

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 odpornelesa, 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 pseudoacacia*)) 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 pseudoacacia*) 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 larch and pine heartwood was determined a year later. The first decomposition on the spruce appeared after two years. The best-performing wood was black locust. The impregnation successfully protected softwood species but was less successful for beech and hornbeam wood. Thermal modification proved to be a successful protection process for all species tested.

Key words: wood, natural durability, decay, wood modification, impregnation of wood

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Na prostem je les izpostavljen biotskim in abiotiskim 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,

¹ M. H., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, miha.humar@bf.uni-lj.si

² B. L., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, bostjan.lesar@bf.uni-lj.si

³ D. K., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, davor.krzisnik@bf.uni-lj.si

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 zaščitenega 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, Silvaprop, 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 najpogostejše 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 uvrstavljanjem, 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, lubardarka, 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.

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Materiali

2.1 Materials

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 ° ± 15°. 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 pseudoacacia*).

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.

2.2 Impregnacija in modifikacija

2.2 Impregnation and modification

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). Vzorce 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 (Silvaproduct) (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 °C (bukev, gaber), 220 °C (smreka, lubadarka, jelka) in 230 °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.

2.3 Izpostavitve in vrednotenje razkroja

2.3 Exposure and assessment of decay

Po vsaj štirih tednih uravnovešanja pri sobnih razmerah (23 °C; 65 % 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 ° 02' 55.7 »N 14 ° 28' 47.3 »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 °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 1).

Preglednica 1: Ocene razkroja vzorcev (SIST EN 252; (CEN, 2015))

Table 1: Decay rating scheme (SIST EN 252; (CEN, 2015)).

Ocena / Rating	Kratek opis / Short description	Opis vzorca / Detailed description
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 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 1: Izpostavitve vzorcev v skladu z dvoslojnim testom v Ljubljani

Figure 1: Exposure of the samples according to the double layer procedure in Ljubljana

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSION

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 nezaščitenih lesnih vrst 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 pritiska 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 odtенок 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.

Impregnacija lesa z bakrovimi pripravki je povsem zaustavila razkroj lesa pri lesu iglavcevi-glavicah. 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 bukke 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

Preglednica 2: Razkroj različnih vrst lesa, izpostavljenega na terenskem polju Oddelka za lesarstvo v Ljubljani, v odvisnosti od časa izpostavitve, impregnacije oziroma modifikacije lesa

Table 2: Degradation of different types of wood exposed in the field site at the Department of Wood Science and Technology in Ljubljana, depending on the time of exposure, impregnation or modification of the wood.

Lesna vrsta/ Wood species	Obdelava / Treatment	Leto ocenjevanja razkroja / Assessment year						Razred odpornosti/ Durability class
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	
		Ocena razkrojenosti / Degradation assessment						
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	1

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 2). 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 ...

4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSIONS

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 impregviranem 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. Impregviran 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.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

Velika večina lesa iz slovenskih gozdov ni odporna, 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 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*)), impregvirali z baker-etanolaminskim biocidnim proizvodom oziroma jih termično modificirali pri temperaturah 200 °C (listavci) in 220 °C oziroma 230 °C (iglavci). Vzorce smo nato izpostavili na terensko polje Oddelka za lesarstvo v Ljubljani na dvoslojнем testu 0,5 m nad zemljo, kjer smo vsako leto ocenjevali razkrojenost v skladu s standardom SIST EN 252.

Na neodpornem lesu se prvi znaki glivnega razkroja pokažejo že po prvem letu. 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 razkrojem smrekovine. Med testiranimi lesnimi vrstami se je najbolje izkazal les robinije, kjer smo prve znake razgradnje opazili šele po šestih letih.

Impregnacija iglavcev z baker-etanolaminskimi pripravki je učinkovito preprečila razkroj. Na impregviranem 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. Impregviran gabrov les je po šestih letih povsem propadel.

Termična modifikacija lesa je bila učinkovitejša. 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.

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. impregnated with a copper-ethanolamine biocide or thermally modified at temperatures of 200 °C (deciduous) and 220 °C or 230 °C (softwoods). The samples were then

exposed in the field of the Department of Wood Engineering in Ljubljana on a double-layer test, 0.5 m above ground, where decomposition was assessed annually according to SIST EN 252.

On non-durable wood species, the first signs of fungal decomposition appear after the first year of exposure. The first sign of fungal decay was observed in hornbeam and beech samples. The decay of bark beetles damaged wood is slightly faster than that of the reference spruce wood. The first signs of decomposition on larch and pine heartwood appeared a year or two after the decomposition of spruce. Among the species tested, the best-performing wood was the black locust, where the first signs of limited decomposition were observed only after six years.

Impregnation of softwood species with copper-ethanolamine preparations effectively prevented decomposition. Even after six years, no signs of decay have been detected on the impregnated softwoods. On the other hand, the copper-ethanolamine preparations did not prevent the decomposition of beech and hornbeam wood. The impregnated hornbeam wood completely decayed after six years.

Thermal modification of the wood was more effective. Wood modified at higher levels of modification did not start to rot even after six years. Modification proved to be an effective method of protecting hardwood and softwood, including bark beetle damaged spruce wood.

6 ZAHVALA

6 ACKNOWLEDGEMENT

Za material za vzorce se zahvaljujemo podjetju Snežnik, d. o. o., iz Kočevske Reke. Prispevek je rezultat več projektov, povezanih med seboj, ki jih je sofinancirala Agencija za raziskovalno in inovacijsko dejavnost RS (ARIS): P4-0015 – Programska skupina les in lignocelulozni kompoziti in 0481-09 Infrastrukturni center za pripravo, staranje in terensko testiranje lesa ter lignocelulozних materialov (IC LES PST) ter projekta CRP, ki sta ga sofinancirala ARIS in MKGP: V4-2017 – Izboljšanje konkurenčnosti slovenske gozdno-lesne verige v kontekstu podnebnih sprememb in prehoda v nizko ogljično družbo. Del raziskav

je potekal tudi v okviru projekta OneForest (A Multi-Criteria Decision Support System For A Common Forest Management to Strengthen Forest Resilience, Harmonise Stakeholder Interests and Ensure Sustainable Wood Flows).

7 VIRI

7 REFERENCES

- Brischke, C., Meyer, L., Alfredsen, G., Humar, M., Francis, L., Flæte, P.O., Larsson-Brelid, P., 2013. Prirodna trajnost drva izloženega iznad zemlje - Pregled istraživanja. *Drvena Industrija* 64, 113–129. <https://doi.org/10.5552/drind.2013.1221>
- 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, 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.
- CEN, 2015. European Standard EN 252 - Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact.
- CEN, 2013. European standard EN 335, Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products.
- 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.
- 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., 2011. Wood modification: An update. *Bioresources*. <https://doi.org/10.15376/biores.6.2.918-919>
- 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>
- 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>
- 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.
- 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., Vivod, B., Poljanšek, I., Oven, P., 2019b. Vsebnost ekstraktivov v skorji in lesu robinije (Robinia pseudoacacia L.). *Acta Silvae et Ligni* 119, 13–25. <https://doi.org/10.20315/asetl.119.2>
- 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>