

VPLIV IZBRANIH OKOLJSKIH DEJAVNIKOV NA DINAMIKO VLAŽENJA BUKOVINE

INFLUENCE OF SELECTED ENVIRONMENTAL FACTORS ON MOISTURE DYNAMICS OF BEECH WOOD

Mojca ŽLAHTIČ¹, Miha HUMAR²

(1) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI 1000, Ljubljana, mojca.zlahtic@bf.uni-lj.si

(2) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI 1000, Ljubljana, miha.humar@bf.uni-lj.si

IZVLEČEK

Bukovina sodi med najpomembnejše lesne vrste v Sloveniji. Žal uporaba bukovine zelo zaostaja za prirastkom, zato je treba nujno razviti dodatne aplikacije za rabo bukovine. Ena izmed neizkoriščenih priložnosti je tudi raba za manj zahtevne konstrukcije na prostem. V primeru, da uporabljamo bukovino na prostem, moramo les na takšen ali drugačen način zaščititi. V zadnjem obdobju vedno bolj pridobiva na pomenu termična modifikacija in uporaba voskov, zato smo ti dve rešitvi uporabili tudi v tej raziskavi. Tako smo odpornost bukovine na navlaževanje spremljali v laboratorijskih razmerah in terenskih testih. Pred laboratorijskimi poizkusi smo vzorce izpostavili različnim abiotskim in biotskim dejavnikom razkroja ter določili njihov vpliv na navzemanje vode v les. Izkazalo se je, da se je najbolje obnesel termično modificiran les, impregniran s suspenzijo naravnih voskov. Po drugi strani so abiotski in biotski dejavniki razkroja močno poslabšali odpornost proti navlaževanju bukovine in termično modificirane bukovine.

Ključne besede: bukovina, termična modifikacija, naravni voski, vlažnost lesa, navzem vode, odpornost, vodo-odbojnost

ABSTRACT

Beech is one of the most important tree species in Slovenia. Unfortunately, there is much more beech wood increment annually than consumed. Thus, it is of great importance to develop new applications for use of beech wood. One of the possible solutions is use of beech in outdoor applications. However, if beech is used outdoor it has to be somehow protected. In the recent period, non-biocidal methods of wood protection such as thermal modification and use of wax emulsions are gaining more and more importance, hence we applied these two methods to beech wood in present research as well. During the research, water exclusion efficacy of wood was determined. Wood was subjected to various abiotic and biotic degradation protocols. The results exhibited that the best water performance was achieved in wax treated thermally modified beech. Water performance of wax treated wood was not affected by abiotic and biotic degradation factors. By contrast, the aging protocols applied considerably reduced water exclusion efficacy of beech and thermally modified beech wood.

Key words: beech wood, thermal modification, natural waxes, wood moisture content, water uptake, performance, water repellence

GDK 833:821:176.1Fagus sylvatica L.(045)=163.6
DOI 10.20315/ASetL.110.3

Prispelo / Received: 05. 08. 2016
Sprejeto / Accepted: 20. 09. 2016

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Les je vsakodnevno izpostavljen razkroju. V naravi so ti procesi zaželeni, kadar želimo les uporabiti na prostem, želimo te procese čim bolj upočasniti. V zmerenem podnebnem pasu so največja nevarnost za les glive razkrojevalke. Le te lahko že v kratkem času razvrednotijo les (Van Acker in sod., 2003). V preteklosti smo problem zaščite lesa pred glivami večinoma reševali le z uporabo biocidov. Ker se danes nekateri uporabniki izogibajo rabi biocidov v bivanjskem okolju, je bilo v zadnjem obdobju razvitih več rešitev, kako izboljšati odpornost domačih lesnih vrst na okolju prijaznejši

način (Humar in Lesar, 2013). Novejše rešitve ne temeljijo na biocidnem pristopu, temveč želimo spremeniti strukturo lesa tako, da se bo manj navlažil oziroma tako, da ga glive ne bodo prepoznale kot vir hrane (Hill, 2006).

Eden izmed komercialno najuspešnejših popostopkov nebiocidne zaščite lesa je termična modifikacija. Ta postopek temelji na tem, da les segrevamo pri visokih temperaturah (160 °C do 250 °C) brez atmosferskega kisika. Lesu se pri tem spremenijo sorpcijske lastnosti, tako da je ravnovesna vlažnost termično modificiranega lesa v enakih klimatskih razmerah bistveno nižja od ravnovesne vlažnosti nemodificiranih kontrolnih

vzorcev (Rep in sod., 2012). Ta rešitve se dobro obnesejo v razmerah, kjer ni kapljične vode, kajti termično modificiran les (predvsem les, modificiran pri višjih stopnjah modifikacije) je pogosto bolj permeabilen kot nemodificiran les. Zato se les v bolj izpostavljenih razmerah celo bolj navlaži kot nemodificiran les (Žlahtič in sod., 2015). To rešitev želimo preseči tako, da površino lesa napravimo hidrofobno. Ena izmed rešitev za izboljšanje hidrofobnosti je aplikacija naravnih voskov (Humar in sod., 2016). Odpornost lesa na dejavnike razkroja je vedno kombiniran učinek biocidnih ali biostatičnih sestavin na eni strani ter strukturnih, anatomskih ali kemičnih načinov izključitve vode na drugi strani (Humar in sod., 2016). Voda je eden najpomembnejših dejavnikov, ki omogoča razkroj (Brischke in sod., 2006). Če je les suh, ga glive ne morejo niti okužiti niti razkrojiti. Zato bo ta raziskava osredotočena na izboljšanje lastnosti, ki omogočajo, da les ostane suh. Sposobnost lesa, da ostane suh, je lastnost, ki jo imajo nekater lesne vrste že same spo sebi, namen tega prispevka pa je bil izboljšati vodoodbojnost z uporabo vodnih emulzij voskov.

Les je v svoji življenjski dobi izpostavljen številnim dejavnikom, cikličnim mehanskim obremenitvam, oscilacijam vlažnosti in spremembam temperature, ki se lahko kažejo v hudih poškodbah. Še posebej pojav razpok in visoka vlažnost zvišujeta verjetnost biološkega glivnega razkroja, kar se kaže v padcu mehanskih lastnosti (Thaler in sod., 2013). Za zagotavljanje varnosti je ključno vedenje, koliko časa les ohrani svoje lastnosti. V naravi na les delujejo številni dejavniki, ki jih v grobem lahko delimo na abiotske in biotske dejavnike razkroja lesa, ki so prav tako medsebojno odvisni. Abiotski dejavniki se kažejo v spremembi površine. Začenja se erozija površine, ki sčasoma postaja vse bolj reliefna. Degradirana površina lesa upočasnjuje odtekanje vode, to pa ustvarja ugodne razmere za razvoj gliv (biotski dejavnik). Po drugi strani glive modrivke in glive rjave trohnobe ne vplivajo le na površino, tem-

več tudi vplivajo na permeabilnost lesa (Thaler in sod., 2012). Večina literaturnih podatkov o posameznih materialih se nanaša na njihove lastnosti v svežem stanju (Hill, 2006; Rep in sod., 2012; Humar in sod., 2016). S praktičnega stališča je pomembneje osvetliti, kako se ti materiali vedejo po določenem obdobju uporabe. Na primer, ali hidrofobne lastnosti lesa, obdelanega z voski, ostanejo ali sčasoma izzvenijo. Odgovor na to vprašanje je eden izmed ciljev našega prispevka.

Pričujoča raziskava je bila opravljena na bukovem lesu. Bukovina sodi med najpomembnejše lesne vrste v Sloveniji. Žal raba bukovine zelo zaostaja za prirastkom. Eden glavnih vzrokov za to je pomanjkanje ustreznih aplikacij. Železniške pragove vedno pogosteje izdelujemo iz betona, večjih proizvajalcev luščnega furnirja nimamo več, zato je nujno treba razviti nove možnosti uporabe lesa. Ena izmed možnosti za uporabo je za izdelavo vrtno opreme, vrtnega pohištva in igral. Če želimo bukovino uporabiti na prostem, ji moramo izboljšati odpornost in tako zagotoviti ustrezno življenjsko dobo. Tako smo v okviru te raziskave bukovini s termično modifikacijo izboljšali naravno odpornost, z impregnacijo z voski smo lesu izboljšali hidrofobnost. Modificirano bukovino smo primerjali z naravno odporno jedrovino hrasta in kostanja. Tako razviti material smo preizkusili v laboratorijskih in naravnih razmerah in spremljali dinamiko vlaženja.

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Materiali

2.1 Materials

Vzorci dimenzij 1,5 cm × 2,5 cm × 5 cm smo izdelali iz bukovine (*Fagus sylvatica* L.), za primerjavo pa smo uporabili še jedrovino komercialno najpomembnejših listavcev, rastočih v Sloveniji, kostanja (*Castanea sativa* Mill.) in hrasta (*Quercus* sp.), kot to predpisuje standard SIST EN 113 (2004). Za terenski poizkus smo

Preglednica 1: Pregled uporabljenih materialov in postopkov zaščite

Table 1: Materials and treatment solutions used

Lesna vrsta <i>Wood species</i>	Znanstveno ime <i>Scientific name</i>	Postopki zaščite / <i>Treatment</i>			Okrajšava <i>Abbreviation</i>
		Neobdelan les <i>Nontreated wood</i>	Termična modifikacija / <i>Thermal modification</i>	Impregnacija s suspenzijo voska / <i>Wax suspension impregnation</i>	
Hrast / <i>Oak</i>	<i>Quercus</i>	x			Q
Kostanj / <i>Sweet chestnut</i>	<i>Castanea sativa</i>	x			Cs
Bukev / <i>Beech</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	x			Fs
		x	x		FsTm
		x		x	FsTmWa

uporabili večje vzorce. Poleg netretiranih lesnih vrst bomo uporabili tudi dva postopka zaščite, s katerima lahko izboljšamo odpornost lesa: termično modifikacijo (215 °C) in vakuumsko-tlačno impregnacijo z 10-odstotno suspenzijo naravnega voska (Humar in sod., 2016). Les je bil termično modificiran v skladu s postopkom Silvaprop (Silvaprodukt) (Rep in sod., 2012). Raziskava bo tako opravljena na petih različnih materialih, ki so primerni za izdelavo vrtnega pohištva, teras in konstrukcij v Sloveniji in srednji Evropi (Preglednica 1).

2.2 Metode

2.2 Methods

Vzorci smo izpostavili različnim dejavnikom staranja v skladu z uveljavljenimi standardnimi in nestandardnimi postopki (preglednica 2). Izpostavitve glivam, povzročiteljicam bele in rjave trohnobe, je potekala v skladu z modificiranim standardom SIST EN 113 (2004), pri čemer smo uporabili krajša obdobja izpostavitve (1 in 2 meseca), ker nas zanimajo predvsem zgodnji postopki razkroja. Uporabili smo glivi navadno tramovko (*Gloeophyllum trabeum*) in pahljačico (*Schizophyllum commune*). Omenjeni glivi se navadno prvi pojavita na lesu iglavcev (tramovka) oziroma listavcev (pahljačica) v našem podnebnem pasu (Lesar in Humar, 2010).

Poleg gliv razkrojevalk se na lesu na prostem pogosto pojavijo glive modrivke, ki nimajo vpliva na mehanske lastnosti lesa, zato jim stroka ne posveča toliko pozornosti. Uporabili smo dve glivi modrivki, ki se najpogosteje pojavljata na lesu na prostem: *Aerobasidium pullulans* in *Sclerophoma pithyophila*. Tudi glivam modrivkam smo vzorce lesa izpostavili v dveh različnih obdobjih: 1 in 2 meseca. Postopek izpostavitve smo opravili v skladu z modificiranim standardom EN 152-1 (1996).

Preglednica 2: Pregled uporabljenih postopkov staranja in uporabljene okrajšave

Umetno pospešeno staranje smo opravili v komori ATLAS UP, Suntest XXL+. Komoro smo v skladu s standardom SIST EN ISO 11341 1A (2004) nastavili na najostrejše razmere, kot to predpisuje standard ISO 11341 1A (2004), ki je značilen za eksterier. Vzorci so bili razmeram umetnega staranja izpostavljeni 1000 h, pri tem sta se izmenjevala UV sevanje (0,35 W/m²) in umetni dež v komori s temperaturo zraka 38 °C in relativno zračno vlažnostjo 68 %. Omenjenih 1000 ur umetno pospešenega staranja lesa in 1.260.000 KJ/m² prejete energije je sorazmerno s šestmesečno izpostavljenostjo vzorcev na prostem.

Kot primerjavo laboratorijskim testom smo vzporedno nekaj vzorcev izpostavili na testnem polju Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete. Vzorci so bili izpostavljeni naravnim vremenskim vplivom v 3. razredu izpostavitve (SIST EN 335-1/2, 2011) v dveh obdobjih: 9 in 18 mesecev. V 3. razredu izpostavitve je les na prostem: izpostavljen je padavinam, vendar ni v stiku z zemljo.

Po izpostavitvi smo pri vzorcih ugotavljali izgubo mase zaradi delovanja biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja. Izgubo mase smo ugotavljali gravimetrično po 24 urah sušenja pri 103±2 °C. Pred in po umetnem staranju smo opravili vrsto meritev, da bi okarakterizirali interakcije vode z lesom.

Dinamiko vlaženja pri sveže pripravljenih in starih vzorcih smo ugotavljali s kapilarnim navzemom (angl. short term water uptake), kapljično metodo in dolgotrajnim navzemanjem vode (angl. long term water uptake). Kapilarni navzem vode smo ugotovili s pomočjo tenziometra znamke Krüss 100, kot to natančneje opisuje standard SIST 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

Table 2: List of the aging procedures and respective abbreviations

Postopek staranja / Aging procedure	Čas izpostavitve / Time of exposure	Okrajšava / Abbreviations
Nestarani / Non-aged	/	K
Glivni razkroj / Fungal decay <i>Gloeophyllum trabeum</i>	1 mesec / month	Gt2-A
	2 meseca / months	Gt2-B
Glivni razkroj / Fungal decay <i>Schizophyllum commune</i>	1 mesec / month	Sc-A
	2 meseca / months	Sc-B
Glive modrivke / Blue staining fungi	1 mesec / month	Blue SF-A
	2 meseca / months	Blue SF-B
Umetno pospešeno staranje / Artificially accelerated weathering	1000 h	AAW
Staranje na prostem / Outdoor aging	9 mesecev / months	OutDW-A
	18 mesecev / months	OutDW-B

navzem vode izrazili v gramih na kvadratni meter (g/m^2).

Z metodo s stoječo kapljico smo ugotavljali spremembo hidrofobnosti površine staranega lesa, tako da smo določili stični kot kapljice (velikosti $4 \mu\text{l}$) destilirane vode. Stični kot smo izmerili na radialni površini 1 s in 60 s po dotiku tekočine s podlago, kar smo zabeležili z optičnim tenziometrom Theta (Biolin Scientific, Finska). Podatke smo zajemali s programom OneAt-tension. Na posameznem vzorcu smo ovrednotili po 3 kapljice.

Dolgotrajni navzem vode smo ugotavljali z modificirano standardno laboratorijsko metodo o izpiranju aktivnih učinkovin iz lesa, SIST EN 1250 – 2 (1994). Standard sicer opisuje postopke za določanje izgub aktivnih snovi in drugih komponent zaščitnih sredstev iz impregniranega lesa, mi pa smo ga prilagodili našemu namenu. Postopek, ki ga opisuje standard, smo uporabili za dolgotrajnejši test namakanja. V tem prispevku poročamo le o vlažnosti vzorcev, ki smo jo določili po 1 h in 24 h.

Na vzporednih, večjih vzorcih smo primerjali vlažnost lesa na prostem in skušali osvetliti, kako se spreminja vlažnost v realnih razmerah (slika 1). Vlažnost lesa na prostem smo določali z električno uporabno metodo. Spremljali smo jo na vzorcih, ki so bili izpostavljeni na terenskem polju Oddelka za lesarstvo v obdobju med 6.10.2015 in 14.6.2016. V celoti je bilo na posameznem merilnem mestu opravljenih 503 me-

ritev upornosti oziroma vlažnosti. Vzorci so bili zloženi v enem sloju 1 m nad zemljo. Dimenzije vzorcev so $2,5 \text{ cm} \times 5,0 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$, kot to predpisuje standard SIST EN 252 (2004). Meritve so potekale na dveh vzporednih vzorcih. V vzorce smo na sredino tangencialne ploskve pod kotom 10° na razdalji 32 mm privijačili 2 vijaka iz nerjavnega jekla premera 3,9 mm in dolžine 25 mm (Bauhaus Profi Depot, Nemčija), ki smo ju predhodno izolirali v dolžini 13,5 mm z univerzalno toploskrčljivo cevjo – DERAY®-H. Na vijake smo pritrdili elektrode in jih povezali z merilno opremo. Vlažnost smo ugotavljali v sredini, saj se večina gliv navadno razvije v osrednjem delu vzorcev, zato je to mesto najpomembnejše. Električno upornost smo ugotavljali vsakih dvanajst ur z merilno opremo Scanntronik (Gigamodule) in jo beležili z zapisovalci podatkov (Thermofox) (Humar in sod., 2015). Vzporedno z vlažnostjo beležimo tudi temperaturo v sredini vzorcev. Iz podatkov o električni upornosti in temperaturi lesa smo izračunali vlažnost lesa, kot to opisuje Lampen (2012).

Rezultate smo statistično analizirali s programsko opremo MS Excel in Statgraphic. Opravili smo analizo variance ANOVA (Newman-Keuls multiple range test, $p = 0,95$).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

Sprememba mase je prvi podatek, ki kaže, kaj se je dogajalo z lesom med postopkom izbranega staranja.



Slika 1: Izpostavitve vzorcev na terenskem polju Oddelka za lesarstvo

Fig. 1: Exposure of the samples on the field test site at the Department of Wood Science and Technology

Negativne vrednosti v preglednici 3 nakazujejo izgubo mase, medtem ko pozitivne vrednosti kažejo, da se je masa med staranjem povečala. Po pričakovanju smo največji padec mase opazili po izpostavitvi vzorcev bukovine glivam. Najbolj učinkovita je bila gliva tramovka (*G. trabeum*), kjer smo po dveh mesecih izpostavitve ugotovili, da so vzorci izgubili 39,58 % mase (preglednica 3). Ta podatek nakazuje, da je gliva tramovka (*G. trabeum*) zelo učinkovita razkrojevalka ter da je bukovina zelo dovzetna za razkroj. Manjše izgube mase je bilo moč zaznati pri vzorcih bukve, izpostavljenih glivi bele trohnobe (*S. commune*). Ta gliva je v dveh mesecih razkrojila le 7,16 % mase bukovine. Rezultat je pričakovano, saj je gliva pahljačica (*S. commune*) primarna kolonizatorka, ki zato ne povzroča tako znatnih izgub mase. Kakorkoli, izgube mase kostanjevine, hrastovine in termično modificirane bukovine so bile zanemarljive in so znašale manj kot 2 %. To nakazuje visoko odpornost teh materialov.

Za glive modrivke je značilno, da ne povzročajo izgube mase (Humar in sod. 2008). To je razvidno tudi iz podatkov, predstavljenih v preglednici 3. Nasprotno se je v nekaterih primerih masa celo povečala, predvidoma zaradi micelija gliv modrivk, ki so se razrasle po lesu in zaradi navzema hranil iz tekočega gojišča,

v katero so bili namočeni lesni vzorci. Po drugi strani je prišlo do padca mase tudi po umetno pospešenem (AAW) in naravnem staranju (OutDW). Vzorci so izgubili med 4,60 % (umetno pospešeno starani hrast) in 1,08 % (z voskom impregnirana termično modificirana bukev po naravnem staranju). Očitno je, da so se med staranjem iz kostanjevine in hrastovine med staranjem iz lesa izprali ekstraktivi. Po drugi strani so voski na modificiranem lesu preprečili intenzivnejše izpiranje topnih komponent iz modificiranega lesa (preglednica 3).

Sprememba mase kaže na posledico delovanja abiotičnih in biotskih faktorjev na les. V okviru te raziskave pa nas je zanimalo, kako se zaradi delovanja teh faktorjev spreminjajo interakcije med vodo in lesom. Ta podatek je pomemben v padavinskih dogodkih, ko les pride v stik s tekočo vodo. Osnovna informacija, ki jo pridobimo, je kontaktni kot vode z lesom. V primeru, da je kontaktni kot vode večji, lahko voda hitreje in prej zdrsne z lesa. Kontaktni kot med vodo in lesom smo spremljali 60 s. V preglednicah 4 in 5 podajamo informacije o kontaktnem kotu po 1 s in po 60 s. Iz preglednice 4 je razvidno, da smo najvišji kontaktni kot po eni sekundi zabeležili na termično modificirani bukovini, impregnirani z voskom (114°). Po drugi strani

Preglednica 3: Sprememba mase testiranih materialov po različnih postopkih staranja. Posamezne črke označujejo statistične skupine. Legenda okrajšav so razvidna iz preglednice 1 (materiali) in 2 (postopki staranja).

Table 3: Mass change of tested materials after different aging procedures performed. Different letters are assigned to different statistic groups. Material abbreviations are resolved in Table 1, while ageing abbreviations are listed in Table 2.

Postopek staranja Aging procedure	Material / Material				
	Q	Cs	Fs	FsTm	FsTmWa
Sprememba mase / Mass change (%)					
Gt2-A	-0,65	-0,42	-20,81	-0,59	-1,92
	A	A	C	A	AB
Gt2-B	-0,97	-0,44	-39,58	-0,66	-1,27
	AB	AB	C	A	AB
Scc-A	-0,63	-0,43	-1,63	-0,18	-0,54
	B	AB	E	A	B
Scc-B	-0,95	-0,34	-7,16	-0,39	-0,72
	A	A	B	A	A
Blue SF-A	-0,12	0,63	0,16	0,44	-0,23
	D	A	C	AB	E
Blue SF-B	-0,05	0,54	0,09	0,18	-0,17
	BC	A	D	AB	BC
AAW	-4,60	-3,23	-2,84	-2,87	-1,48
	D	C	BC	BC	A
OutDW-A	-3,17	-2,52	-1,59	-1,80	-1,08
	A	A	A	A	A
OutDW-B	-4,00	-4,27	-3,86	-3,51	-1,82
	B	B	B	B	A

Preglednica 4: Vpliv staranja različnih materialov na kontaktni kot vode na površini lesa po eni sekundi. Posamezne črke označujejo statistične skupine. Legenda okrajšav je razvidna iz preglednice 1 (materiali) in 2 (postopki staranja).

Table 4: Average Influence of various aging procedures on contact angles (°) of water on wood surface measured after 1 s of drop deposition to surface. Different letters are assigned to different statistic groups. Material abbreviations are resolved in Table 1, while ageing abbreviations are listed in Table 2.

Material	Postopek staranja / Aging procedure									
	K		Gt2-A		Gt2-B		Scc-A		Scc-B	
Q	84	B	96	C	94	C	86	A	93	C
Cs	90	C	89	B	86	B	95	B	96	C
Fs	76	A	99	C	87	B	85	A	83	A
FsTm	90	C	82	A	75	A	84	A	88	AB
FsTmWa	114	D	105	D	101	D	109	C	96	C
Material	Blue SF-A		Blue SF-B		AAW		OutDW-A		OutDW-B	
Q	87	B	86	B	72	C	83	B	97	C
Cs	93	B	110	C	68	C	82	B	90	C
Fs	74	A	73	A	54	B	82	B	68	AB
FsTm	71	A	75	A	37	A	76	A	65	A
FsTmWa	109	C	106	C	122	D	126	C	126	D

je bil najnižji kot zabeležen na bukovih vzorcih (76°). Po izpostavitvi lesa glivam je z voski impregnirani les ohranil odlične hidrofobne lastnosti. Zanimivo je, da so se kontaktni koti vode na bukovini po izpostavitvi umetno pospešenemu in naravnemu staranju celo povečali. Glavni vzrok za to je verjetno dejstvo, da smo s staranjem iz lesa izprali del emulgatorjev in stabilizatorjev, ki imajo negativen vpliv na hidrofobnost površine. O podobnih rezultatih poroča tudi Lesar s sodelavci (2011). Drugo pomembno opažanje je, da je kontaktni kot vode na termično modificirani bukovini po umetno pospešenem in naravnem staranju izrazito upadel z

90° na kontrolnih vzorcih na 37° na umetno staranih vzorcih (preglednica 4).

Nekaj podobnega, kot smo poročali za kontaktne kote, določene po eni sekundi, smo zabeležili tudi po 60 sekundah stika vodnih kapljic z lesom. Omeniti velja le še večjo razliko med površinami, ki smo jih obdelali z voski in drugimi materiali. Poudariti velja, da so kontaktni koti vode na z voski obdelani bukovini (FsTmWa) vseh 60 s skoraj nespremenjeni. Na staranih površinah (OutDW-B) smo tako po eni sekundi določili kot 126°, po 60 sekundah pa 123° (preglednici 4 in 5). Po drugi strani, na umetno staranih in na prostem

Preglednica 5: Vpliv staranja različnih materialov na kontaktni kot vode na površini lesa po eni minuti. Posamezne črke označujejo statistične skupine. Legenda okrajšav je razvidna iz preglednice 1 (materiali) in 2 (postopki staranja).

Table 5: Average Influence of various aging procedures on contact angles (°) of water on wood surface measured after 60 s of drop deposition onto surface. Different letters are assigned to different statistic groups. Material abbreviations are resolved in Table 1, while ageing abbreviations are listed in Table 2.

Material	Postopek staranja / Aging procedure									
	K		Gt2-A		Gt2-B		Scc-A		Scc-B	
Q	49	B	63	C	52	B	51	A	66	B
Cs	55	C	61	C	55	B	64	C	71	C
Fs	40	A	43	A	26	A	56	A	54	A
FsTm	65	D	48	B	50	B	61	B	67	C
FsTmWa	110	E	89	D	88	C	99	D	80	D
Material	Blue SF-A		Blue SF-B		AAW		OutDW-A		OutDW-B	
Q	46	B	51	C	31	B	40	B	41	B
Cs	69	C	96	D	37	B	54	C	44	B
Fs	45	B	32	A	0	A	12	A	1	A
FsTm	28	A	40	B	0	A	14	A	3	A
FsTmWa	100	D	102	E	105	C	123	D	123	C

staranih površinah, po 60 s kontaktnega kota med vodo in lesom ni bilo mogoče več določiti, saj je les vpil praktično vso vodo, kar nakazuje veliko hidrofilnost staranega termično modificiranega lesa. Očitno je, da se med izpostavitvijo termično modificiranega lesa sicer hidrofobna površina termično modificiranega lesa spremeni v hidrofilno. Ta pojav pojasni opazovanja, da med terenskimi testirani vodoravno izpostavljenih termično modificiranih vzorcev pogosto zabeležimo višje vlažnosti kot na nemodificiranem lesu (Van Acker in sod. 2015; Žlahtič in Humar 2015).

Kontaktni kot vode na površini je pomemben dejavnik, ki označuje hidrofobnost oziroma hidrofilnost površine. Poleg interakcije vode s površino lesa nas zanima tudi, kako hitro voda prodira v les. V ta namen smo prve raziskave opravili na tenziometru, kjer smo 200 s spremljali prodiranje vode v aksialni smeri. Čelnih površin je na vgrajenem lesu relativno malo, vendar le te pogosto predstavljajo kritična mesta za vstop vode v les. Podobno kot smo opisali pri kontaktnem kotu, smo tudi s tenziometrom potrdili izjemno hidrofobnost lesa, obdelanega z voski (FsTmWa). Ta material je ne glede na uporabljeni postopek staranja po 200 s vpil nič ali zelo malo vode (preglednica 6). V nekaterih primerih smo zaradi dobre hidrofobnosti zabeležili celo negativne vrednosti. Pri kontrolnih vzorcih smo zabeležili najvišji navzem vode pri bukovini (0,19 g/cm²). Navzem vode v hrastovino (0,11 g/cm²) in kostanjevino (0,10 g/cm²) je bil bistveno nižji. Ta razlika je po vsej verjetnosti odsev anatomske zgradbe in prisotnosti til v venčasto poroznih listavcih. V nadaljevanju staranje ni imelo izrazitega vpliva na ti dve lesni vrsti, saj je bil kratkotrajni navzem vode v hrastovino in ko-

stanjevino relativno konstanten. Upoštevati je treba, da imata hrast in kostanj relativno odporen les, zato ga glive niso mogle kolonizirati. Edino izjemo smo opazili pri vseh vzorcih, izpostavljenih pahljačici (Scc). Ta gliva je napravila čela vzorcev celo nekoliko bolj hidrofobna. Možno je, da je gliva z micelijem zapolnila lumne traheje in vlaken in tako preprečila prodiranje vode v les. Podobno, kot smo opisali v prejšnjih poglavjih, je večina postopkov staranja izrazito povečala prodiranje vode v termično modificirani les bukve. Kratkotrajni navzem vode je tako narasel z začetnih 0,05 g/cm² na 0,34 g/cm², ki smo ga zabeležili na termično modificiranih vzorcih bukve (FsTm), ki so bili okoljskim dejavnikom izpostavljeni 18 mesecev (OutDW-B).

Določanje stičnega kota vode na površini lesa in kratkotrajno navzemanje vode sta relativno kratkotrajni metodi. V realnih razmerah je les pogosto izpostavljen dolgotrajnejšim padavinskim dogodkom. Zato smo v raziskavo vključili še dolgotrajnejše teste navlaževanja. Celotne vzorce smo potopili v vodo za 72 ur in v različnih obdobjih gravimetrično določili vlažnost lesa. Zaradi pomanjkanja prostora so v preglednici 7 podane le vlažnosti po 1 uri in 24 urah namakanja. Druge meritve so precej v sozvočju s temi podatki.

V skladu s predhodnimi meritvami smo tudi po eni uri in dveh urah namakanja najvišjo vlažnost določili pri bukovih vzorcih. Bukovina je po eni uri dosegla vlažnost 23,8 %, po enem dnevu namakanja pa 49,3 %. Najnižjo vlažnost smo določili pri z voskom obdelanih vzorcih (FsTmWa). Po eni uri namakanja je bila vlažnost teh vzorcev le 9,5 % (preglednica 7). Vlažnost nestaranega termično modificiranega lesa (FsTm) je bila med voskano (FsTmWa) in neobdelano

Preglednica 6: Vpliv staranja različnih materialov na kratkotrajno navzemanje vode (g/cm²) v aksialni smeri po 200 s. Posamezne črke označujejo statistične skupine. Legenda okrajšav je razvidna iz preglednice 1 (materiali) in 2 (postopki staranja).

Table 6: Average short term capillary water uptake (g/cm²) after different aging procedures performed on various wood samples. Different letters are assigned to different statistic groups. Material abbreviations are resolved in Table 1, while ageing abbreviations are listed in Table 2.

Material	Postopek staranja / Aging procedure									
	K		Gt2-A		Gt2-B		Scc-A		Scc-B	
Q	0,11	C	0,07	B	0,10	C	0,03	B	0,03	B
Cs	0,10	C	0,08	BC	0,07	B	0,03	B	0,04	B
Fs	0,19	D	0,28	D	0,21	D	0,07	D	0,07	D
FsTm	0,05	B	0,11	C	0,09	C	0,05	C	0,05	C
FsTmWa	-0,01	A	0,02	A	0,01	A	0,00	A	0,00	A
Material	Blue SF-A		Blue SF-B		AAW		OutDW-A		OutDW-B	
Q	0,14	CD	0,11	B	0,13	C	0,14	B	0,07	B
Cs	0,09	B	0,11	B	0,07	B	0,16	B	0,17	C
Fs	0,28	E	0,33	D	0,23	D	0,35	C	0,45	E
FsTm	0,16	D	0,16	C	0,13	C	0,36	C	0,34	D
FsTmWa	0,01	A	0,01	A	0,00	A	-0,01	A	-0,09	A

bukovino (Fs). Vlažnost kostanjevine (Cs) in hrastovine (Q) je bila nižja od vlažnosti bukovine. Izkazalo se je, da postopki staranja niso imeli izrazitega vpliva na navlaževanje teh dveh lesnih vrst. Ker ti dve lesni vrsti sodita med odporne lesne vrste (EN 350-1, 1995), ju glive niso razgradile in odpornost na navlaževanje se ni poslabšala. Po drugi strani ima bukovina izrazito neodporen les. Glive med kolonizacijo lesa izboljšajo permeabilnost lesa (Thaler in sod. 2012), kar se kaže v višjih vlažnostih lesa po namakanju. Bukovina, ki je bila pred namakanjem izpostavljena tramovki, je tako po eni uri namakanja dosegla vlažnost kar 86,3 %, kar je štirikrat več kot pri kontrolnih vzorcih (23,8 %) (preglednica 7). Podobno, kot smo določili s kratkotrajnimi testi, postopki staranja niso imeli izrazitega vpliva na navzem vode v les, zaščiten z voski (FsTmWa). Vlažnost staranega lesa je bila celo nižja od vlažnosti kontrolnih-nestarnih vzorcev. Po drugi strani je imela

izpostavitvev termično modificiranega lesa naravnemu staranju izrazito negativen vpliv na navzem vode. Če so nestarni modificirani vzorci v eni uri navzeli 11,4 % vode, so jo termično modificirani vzorci (FsTm), ki so bili 18 mesecev izpostavljeni biotskim in abiotskim dejavnikom razkroja (OutDW-B), v istem obdobju namakanja dosegli vlažnost 52 %. Vlažnost pri vzporednih vzorcih, ki so bili umetno pospešeno starani (AAW), je bila nižja (19,2 %). Ta podatek nakazuje, da abiotski dejavniki sami po sebi ne poslabšajo odpornosti lesa proti vodi. Naši podatki kažejo na to, da biotski in abiotski dejavniki delujejo sinergistično in skupaj poslabšajo sposobnost lesa, da ostane suh.

Izkazalo se je, da se rezultati laboratorijskih meritev ne glede na način določanja odpornosti lesa proti navlaževanju ujemajo. Med vsemi materiali se je najbolje izkazal termično modificirani les, obdelan z voski (FsTmWa). Po drugi strani se je relativno dobro obne-

Preglednica 7: Vpliv staranja različnih materialov na dolgotrajno navzemanje vode, določeno po 1 uri in 24 urah namakanja. Posamezne črke označujejo statistične skupine. Legenda okrajšav so razvidna iz preglednice 1 (materiali) in 2 (postopki staranja).

Table 7: Average long term water uptake after different ageing procedures performed on various wood samples. Different letters are assigned to different statistic groups. Material abbreviations are resolved in Table 1, while ageing abbreviations are listed in Table 2.

Material	Dolgotrajno navzemanje vode / Long term water uptake (%)							
	1H		24H		1H		24H	
	K				AAW			
Q	16,9	B	34,7	C	21,3	C	40,9	C
Cs	19,5	C	43,6	D	25,9	D	49,1	C
Fs	23,8	D	49,3	D	33,7	E	61,6	D
FsTm	11,4	A	29,4	B	19,2	B	37,8	B
FsTmWa	9,5	A	20	A	9	A	19,5	A
	Gt2-A				Gt2-B			
Q	15,2	A	30,6	B	16,5	B	32,9	B
Cs	19,2	B	41,5	D	19,7	B	43,3	C
Fs	58,6	C	90,9	E	86,3	C	122,5	D
FsTm	16	A	35,8	C	14,9	B	33,5	B
FsTmWa	9,1	A	18,7	A	9,3	A	18,5	A
	Scc-A				Scc-B			
Q	15,5	B	30,3	B	16,1	A	32,1	B
Cs	19,4	C	42,1	C	20	B	43,6	C
Fs	19,9	C	45,1	C	29,1	C	55,3	D
FsTm	13,7	A	32,4	B	13,8	A	33	B
FsTmWa	9,1	A	19	A	9,3	A	19,1	A
	Blue SF-A				Blue SF-B			
Q	17,4	B	34,9	B	18	B	36,9	B
Cs	23	C	50,5	C	23,1	C	53,5	C
Fs	25,5	C	50	C	29,3	D	54,9	C
FsTm	19	B	35,3	B	18,3	B	35,2	B
FsTmWa	9,2	A	20,5	A	9	A	19,5	A
	OutDW-A				OutDW-B			
Q	15,9	B	34	B	19	B	42,8	B
Cs	20,1	B	42,6	C	25,2	C	52	C
Fs	40,7	D	63,7	E	54,7	D	77,7	E
FsTm	31,2	C	49,9	D	52	D	63,7	D
FsTmWa	6,3	A	13,1	A	7,5	A	13,6	A

Preglednica 8: Povzetek meritev vlažnosti lesa na vzorcih, ki so bili v obdobju med 6. 10. 2015 in 14. 6. 2016 izpostavljeni na terenskem polju Oddelka za lesarstvo v Ljubljana. Legenda okrajšav je razvidna iz preglednice 1 (materiali).

Material	Min	Max	Povprečje Average	Mediana Median	# u > 20	# u > 25	# u > 30
Q	5,6	27,7	13,9	12,6	42	3	-
Cs	7,4	38,2	17,8	15,0	149	94	58
Fs	6,6	59,2	27,9	26,5	388	288	186
FsTm	7,1	36,7	16,2	13,6	126	66	39
FsTmWa	5,0	28,4	10,0	7,9	33	7	-

Table 8: Summary of the wood moisture content measurements on field test site at the Department of Wood Science and Technology in Ljubljana in the period between 6. 10. 2015 and 14 .6. 2016. Material abbreviations are resolved in Table 1.

sla nestarana termično modificirana bukovina (FsTm), s staranjem pa je njena odpornost proti navlaževanju izzvenela. V naslednjem koraku smo želeli preveriti, kako se laboratorijski podatki ujemajo s terenskimi meritvami. Upoštevati je treba, da terenski testi potekajo šele 250 dni. Za verodostojnejše zaključke naj bi terenske meritve vlažnosti potekale vsaj 3 leta. Zato je te prve meritve treba jemati z določeno mero rezerve, saj se v prihodnjih letih lahko rezultati še spremenijo. V preglednici so podani podatki več kot 5000 meritev vlažnosti. Ker gre za kontinuirane, časovno odvisne meritve, smo kot statistične indikatorje izbrali minimalne in maksimalne vrednosti. Kakorkoli že, upoštevati je še treba, da vlažnost lesa na prostem ne odseva le navzema kapljične vode, temveč je tudi posledica različnih sorpcijskih lastnosti.

Analiza prvih devetih mesecev se relativno dobro ujema z laboratorijskimi testi. V preteklih analizah podatkov vlažnosti lesa na prostem se je izkazalo, da je mediana primernejša za analizo kot aritmetična sredina. Uporovna meritev je pri višjih vlažnostih nenačnana. Previsoke vlažnosti lahko zelo vplivajo na povprečno vrednost, medtem ko na mediano nimajo vpliva. Tako smo najnižjo mediano določili pri z voskom impregniranem lesu (FsTmWa; 7,9 %), najvišjo pa pri bukovini (Fs; 26,5 %). Mediana termično modificiranega lesa (FsTm) je bila primerljiva z mediano kostanja (Cs) in hrasta (Q). Če analiziramo število meritev, ko je vlažnost preseгла 30 %, pa vidimo, da se je najslabše obnesla bukovina (186 meritev), za razred bolje sta se izkazala kostanjevina (58 meritev) in termično modificirani les (39 meritev). Pri hrastu in z voskom obdelani bukovini (FsTmWa) pa nismo zaznali niti ene meritve, ko bi vlažnost preseгла 30 % (preglednica 8).

Pri analizi vlažnosti lesa na prostem se pojavlja vprašanje, katera je tista optimalna vlažnost, ki omogoča rast gliv. V preteklosti je bila ta vrednost postavljena v območje med 25 % in 30 % (Schmidt, 2006). Zadnje raziskave kažejo, da je ta vrednost za različne materiale različna. Predvsem za termično modificirani

les je minimalna vlažnost lesa potrebna za razkroj lesa verjetno bistveno nižja od 25 % (Meyer in sod., 2016). Zato je nujno spremljati vlažnost lesa na prostem in vzporedno spremljati razkroj. Le tako lahko pridemo do podatkov, ki nam v realnih razmerah povedo, pri kakšnih razmerah bo nastal razkroj.

4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSIONS

Izpostavitev lesa različnim dejavnikom abiotskega in biotskega razkroja se kaže v spremembah v lesni masi. Lesu se masa spreminja zaradi izpiranja ekstraktivnih snovi in glivnega razkroja. Sprememba mase nima neposredne povezave z odpornostjo lesa proti navlaževanju.

Opazili smo povezavo med laboratorijskimi in terenskimi testi. Ne glede na uporabljeni test, smo prišli do podobnih rezultatov. Pri nestaranih vzorcih so največ vode vpili bukovini vzorci, najmanj pa termično modificirani vzorci bukovine, ki smo jih impregnirali z voskom.

Z aplikativnega vidika je zelo pomembno, da se odpornost z voski impregniranega lesa proti vlaženju med uporabo ne spreminja. Do podobnih zaključkov pridemo tudi pri hrastovini in kostanjevini. Po drugi strani se odpornost lesa proti navlaževanju med staranjem izrazito poslabša pri bukovem lesu in termično modificiranem lesu. Poslabšanje se še posebej izrazi pri lesu, ki je bil izpostavljen na prostem, kjer abiotski in biotski dejavniki delujejo sinergistično.

Zaradi izrazito slabe odpornosti proti glivam in proti navlaževanju nezaščitena bukovina ni primerna za uporabo na prostem. Odpornost bukovine lahko izboljšamo s termično modifikacijo. Vendar tudi termično modificirani les ni primeren za najbolj izpostavljene aplikacije. V tem primeru ga je smiselno nadgraditi z impregnacijo z voski. V nobenem primeru pa termično modificirana bukovina ni primerna za uporabo v stiku z zemljo.

S spremljanjem vlažnosti lesa, izpostavljenem na prostem, bomo še nadaljevali ter skušali ugotoviti, kako dolgo z voski obdelana površina ohrani svoj hidrofobni značaj. Prodiranje vode v les bomo osvetlili tudi s slikanjem z magnetno resonanco.

5 ZAHVALA

5 ACKNOWLEDGEMENTS

Izvedbo te raziskave je omogočilo več projektov, povezanih med seboj, ki jih je sofinancirala Agencija za raziskovalno dejavnost RS: V4-1419 – Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini, L4-5517 - Preprečevanje vlaženja lesa, kot merilo učinkovitosti zaščite lesa pred glivami razkrojevalkami, L4-7547

Obnašanje lesa in lignoceluloznih kompozitov v zunanjih pogojih, P4-0015 – Programska skupina les in lignocelulozni kompoziti, 0481-09 Infrastrukturnega centra za pripravo, staranje in terensko testiranje lesa ter lignoceluloznih materialov (IC LES PST). Podjetji Silvaproduct, d. o. o. in M Sora, d. d. sta omogočila raziskavo v okviru projekta WINDOW based on THERmally modified wood with high performance WAX coating (WINTHERWAX, 666206).

6 SUMMARY

Wood is one of the most important building materials. When used in outdoor applications, it is frequently exposed to weathering and is thus prone to degradation. There are various solutions available for preventing fungal degradation, for example, keeping the wood dry. Dry wood is not susceptible to fungal degradation. The majority of hydrophobic and wood modification systems have been tested only on freshly treated wood. There is not much information available on how various wood-based materials perform after a certain period of weathering.

Research was performed on beech, which is one of the most important tree species in Slovenia. Unfortunately, there is much more beech wood increment annually than consumed. There were three types of beech wood used during our research: control-untreated beech, thermally modified wood and wax treated thermally modified beech. To determine water performance, three materials based on the beech wood were exposed to various degradation-aging factors (blue stain fungi, decay fungi, artificial weathering, and natural weathering). For comparison, oak and sweet chestnut wood was used. Various moisture performance tests were applied before and after aging: short term water uptake (tensiometer), long term water uptake, water vapour tests, drying tests. In parallel moisture content of wood exposed in outdoor condi-

tions was monitored for nine months as well.

Various aging/degrading factors influenced the moisture performance of wood and, clearly, they acted synergistically. Hence, the highest decrease of moisture performance was determined with specimens exposed to natural weathering, in which wood was exposed to the whole spectrum of aging factors simultaneously. Materials performed differently after aging. Water exclusion efficacy changed the most prominently with thermally modified wood and untreated beech. On the other hand, moisture performance of wax treated wood was not affected even after 18 months of outdoor weathering. This confirmed excellent performance of wax treated thermally modified wood.

In spite of the fact that there was good correlation determined between all of the tests applied, we believe that moisture performance of wood cannot be determined with a single test only. For assessment of this parameter, a comprehensive methodology has to be applied.

7 LITERATURA

7 REFERENCES

- 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: 91-107.
- Hill, C.A.S. 2006. "Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes," John Wiley and Sons Ltd., Chichester, UK. DOI: 10.1002/0470021748
- Humar M., Kržišnik D., Lesar B., Thaler N., Ugovšek A., Zupančič K., Žlahtič M. 2016. Thermal modification of wax-impregnated wood to enhance its physical, mechanical, and biological properties. *Holzforschung*, v tisku
- Humar M., Kržišnik D., Lesar B., Thaler N., Žlahtič M. 2015. Življenjska doba bukovine na prostem = Service life of beech wood in outdoor applications. *Gozdarski vestnik*, 73, 10: 461-469.
- Humar M., Lesar B. 2013. Efficacy of linseed- and tung-oil-treated wood against wood-decay fungi and water uptake. *International biodeterioration & biodegradation*, 85: 223-227.
- Humar M., Vek V., Bučar B. 2008. Properties of blue-stained wood. *Drvena industrija*, 59, 2: 75-79.
- Lampen S.C. 2012. Aufbau einer Kennlinien-Datenbank für die elektrische Holzfeuchtemessung. Masterarbeit. University of Hannover, 110 s.
- Lesar B., Humar M. 2010. Vrednotenje življenjske dobe lesa, zaščitenega z emulzijami voskov in baker-etanolaminskimi pripravki v tretjem razredu izpostavitve. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 93: 23-36.
- Lesar B., Pavlič M., Petrič M., Sever Škapin A., Humar M. 2011. Wax treatment of wood slows photodegradation. *Polymer degradation and stability*, 96, 7: 1271-1278.
- Meyer L., Brischke C., Treu A., Larsson-Brelid P. 2016. Critical moisture conditions for fungal decay of modified wood by basidiomycetes as detected by pile tests. *Holzforschung*, 70(4): 331-339.
- Rep G., Pohleven F., Košmerl S. 2012. Development of the industrial kiln for thermal wood modification by a procedure with an initial vacuum and commercialisation of modified Silvapro wood. V: *Proceedings of the 6th European Conference on Wood Modification*, Ljubljana, Slovenia. 11-17 str.

- Schmidt O. 2006. Wood and Tree Fungi: Biology, Damage, Protection, and Use, Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- SIST EN 113. Zaščitna sredstva za les – Določanje meje učinkovitosti proti glivam odprtrotrošnicam. 2004: 74 str.
- SIST EN 1609. Toplotnoizolacijski proizvodi za uporabo v gradbeništvu - Določanje vpojnosti vode z metodo delne kratkotrajne potopitve. 1997: 18 str.
- SIST EN 252. Terenska preskusna metoda za ugotavljanje relativne preventivne učinkovitosti zaščitnega sredstva za les v stiku z zemljo. 2004: 18 str.
- SIST EN 335-1/2. Trajnost lesa in lesnih proizvodov – Definicije razredov uporabe – 1. in 2. del. 2011: 23 str.
- SIST EN 350-1. Trajnost lesa in lesnih izdelkov - Naravna trajnost masivnega lesa - 1. del: Navodila za osnove preskušanja in klasifikacije naravne trajnosti lesa. 1995: 17 str.
- SIST EN 350-2. Trajnost lesa in lesnih izdelkov - Naravna trajnost masivnega lesa – 2. del: Naravna trajnost in možnost impregnacije izbranih, v Evropi pomembnih vrst lesa. 1995: 42 str.
- SIST EN ISO 11341. Barve in laki – Umetno staranje in izpostavitve umetnemu sevanju – Izpostavitve filtriranemu ksenonskemu obločnemu sevanju (ISO 11341: 2004). 2004: 16 str.
- SIST ENV 1250-2. Sredstva za zaščito lesa - Metode za merjenje izgube aktivnih in drugih sestavin konzervansov iz obdelanega lesa 2. del: Laboratorijske metode za jemanje vzorcev za analizo za merjenje izgub, spiranja z vodo ali sintetično morsko vodo. 1994: 10 str.
- SIST EN 152-1. Metode preskušanja zaščitnih sredstev za les - Laboratorijska metoda za določanje preventivne učinkovitosti zaščitnega sredstva proti glivam modrivkam - 1. del: Nanašanje s premazovanjem. 1996: 14 str.
- Thaler N., Brischke C., Žlindra D., Vek V., Humar M. 2013. Changes in mechanical and chemical properties of wood exposed outdoors. International Research Group for Wood Protection, 1-12 str.
- Thaler N., Lesar B., Kariž M., Humar M. 2012. Biocising of Norway spruce wood using wood inhabiting fungi. International biodegradation & biodegradation, 68, 1: 51-55.
- Van Acker J., Stevens M., Carey J., Sierra-Alvarez R., Militz H., Le Bayon I., Kleist G., Peek R.D. 2003. Biological durability of wood in relation to end-use. Holz als Roh und werkstoff, 61, 1: 35-45.
- Van Acker J., Van den Bulcke J., De Windt I., Colpaert S., Li W. 2015. Moisture dynamics of modified Wood and the Relevance Towards Decay Resistance. V: Proceedings of the 8th European Conference on Wood Modification, Helsinki, Finska. 44 – 55.
- Žlahtič M., Thaler N., Humar M. 2015. Water uptake of thermally modified Norway spruce = Upijanje vode toplinski modificirane norveške smreke. Drvna industrija, 66, 4: 273-279.