abiotskim dejavnikom razkroja. V naravi so ti procesi nujno potrebni in zaželeni, kadar les uporabljamo v gospodarske ali kulturne namene, želimo te procese čim bolj upočasniti (Humar, 2017). Pri izbiri lesa za rabo na prostem so ob upoštevanju pravil konstrukcijske zaščite tri možnosti: (1) izbira odpornih lesnih vrst, (2) zaščita lesa z biocidi ali (3) modifikacija lesa. Žal ima večina evropskih in tudi slovenskih drevesnih vrst les s slabo naravno odpornostjo. Naravno odpornost določa standard SIST EN 350 (CEN, 2016), po katerem je les razdeljen v pet razredov odpornosti. V najodpornejša razreda (1 in 2 razred) sodita le navadni kostanj (*Castanea sativa* Mill.) in robinija (*Robinia pseudoacacia* L.). To pomeni, da les večine lesne zaloge v Sloveniji sodi v manj odporne razrede (3 do 5) in ga brez zaščite ne smemo uporabiti na prostem (MacKenzie, 2007).

V našem podnebnem pasu les ogrožajo predvsem lesne glive. Odpornost lesa, ki ga v skladu s standardom SIST EN 335 (CEN, 2013) uporabljamo v tretjem razredu uporabe (les na prostem, izpostavljen padavinam, vendar ni v stiku z zemljo), je tako odvisna od dveh parametrov, in sicer: (1) prisotnosti biološko aktivnih spojin (ekstraktivov, biocidov ...) in (2) zmožnosti lesa, da med padavinskimi dogodki ostane suh oziroma se hitro posuši (Brischke and Thelandersson, 2014; Humar in sod., 2020a). Klasična rešitev za izboljšanje odpornosti lesa je impregnacija z biocidnimi proizvodi. Le-ti vsebujejo aktivne učinkovine (biocide), ki ustavijo rast in razvoj gliv. V prejšnjih desetletjih so na podlagi direktiv EU prepovedali večino klasičnih biocidov (EC, 2000; Humar in sod., 2006). Na trgu EU je ostalo le še trideset aktivnih učinkovin, od katerih jih je deset namenjenih le za nišno rabo. Najpomembnejše učinkovine so: bakrov hidroksid, borova kislina, tebukonazol, propikonazol, IPBC, permetrin, cipermetrin, polimerni betain in kvarterne amonijeve spojine. Za zaščito lesa v tretjem razredu uporabe sta v rabi dve rešitvi: prva temelji na bakrovih učinkovinah, druga pa na tebukonazolu ali propikonazolu. Za zaščito lesa v infrastrukturne namene ali v zelo izpostavljenih okoljih lahko uporabljamo le rešitve, ki temeljijo na bakrovih pripravkih (Humar in sod., 2019).

Okoljsko ozaveščeni uporabniki se pogosto želijo izogniti rabi odpornega lesa iz tropov in z biocidi zaščenega lesa. Zaradi velikega povpraševanja so v Evropi razvili številne rešitve, ki ne temeljijo na biocidni zaščiti lesa, temveč želijo spremeniti strukturo lesa do take mere, da ga glive oziroma insekti ne prepoznajo več kot vir hrane oziroma mu spremenimo sorpcijske lastnosti ali vodoodbojnost (Hill, 2006). Na leto v Evropi proizvedemo že okoli en milijon m³ modificiranega lesa (Jones in sod., 2018). Komercialno najpogostejši postopki modifikacije so: termična modifikacija (npr.: ThermoWood, Silvapro, VTT2 ...), modifikacija z acetilacijo (Accoya) in modifikacija s furfural alkoholom (Kebony, Nobel wood). Modifikacija temelji na ideji, da manj vrednemu lesu izboljšamo relevantne lastnosti in mu povečamo dodano vrednost. Na primer: pri termični modifikaciji les segrevamo v semi-anoksičnih razmerah pri temperaturah od 160 °C do 230 °C. Pri tem se spremenijo sorpcijske lastnosti, hemiceluloza razpade, poveča se kristaliničnost celuloze in premreženost lignina. Vse to se odraža v boljši naravni odpornosti in boljših sorpcijskih lastnostih (Esteves in Pereira, 2009). V Sloveniji proizvajamo le termično modificiran les, ki se je dodobra uveljavil za izdelavo fasad (Humar in sod., 2020b). Dandanes za modifikacijo večinoma uporabljamo smrekovina (*Picea abies* Karst). Glede na naraščajoč trend širjenje podlubnikov bi želeli za modifikacijo uporabiti tudi les smrekovih lubadark in mu tako povečati uporabnost.

Z imenom lubardarke označujemo smrekova drevesa, ki smo jih posekali zaradi gradacije podlubnikov. Na smrekovih drevesih najpogosteje poročajo o pojavu naslednjih podlubnikov: *Ips typographus*, *Pityogenes chalcographus*, *Ips amitinus*, in *Polygraphus poligraphus* (Repe in sod., 2015). Veliki smrekov lubadar sodi med posebno agresivne podlubnike in v zadnjem obdobju povzroča veliko škodo

na fiziološko oslabeledih in sveže posekanih smrekovih drevesih. Že dlje je znano, da so podlubniki tudi vektorji ophiostomatoidnih gliv. Samice podlubnikov prenašajo spore v drevesa med uvtavljanjem, ustvarjanjem materinskih rogov in izleganjem jajčec (Jankowiak in sod., 2009). Okužba lesa z ophiostomatoidnimi glivami se odraža v različnih diskoloracijah. Beljava lesa se obarva v sivo-modrih do sivo-zelenih tonih. Zato ta pojav imenujemo tudi modrenje, glive pa uvrščamo v nesistematsko skupino gliv modrivk (Humar in sod., 2008b). Pomodrel les praviloma izgubi vrednost, čeprav se njegove mehanske lastnosti ne poslabšajo.

V okviru tega prispevka želimo v realnih razmerah terenskega testiranja določiti odpornost, manj odpornih lesnih vrst (navadna smreka, lubadarka, bela jelka, rdeči bor, beli gaber, gozdna bukev), ki smo jih impregnirali z baker-etanolaminskim biocidnim proizvodom ali jih termično modificirali. Kot primerjavo smo v poizkus vključili še jedrovino robinije, evropskega macesna in rdečega bora. Rezultati šestletnega testiranja so izhodišče za načrtovanje rabe teh lesnih vrst v zunanjih razmerah.

MATERIALI IN METODE

Raziskavo smo izvedli na vzorcih, velikosti 2,5 cm × 5,0 cm × 50 cm. Vzorci so bili polradialni, branike so z vzdolžno površino tvorile kot $45^\circ \pm 15^\circ$. Površina vzorcev je bila poskobljana. Vzorci so bili izdelani iz naslednjih lesnih vrst:

- navadne smreke (*Picea abies*), -
- lesa smrekovih lubadark,
- bele jelke (*Abies alba* Mill.),
- beljave in jedrovine rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.),
- jedrovine evropskega macesna (*Larix decidua*),
- navadne bukve (*Fagus sylvatica* L.),
- belega gabra (*Carpinus betulus* L.) in
- jedrovine robinije (*Robinia pseudoaccacia*).

Večino vzorcev, razen lesa robinije, smo pridobili z žagarskega obrata Snežnik, d. o. o., v Kočevski Reki. Les je izviral iz kočevskih gozdov. Vzorci so bili brez rastnih napak, grč, smolnih kanalov, razpok, modrenja in trohnenja. Vzorci so izvirali iz komercialnih gozdnih sortimentov. Podatkov o delu drevesa iz katerega so bili izdelani nimamo. Vzorci so bili izdelani iz lesa iz dveh do treh dreves. Le vzorci lubadark so bili pomodreli po celotnem preseku, kot je značilno za to surovino. Les lubadark je pomodrel že v času poseka, zato na podlagi modrenja ni mogoče oceniti starosti. Les je bil zračno suh.

Impregnacija in modifikacija

Poleg neobdelanih lesnih vrst smo vremenskim vplivom izpostavili tudi les, ki smo ga zaščitili oziroma modificirali z rešitvami, s katerimi lahko izboljšamo odpornost lesa: termično modifikacijo in vakuumsko-tlačno impregnacijo s komercialnim biocidnim proizvodom Silvanolin. Pred impregnacijo z biocidnim proizvodom smo les tri tedne uravnovešali pri temperaturi 20 °C in 65-odstotni relativni zračni vlažnosti (RH). Za impregnacijo smo uporabili baker-etanolaminski biocidni proizvod (CuEA, Silvanolin, Silvaproduct) na osnovi bakrovega hidroksida/karbonata, etanolamina, borove kisline, kvartarne amonijeve spojine in oktanojske kisline (Humar in sod., 2006a). Koncentracija aktivnih učinkovin v pripravku je ustrezala zahtevam za rabo v tretjem razredu uporabe (CEN, 2013). Predpisani navzem učinkovin baker-etanolaminskih pripravkov v tem razredu uporabe je od 10 do 15 kg/m³ (NWPC, 2023). Vzorci smo impregnirali v skladu s postopkom polnih celic (Reinprecht, 2016). Postopek je sestavljen iz treh stopenj: ena ura pri tlaku –0,02 MPa, dve uri pri tlaku 1 MPa in dve uri potapljanja

pri normalnem tlaku. Naenkrat smo impregnirali le vzorce iste lesne vrste. Po impregnaciji smo vzorce štiri tedne počasi sušili ter tako omogočili dobro vezavo v les.

Termično modifikacijo smo izvedli v skladu s postopkom Silvapro (Silvaprodukt) (Rep in sod., 2012). Za postopek je značilno, da na začetku v komori vzpostavimo podtlak ($-0,02$ MPa). V naslednji stopnji atmosfero v komori nadomestimo z vodno paro. Postopek modifikacije pri ciljni temperaturi poteka tri ure. Listavce praviloma modificiramo pri nižjih temperaturah kot iglavce. Pri iglavcih smo uporabili dve stopnji modifikacije za bolj in manj izpostavljene razmere uporabe. Les smo modificirali pri treh temperaturah, in sicer: $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (bukev, gaber), $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ (smreka, lubadarka, jelka) in $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ (smreka, lubadarka, jelka, beljava bora) (Preglednica 2).

Raziskava je bila opravljena na 24 različnih materialih, kjer smo želeli oceniti njihovo primernost za rabo na prostem.

Izpostavitve in vrednotenje razkroja

Po vsaj štirih tednih uravnovešanja pri sobnih razmerah ($23\text{ }^{\circ}\text{C}$; $65\text{ }\%$ RH) smo vzorce izpostavili vremenskim vplivom v obdobju od 20. 6. 2017 do 29. 6. 2017. Izpostavili smo jih na terenskem polju na Oddelku za lesarstvo v Rožni dolini v Ljubljani na pretežno senčno in zatišno lego ($46^{\circ} 02' 55.7''\text{N}$ $14^{\circ} 28' 47.3''\text{E}$, 293 m) v 3.2 razredu uporabe (na prostem, nepokrito, pogosto močenje) (SIST EN 335 (CEN, 2013)) (Slika 1). V Ljubljani je povprečna temperatura $10,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, letna količina padavin 1290 mm in Schefferjev podnebni indeks $55,3$. Za določanje življenjske dobe lesa smo v tej raziskavi uporabili dvoslojni test (ang. double layer test) (Rapp in Augusta, 2004). Pet enako obdelanih vzorcev smo zložili v spodnjo vrsto in štiri v zgornjo. Vzorci v zgornji vrsti so bili glede na spodnje zamaknjeni za polovico širine vzorca. Ocenjevanje vzorcev je potekalo vsako leto od 5. do 15. junija. Vsak vzorec smo si natančno ogledali in ocenili stopnjo razkroja po standardu SIST EN 252 (CEN, 2015) (Preglednica 7).

Preglednica 7: Ocene razkroja vzorcev (SIST EN 252; (CEN, 2015))

Ocena	Kratek opis	Opis vzorca
0	Ni znakov razkroja	Na preizkušancu ni zaznavnih sprememb.
1	Neznaten razkroj	Na vzorcu so vidni znaki razkroja, vendar razkroj ni intenziven in je zelo prostorsko omejen:
		– spremembe, ki se pokažejo predvsem kot sprememba barve ali zelo površinski razkroj, mehčanje lesa je najpogostejši kazalnik, razkroj sega do 1 mm v globino.
2	Zmeren razkroj	Jasne spremembe v zmernem obsegu:
		– spremembe, ki se kažejo kot mehčanje lesa 1 mm do 3 mm globoko na 1 cm^2 ali večjem delu vzorca.
3	Intenziven razkroj	Velike spremembe:
		– izrazit razkroj lesa 3 mm do 5 mm globoko na velikem delu površine (večje od 20 cm^2) ali mehčanje lesa globlje kot 10 mm na površini, večji od 1 cm^2 .
4	Propadel vzorec	Preizkušanec je zelo razkrojen:
		– ob padcu z višine $0,5\text{ m}$ se zlomi.

Na podlagi podatka o prvih znakih razkroja smo za vse vzorce izračunali razrede odpornosti, kot to določa SIST EN 350 (CEN, 2016).



Slika 33: Izpostavitve vzorcev v skladu z dvoslojnim testom v Ljubljani

REZULTATI

Na les na prostem vpliva širok spekter dejavnikov, od temperaturnih razlik, padavin, toče, sevanja UV do gliv, bakterij in insektov. V laboratoriju ne moremo simulirati vseh teh dejavnikov, zato so za natančno oceno primernosti rabe posameznih lesnih materialov na prostem vedno potrebna terenska testiranja, ki so bistveno bolj realistična kot laboratorijski testi (Brischke in sod., 2013). V ta namen smo na terenskem polju izpostavili 24 različnih materialov in šest let spremljali razvoj razkroja. Vsi izpostavljeni vzorci, ki so propadli med poizkusom, so propadli zaradi delovanja lesnih gliv. Na lesu listavcev je bila predvsem bela trohnoba, na lesu iglavcev pa rjava. Tak rezultat je pričakovan, saj tudi v naravi glive bele trohnobe pogosteje opazimo na lesu listavcev (Schmidt, 2006).

Primerjava nezaščitene lesne vrste je pokazala, da se je trohnoba najhitreje razvila na gabrovem lesu. Že po prvem letu je bilo na lesu opaziti prve znake razkroja, les je povsem propadel po treh letih. Pri bukvi je razkroj potekal nekoliko počasneje, tako da so vzorci bukovine propadli po štirih letih izpostavitve (Preglednica 2). Ta podatek jasno nakazuje na slabo odpornost obeh lesnih vrst kljub največji gostoti. Razlog za slabo odpornost je odsotnost biološko aktivnih ekstraktivov v obeh lesnih vrstah in dobra permeabilnost (Fengel in Wegener, 2011). Pri neodpornih iglavcih je bil razkroj nekoliko počasnejši. Borova beljava in jelovina sta propadli po šestih letih. Smrekov les se na prostem obnaša še nekoliko bolje. Po šestih letih je na vzorcih opaziti znaten razkroj, vendar vzorci še niso popolnoma propadli. Najpomembnejši razlog za boljšo odpornost smrekovine lahko pripišemo slabši

permeabilnosti, saj tudi smrekovina ne vsebuje znatnih količin biološko aktivnih ekstraktivov (Fengel in Wegener, 2011). Za smrekov les je značilna intenzivna aspiracija pikenj, kar preprečuje hitro vpijanje vode med padavinskimi dogodki. Aspiracija pikenj je pojav pri lesu iglavcev, ko torus pritisne ob notranji obok in zapre pikenjsko odprtino, da voda ne more prehajati skozi piknjo. To je ključni razlog za daljšo življenjsko dobo smrekovine v tretjem razredu uporabe (Žlahtič Zupanc in sod., 2019). Po drugi strani se je les lubadark na prostem izkazal slabše kot referenčna smrekovina (Preglednica 2). Na lesu lubadark se je razkroj pojavil hitreje in je hitreje napredoval kot na referenčni smrekovini. Tudi v tem primeru lahko dinamiko razkroja povežemo s permeabilnostjo lesa. Les lubadark je prepreden z glivami modrivkami, ki pri prodiranju v les ustvarjajo nove vrzeli, kar se odraža v večji permeabilnosti (Humar in sod., 2008b). Kljub vsemu se je les lubadark izkazal za odtenek bolje kot borova beljava in jelovina. V skladu z metodologijo standarda SIST EN 335 lahko vse naštetе lesne vrste, razen smrekovine, razvrstimo v peti razred odpornosti (lesne vrste, zelo dovzetne za razkroj). Nekoliko odpornejša sta bila jedrovina macesna in rdečega bora. Pri jedrovini bora so se prvi znaki razkroja pojavili po treh letih, pri macesnu pa po štirih letih testiranja. Ta podatek obe lesni vrsti uvršča v tretji razred odpornosti. Po pričakovanju je najbolj odporna testirana lesna vrsta jedrovina robinije. Prve zelo omejene znake trohnobe smo opazili šele po šestih letih uporabe. V tem času bi gabrovina že dvakrat propadla. Dobra naravna odpornost robinije je posledica otiljenosti (Torelli, 2002), ki zmanjša permeabilnost, in prisotnosti biološko aktivnih ekstraktivov, predvsem: hidrofilnih ekstraktivov, skupnih fenolov, robinetina in dihidrorobinetina (Vek in sod., 2019b, 2019a). Testiranja na terenu les robinije tako uvrščajo v prvi razred odpornosti.

Preglednica 8: Razkroj različnih vrst lesa, izpostavljenega na terenskem polju Oddelka za lesarstvo v Ljubljani, v odvisnosti od časa izpostavitve, impregnacije oziroma modifikacije lesa

Lesna vrsta	Obdelava	Leto ocenjevanja razkroja						Razred odpornosti
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	
		Ocena razkrojenosti						
Smreka	/	0,0	0,2	1,2	2,0	2,7	3,1	4
	CuEA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1
	TM 220 °C	0,0	0,0	0,0	0,4	0,8	1,0	3
	TM 230 °C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1
Smreka Modrivke	/	0,2	0,9	2,2	3,2	3,4	3,8	5
	CuEA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1
	TM 220 °C	0,0	0,0	0,0	0,7	1,4	2,0	3
	TM 230 °C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1
Jelka	/	0,0	0,9	2,2	3,0	3,6	4,0	5
	CuEA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1
	TM 220 °C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,1	3
	TM 230 °C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	1
Bor (beljava)	/	0,9	0,9	2,1	2,6	3,1	4,0	5
	CuEA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1
	TM 230 °C	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	1
Bor (jedrovina)	/	0,0	0,0	0,6	0,6	1,6	2,6	3
macesen	/	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0	1,0	3
Bukev	/	0,3	1,6	2,9	4,0	4,0	4,0	5
	CuEA	0,0	0,0	0,0	0,7	1,3	2,4	3
	TM 200 °C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1
Gaber	/	1,4	2,1	4,0	4,0	4,0	4,0	5
	CuEA	0,0	0,0	1,6	2,1	2,3	4,0	4
	TM 200 °C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1
Robinija	/	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	5

Impregnacija lesa z bakrovimi pripravki je povsem zaustavila razkroj lesa pri iglavcih. Na nobenem od impregniranih iglavcev po šestih letih testiranja nismo zaznali razkroja. Razkroja nismo opazili niti na lesu lubadark. Bakrovi pripravki so se dobro vezali v les in aktivne učinkovine so učinkovito preprečevale razvoj trohnobe (Humar in sod., 2007). Po drugi strani so se bakrovi pripravki izkazali za manj učinkovite za kontrolo gliv pri lesu listavcev. Impregnirana gabrovina je propadla po šestih letih testiranja, bukovina pa je bila po šestih letih izpostavitve zelo razkrojena. Glede na dobro impregnabilnost bukovega in gabrovega lesa menimo, da vzroka za razkroj ne moremo pripisati slabi

izvedbi impregnacije. Prav tako hitrega razkroja ne moremo pripisati pojavu na baker tolerantnih gliv. Na baker tolerantne glive večinoma pripadajo skupini belih hišnih gliv (*Postia placenta*, *Antrodia sp.*, *Poria sp.* ...), ki povzročajo rjavo trohnobo. Impregnirano bukovino in gabrovino pa so v prvi vrsti razgradile glive bele trohnobe. Menimo, da je ključni vzrok za hiter razkroj impregniranega lesa izpiranje bakrovih učinkovin iz lesa. Zaradi drugačne kemične sestave lignina etanolamin v bakrovih pripravkih lahko povzroča depolimerizacijo ligninskih makromolekul (Claus in sod., 2004; Humar in sod., 2008a). Baker-etanolaminski kompleksi se vežejo na depolimerizirane fragmente lignina in se zlahka izperejo iz lesa. Podatki terenskega preizkušanja impregnirane bukovine in gabrovine nakazujejo, da baker-etanolaminski pripravki niso primerni za zaščito lesa bukve in gabra. Že v preteklosti se je izkazalo, da ta vrsta biocidnih proizvodov ni primerna za zaščito hrastov, domačega kostanja in jesena. Vendar te lesne vrste, razen jesena, praviloma ne potrebujejo zaščite.

Bistveno bolje kot impregnacija se je obnesla termična modifikacija lesa. Les iglavcev smo impregnirali v skladu z dvema postopkoma modifikacije, in sicer pri temperaturi 220 °C, kjer je les med postopkom modifikacije v povprečju izgubil 4 % mase, in pri temperaturi 230 °C, kjer smo zabeležili 8 % izgubo mase. Izguba mase lesa listavcev, ki smo ga impregnirali pri temperaturi 200 °C, je znašala 9 %. Prve znake razkroja v modificiranem lesu smo zabeležili po štirih letih izpostavitve (smrekovina; 220 °C; lubadarke 220 °C; borova beljava 230 °C). Kljub temu nobeden od izpostavljenih termično modificiranih vzorcev po šestih letih testiranja ni propadel. Po šestih letih smo najbolj intenziven razkroj opazili pri lubadarkah, modificiranih pri nižji temperaturi (220 °C). Verjetno je to posledica boljše izhodiščne permeabilnosti, ki se je ohranila tudi po termični modifikaciji. Po drugi strani smo še manjšo stopnjo razkroja opazili pri lesu, ki smo ga modificirali pri višji temperaturi. Na gabrovini, bukovini, smrekovini, lubadarkah tudi po šestih letih izpostavitve nismo opazili nobenih znakov razkroja. Omejen razkroj smo opazili pri modificirani borovini (0,3) in jelovini (0,6) (Preglednica). Pri termični modifikaciji je treba upoštevati, da ni primerna za zaščito lesa v stiku z zemljo, temveč le za aplikacije, kjer je les vgrajen nad nivojem zemlje. Prav tako je treba upoštevati, da so mehanske lastnosti termično modificiranega lesa nekoliko poslabšajo, zato ni primeren za konstrukcijsko rabo (Hill, 2011). Po drugi strani lahko termično modificiran les uporabimo za raznolike aplikacije v drugem in tretjem razredu uporabe, kot so: fasadne obloge, okenski okviri, vrtno pohištvo, balkonske ograje ...

ZAKLJUČKI

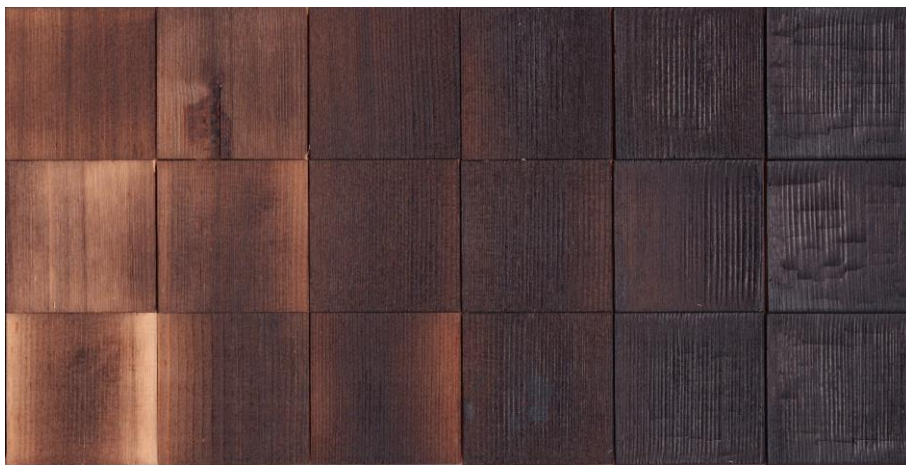
Les na prostem je izpostavljen raznolikim dejavnikom razkroja. Na neodpornem lesu se prvi znaki glivnega razkroja pokažejo že po prvem letu. Rezultati terenskega testiranja se skladajo z literaturnimi podatki o odpornosti lesnih vrst v tretjem razredu uporabe (les na prostem, ki ni v stiku z zemljo). Najhitreje sta propadla les gabra in bukve. Razkroj lubadark poteka nekoliko hitreje kot razkroj referenčne smrekovine. Prvi znaki razkroja na lesu macesna in jedrovine bora so se pojavili leto ali dve za smrekovino. Med testiranimi lesnimi vrstami se je najbolje izkazal les robinije.

Impregnacija iglavcev z baker-etanolaminskimi pripravki je učinkovito preprečila razkroj. Na impregniranem lesu iglavcev tudi po šestih letih še nismo zaznali znakov trohnobe. Po drugi strani pa baker-etanolaminski pripravki niso preprečili razkroja lesa bukve in gabra. Impregniran gabrov les je povsem propadel po šestih letih.

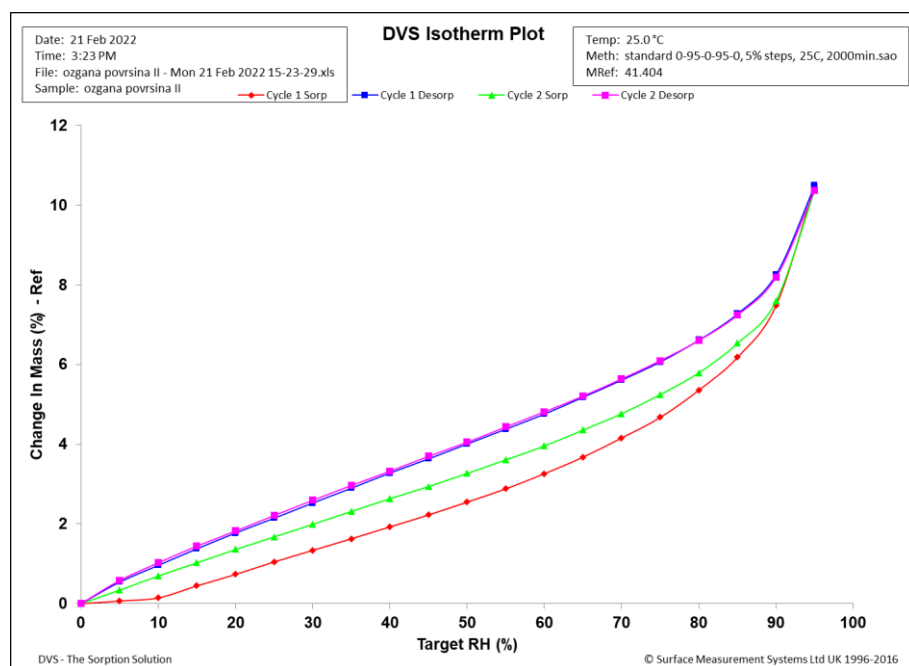
Termična modifikacija lesa je bila bolj učinkovita. Les, modificiran pri višjih stopnjah modifikacije, tudi po šestih letih še ni začel trohniti. Modifikacija se je izkazala za učinkovit postopek zaščite lesa listavcev in iglavcev, tudi lesa lubadark.

DS 4.3 Modifikacija lesa z obžiganjem

V okviru te naloge smo se osredotočili na modifikacijo lesa z obžiganjem. Ta postopek obdelave je v zadnjem času pritegnil veliko pozornosti, zaradi zanimivega videza površine. Ta postopek modifikacije smo izvajali na smrekovem lesu, jelovem lesu in borovem lesu. Vzorce smo segrevali 30 do 120 s pri temperaturah med 300 in 400 °C.



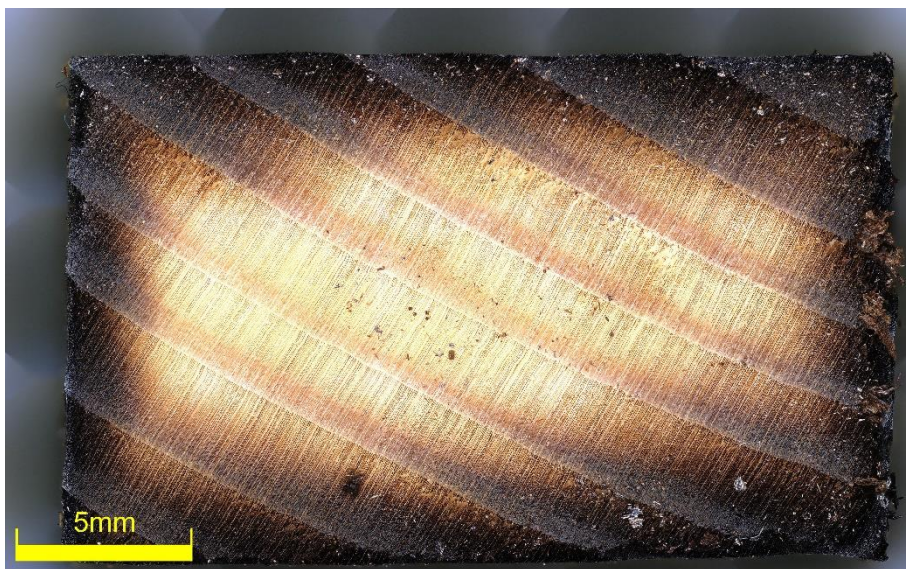
Slika 34: Vpliv temperature in časa obžiganja na videz površine. Smrekov les je bil segrevan na vroči plošči pri 400°C od 30 s (levo) do 120 s (desno).



Slika 35: Sorpcijske lastnosti pooglenele površine. Ravnovesna vlažnost pooglenele površine je bistveno nižja, od ravnovesne vlažnosti lesa.



Slika 36: Obžgana površina (400 °C) borovega lesa pod mikroskopom



Slika 37: Presek obžgane jelovine (400 °C) pod mikroskopom

V zadnjem obdobju se je določalo odpornosti lesa na glive razkrojevalke temelji na predpostavki, da na odpornost lesa na prostem vplivata dva dejavnika, odpornost proti razkroju (k_{inh}) in faktor ki opisuje odpornost proti navlaževanju (k_{wa}). Faktor k_{inh} odraža prisotnost biološko aktivnih učinkovin (ekstraktivov, biocidov ...). V preglednici 1 so prikazane izgube mase lesa preizkušenih materialov po 16 tedenski izpostavitvi glivam. Višja, kot je izguba mase, slabša je odpornost lesa proti glivam. Izgube mase pri glivi pisani ploskocevk (Trametes versicolor) so nekoliko nižje, kot pri preostalih dveh glivah. To je na nek način pričakovano, saj pisana ploskocevka povzroča belo trohnobo, ki je pogostejša na lesu listavcev.

Preglednica 9: Povprečna izguba mase po izpostavitvi glivam

Lesna vrsta	Temp.	Gliva				
		Oil	G. trabeum	P. monticola	P. ostreatus	T. versicolor
Smreka	Kontrola	No	38,3%	17,2%	8,9%	14,2%
		Oil	33,2%	11,9%	5,7%	11,1%
	300	No	32,8%	19,1%	7,5%	15,4%
		Oil	31,2%	12,6%	3,6%	9,5%
	350	No	27,6%	15,7%	6,0%	13,7%
		Oil	22,8%	11,0%	4,9%	9,1%
	400	No	25,6%	15,5%	10,0%	12,7%
		Oil	12,4%	15,9%	4,4%	7,6%
Jelka	Kontrola	No	25,8%	18,1%	11,0%	14,2%
		Oil	8,3%	10,5%	4,8%	3,0%
	300	No	25,9%	4,9%	8,3%	13,2%
		Oil	11,2%	13,7%	5,8%	4,3%
	350	No	5,9%	2,8%	7,7%	7,3%
		Oil	6,0%	8,9%	4,2%	3,4%
	400	No	12,3%	4,3%	8,7%	7,7%
		Oil	2,0%	6,0%	4,2%	2,4%
Bor	Kontrola	No	30,6%	16,4%	6,2%	16,5%
		Oil	29,6%	18,3%	4,7%	10,0%
	300	No	23,7%	18,8%	6,3%	19,9%
		Oil	23,3%	14,7%	3,8%	15,2%
	350	No	18,6%	15,9%	5,6%	20,2%
		Oil	12,0%	14,9%	2,9%	6,3%
	400	No	25,8%	14,1%	4,3%	12,2%
		Oil	13,2%	12,1%	3,4%	5,9%

Iz preglednice je razvidno, da kljub temu da je obžiganje le površinski proces, le to vpliva na odpornost lesa proti glivam. Odpornost izrazito narašča s temperaturo modifikacije. Les, ki je obžgan pri višjih temperaturah, je bolj odporen, kot pri nižjih, oziroma kot kontrolni les.

V skladu z izgubami mas, lahko razdelimo les v 5 razredov odpornosti na glivni razkroj. V prvi razred sodi najbolj odporen les, kot na primer robinija, v petega pa les, ki je najbolj dovzeten na razkroj, kot na primer beljava rdečega bora, bukovina ... Obžiganje izboljša razred odpornosti skoraj vsem materialom. Največji učinek je opaziti pri lesu jelke, najmanjši pa pri lesu smreke. Z obžiganjem pri smreki lahko dosežemo razred odpornosti 3, pri jelki pa celo prvi razred odpornosti. Iz poizkusov se vidi, da je obdelava lesa z ognjem in oljem deluje sinergistično. Olje praviloma izboljša delovanje sistemov.

Preglednica 10: Razredi odpornosti obžganega lesa

Lesna vrsta	Temp.	Oil	
Smreka	Kontrola	No	5
		Oil	5
		300 No	5
		Oil	5
		350 No	4
		Oil	4
		400 No	4
		Oil	3
Jelka	Kontrola	No	5
		Oil	3
		300 No	5
		Oil	4
		350 No	2
		Oil	2
		400 No	3
		Oil	1
Bor	Kontrola	No	5
		Oil	5
		300 No	4
		Oil	4
		350 No	4
		Oil	3
		400 No	4
		Oil	3

Za modeliranje odpornosti lesa v pogojih uporabe nad zemljo je treba upoštevati še odpornost proti navlaževanju. Faktor k_{wa} označuje sposobnost lesa, da med padavinskimi dogodki ostane suh. Faktor odpornosti lesa proti navlaževanju (k_{wa}) je mogoče določiti s kratkotrajno in dolgotrajno izpostavljenostjo lesa vodi, kot tudi z določanjem sorpcijskih lastnosti materialov in kapilarnega navzema vode.

Življenjsko dobo lesa smo določili z modelom Meyer-Veltrup na podlagi rezultatov pridobljenih iz različnih testov. S pomočjo teh podatkov smo lahko določili faktorje za posamezne glive iz teh pa nato izračunali faktor odpornosti materiala proti biološkemu razkroju k_{inh} za vse glive in faktor odpornosti proti navlaževanju materiala (k_{wa}). Relativno življenjsko dobo lesa ($D_{Rd\ rel}$) smo izračunali kot produkt faktorjev k_{inh} in k_{wa} , določili pa smo tudi predvideno relativno življenjsko dobo lesa.

Preglednica 11: Izračun relativne življenjske dobe lesa

Lesna vrsta	Temp.	Oil	k_{wa}	K_{inh}	D_{Rd}	$D_{rd\ rel}$
Smreka	Kontrola	No	1,0	1,0	325	1,0
		Oil	1,4	1,4	616	1,9
		300 No	1,1	1,0	372	1,1
		Oil	1,7	1,4	768	2,4
		350 No	1,1	1,2	459	1,4
		Oil	1,9	1,6	1018	3,1
		400 No	1,2	1,1	429	1,3
		Oil	2,3	1,9	1445	4,4
		Jelka Kontrola No	0,9	1,0	285	0,9
		Oil	1,7	3,2	1788	5,5
		300 No	1,0	1,3	406	1,2
		Oil	1,9	2,4	1520	4,7
Jelka	Kontrola	350 No	1,1	3,5	1274	3,9
		Oil	2,1	3,2	2136	6,6
		400 No	1,1	2,5	861	2,6
		Oil	2,3	3,9	2930	9,0
	Bor	Kontrola No	1,0	1,1	382	1,2
		Oil	1,5	1,4	644	2,0
		300 No	1,1	1,2	415	1,3
		Oil	1,8	1,4	808	2,5
		350 No	1,2	1,3	524	1,6
		Oil	2,1	2,6	1781	5,5
		400 No	1,5	1,3	640	2,0
		Oil	2,1	2,5	1716	5,3

Podatki iz preglednice 3 nakazujejo, da je primernost obžganega lesa za zunanjo uporabo boljša, kot nakazujejo le testi odpornosti z glivami. Vrednost D_{rd} za smrekov les 325 nakazuje, da je za razvoj prvih znakov trohnobe potrebnih 325 dni z ugodnimi pogoji (vlažnost lesa nad 25 %, temperatura med 3°C in 40°C), da se razvije razkroj. V Ljubljani, je za to potrebnih dve leti (dve leti do razvoja prvih znakov razkroja). Kot je razvidno iz preglednice 3, pri obžganem lesu ta vrednost lahko doseže celo 2930 (jelka, 400°C, olje). Ne glede na to katero vrednost vzamemo, je pričakovati, da bo življenjska doba obžganega lesa, od življenjske dobe smrekovine. Višja ko je temperatura žganja, boljša je odpornost.

1 IZHODIŠČE

Slovenski gozdovi posedujejo številne domače in tuje drevesne vrste. Rdeči hrast (*Quercus rubra* L.) je v Sloveniji tujerodna drevesna vrsta. Samoniklo uspeva le na vzhodu Severne Amerike. Les rdečega hrasta se uporablja za številne izdelke in polizdelke v lesarski industriji. Les se dobro mehansko in površinsko obdeluje. Pogosto je uporabljen v konstrukcijske namene, predvsem zaradi dobrih mehanskih lastnosti lesa. V Sloveniji imamo več nasadov rdečega hrasta, zato je pomembno da poznamo vse možnosti uporabe njegovega lesa.

Geografska lega, osončenost, vrsta tal, količina padavin in drugi dejavniki lahko pomembno vplivajo na prirastno dinamiko nastajanja lesa v drevesu. Vse naštetu do določene mere vpliva na končne lastnosti lesa, ki ga uporabljamo v izdelkih. V magistrskem delu smo uporabili les rdečega hrasta iz gozdnega nasada pri Metliki. Uporaba lesa iz slovenskega rastišča pri izvajanju testiranja, bo pomemben dejavnik, pri bolj natančnem poznavanju lastnosti lesa iz podobnih rastišč v Sloveniji.

Kljub uvrstitvi na opazovalni seznam invazivnih vrst, razraščanje rdečega hrasta v Sloveniji še ni tako intenzivno, da bi nas moralo skrbeti. S skrbnim upravljanjem obstoječih gozdnih nasadov bo pomlajevanje vrste lahko ostalo kontrolirano.

V sklopu raziskave smo za primerjalni material uporabili jedrovino enega od domačih venčastoporoznih hrastov (*Quercus spp.*), ki spadata v skupino belih hrastov. Les teh dveh domačih hrastov si je po lastnostih močno podoben, zato za potrebe naših raziskav ni bila potrebna identifikacija, da bi določili ali gre za dob oz. graden. V nadaljevanju bomo kot skrajšano ime za les doba/gradna uporabljali izraz evropski hrast.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Izziv pri uporabi lesa v izdelkih z višjo dodano vrednostjo in pri projektih večjih vrednosti, predstavlja nepoznavanje lesnih vrst, ki niso v tradicionalni uporabi. Mizarji, stavbarji in drugi uporabniki lesa najraje posežejo po njim dobro poznanih vrstah. Raziskave na področju lastnosti lesa, kot je naša, bodo pripomogle k uporabi do zdaj manj pogosto uporabljenih lesnih vrst.

1.2 NAMEN IN CILJI NALOGE

Testiranje lesa s privzetimi in standardiziranimi metodami je pomemben korak do bolj poglobljenega razumevanja lastnosti lesa. Uporaba standardiziranih postopkov pri testiranju, omogoča primerjavo z ostalimi lesnimi vrstami in drugimi raziskavami z vsega sveta. Naš namen je z različnimi metodami primerjati lastnosti jedrovine rdečega hrasta (*Quercus rubra* L.) z jedrovino enega od predstavnikov evropskih hrastov in s smreko (*Picea abies* L.), kot referenčno vrsto. Beljava je neodporna na glivni razkroj in je tudi po standardu SIST EN 350:(2017) uvrščena v peti (najslabši) razred, zato smo v sklopu vseh raziskav uporabljali le jedrovino vseh treh lesnih vrst.

S testiranjem bomo preverili odpornost lesa proti glivnem razkroju in navlaževanju. Lesu rdečega hrasta smo s kemijskimi metodami določili delež celuloze, lignina in hemiceluloz. Z ekstrakcijo smo določili količino ekstraktivov in skušali potegniti vzporednice z vsebnostjo ekstraktivov in vplivom le teh na dinamiko glivnega razkroja. Pripravili bomo ksilotomske rezine in s pomočjo optičnega mikroskopa fotografirali mikroskopsko zgradbo lesa evropskega hrasta in rdečega hrasta. Dobljene rezultate bomo primerjali z rezultati v literaturi. Cilj je povezati rezultate iz naših testov in literature, ter podati ustrezne

zaključke, ki bodo v pomoč pri uporabi lesa rdečega hrasta. Pridobljeni rezultati nam bodo omogočili izračun pričakovane življenjske dobe lesa.

1.3 HIPOTEZE

Les rdečega hrasta ima slabšo odpornost proti navlaževanju kot les evropskega hrasta

Les rdečega hrasta ima slabšo odpornost proti glivam razkrojevalkam kot les evropskega hrasta

Les rdečega hrasta ima nižjo vsebnost ekstraktivov kot les evropskega hrasta

2 MATERIALI IN METODE

2.1 MATERIALI

Izbira ustreznih materialov je pomemben člen pri raziskovanju, saj močno vpliva na uporabnost in primerljivost končnih rezultatov. Vsled temu načelu smo izbirali uporabljene materiale.

2.1.1 Rdeči hrast (*Quercus rubra* L.) s Kmetije Dragovan

Naš glavni material za raziskovanje je bila jedrovina rdečega hrasta (*Quercus rubra* L.). Plohe rdečega hrasta (Slika 1) nam je zagotovila Kmetija Dragovan iz Svržakov pri Metliki. Plohe so našagali iz dreves, posekanih v lastnem nasadu rdečega hrasta v Geršičih nedaleč od Metlike. Rastišče se nahaja na približno 180 m. n. v.. Prve sadike rdečega hrasta so na tem rastišču zasadili med letoma 1950-1955. Nasad je bil vseskozi negovan, kar se odraža v izjemni višini dreves in ravnosti debel. Rastišče smo si ogledali tudi sami in izvedli identifikacijo dreves po listih. Ugotovili smo da se vrsta izjemno hitro pomlajuje in kaže znake invazivnosti. Na posekah in vlakah mladike izraščajo tako intenzivno, da ne dopuščajo rasti drugim drevesom. Nekaj letna drevesa rdečega hrasta tvorijo neprehodno goščo na rastiščih.



Slika 38: Žaga in skladišče lesa rdečega hrasta na kmetiji Dragovan



Slika 39: Listi in skorja rdečega hrasta: Geršiči, Metlika

Kot primerjalni material za določanje lastnosti jedrovine rdečega hrasta je bila uporabljena jedrovina enega od domačih dveh venčastoporoznih hrastov doba (*Quercus robur* L.) oz. gradna (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. Zaradi izjemne podobnosti lesa doba in gradna anatomska identifikacija ni bila možna, ker pa sta si tudi po lastnostih lesa zelo podobna, ni bilo potrebe po ugotavljanju vrste z vidika naših raziskav. Vsled temu, da se v slovenski lesarski literaturi les doba in gradna pogosto obravnava s skupnim imenom hrast, smo les teh dveh vrst v raziskavi skrajšano imenovali: evropski hrast.

Jedrovina smreke (*Picea abies* (L.) Karst.) je bila uporabljena kot referenčna in hkrati primerjalna vrsta pri testiranjih.

2.1.2 Velikost in priprava vzorcev

Les vseh treh lesnih vrst je bil odvzet iz reprezentativnih zračno osušenih plohov. Les evropskega hrasta in smreke smo zagotovili iz zaloge lesa na oddelku, rdeči hrast pa nam je zagotovila kmetija Dragovan. Vzorci so bili vzeti iz različnih mest v jedrovini, glede na potrebo posamezne raziskovalne metode. Za vsa testiranja smo uporabljali le jedrovino vseh treh lesnih vrst.

Večino naših testnih vzorcev so predstavljali vzorci v izmeri 15 mm × 25 mm × 50 mm (t × w × l), ki so bili pripravljeni po standardni metodi. Uporabili smo le vzorce brez grč, razpok in ostalih napak.

Pri določenih testih smo vzorce bodisi zmanjšali ali jih zmelili. Velikost, število in lastnosti vzorcev so podrobneje opisani pri posamezni metodi.

2.2 METODE

2.2.1 Pospešena ekstrakcija s topili - ASE (accelerated solvent extraction)

Količina in kvaliteta ekstraktivov v lesu pomembno vpliva na naravno odpornost lesa in potek glivnega razkroja. Večji deleži fenolnih ekstraktivov v lesu so za rast gliv neugodni, zato je v splošnem tak les bolj odporen na glivni razkroj. Z ekstrakcijo v sistemu za pospešeno ekstrakcijo s topili – ASE (ang. akronim za accelerated solvent extraction) smo ugotovili, kakšno količino ekstraktivov vsebuje jedrovina rdečega hrasta v primerjavi z jedrovino evropskega hrasta.

2.2.2 Določitev vsebnosti celokupnih fenolov z UV–vis spektrometrom

Vzorci za testiranje z UV-Vis spektrofotometrijo smo pripravili iz acetonskih ekstraktov pridobljenih s sistemom ASE. Po 3 mL acetonskega ekstrakta smo odpipetirali v temne 20 mL stekleničke in jih postavili v vakuumsko komoro za 24 h pri tlaku 2 kPa, kjer smo odparili topilo. V stekleničke s suhim ekstraktom smo dodali 6 mL metanola (99,9 %, »HPLC« čistost), tako pripravljene metanolne raztopine ekstraktov smo za 3 min postavili v ultrazvočno kopel.

2.2.3 Določanje vsebnosti holoceluloze, celuloze v lesu in lignina

Za namen nadaljnjega testiranja smo uporabili zmlet les, ki smo mu predhodno z ekstrakcijo po Soxhletu odstranili ekstraktive. V erlenmajerice smo nasuli po 5 g vzorca in tako pripravili tri paralele za evropski hrast in tri za rdeči hrast. Vzorci smo zalili s 100 mL destilirane vode in jih pustili čez noč. Zjutraj smo erlenmajerice postavili na vodno kopel segreto na 90 °C in ob tem v vsako dodali 10 mL 10 % NaClO₂ in 10 kapljic koncentrirane očetne kisline (Slika 21). Nato smo na eno uro dodajali po 10 mL 10 % NaClO₂ in očetno kislino. Izvedli smo šest ciklov dodajanja. Po zadnjem dodajanju smo počakali eno uro in nato erlenmajerice ohladili. Pridobljeno holocelulozo smo nato filtrirali in sprali. Filtracijo smo izvedli s predhodno osušenimi in stehtanimi filter lončki. Holocelulozo smo skupaj s filter lončki posušili do absolutne suhosti na 103 °C in jo nato stehtali. Delež holoceluloze v lesu evropskega hrasta in rdečega hrasta smo določili z izračunom na podlagi količine ekstraktivov, lignina ter celuloze in ne na podlagi mase holoceluloze.

Vzorci lesa evropskega hrasta in rdečega hrasta, ki smo jim predhodno odstranili ekstraktive z ekstrakcijo po Soxhletu smo uporabili pri metodi za določanje vsebnosti lignina po Klasonu (TAPPI standard T 222 om-02). V posamezen steklen lonček smo zatehtali 1,9 g vzorca in dodali 15 mL H₂SO₄. Lončke smo zaradi reakcije hladili v vodi in pustili da kislina deluje 2 uri. Po dveh urah smo pripravili po 566 mL destilirane vode s katero smo sprali ves les in žveplovo kislino v erlenmajerice. S tem smo dobili 3 % mešanico žveplove kisline. Erlenmajerice smo priklopili na vodne hladilnike in mešanico segreli na grelcih do vretja in jo nato zmerno povrevali eno uro. Po končanem postopku smo vsebino iz erlenmajeric prefiltrirali skozi stehtan filter papir (Slika 23). Lignin smo spirali z obilo destilirane vode. Filter papir z ligninom (Slika 24) smo posušili v sušilniku Kambič SP 120-C Easy na 103 °C do absolutne suhosti in ga stehtali.

2.2.4 Odpornost lesa proti glivam razkrojevalkam

Podatki o odpornosti lesa proti glivam razkrojevalkam so pomembna informacija za vse uporabnike lesa. S standardizirano metodo po standardu SIST EN 113:2021 smo testirali tri različne lesne vrste. Uporabili smo jedrovino evropskega hrasta, rdečega hrasta in smreke. Smrekovino smo uporabili kot referenčno lesno vrsto, les evropskega hrasta pa za primerjavo lastnosti z rdečim hrastom. Glive smo izbrali na podlagi izkušenj s predhodnih raziskav z ozirom na to, da testiramo les venčastoporoznega listavca. Izbrali smo pisano ploskocevko, hrastovo labirintnico in navadno tramovko.

Glive za svojo optimalno rast v laboratorijskih pogojih potrebujejo ustrezno hranilno gojišče. V ta namen smo pripravili 3750 mL hranilnega gojišča (mešanica krompirjevega agarja in destilirane vode). Na liter vode smo uporabili 39 g agarja (Difco Potato Dextrose Agar). Gojišče smo pripravili tako, da smo agar postopno dodajali v vrelo vodo, da se lepo zgosti brez nastanka grudic. Vroče gojišče smo nalili v 350 mL steklene kozarce, ki so bili predhodno očiščeni in razkuženi z etanolom. V vsak kozarec smo nalili 50 mL. Tako smo pripravili 75 kozarcev. Vsak kozarec smo zaprli s pokrovčkom, v katerega smo izvrtali luknjo, ki smo jo zamašili s sterilno gazo. Gaza omogoča prehod zraka v kozarec, kar je pomembno za rast gliv.

Vzorci lesa za testiranje smo pripravili iz nabora reprezentativnih desk za posamezno lesno vrsto. Nažagali smo vzdolžno orientirane vzorce velikosti 15 mm × 25 mm × 50 mm. Za testiranje smo uporabili samo vzorce brez napak in z orientacijo letnic na prečnem prerezu pod kotom $45^{\circ} \pm 15^{\circ}$. Za namene našega testiranja smo uporabili 30 vzorcev evropskega hrasta, 30 vzorcev rdečega hrasta in 60 vzorcev iz smrekovine. Pripravljene zračno suhe vzorce smo stehali s tehtnico Precisa gravimetrics EP 320 na 0,0001 g natančno. Stehtane zračno suhe vzorce smo nadalje 24 h sušili na 103 °C v sušilniku Kambič. Absolutno suhe vzorce smo ohladili v eksikatorju in stehali.

Glive so po 16 tednih z micelijem obrastle les. Kozarce smo odprli in les očistili micelija, ter vzorce takoj vlažne stehali. Izračun vlažnosti lesa po 16 tednih razkroja smo opravili po enačbi 5. Vzorce smo po tehtanju za 24 h prestavili v sušilnik Kambič na 103 ± 2 °C. Po sušenju smo vzorce ohladili v eksikatorju in jih ponovno stehali. Tako smo s tehtanjem pridobili podatke o izgubah mas pri posamezni lesni vrsti ob izpostavitvi določeni glivi.

2.2.5 Kratkotrajni in dolgotrajni navzem vode

Kratkotrajni (kapilarni) navzem vode s čelne površine lesa je pomemben podatek, ki nam da informacijo o tem, kakšno količino vode vsrka posamezna lesna vrsta v določenem času. Testiranje smo izvajali na tenziometru K100 MK2. Metodo smo izvajali z zračno suhimi vzorci velikosti 15 mm × 25 mm × 50 mm. Pripravili smo po deset vzorcev smreke, evropskega hrasta in rdečega hrasta. Posamezen vzorec smo vertikalno vpeli na vpenjalo. Pod vzorec smo v posodico na napravi nalili vodo. Naprava testiranje izvaja tako da vzorec s čela potopi v vodo do globine 1 mm in nato na 2 sekundi izmeri maso vpetega vzorca. Spremembo mase smo beležili prvih 200 sekund. S podatki o masi vzorca po času in znani površini čela smo izračunali navzem vode v g/m². Za test dolgotrajnega navzema vode smo uporabili po 10 vzorcev smreke, evropskega hrasta in rdečega hrasta. Vzorce smo razmaknjene zložili na PE mrežico v posodo. Nad vzorce smo ponovno postavili mrežo in jih obtežili. Obtežene vzorce smo zalili z destilirano vodo. Vzorce smo tehtali: zračno suhe, po eni uri potapljanja, po treh urah potapljanja, po 24 urah in nato še po 48 urah potapljanja.

Vzorce smo nato uporabili še za ugotavljanje hitrosti izgube mase pri razvlaževanju. Vzorce smo najprej 24 ur sušili na 60 °C. Osušene vzorce smo 24 ur potapljali in jih takoj zatem prestavili v eksikator za 24 ur. Na koncu smo vzorce sušili 24 ur na 103 °C. Tehtanja smo izvajali po obeh sušenjih, po 24 ur potapljanja in po 24 urah razvlaževanja / sušenja v eksikatorju.

2.2.6 Sorpcijske lastnosti lesa

Različne lesne vrste se različno hitro navlažujejo in razvlažujejo. Namen metode je ugotoviti razlike med navlaževanjem in razvlaževanjem evropskega hrasta in rdečega hrasta. V ta namen smo pripravili po 10 vzorcev evropskega hrasta, rdečega hrasta in smreke. Velikost vzorcev je bila standardna: 15 mm × 25 mm × 50 mm. Vzorce smo pred izpostavitvijo v komori 3 dni sušili na 60 °C v sušilniku Kambič. Po sušenju smo vzorce ohladili v eksikatorju, jih stehali in jih nato postavili v komoro za 24 h. Testiranje smo izvajali v stekleni zrakotesni komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo (RZV). Na dnu komore smo v kovinski pladenj nalili destilirano vodo in nadenj postavili stojalo z vzorci lesa. Komoro smo zaprli s pokrovom. Kroženje zraka v komori smo pospešili z ventilatorjem na pokrovu komore. V komori se zaradi zrakotesnosti relativna zračna vlaga poveča na skoraj 100 %. Po 24 h navlaževanja smo vzorce ponovno stehali. Nadalje smo vzorce spet postavili v komoro s 100 % RZV in jih v komori pustili dokler se ni navlaževanje ustalilo. Vzorci so konstantno maso dosegli po 26 dneh. Vlažne vzorce smo stehali in jih takoj prestavili v eksikator, kjer so se 24 h razvlaževali. Po 24 h razvlaževanja smo ponovno opravili tehtanje. Na koncu testa smo vse vzorce 24 h sušili na 103 ± 2 °C in jih stehali.

2.2.7 Model Meyer-Veltrup

Življenjska doba lesa je odvisna od številnih dejavnikov. Poglavitni dejavnik je mesto uporabe izdelka iz lesa. V zunanjem okolju, kjer je les stalno izpostavljen padavinam je vlažnost lesa pogosto nad 20 %, kar je ugodno za rast gliv, ki razkrajajo les. Razkrojen les hitro izgublja trdnostne in estetske lastnosti.

Z modelom Meyer-Veltrup lahko v naprej napovemo pričakovano življenjsko dobo lesa na prostem, ki ni v stiku z zemljo.

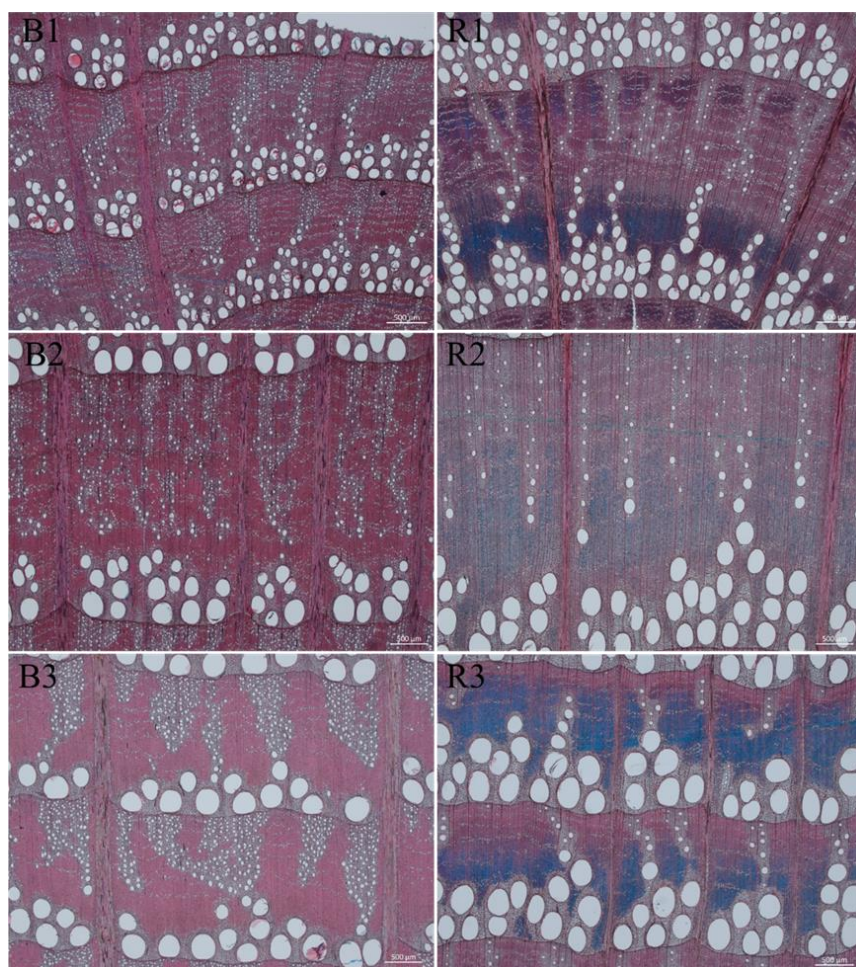
Model omogoča matematični izračun pričakovane življenjske dobe na podlagi podatkov, ki jih vnesemo v model. V modelu nastopajo trije ključni faktorji za izračun: faktor odpornosti lesa proti navlaževanju kwa, faktor odpornosti lesa proti biološkemu razkroju kinh in kritična meja, ki ustreza razkroju stopnje 1 po standardu (EN 252, 2012). Podatke o odpornosti proti navlaževanju smo pridobili iz predhodno opravljenih laboratorijskih testov: kratkotrajni navzem vode, dolgotrajni navzem vode, sorpcijske lastnosti in kapilarni navzem vode. Podatke o biološkem razkroju smo pridobili s testiranjem lesa na odpornost proti glivam razkrojevalkam po standardu SIST EN 113. Metodika izračunavanja faktorjev je podrobneje opisana v člankih Meyer-Veltrup in sod. (Meyer-Veltrup in sod., 2017).

3. REZULTATI in RAZPRAVA

3.1 ANATOMSKA IDENTIFIKACIJA LESA

Anatomija lesa nam pomaga razumeti in potrditi meritve pridobljene z ostalimi znanstvenimi metodami. Les belih in rdečih hrastov na mikroskopski ravni lahko ločimo na podlagi ključnih identifikacijskih znakov. V sklopu naloge smo primerjali les enega od predstavnikov belih hrastov (dob oz. graden), z lesom predstavnika rdečih hrastov, torej les *Quercus rubre*.

Preparate obeh hrastov smo pregledali z mikroskopom in posneli fotografije pri različnih povečavah. Ob fotografijah podajamo ključne ugotovitve o različnosti zgradbe lesa primerjanih lesnih vrst. Evropski hrast: na (Slika 32) B1, B2 in B3 vidne tile, traheje v kasnem lesu v značilnih širokih radialnih pasovih. Vidne razlike v širini branik med B1, B2 in B3. Rdeči hrast: na (Slika 32) R1, R2 in R3 ni vidnih til, traheje kasnega lesa so velike in posamične, manjštevilične, prehod med ranim in kasnim lesom bolj postopen. Branike na slikah R1, R2 in R3 različnih širin. Vidno modro obarvanje tenzijskih vlaken.



Slika 40: Evropski hrast in rdeči hrast. Prečni prerez. B= evropski hrast. R=rdeči hrast. 1=stržen. 2=jedrovina s širokimi branikami. 3=jedrovina z ozkimi branikami. Merilne daljice 500 µm

V ekstraktih smo z UV-vis spektrofotometrom izmerili količino celokupnih fenolov, torej količino spojin z znanstveno dokazanim antioksidativnim in protiglivnim učinkom, s temi lastnostmi pa zavirajo tudi glivni razkroj lesa (Vek in sod. 2020). Podatki o meritvah so podani v (Preglednica 12). Rdeči hrast vsebuje manj celokupnih ekstraktivov in manj celokupnih fenolov od evropskega hrasta. Manjše izmerjene količine so v dobri korelaciji z manjšo odpornostjo rdečega hrasta na glivni razkroj.

Preglednica 12: Povprečne vrednosti ekstraktivov in celokupnih fenolov v jedrovini evropskega hrasta (*Quercus* spp.) in rdečega hrasta (*Quercus rubra*). Ekstrakte smo pridobili s tehniko pospešene ekstrakcije s topili (ASE). cf... celokupni fenoli izraženi v miligramih na gram suhega lesa (mg/g, sl), lipo-e... lipofilni ekstraktivi izraženi v miligramih na gram suhega lesa, hidro-e... hidrofilni ekstraktivi izraženi v miligramih na gram suhega lesa, ce... celokupni ekstraktivi (ciklohek+70Me₂CO) izraženi v miligramih na gram suhega lesa, ciklohek... cikloheksan, 70Me₂CO... 70% (v/v) vodna raztopina acetona, sl... suh les.

povprečne vrednosti	lipo-e	hidro-e	ce	cf ciklohek	cf 70Me ₂ CO	vsota cf
Lesna vrsta	mg/g, sl	mg/g, sl	mg/g, sl	mg/g, sl	mg/g, sl	mg/g, sl
Rdeči hrast	4,60	65,15	69,75	1,00	12,23	13,22
Evropski hrast	5,60	83,38	88,98	0,95	17,52	18,47
Rdeči hrast			6,98%			1,32%
Evropski hrast			8,90%			1,85%

3.2 DELEŽ CELULOZE, LIGNINA IN HEMICELULOZ

Lesu evropskega hrasta in rdečega hrasta smo določili količino celuloze, holoceluloze, lignina in hemiceluloz.

Izračunane deleže celuloze, lignina, hemiceluloz in holoceluloze (Preglednica 14) v jedrovini obeh hrastov bomo v nadaljevanju primerjali s podatki iz različnih virov, ki so navedeni v pregledu literature. Na tem mestu moramo opozoriti, da so zbrani podatki informativne narave, kot tudi navajajo avtorji, ki so te podatke zbrali na enem mestu. Razlike v deležih posameznih gradnikov lesa nastajajo zaradi različnih kemijskih tehnik, s katerimi so bili gradniki izolirani iz lesa.

Raziskave za rdeči hrast (*Quercus rubra*) podajajo naslednje podatke o deležih gradnikov: za celulozo v lesu 42,2 % -- 46 %, v jedrovini do 49,8 %. Lignin v lesu 20,2 % - 24,0 %. Hemiceluloze v lesu 33,1 % (Jin in sod., 2013), (Pettersen, 1984), (Rowell in sod., 2012) in (Wagenführ, Scheiber 1974). Holocelulozo dobimo iz seštevka celuloze in hemiceluloz. Iz naštetega ugotavljamo, da so naši izračuni v okviru literaturnih podatkov.

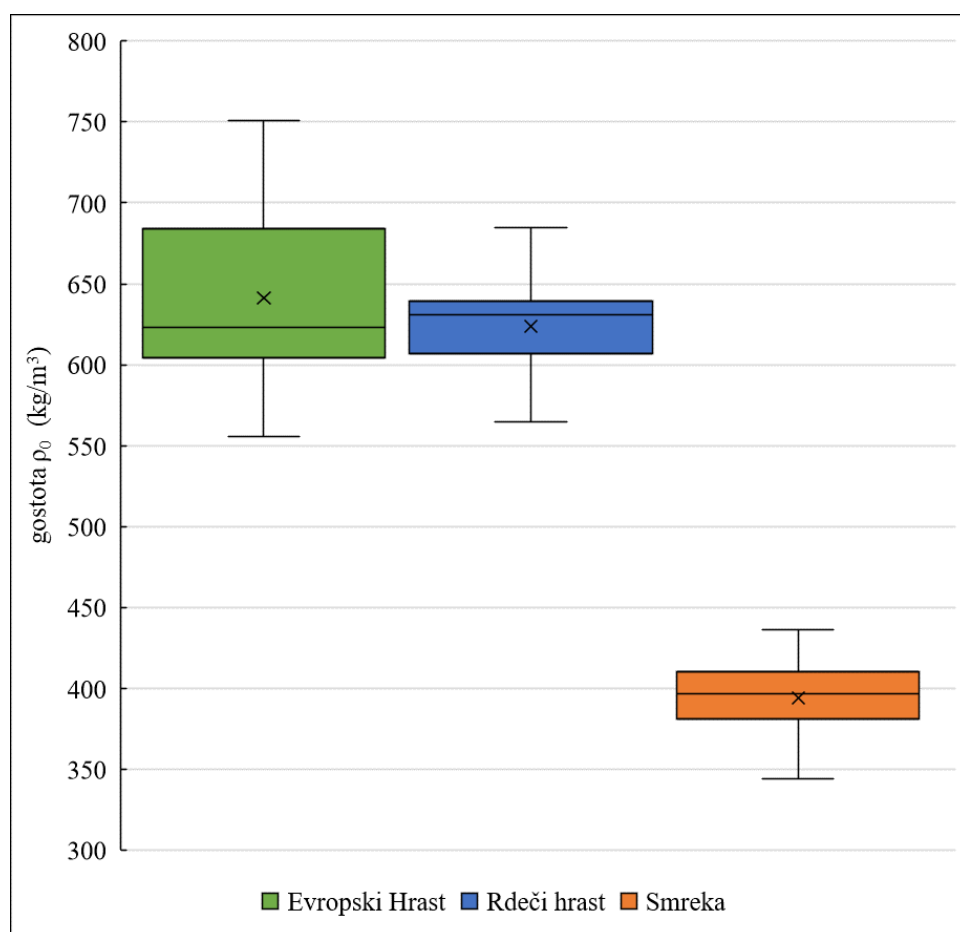
Evropski hrast v sklopu naše raziskave izkazuje nekoliko nižji delež celuloze in večji delež lignina kot rdeči hrast. To potrjujejo tudi podatki iz literature, ki za jedrovino evropskega hrasta (*Quercus* spp.) podajajo naslednje podatke: delež celuloze 41,78 %, delež lignina 27,43 % in delež hemiceluloz 24,48 % (Ghavidel in sod. 2020). Podatke smo pridobili še za les hrasta doba (*Quercus robur*), ki vsebuje: 41,1 % celuloze, 29,6 % lignina in 22,2 % pentozanov (Wagenführ, Scheiber 1974).

Preglednica 14: Deleži celuloze, lignina, hemiceluloz in holoceluloze v lesu evropskega hrasta in rdečega hrasta

	Celuloza	Lignin	Hemiceluloze	Holoceluloza
Rdeči hrast	46,8 %	21,6 %	27,7 %	74,5 %
Evropski hrast	44,8 %	25,8 %	26,0 %	70,8 %

3.3 GOSTOTA IN POROZNOST

Gostota lesa je pomemben podatek v lesnopredelovalni industriji saj je v tesni povezavi s številnimi lastnostmi lesa. Rezultati naših meritev so v skladu s pregledano literaturo. Les rdečega hrasta s povprečno gostoto v absolutno suhem stanju 624 kg/m³ ima nekoliko nižjo povprečno gostoto kot navajata (Richter in Dallwitz, 2000), ki podajata povprečno gostoto za rdeči hrast 660 kg/m³ in razpon gostote med 480 kg/m³ in 870 kg/m³. Za evropski hrast navajata povprečno gostoto okoli 630 kg/m³. Z meritvami smo potrdili, da sta gostoti evropskega hrasta in rdečega hrasta iz Slovenije v enakem gostotnem območju (Slika 43). Gostota lesa rdečega hrasta je tako v enakem območju kot gostota hrasta doba, cera in puhastega hrasta, kot so ugotovili (Humar in sod., 2020).



Slika : Gostota absolutno suhega lesa smreke, evropskega hrasta in rdečega hrasta

3.4 Odpornost lesa rdečega hrasta na glive razkrojevalke

Les smo po 16 tednih izpostavitve glivam očistili in ga takoj zatem stehali. Rdeči hrast se je pri vseh glivah navlažil bolj kot evropski hrast in v primeru navadne tramovke celo bolj kot les smreke. Nadalje

smo vzorce posušili do absolutne suhosti in jih stehtali. Rezultati in primerjava po glivah in drevesnih vrstah je podana v (Preglednica 17). Pričakovano je največjo odpornost na glivni razkroj izkazal evropski hrast, najmanjšo pa smreka, ki smo jo uporabili kot primerjalno oziroma referenčno vrsto. Les rdečega hrasta je po izgubi mase nekje na sredini med smreko in evropskim hrastom. Rdeči hrast je v primerjavi z evropskim hrastom izgubil 2-3 krat več lesne mase. Največji razkroj na rdečem hrastu je povzročila gliva *Daedalea quercina*, ki je povzročila 19 % večjo izgubo mase, kot na evropskem hrastu.

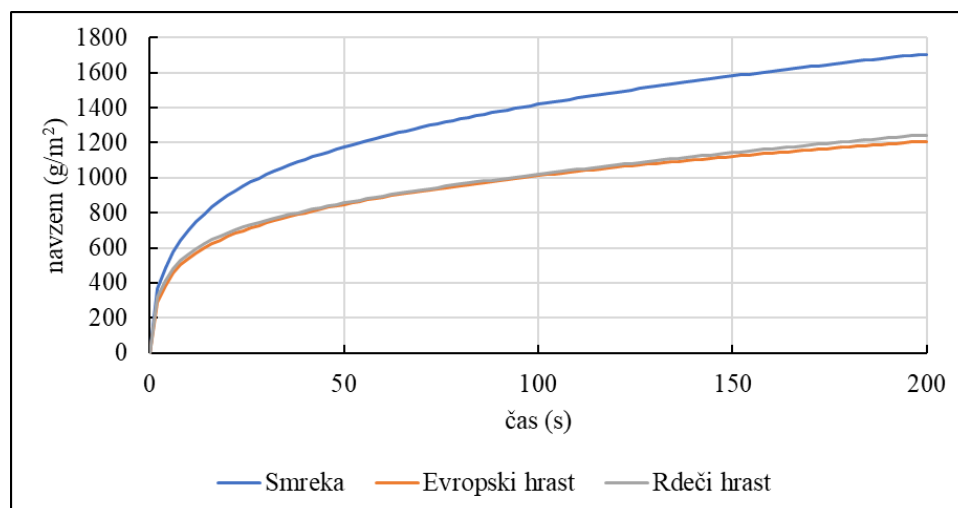
V nadaljevanju bomo podali primerjavo s puhastim hrastom, kjer so (Humar in sod., 2020) naredili raziskavo o izgubi mase za puhasti hrast in bukev kot referenco. Na puhastem hrastu je gliva *Trametes versicolor* povzročila izjemno majhno izgubo mase. Pri adultni jedrovini je bila izguba le 0,6 % pri juvenilni jedrovini pa 0,8 %. Na lesu bukve je bila izguba mase 25,4 %. S tem ugotavljamo, da je puhasti hrast zelo dobro odporen na glivni razkroj v primeru ko ga okužimo s *T. versicolor*.

Preglednica 17: Izguba mase lesa po 16 tedenski izpostavitvi glivam razkrojevalkam

Gliva	Lesna vrsta		
	Evropski hrast	Rdeči hrast	Smreka
<i>Daedalea quercina</i>	18 %	37 %	52 %
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	7 %	20 %	53 %
<i>Trametes versicolor</i>	6 %	12 %	17 %

3.5 Kratkotrajno in dolgotrajno namakanje

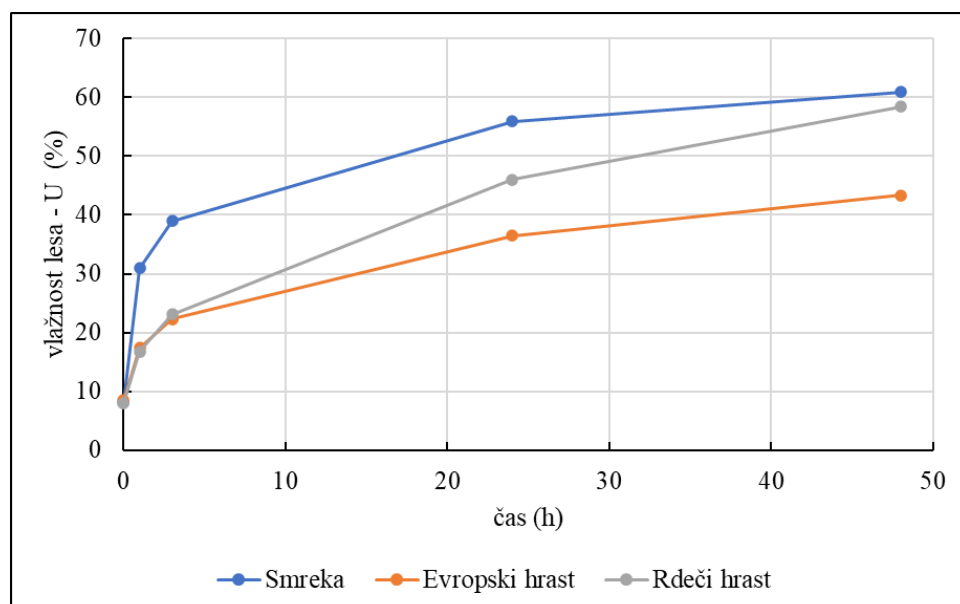
Kapilarni navzem vode oz. navzem vode s čela lesa je najintenzivnejši na začetku testa. Na (Slika 46) je lepo viden hiter prodor vode v les na začetku testa, ki pa se s časom upočasnjuje. Les evropskega hrasta in rdečega hrasta izkazujeta skoraj povsem identičen prirast mase ob navlaževanju s čela. Smrekovina se pričakovano navlažuje bolj. Z vidika kratkotrajnega navzema vode sklepamo, da les rdečega hrasta ni slabši od evropskega hrasta.



Slika 41: Navzem vode s čela

Eden od vzrokov za hitrejše navlaževanje rdečega hrasta je zagotovo manjša stopnja otiljenosti in njegova večja permeabilnost, slednje je razvidno iz standarda SIST EN 350:2017. Rdeči hrast je zmerno

do težko impregnabilen, medtem ko je evropski hrast zelo težko impregnabilen (SIST EN 350:2017). Rdeči hrast je tudi v ameriški literaturi po impregnabilnosti s kreozotom uvrščen v skupino 1, na lestvici od (1-4), kar pomeni zelo dobro penetracijo v les (Webb in sod., 1998).



Slika 42: Dolgotrajni navzem vode – potapljanje

Ob ponovnem 24 urnem potapljanju se je rdeči hrast ponovno navlažil bolj kot evropski hrast. Hitrost razvlaževanja je pri obeh vrstah podobna (Preglednica 18). Evropski hrast se je po 24 urah v eksikatorju osušil za 6 % in rdeči hrast za 7 %.

Preglednica 18: Vlažnost lesa pri navlaževanju in razvlaževanju

	U (%) po 24 h na 60 °C	U (%) po 24 h namakanja	U (%) po 24 h v eksikatorju
Smreka	1,8	60	47
Evropski hrast	2,8	35	29
Rdeči hrast	2,1	43	36

3.6 RELATIVNA ŽIVLJENJSKA DOBA LESA

Relativno življenjsko dobo lesa smo določili z modelom Meyer-Veltrup. Model kot izhodiščno kritično mejo predpostavlja čas v katerem ob ugodnih pogojih pride do začetka glivnega razkroja na smrekovini ter na beljavi bora in duglazije. Kritična meja za izračun je bila izračunana po številnih testiranjih in je določena pri 325 dneh.

Število dni v katerih bo ob ugodnih vremenskih pogojih prišlo do glivnega razkroja na lesu, ki ni v stiku z zemljo, je pa postavljen na prostem smo določili z enačbo 12. V enačbi nastopata faktorja k_{wa} - faktor odpornosti lesa proti navlaževanju in k_{inh} - faktor odpornosti materiala proti biološkemu razkroju. Faktorja smo izračunali iz podatkov pridobljenih na laboratorijskih testiranjih po metodiki, ki jo predpostavlja model. Zmnožek faktorjev smo pomnožili z izhodiščno kritično mejo 325 dni in tako dobili število dni, po katerih pričakujemo začetek razkroja jedrovine testiranih lesnih vrst. Meja 325 dni je bila določena s predhodnimi študijami kot je študija (Meyer-Veltrup in sod., 2017). Podatke smo

podali v Preglednica 19, iz katere je razvidno da je les evropskega hrasta le malenkost bolj odporen na različne vplive vode kot les rdečega hrasta. Les evropskega hrasta ima faktor k_{wa} 1,6 les rdečega hrasta pa 1,5. Večje razlike med vrstama so vidne pri testiranjih na glivni razkroj, kjer les rdečega hrasta dosega le dobro polovico odpornosti evropskega hrasta. Velika razlika v odpornosti na glivni razkroj je poglavitni dejavnik, zaradi katerega je relativna življenjska doba lesa rdečega hrasta polovico nižja od relativne življenjske dobe evropskega hrasta. V primerjavi s smrekovino bi les rdečega hrasta zdržal 2,7 krat več. S podatki pridobljenimi v sklopu raziskave z naslovom: The Performance of Wood Decking after Five Years of Exposure: Verification of the Combined Effect of Wetting Ability and Durability (Humar in sod., 2019) lahko ugotovimo, da je jedrovina rdečega hrasta po odpornosti v zunanjem okolju nad zemljo podobna odpornosti jedrovine macesna (*Larix decidua*) in jedrovini rdečega bora (*Pinus sylvestris*). V raziskavi za jedrovino rdečega bora podajajo vrednost $DRd_{rel} = 2,97$ in za jedrovino macesna $DRd_{rel} = 3,08$. Za evropski hrast v raziskavi podajajo vrednost $DRd_{rel} = 5,92$, kar je nekoliko višje kot smo izračunali v našem testu. Do razlik lahko pride zaradi uporabe drugih glivnih kultur in biološke variabilnosti testiranih materialov.

Preglednica 19: Izračuni faktorjev in relativne življenjske dobe lesa po modelu Meyer-Veltrup. k_{wa} - faktor odpornosti lesa proti navlaževanju, k_{inh} - faktor odpornosti materiala proti biološkemu razkroju, DRd - odpornost materiala v dnevih, DRd_{rel} relativna življenjska doba lesa, DRd_{leta} – pojav prvega razkroja v letih.

Lesna vrsta	k_{wa}	k_{inh}	DRd	DRd_{rel}	DRd_{leta}
Smreka	1,0	1,0	325	1,0	0,89
Rdeči hrast	1,5	1,8	878	2,7	2,4
Evropski hrast	1,6	3,5	1767	5,4	4,8

SKLEPI

Kemijske analize so potrdile našo hipotezo, da les rdečega hrasta vsebuje manj celokupnih ekstraktivov in fenolov. Količino ekstraktivov smo določili v ekstraktih, ki smo jih pridobili s pospešeno ekstrakcijo s topili (ASE). Jedrovina evropskega hrasta vsebuje 8,90 % celokupnih ekstraktivov in 1,85 % celokupnih fenolov, medtem ko jedrovina rdečega hrasta vsebuje 6,98 % celokupnih ekstraktivov, celokupnih fenolov pa 1,32 %. Razlike v vsebnosti ekstraktivov se dobro odražajo v odpornosti na glivni razkroj, oziroma v večji izgubi mase lesa pri rdečem hrastu. Poleg razlik v skupni količini ekstraktivov smo s HPLC analizo ugotovili, da rdeči hrast ne vsebuje dveh hidroliziranih taninov: veskalagina in kastalagina, ki sta ključna pri zaviranju glivnega razkroja. V ekstraktu evropskega hrasta smo odkrili 9,12 mg/L veskalagina in 29,92 mg/L kastalagina. Vzorcem obeh jedrovin smo po uveljavljenih metodah določili še delež celuloze, holoceluloze, lignina in hemiceluloz. Izračunani deleži se dobro ujemajo s pregledanimi viri.

Gostoti lesa evropskega hrasta in rdečega hrasta sta v enakem gostotnem območju in primerljivi z literaturnimi podatki.

Glive so pri rdečem hrastu povzročile dva do trikrat večje izgube mase kot pri evropskem hrastu, les rdečega hrasta pa se je med izpostavljenostjo glivam tudi bolj navlaževal. Vzroki za slabšo odpornost rdečega hrasta na glivni razkroj so: dokazano nižja vsebnost ekstraktivov kot pri evropskem hrastu, nižja vsebnost fenolov, odsotnost kastalagina in veskalagina ter manjša otiljenost trahej.

Izračun faktorja odpornosti lesa proti navlaževanju k_{wa} po metodi Meyer-Veltrup je pokazal, da primerjani vrsti izkazuje zelo podobno odpornost na različne vplive vode in vodne pare. Evropski hrast je z vrednostjo faktorja k_{wa} 1,6 le rahlo boljši od rdečega hrasta, ki dosega vrednost k_{wa} 1,5. Vrednost za smreko kot referenco je podana pri 1,0.

DS 5: Koordinacija, diseminacija, promocija

Rezultate projekta smo redno predstavljali zainteresirani strokovni javnosti. To smo dosegli na več načinov.

Izdali smo tri številke E-novic, ki smo jih posredovali zainteresirani strokovni javnosti s področja gozdno-lesne verige. Kopije teh e-novičnikov so dostopne na spletni strani projekta in repozitoriju UL.



Slika 43: Naslovnice E-novičnikov izdanih v okviru projekta

V sodelovanju z Gozdarskim vestnikom v tekočih številkah objavljamo ključne rezultate projekta. Posamezni članki na temo CRP projekta bodo izhajali še v prihodnjih mesecih. S tem smo ključne rezultate podrobneje predstavili strokovni javnosti. Te objave so pripravljene v Slovenskem jeziku ter tako dostopne tudi javnosti, ki slabše obvlada angleški jezik, oziroma nima dostopa do strokovne in znanstvene literature v mednarodnih revijah.

Odpornost lesa izbranih lesnih vrst na prostem

Odpornost lesa izbranih lesnih vrst na prostem

Miha HUMAR¹, Boštjan LESAR², Davor KRŽIŠNIK³

Izvleček:

Velika večina drevesnih vrst iz slovenskih gozdov nima odpornega lesa, zato na prostem (pre)hitro propade. Kadar les uporabljamo v gospodarske namene, želimo te procese čim bolj upočasniti. V okviru raziskave smo v ta namen les izbranih domačih drevesnih vrst (navadne smreke (*Picea abies*), les smrekovih lubadark, bele jelke (*Abies alba*), beljave in jedrovine rdečega bora (*Pinus sylvestris*), jedrovine evropskega macesna (*Larix decidua*), navadne bukve (*Fagus sylvatica*), belega gabra (*Carpinus betulus*) in jedrovine robinije (*Robinia pseudoaccacia*)) impregnirali z baker-etanolaminskim biocidnim proizvodom oziroma jih termično modificirali. Vzorce smo leta 2007 izpostavili na terensko polje Oddelka za lesarstvo v Ljubljani, kjer smo vsako leto ocenjevali razkrojenost. Najhitreje so propadli vzorci gabra in bukve. Prvi razkroj na smrekovini se je pojavil po dveh letih. Les lubadark je začel trohniti leto pred referenčno smrekovino, macesnovina in jedrovina bora pa leto kasneje. Najbolje se je izkazal les robinije. Z impregnacijo smo uspešno zaščitili les iglavcev, pri bukovini in gabrovini smo bili manj uspešni. Termična modifikacija se je izkazala za uspešen postopek zaščite za vse preizkušane lesne vrste.

Ključne besede: les, naravna odpornost, razkroj, modifikacija lesa, impregnacija lesa

Abstract:

The vast majority of wood from Slovenian forests is not durable, so it decays (too) quickly if used in outdoor applications. When we use wood for commercial purposes, we want to slow degradation processes down as much as possible. In the respective study, wood from selected native species (*Picea abies*, spruce bark beetle damaged wood, *Abies alba*, *Pinus sylvestris*, European larch, *Larix decidua*, *Fagus sylvatica*, *Carpinus betulus* and *Robinia pseudoaccacia*) was impregnated with a copper-ethanolamine biocide product or thermally modified. The samples were then exposed to the field test site of the Department of Wood Science and Technology in Ljubljana, where decomposition was assessed annually. The samples of hornbeam and beech decayed the fastest. The exposed hornbeam and beech wood started to decay a year before the reference spruce wood, and the decay at

Slika 44: Primer objave v Gozdarskem vestniku

Povzetek objav:

Znanstveni članki

DONG, Huijun, HASANAGIĆ, Redžo, FATHI, Leila, BAHMANI, Mohsen, KRŽIŠNIK, Davor, KERŽIČ, Eli, HUMAR, Miha. Selected mechanical and physical properties of thermally modified wood after field exposure tests. *Forests*. [Online ed.]. 2023, vol. 14, iss. 5, str. 1-14, ilustr. ISSN 1999-4907. <https://www.mdpi.com/1999-4907/14/5/1006>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=146017>, DOI: 10.3390/f14051006. [COBISS.SI-ID 152107267]

CHU, Demiao, HASANAGIĆ, Redžo, FATHI, Leila, BAHMANI, Mohsen, HUMAR, Miha. Water absorption capacity and coating adhesion on thermally modified and not-modified spruce wood (blue stained or free of blue stained). *Journal of renewable materials*. 2023, vol. <sprejeto v objavo>, no. <sprejeto v objavo>, str. 1-18. ISSN 2164-6341. <https://www.techscience.com/jrm/online/detail/19444>, DOI: 10.32604/jrm.2023.043657.

HUMAR, Miha, LESAR, Boštjan, KRŽIŠNIK, Davor. Moisture performance of various wooden shingles designs tested on the Golobar cable yarding. *Wood material science & engineering*. 2023, vol. <sprejeto v objavo>, no. <sprejeto v objavo>, str. 1-11. ISSN 1748-0280. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17480272.2023.2199714?src=,> DOI: 10.1080/17480272.2023.2199714.

LESAR, Boštjan, HUMAR, Miha. Performance of iron(II)-sulphate-treated Norway spruce and Siberian larch in laboratory and outdoor tests. *Forests*. [Online ed.]. 2022, vol. 13, iss. 9, 1-17 str., ilustr. ISSN 1999-4907. <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/9/1497>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=146683>, DOI: 10.3390/f13091497.

HUMAR, Miha, LESAR, Boštjan, KRŽIŠNIK, Davor. Sorption properties of wood impregnated with the fire retardant Burnblock = Sorpcijske lastnosti lesa, impregniranega z ognjezadrževalnim sredstvom Burnblock. *Les*. [Tiskana izd.]. 2022, letn. 71, št. 1, str. 15-22, ilustr. ISSN 0024-1067. <https://www.les->

wood.si/index.php/leswood/article/view/157/107, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=138567>, <http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-88ML8UW1>, DOI: 10.26614/les-wood.2022.v71n01a02.

VEK, Viljem, KERŽIČ, Eli, POLJANŠEK, Ida, EKLUND, Patrik, HUMAR, Miha, OVEN, Primož. Wood extractives of Silver fir and their antioxidant and antifungal properties. *Molecules*. 2021, vol. 26, no. 21, str. 1-15. ISSN 1420-3049. <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/21/6412>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=133090>.

HUMAR, Miha, LESAR, Boštjan, KRŽIŠNIK, Davor. Vpliv podnebnih sprememb na dinamiko glivnega razkroja lesa v Sloveniji = Influence of climate change on the dynamics of the fungal decay of wood in Slovenia. *Acta Silvae et Ligni*. [Tiskana izd.]. 2021, [št.] 125, str. 53-59, ilustr. ISSN 2335-3112. <https://doi.org/10.20315/ASetL.125.5>, <http://dirros.openscience.si/IzpisGradiva.php?id=14267>, <http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-W2OAKX9F>, <https://dirros.openscience.si/IzpisGradiva.php?id=14267>, DOI: 10.20315/ASetL.125.5. [COBISS.SI-ID 73233155]

Domen ARNIČ, Miha HUMAR, Davor KRŽIŠNIK, Luka KRAJNC, Peter PRISLAN; Gostota lesa - metode določanja in pomen pri razvoju gozdno Lesnega biogospodarstva; *Acta Silvae et Ligni* 124 (2021), 1–11

KRAJNC, Luka, GRIČAR, Jožica. The effect of crown social class on bark thickness and sapwood moisture content in Norway spruce. *Forests*. 2020, iss. 12, article 1316, 17 str.

BARBERO-LÓPEZ, Aitor, VEK, Viljem, POLJANŠEK, Ida, VIRJAMO, Virpi, LÓPEZ-GÓMEZ, Yeray Manuel, SAINIO, Tuomo, HUMAR, Miha, HUMAR, Miha, OVEN, Primož, HAAPALA, Antti. Mapping the biotic characterisation, recovery and activity of hydrophobic compounds in Norway spruce log soaking pit water : could they be used in wood preservative formulations?. *Waste and biomass valorization*. [Spletna izd.]. 2022, vol. <v tisku>, iss. <v tisku>, 1 spletni vir (1 datoteka pdf ([12] str.)). ISSN 1877-265X. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-022-01676-2>, DOI: 10.1007/s12649-022-01676-2. [COBISS.SI-ID 92903683]

KRAJNC, Luka, KUŠAR, Gal. Določanje prostornine dreves s krivuljami za opis oblike debla (KOOD) = Determining tree volume using taper functions. *Gozdarski vestnik : slovenska strokovna revija za gozdarstvo*. [Tiskana izd.]. 2022, letn. 80, št. 2, str. 63-76, ilustr. ISSN 0017-2723. [COBISS.SI-ID 108361475]

PRISLAN, Peter, MARTINEZ DEL CASTILLO, Edurne, SKOBERNE, Gregor, ŠPENKO, Neža, GRIČAR, Jožica. Sample preparation protocol for wood and phloem formation analyses. *Dendrochronologia*. 2022, vol. <v tisku>, art. 125959, str. <v tisku>. ISSN 1612-0051. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.125959>,

KRAJNC, Luka, GRIČAR, Jožica, JEVŠENAK, Jernej, HAFNER, Polona, BRUS, Robert. Tree rings, wood density and climate–growth relationships of four Douglas-fir provenances in sub-Mediterranean Slovenia. *Trees*. 2022, vol. <v tisku>, iss. <v tisku>, 17 str. ISSN 1432-2285. <https://doi.org/10.1007/s00468-022-02362-5>, <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-022-02362-5>, <https://dirros.openscience.si/IzpisGradiva.php?id=15819>, DOI: 10.1007/s00468-022-02362-5. [COBISS.SI-ID 130277891]

Strokovni članki

HUMAR, Miha. Novi materiali, osnovani na lesu, in možnosti za boljšo konkurenčnost. V: BIZIAK, Iztok, VOLFAND, Jože. Izzivi in rešitve za ponovni vzpon pohištvene industrije : priročnik. Celje: Fit media, 2022. Str. 74-77. ISBN 978-961-6283-63-2. [COBISS.SI-ID 131392515]

ARNIČ, Domen, HUMAR, Miha, KRŽIŠNIK, Davor, PRISLAN, Peter, KRAJNC, Luka. Gostota lesa : metode določanja in pomen pri razvoju gozdno lesnega biogospodarstva. *InfoGozd : skrbno z gozdom*. 16. jun. 2021, let. 2, št. 6, str. 17-18, ilustr. ISSN 2738-5035. <https://dirros.openscience.si/IzpisGradiva.php?id=15734>, <https://dirros.openscience.si/IzpisGradiva.php?id=15734>. [COBISS.SI-ID 94722307]

KRAJNC, Luka, ARNIČ, Domen, PRISLAN, Peter. Terensko delo, zbiranje ter obdelava kolutov. E-novice CRP Gozdno-lesna veriga. 2021, št. 1, str. 3, ilustr. ISSN 2784-7756. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=133611>. [COBISS.SI-ID 90203907]

KRAJNC, Luka, HAFNER, Polona, KUŠAR, Gal, SKUDNIK, Mitja. Presoja uporabnosti in natančnosti optičnega merjenja premerov nad prsno višino. E-novice CRP Gozdno-lesna veriga. 2021, št. 1, str. 4, ilustr. ISSN 2784-7756. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=133611>. [COBISS.SI-ID 90205443]

KRAJNC, Luka, GRIČAR, Jožica. Vpliv socialnega položaja na debelino lubja in vlažnost beljave pri navadni smreki. E-novice CRP Gozdno-lesna veriga. 2021, št. 1, str. 5, ilustr. ISSN 2784-7756. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=133611>. [COBISS.SI-ID 90208515]

GRIČAR, Jožica, PRISLAN, Peter. Makroskopske in mikroskopske značilnosti lesa : navadna tisa (*Taxus baccata* L.). Gozdarski vestnik : slovenska strokovna revija za gozdarstvo. [Tiskana izd.]. 2022, letn. 80, št. 1, sredica, ilustr. ISSN 0017-2723. [COBISS.SI-ID 99929091]

GRIČAR, Jožica, PRISLAN, Peter (avtor, fotograf). Makroskopske in mikroskopske značilnosti lesa. Evropski macesen (*Larix decidua* Mill.). Gozdarski vestnik : slovenska strokovna revija za gozdarstvo. [Tiskana izd.]. 2021, letn. 79, št. 7/8, str. [i-iv], ilustr. ISSN 0017-2723. [COBISS.SI-ID 81596675]

GRIČAR, Jožica, PRISLAN, Peter. Makroskopske in mikroskopske značilnosti lesa : veliki jesen (*Fraxinus excelsior* L.). Gozdarski vestnik : slovenska strokovna revija za gozdarstvo. [Tiskana izd.]. 2021, letn. 79, št. 10, sredica, ilustr. ISSN 0017-2723. [COBISS.SI-ID 89465347]

GRIČAR, Jožica, PRISLAN, Peter. Makroskopske in mikroskopske značilnosti lesa : domači kostanj (*Castanea sativa* Mill.). Gozdarski vestnik : slovenska strokovna revija za gozdarstvo. [Tiskana izd.]. 2022, letn. 80, št. 2, sredica, ilustr. ISSN 0017-2723. [COBISS.SI-ID 108408579]

GRIČAR, Jožica, PRISLAN, Peter. Makroskopske in mikroskopske značilnosti lesa : rdeči bor (*Pinus sylvestris* L.) in črni bor (*Pinus nigra* Arnold.). Gozdarski vestnik : slovenska strokovna revija za gozdarstvo. [Tiskana izd.]. 2022, letn. 80, št. 3, sredica, ilustr. ISSN 0017-2723. [COBISS.SI-ID 117835267]

KRAJNC, Luka. Ocenjevanje kakovosti stoječih dreves = Evaluating stem quality of standing trees. Gozdarski vestnik : slovenska strokovna revija za gozdarstvo. [Tiskana izd.]. 2022, letn. 80, št. 4/5, str. 194-210, ilustr. ISSN 0017-2723. [COBISS.SI-ID 125926147]

GRIČAR, Jožica, PRISLAN, Peter (avtor, fotograf). Makroskopske in mikroskopske značilnosti lesa. Navadni (Juglans regia L) in ameriški oreh (*Juglans nigra* L.). Gozdarski vestnik : slovenska strokovna revija za gozdarstvo. [Tiskana izd.]. 2022, letn. 80, št. 4/5, str. [i-iv], ilustr. ISSN 0017-2723. [COBISS.SI-ID 125931523]

GRIČAR, Jožica, PRISLAN, Peter (avtor, fotograf). Makroskopske in mikroskopske značilnosti lesa. Navadna ameriška duglazija (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Gozdarski vestnik : slovenska strokovna revija za gozdarstvo. [Tiskana izd.]. 2022, letn. 80, št. 6/7, str. [i-iv], ilustr. ISSN 0017-2723. [COBISS.SI-ID 133588227]

GRIČAR, Jožica, PRISLAN, Peter (avtor, fotograf). Makroskopske in mikroskopske značilnosti lesa. črna jelša (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) in siva jelša (*Alnus incana* (L.) Moench.). Gozdarski vestnik: slovenska strokovna revija za gozdarstvo. [Tiskana izd.]. 2021, letn. 80, št. 8/9, str. [i-iv], ilustr. ISSN 0017-2723. [COBISS.SI-ID 135124483]

GRIČAR, Jožica, PRISLAN, Peter. Makroskopske in mikroskopske značilnosti lesa : divja češnja (*Prunus avium* L.) in pozna čremsa (*Prunus serotina* Ehr.). Gozdarski vestnik : slovenska strokovna revija za gozdarstvo. [Tiskana izd.]. 2022, letn. 80, št. 10, sredica, ilustr. ISSN 0017-2723. [COBISS.SI-ID 142283779]

KRAJNC, Luka, HAFNER, Polona, GRIČAR, Jožica. Starost vzorčenih dreves za analize strukturnih posebnosti in mehanskih lastnosti lesa. E-novice CRP Gozdno-lesna veriga. 2022, št. 2, str. 5, ilustr. ISSN 2784-7756. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=133611>. [COBISS.SI-ID 134119171]

HUMAR, Miha. Novi materiali, osnovani na lesu, in možnosti za boljšo konkurenčnost. V: BIZJAK, Iztok, VOLFAND, Jože. Izzivi in rešitve za ponovni vzpon pohištvene industrije : priročnik. Celje: Fit media, 2022. Str. 74-77. ISBN 978-961-6283-63-2. [COBISS.SI-ID 131392515]

Vabljen predavanje

HUMAR, Miha, LESAR, Boštjan, KRŽIŠNIK, Davor. How to choose the best wood for decking and cladding?. V: HODŽIČ, Atif (ur.), ISLAMOVIC, Fadil (ur.), HODŽIČ, Damir (ur.). *RIM 2021 : electronic proceedings = elektronski zbornik radova*. Sarajevo: University of Bihac, Faculty of Technical Engineering, 2021. Str. 2-11, ilustr. <http://rim.tfb.ba/common/ZBORNIK2021.pdf>. [COBISS.SI-ID 88148995]

J Gričar, L Krajnc, M Westergren, S Rus, H Kraigher, The influence of climate changes on Central European forests with an emphasis on Slovenia. Stockholm: IRG Secretariat. 2022, 1 spletni vir (1 datoteka pdf([16] str.)).

<https://www.irg-wp.com/search-irg-docs.html>, <https://www.irg-wp.com/irgdocs/details.php?2c118b6c-97c9-c2e5-321b-c5597369aaf1>.

Predavanje

HASANAGIĆ, Redžo, BAHMANI, Mohsen, HUMAR, Miha, FATHI, Leila, CAI, Lili. Short-term absorption of water and coatings on thermally modified blue-stained spruce wood. V: *IRG documents database and compendium*. Stockholm: IRG Secretariat. 2023, 1 spletni vir (1 datoteka pdf([11] str.)). <https://www.irg-wp.com/irgdocs/details.php?7ce4122b-0759-5b93-dfb1-7840fa67fd97>.

HUMAR, Miha, LESAR, Boštjan, KRŽIŠNIK, Davor. Moisture performance of wooden shingles tested on the Golobar cable yardin. V: *IRG documents database and compendium*. Stockholm: IRG Secretariat. 2023, 1 spletni vir (1 datoteka pdf([13] str.)). <https://www.irg-wp.com/irgdocs/details.php?a70bb1d4-b1ef-0fb7-f177-99f18827b5df>.

LESAR, Boštjan, HUMAR, Miha, OSVALD, Florjan. Influence of weathering of wood surfaces before and after treatment with iron(II) sulphate. V: *IRG documents database and compendium*. Stockholm: IRG Secretariat. 2023, 1 spletni vir (1 datoteka pdf([17] str.)). <https://www.irg-wp.com/irgdocs/details.php?ba3826df-3bfd-16f7-8673-4249c7641dc2>.

HUMAR, Miha, LESAR, Boštjan, KRŽIŠNIK, Davor, KERŽIČ, Eli, JEMEC, Blaž. Analysis of wooden shingles after seven years of exposure. V: *IRG documents database and compendium*. Stockholm: IRG Secretariat. 2022, 1 spletni vir (1 datoteka pdf([10] str.)). <https://www.irg-wp.com/irgdocs/details.php?d9f979b2-36b0-50fe-bc38-df479aa9247e>.

HUMAR, Miha, LESAR, Boštjan, KERŽIČ, Eli, KRŽIŠNIK, Davor. Performance of glulam beams after five years of outdoor exposure. V: BRISCHKE, Christian (ur.). *Proceedings of the 18th meeting of the Northern European network for wood science and engineering (WSE) : 21-22 September 2022, Goettingen, German*. Goettingen: Wood Science and Engineering, 2022. Str. 40-43.

KRŽIŠNIK, Davor, AMBROŽIČ, Andraž, HUMAR, Miha, LESAR, Boštjan. Uporaba novih postopkov zaščite lesa za izdelavo trajnejše lesene strešne kritine. V: KRAIGHER, Hojka (ur.), HUMAR, Miha (ur.). *Gozd in les 2021 : Podnebne spremembe : znanstveno srečanje : Ljubljana, 25. maj 2021*. 1. izd. Ljubljana: Založba Silva Slovenica, Gozdarski inštitut Slovenije, 2021. Str. 48-52. Studia Forestalia Slovenica, 180. ISBN 978-961-6993-69-2. ISSN 0353-6025. https://www.gozdis.si/f/docs/dogodki/Gozd-in-les-2021_zbornik.pdf.

HUMAR, Miha. Vzpon in padec lesne industrije. V: REMEC, Meta (ur.). *Gozd in človek : znanstveni simpozij : Ljubljana, 16. in 17. marec 2022, Inštitut za novejšo zgodovino : program simpozija in povzetki referatov*. Ljubljana: Inštitut za novejšo zgodovino, 2022. Str. 35-36

JEMEC, Blaž, LESAR, Boštjan, HUMAR, Miha. Monitoring vlažnosti lesa v odvisnosti od okolja izpostavitve v Sloveniji. V: KRAIGHER, Hojka (ur.), HUMAR, Miha (ur.). *Gozd in les v času in prostoru : Znanstveno srečanje Gozd in les 2022 : Ljubljana, 25. maj 2022*. 1. izd. Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica, 2022. Str. 33-34, ilustr. Studia Forestalia Slovenica, 182. ISBN 978-961-6993-76-0. ISSN 0353-6025. <https://dirros.openscience.si/lzpisGradiva.php?id=15112>.

PRISLAN, Peter, ARNIČ, Domen, GRIČAR, Jožica, HUMAR, Miha, JUVANČIČ, Luka, KRAJNC, Luka, STRAŽE, Aleš, ŠČAP, Špela, TRIPLAT, Matevž, KRAJNC, Nike. Potenciali rasti biogospodarstva v slovenskem gozdno-lesnem sektorju (pregled rezultatov aktualnih projektov). V: KRAIGHER, Hojka (ur.), et al. *Podnebne spremembe in biogospodarstvo: izzivi in priložnosti slovenske gozdno-lesne verige : zbornik povzetkov znanstvenega srečanja : Velika dvorana SAZU, 26. januar 2022 in po spletu*. 1. izd. Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica, 2022. Str. 12. ISBN 978-961-6993-75-3.

HUMAR, Miha. *Performance of biocidal and non-biocidal solutions for wood protection in outdoor applications : Webinar - Development of novel technical wood preservatives in fungal deterioration processes*, 22 March 2023. [COBISS.SI-ID [147326467](#)]

HUMAR, Miha. *Izzivi lesa za rešitve prihodnosti : M Sora z in za arhitekto 2022, 24. marec 2022, Žiri*. [COBISS.SI-ID [102225923](#)]

HUMAR, Miha. *Ali je zaščita lesa potrebna? : Strokovni posvet v okviru razstave Čar lesa 2021, 8. 6. 2021*. [COBISS.SI-ID [66370563](#)]

VEK, Viljem, POLJANŠEK, Ida, HUMAR, Miha, OVEN, Primož. *Ekstrakcija fungitoksičnih spojin iz neakovostne lesne biomase : "Potencial manj kakovostnega lesa v krožnem biogospodarstvu"*, SRIP, Krožno gospodarstvo, spletni dogodek 27. 5. 2021. [COBISS.SI-ID [67279107](#)]

HUMAR, Miha. *Izboljšanje konkurenčnosti slovenske gozdno-lesne verige v kontekstu podnebnih sprememb in prehoda v nizkoogljično družbo : 9. razvojni dan gozdno-lesnega gospodarstva*, 16. junij 2021, Ljubljana. [COBISS.SI-ID [66386179](#)]

HUMAR, Miha. *Kako preprečiti razkroj lesa, 1. Dan slovenskega lesarstva - "Les - naša zelena prihodnost"*, 11. november 2020. [COBISS.SI-ID [38403331](#)]

HUMAR, Miha, LESAR, Boštjan, MEDVED, Sergej. *Novi materiali za uporabo v lesarstvu : on-line delavnica*, 16. december 2020. [COBISS.SI-ID [43176963](#)]

HUMAR, Miha. *Wood and wood products over a lifetime : EUTOPIA Week - on-line e-event*. [COBISS.SI-ID [21938179](#)]

Vabljeni predavanja na konferenci brez natisa

HUMAR, Miha. *Circular economy practices, future trends and perspectives in the wood industry : invited speaker on the Business forum with networking in the frame of the Circular Europe Days, 17th January 2022 on EXPO 2020 in Dubai, UAE*. [COBISS.SI-ID [94492163](#)]

HUMAR, Miha. *Dediščinska znanost in podnebne spremembe (IM DZPS) : 2. sestanek Interdisciplinarne mreže UL, Ekonomska fakulteta Ljubljana, 13. 1. 2022 : Posvet "Vrednotenje dediščinskega kapitala"*. [COBISS.SI-ID [93414659](#)]

HUMAR, Miha. *Long-term performance testing of thermally modified wood : Online conference Wood modification*, 16. 3. 2022, Universität Hamburg. [COBISS.SI-ID [101216259](#)]

HUMAR, Miha. *Wood protection : yesterday, today and tomorrow : invited speaker on the 2nd International Electronic Conference on Forests-Sustainable Forests, held online from 1 to 15 September 2021*. [COBISS.SI-ID [76788739](#)]

Poglavje v monografiji

HUMAR, Miha, JOŠT, Matej. *Vzpon in padec lesne industrije*. V: REMEC, Meta (ur.). *Gozd in ljudje : razmerja in zgodovina*. Ljubljana: Inštitut za novejšo zgodovino, 2023. Str. 265-279. Zbirka Vpogledi, 26. ISBN 978-961-7104-30-1. ISSN 2350-5656. [COBISS.SI-ID [171052547](#)]

HUMAR, Miha, LESAR, Boštjan. *Estetski in stroškovni vidik lesnih fasadnih oblog*. V: VOLFAND, Jože (ur.). *Trajnostna raba lesa : priročnik*. Celje: Fit media, 2021. Str. 67-71, ilustr. Zelena Slovenija. ISBN 978-961-6283-61-8.

Intervju radijska, TV oddaja

HUMAR, Miha (intervjuvanec). *Ste za žganje iz grče lesa? : Hi-tech klepet : pogled na uporabo lesa z vidika biogospodarstva in sodobnih tehnologij*. *Finance*. 4. apr. 2022. ISSN 1580-4240. <https://agrobiznis.finance.si/8987890/Ste-za-zganje-iz-grce-lesa>. [COBISS.SI-ID [103717891](#)]

HUMAR, Miha (intervjuvanec). *Za obstojnost lesa na prostem imamo zelo neugodno podnebje*. *Delo & dom : priloga Dela in Slovenskih novic*. [Tiskana izd.]. 26. maj 2021, let. 28, str. 40-44. ISSN 1318-069X. [COBISS.SI-ID [64642819](#)]

ŠUŠTERŠIČ, Iztok (intervjuvanec), BUTINA, Karen (intervjuvanec), TURK, Goran (intervjuvanec), HUMAR, Miha (intervjuvanec), TERAŽ, Nataša (intervjuvanec). *Od gozdov do domov : prihodnost trajnostne gradnje*. [Ljubljana]: STA; [San Bruno]: YouTube [distributer], 2022. 1 spletni vir (1 videodatoteka (1 h, 27 min, 1 sek)), barve, zvok. STAznano, STA ŽIVO.si. <https://www.youtube.com/watch?v=I6Z7OvT5nEc>. [COBISS.SI-ID [135219715](#)]

DACINGER, Renata (avtor, oseba, ki intervjuva, scenarist), IVANUŠ ČUČEK, Nataša (oseba, ki intervjuva), PREŠEREN, Petra (oseba, ki intervjuva), HUMAR, Miha (intervjuvanec), VRABEC, Marko (intervjuvanec), TAGLIAPIETRA, Davide (intervjuvanec). Reševanje Benetk. Ljubljana: Radiotelevizija Slovenija javni zavod, 2022. 1 spletni vir (1 videodatoteka (25 min, 49 sek)). Ugriznimo v znanost. <https://www.rtvsllo.si/rtv365/arhiv/174907374?s=tv>. [COBISS.SI-ID 127191043]

Ostalo

GRIČAR, Jožica, HUMAR, Miha. Uvodnik. *E-novice CRP Gozdno-lesna veriga*. 2022, št. 2, str. 1. ISSN 2784-7756. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=133611>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=143311>. [COBISS.SI-ID 133882883]

LESAR, Boštjan, HUMAR, Miha. Lastnosti termično modificiranega lesa jelke in zelenega bora. *E-novice CRP Gozdno-lesna veriga*. 2022, št. 2, str. 7. ISSN 2784-7756. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=133611>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=143314>. [COBISS.SI-ID 133915139]

HUMAR, Miha, LESAR, Boštjan, LEVANIČ, Jaka. Vpliv rastišča na odpornost lesa smreke na navlaževanje. *E-novice CRP Gozdno-lesna veriga*. 2022, št. 2, str. 7. ISSN 2784-7756. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=133611>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=143312>. [COBISS.SI-ID 133907203]

GRIČAR, Jožica, HUMAR, Miha. Uvodnik. *E-novice CRP Gozdno-lesna veriga*. 2021, št. 1, str. 1. ISSN 2784-7756. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=133611>. [COBISS.SI-ID 90276355]

HUMAR, Miha, LESAR, Boštjan, KRŽIŠNIK, Davor. Kakšna je odpornost lesa lubadark?. *E-novice CRP Gozdno-lesna veriga*. 2021, št. 1, str. 6, ilustr. ISSN 2784-7756. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=133611>. [COBISS.SI-ID 90276867]

LESAR, Boštjan, HUMAR, Miha, JEMEC, Blaž. Odpornost mokrega srca bele jelke na glive razkorjevalke in navlaževanje. *E-novice CRP Gozdno-lesna veriga*. 2021, št. 1, str. 7, ilustr. ISSN 2784-7756. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=133611>. [COBISS.SI-ID 90277123]

Literatura

- Brischke, C., Alfredsen, G., Flæte, P.O., Humar, M., Isaksson, T., Meyer, L. (2015). The combined effect of wetting ability and durability on field performance – verification of a new prediction approach. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP, 15-20565
- Brischke, C., Bayerbach, R., Rapp, A.O. (2006). Decay-influencing factors: A basis for service life prediction of wood and wood-based products. Wood Material Science and Engineering, 1(3-4): 91–107
- Brischke, C., Meyer, L., Alfredsen, G., Humar, M., Francis, L., Flæte, P.O., Larsson-Brelid, P., 2013. Prirodna trajnost drva izloženoga iznad zemlje - Pregled istraživanja. Drvna Industrija 64, 113–129. <https://doi.org/10.5552/drind.2013.1221>
- Brischke, C., Meyer, L., Hesse, C., Van Acker, J., De Windt, I., Van Den Bulcke, J., Conti, E., Humar, M., Viitanen, H., Kutnik, M., Malassenet, L. (2014). Moisture dynamics of wood and wood-based products: results from an inter-laboratory test. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 14-20539

- Brischke, C., Thelandersson, S., 2014. Modelling the outdoor performance of wood products – A review on existing approaches. *Constr Build Mater* 66, 384–397. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.087>
- CEN, 2013. European standard EN 335, Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products.
- CEN, 2015. European Standard EN 252 - Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact.
- CEN, 2016. European Standard EN 350 - Durability of wood and wood-based products. Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials.
- Claus, I., Kordsachia, O., Schröder, N., Karstens, T., 2004. Monoethanolamine (MEA) pulping of beech and spruce wood for production of dissolving pulp. *Holzforschung* 58. <https://doi.org/10.1515/HF.2004.110>
- EC, 2000. REGULATION (EU) No 528/2012 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 22 May 2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products. *Official Journal of the European Communities L* 269, 1–15.
- EN 113 (2006). Wood preservatives - Test method for determining the protective effectiveness against wood-destroying basidiomycetes. Determination of toxic values. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium
- EN 1609 (1997). Toplotnoizolacijski proizvodi za uporabo v gradbeništvu - Določanje vpojnosti vode z metodo delne kratkotrajne potopitve.
- ENV 1250-2 (1994). Wood preservatives; Methods of measuring losses of active ingredients and other preservative ingredients from treated timber. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- ENV 807 (2004). Wood preservatives - Determination of the effectiveness against soft rotting micro-fungi and other soil inhabiting micro-organisms. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium
- Esteves, B.M., Pereira, H.M., 2009. Wood modification by heat treatment: A review. *Bioresources* 4, 370–404.
- Fengel, D., Wegener, G., 2011. Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions, Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter, Berlin, New York. <https://doi.org/10.1515/9783110839654>
- Hill, C.A.S., 2006. Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes, Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes. John Wiley and Sons, Hoboken. <https://doi.org/10.1002/0470021748>
- Hill, C.A.S., 2011. Wood modification: An update. *Bioresources*. <https://doi.org/10.15376/biores.6.2.918-919>
- Humar, M., 2017. Protection of the bio-based material, in: Dennis, J., Brischke, C. (Eds.), *Performance of Bio-Based Building Materials*. Woodhead Publishing, Duxford, pp. 187–240. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100982-6.00004-5>
- Humar, M., Bučar, B., Pohleven, F., Žlindra, D., 2008a. Influence of ethanolamine on lignin depolymerization and copper leaching from impregnated wood. *Wood Research* 53.

- Humar, M., Kosmerl, S., Pohleven, F., 2006a. Solution for wood preservation. WO2006031207A1.
- Humar, M., Kržišnik, D., Lesar, B., Brischke, C., 2019. The performance of wood decking after five years of exposure: Verification of the combined effect of wetting ability and durability. *Forests* 10. <https://doi.org/10.3390/f10100903>
- Humar, M., Lesar, B., Kržišnik, D., 2020a. Tehnična in estetska življenjska doba lesa. *Acta Silvae et Ligni* 121, 33–48. <https://doi.org/10.20315/asetl.121.3>
- Humar, M., Lesar, B., Kržišnik, D., 2020b. Moisture performance of facade elements made of thermally modified norway spruce wood. *Forests* 11, 1–13. <https://doi.org/10.3390/f11030348>
- Humar, M., Peek, R.D., Jermer, J., 2006b. Regulations in the European Union with emphasis on Germany, Sweden and Slovenia, in: Townsend, T.G., Solo-Gabriele, H. (Eds.), *Environmental Impacts of Treated Wood*. CRC Press, Boca Raton, p. 520.
- Humar, M., Vek, V., Bučar, B., 2008b. Properties of blue-stained wood. *Drvena Industrija* 59.
- Humar, M., Žlindra, D., Pohleven, F., 2007. Influence of wood species, treatment method and biocides concentration on leaching of copper-ethanolamine preservatives. *Build Environ* 42, 578–583. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.09.023>
- International Standardization Organization (2000). ISO 15686-1. Building and constructed assets-Service life planning- Part 1: General principles and framework.
- Isaksson, T., Brischke, C., Thelandersson, S. (2013). Development of decay performance models for outdoor timber structures. *Materials and Structures*, 46, 1209-1225.
- Jankowiak, R., Kacprzyk, M., Młynarczyk, M., 2009. Diversity of ophiostomatoid fungi associated with bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) colonizing branches of Norway spruce (*Picea abies*) in southern Poland. *Biologia (Bratisl)* 64. <https://doi.org/10.2478/s11756-009-0188-2>
- Jones, D., Sandberg, D., Goli, G., Todaro, L., 2018. Wood modification in Europe: processes, products, applications. GESAAF – University of Florence, Florence, Italy, p. 41.
- Mackenzie, C.E., 2007. Timber service life design guide. Forest and Wood Products Australia, World Trade Centre, Vic.
- Meyer-Veltrup, L., Brischke, C., Alfredsen, G., Humar, M., Flæte, P.-O., Isaksson, T., Larsson Brelid, P., Jermer, J. (2017). The combined effect of wetting ability and durability on field performance – verification of a new prediction approach. *Wood Science and Technology*, 51, 615–637.
- NWPC, 2023. Wood preservatives and other wood protection systems approved by the Nordic Wood Preservation Council no. 102. Gregersensvej.
- Rapp, A.O., Augusta, U., 2004. The full guideline for the “double layer test method” -a field test method for determining the durability of wood out of ground, in: International Research Group on Wood Preservation. Stockholm, p. 23.
- Reinprecht, L., 2016. Wood Deterioration, Protection and Maintenance, Wood Deterioration, Protection and Maintenance. JohnWiley & Sons, Ltd, Oxford,. <https://doi.org/10.1002/9781119106500>
- Rep, G., Pohleven, F., Kosmerl, S., 2012. Development of the industrial kiln for thermal wood modification by a procedure with an initial vacuum and commercialisation of modified Silvapro wood, in: D. Jones,

- H. Militz, M. Petrič, F. Pohleven, M.H. and M.P. (Ed.), Proceedings of the 6th European Conference on Wood Modification. University of Ljubljana, Ljubljana, pp. 11–17.
- Repe, A., Bojović, S., Jurc, M., 2015. Pathogenicity of ophiostomatoid fungi on *Picea abies* in Slovenia. For Pathol 45. <https://doi.org/10.1111/efp.12170>
- Schmidt, O., 2006. Wood and tree fungi: Biology, damage, protection, and use, Wood and Tree Fungi: Biology, Damage, Protection, and Use. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/3-540-32139-X>
- Torelli, N., 2002. Robinija (*Robinia Pseudoacacia* L.) in Njen Les = Black Locust (*Robinia Pseudoacacia* L.) and Its Wood. LesWood 54, 6–10.
- Vek, V., Poljanšek, I., Oven, P., 2019a. Efficiency of three conventional methods for extraction of dihydrorobinetin and robinetin from wood of black locust. European Journal of Wood and Wood Products 77, 891–901. <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01430-x>
- Vek, V., Poljansek, I., Humar, M., Willfor, S., Oven, P. (2020) In vitro inhibition of extractives from knotwood of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and black pine (*Pinus nigra*) on growth of *Schizophyllum commune*, *Trametes versicolor*, *Gloeophyllum trabeum* and *Fibroporia vaillantii*. Wood Science and Technology 54: 1645-1662.
- Vek, V., Keržič, E., Poljanšek, I., Eklund, P., Humar, M., Oven, P. (2021) Wood Extractives of Silver Fir and Their Antioxidant and Antifungal Properties. Molecules 26: 6412.
- Vek, V., Šmidovnik, T., Humar, M., Poljanšek, I., Oven, P. (2023) Comparison of the Content of Extractives in the Bark of the Trunk and the Bark of the Branches of Silver Fir (*Abies alba* Mill.). Molecules 28: 225.
- Žlahtič Zupanc, M., Mikac, U., Serša, I., Merela, M., Humar, M., 2019. Water distribution in wood after short term wetting. Cellulose 26. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2102-y>