

GDK 841/845(045)=163.6

Prispelo / Received: 07.09.2010

Sprejeto / Accepted: 19.11.2010

Izvirni znanstveni članek  
Original scientific paper

## Vrednotenje življenjske dobe lesa, zaščenega z emulzijami voskov in baker-etanolaminskimi pripravki v tretjem razredu izpostavitve

Boštjan LESAR<sup>1</sup>, Miha HUMAR<sup>2</sup>

### Izvelek

V raziskavi smo preučevali življenjsko dobo lesa, izpostavljenega na prostem, v tretjem razredu izpostavitve, z dvoslojnim testom. V prvem delu raziskave smo naravnim razmeram izpostavili vzorce smrekovine, impregnirane z vodnimi emulzijami montana in polietilenskih voskov v kombinaciji z borovimi spojinami. V drugem delu testa pa smo testirali vzorce, zaščitenega z baker-etanolaminskim pripravkom na vodni osnovi (Silvanolin) in posameznimi sestavinami tega pripravka. Za primerjavo smo izpostavili tudi nezaščiten vzorec smrekovine, macesnovine, bukovine in hrastovine. Skozi celotno obdobje izpostavitve smo spremljali klimatske podatke pod vzorci in na vremenski postaji. Rezultati kažejo, da impregnacija z emulzijami voskov in pripravki na osnovi bakra podaljšuje življenjsko dobo lesa, a je zaščita s pripravki na osnovi bakrovih spojin boljša. Odpornost lesa, zaščenega z emulzijami voskov in baker etanolaminskimi pripravki, je odvisna od koncentracije emulzije / raztopine in kakovosti lesa. Na podlagi spremljanja vlažnosti in temperature lesa smo ugotovili, da se v lesu ustvarjajo ustrežnejše vlažnostne razmere za razvoj gliv, kot bi sklepali iz meritev temperature in vlažnosti zraka.

**Ključne besede:** borove spojine, bakrove spojine, napovedovanje življenjske dobe, naravna odpornost, vlažnost lesa

### *Service life prediction of wood treated with wax emulsions and copper amine based solutions exposed in third use class*

#### Abstract

*In our research, service life of wood exposed outdoor in the third use class, determined with double layer test, was investigated. In the first part of the investigation, Norway spruce wood specimens were impregnated with montan and polyethylene water based wax emulsion in combination with boron compounds. In the second part of the research, Norway spruce wood samples were impregnated with a copper-ethanolamine (Silvanolin) water based solution and aqueous solutions of individual components. For comparison, untreated Norway spruce, larch, beech and oak wood specimens were exposed as well. During exposition time, climate data under specimens and at weather station were recorded. The results showed that impregnation with wax emulsions and copper based solutions prolongs service life of wood, but protection with copper-ethanolamine solutions is considerably better. Resistance of wood, preserved with wax emulsions and copper-ethanolamine solutions, was influenced by concentration of emulsions/solutions and wood quality. The parallel measurements of wood moisture content and wood temperature clearly showed that there were more suitable conditions in wood for development and growth of fungi than indicated by air temperature and relative air humidity measurements.*

**Key words:** boron compounds, copper compounds, service life prediction, natural durability, wood moisture content

## 1 Uvod

### 1 Introduction

Napovedovanje življenjske dobe lesa na prostem postaja vedno bolj pomembno. Zahtevajo ga različni gradbeni predpisi po vsem svetu. Za Slovenijo je najpomembnejša evropska direktiva o gradbenih proizvodih (European Construction Products Directive, CPD 89/106/EEC), ki v aneksu I podaja zahteve za mehansko odpornost, trdnost in varnost med uporabo.

Na začetku moramo pojasniti tri osnovne pojme, ki so ključni za razumevanje prispevka: naravno odpornost, trajnost in življenjsko dobo lesa. Naravna odpornost lesa je lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in označuje dovzetnost za škodljivce (SIST EN 350-1 1994). Izraz naravna odpornost se uporablja zgolj za nezaščiten les, medtem ko se za zaščiten ali modificiran les uporablja izraz odpornost lesa. Življenjska doba lesa je obdobje, v katerem les ohrani trdnost in stabilnost, ki sta zahtevani za določen proizvod. Ko so te lastnosti manjše oziroma slabše od zahtevanih, je treba proizvod zamenjati, tako

<sup>1</sup> B. L., univ. dipl.inž.les., Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina C. VIII/34, Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup> izr. prof. dr. M. H., Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina C. VIII/34, Ljubljana, Slovenija

da se zagotovi varnost uporabnikov skozi celotno dobo uporabe (BRISCHKE / BAYERBACH / RAPP 2006). V slovenščini se poleg življenjske dobe uporablja še drug podoben izraz: trajnost lesa, ki je definirana kot obdobje, v katerem les obdrži vse svoje naravne lastnosti in je odvisna od (naravne) odpornosti lesa ter mesta in načina vgradnje oziroma konstrukcije ter mesta uporabe (POHLEVEN 2008). Naravne lastnosti lesa so trdnost, odpornost, barva itd., ki se lahko s časom uporabe spreminjajo, na primer barva, a ne vplivajo na zmanjšanje mehanskih lastnosti in odpornosti, ki sta ključni za zagotavljanje varnosti skozi celotno obdobje uporabe lesa. Zato se nam zdi življenjska doba bolj primeren izraz in ga bomo uporabljali v nadaljevanju prispevka.

Življenjsko dobo lesa določa njegova odpornost, ki je posledica kemijske in fizikalne sestave nezaščitenega, modificiranega ali z biocidnimi pripravki obdelanega lesa. Poleg omenjenega na življenjsko dobo vplivajo še dejavniki okolja, ki so bolj ali manj ugodni za razkrojne organizme (glive, bakterije). Zato ima klima pomembno vlogo, vendar je treba razlikovati različne klimatske nivoje: makro klima - določajo jo vremenski podatki določenega kraja, lokalna klima, ki jo določajo lokalne razmere (na primer senca, vetrovna lega...), in mikro klima, kjer se razmere kažejo v konstrukciji. Klima v materialu ima neposreden vpliv na razkroj lesa (BRISCHKE / BAYERBACH / RAPP 2006). S »klimo materiala«, ki jo določajo vlažnost in temperatura lesa ter njuna dinamika, je možno oceniti tveganje za začetek razkroja (BRISCHKE / RAPP 2008b).

Ti dejavniki so ključni za rast in razvoj gliv. Minimalna vlažnost lesa mora biti nad točko nasičenja celičnih sten, optimalna vlažnost lesa za najpomembnejše prostotrosnice znaša med 40 % in 70 % (SCHMIDT 2006). Glive rastejo v temperaturnem območju med 0 °C in 45 °C. Optimalna temperatura je odvisna od vrste gliv in se giblje med 20 °C in 35 °C (HUCKFELDT / SCHMIDT / QUADER 2005). Študije vpliva temperature lesa na življenjsko dobo lesa so redke, vendar se kaže tendenca, da ima les v krajih s povprečno višjo temperaturo zraka krajšo življenjsko dobo (GRINDA / CAREY 2004; BRISCHKE / RAPP 2008a). BRISCHKE in RAPP (2008a) sta preučevala življenjsko dobo lesa v 27 krajih po Evropi in ugotovila, da se je rjava trohnoba pojavila le na borovih vzorcih, izpostavljenih v Ljubljani, medtem ko sta na vseh drugih 26 krajih prevladovali bela in mehka (soft rot) trohnoba.

V preteklosti se je že izkazalo, da so lahko rezultati laboratorijskih testiranj odpornosti zaščitenega lesa zavajajoči. V laboratoriju namreč ni možno v celoti simulirati naravnih razmer za delovanje vseh organizmov, ki povzročajo razkroj lesa (RAPP / AUGUSTA / BRANDT 2006). Namen naše raziskave je bil določiti življenjsko dobo lesa, impregniranega z vodnimi emulzijami voskov, lesa, zaščitenega s sredstvi na osnovi bakra in etanolamina, ter nezaščitenega lesa v tretjem razredu izpostavitve. Vsem omenjenim kombinacijam zaščite lesa, ki smo jih terensko testirali, smo z laboratorijskimi testi že določili njihovo

odpornost (HUMAR / LESAR 2008; LESAR / KRALJ / HUMAR 2009; LESAR / HUMAR 2009; LESAR / HUMAR 2010). Zaradi velikega vpliva klimatskih dejavnikov smo celoten čas raziskave spremljali izbrane klimatske podatke (makroklima, mikroklima in »klimo materiala«), ki v največji meri vplivajo na razkroj lesa.

## 2 Materiali in metode

### 2 Materials and methods

#### 2.1 Zaščitni pripravki

##### 2.1 Preservative solutions

Raziskavo smo razdelili na dva dela: v prvem delu smo naravnim razmeram izpostavili vzorce, zaščitene z emulzijami voskov, v drugem delu testa pa smo uporabili vzorce, zaščitene z baker etanolaminskimi pripravki in posameznimi sestavinami teh pripravkov. Uporabili smo emulzije montanskega voska (LGE) (Samson Kamnik), emulzijo polietilenskega voska (WE1) BASF (Nemčija) in emulzijo oksidirane polietilenskega voska (WE6) BASF (Nemčija), različnih koncentracij, razvidnih v preglednici 1. Za primerjavo smo del vzorcev impregnirali z vodno raztopino borove kisline (Ba) (cB = 0,5 %) ter mešanico borove kisline in emulzije montanskega voska dveh koncentracij (LGE-C-Ba in LGE-E-Ba) (Preglednica 1).

Osnovni baker etanolaminski zaščitni pripravek (CuEaQO), ki je dostopen tudi kot komercialni pripravek Silvanolin (Silvaprodukt d.o.o.), smo pripravili z bakrovim(II) sulfatom, kvartarnimi amonijevimi spojinami (alkil dimetil benzil amonijev klorid (ADBAC)) in topborom ( $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \times 4\text{H}_2\text{O}$ ). Etanolamin in oktanojska kislina sta bila dodana za izboljšanje vezave (HUMAR / POHLEVEN 2008). Poleg osnovnega smo pripravili še štiri zaščitna sredstva, ki smo jih zmešali brez ene ali več sestavin osnovnega zaščitnega sredstva. Prva je bila pripravljena z bakrovim(II) sulfatom, etanolaminom in oktanojsko kislino (CuEaO), druga samo z bakrovim(II) sulfatom (CuS), tretja z bakrovim(II) sulfatom in etanolaminom (CuEa) in četrta z etanolaminom, topborom in kvartarnimi amonijevimi spojinami (EaBQ) (Preglednica 2). Kot referenčni biocidni pripravek smo uporabili komercialni pripravek Silvanol GBP (Silvaprodukt d.o.o.) na osnovi bakrovih, kromovih in borovih spojin (CCB), ki se fiksira v les in se že več desetletij uporablja za zaščito lesa na prostem. Vse zaščitne raztopine smo uporabili v dveh različnih koncentracijah, tako da smo po impregnaciji dosegli ciljni navzem zaščitnih raztopin (Preglednica 3). Ciljne navzeme smo izbrali na osnovi laboratorijskih testiranj (ATELŠEK 2007) in priporočil mejnih vrednosti iz literature (WILLEITNER 2001).

Preglednica 1: Mokri navzem zaščitnih pripravkov, suhi navzem voskov, ocena razkroja in globina prodora Pilodyn v vzorce smrekovine in izbranih lesnih vrst.

Table 1: Uptake of preservative solutions, retention of waxes, decay ratings and depth of Pilodyn striker pin into Norway spruce samples and selected wood specimens.

Zaščitni pripravek / Preservative solution	Delež voska v emulziji / Dry content of wax (%)	Mokri navzem / Uptake of preservative solution (kg/m <sup>3</sup> )	Suhi navzem / Dry content		Datum izpostavitve / Beginning of exposure	Ocena / Rating			Pilodyn 3. leto 2010 / Pilodyn 3rd year (mm)
			Vosek / Wax (kg/m <sup>3</sup> )	Ba / Ba (kg/m <sup>3</sup> )		2008	2009	2010	
LGE-A	0,12	580	0,7	0	28.5.07	0,4	1,9	2,8	-
LGE-B	0,59	557	3,2	0	28.5.07	0,1	0,7	2,0	-
LGE-C	1,17	546	3,1	0	28.5.07	0,2	2,1	3,0	-
LGE-D	5,90	149	8,5	0	19.6.08	-	0	0,1	14
LGE-E	11,70	118	13,8	0	19.6.08	-	0	0	11,3
LGE-C-Ba	1,17	488	5,6	13,7	28.5.07	0	0,2	1,5	20,8
LGE-E-Ba	11,70	119	13,9	3,3	19.6.08	-	0	0	15,7
LGE-P	1,17	17	0,2	0	28.5.07	0	0,1	1	20,3
WE1	16,50	100	16,5	0	19.6.08	-	0	0	-
WE6	17,00	106	18,2	0	19.6.08	-	0	0	-
Ba	0	661	0	18,8	28.5.07	0	0	0,7	22,3
Smreka 07**	0	0	0	0	28.5.07	1,4	2,5	3,7	*25+
Smreka 08**	0	0	0	0	19.6.08	-	0	0,2	19,3
Macesnovina	0	0	0	0	19.6.08	-	0	0	13,3
Bukovina	0	0	0	0	28.5.07	1,2	2,5	3,0	*25+
Hrastovina	0	0	0	0	28.5.07	0,3	0,1	0,1	-

\*25+ - igla je prodrla skozi celotno debelino vzorca

Smreka 07\*\* - kontrolni vzorci smrekovine izpostavljeni 28. 5. 2007

Smreka 08\*\* - kontrolni vzorci smrekovine izpostavljeni 19. 6. 2008

Preglednica 2: Sestava zaščitnih pripravkov na osnovi bakra in etanolamina. Pred uporabo smo pripravke ustrezno razredčili, da smo dosegli zastavljeni ciljni navzem.

Table 2: Composition of preservative solutions based on copper and ethanolamine. Prior to use, the preservative solutions were diluted in order to achieve targeted retentions.

Zaščitni pripravek / Preservative solution	Masa posamezne sestavine v 1000 g zaščitnega pripravka / Mass of selected ingredient in the 1000 g of the respective preservative solution				
	Bakrov(II) sulfat penta hidrat (CuS) / Copper(II) sulphate pentahydrate (CuS)	Etanolamin (EA) / Ethanolamine (Ea)	Oktanojska kislina (O) / Octanoic acid (O)	ADBAC*	Topbor (B) / Topbor (B)
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
CuS	39,3	-	-	-	-
CuEa	39,3	57,7	-	-	-
CuEaO	39,3	57,7	8,1	-	-
CuEaQO	39,3	57,7	8,1	10	22,7
EABQ	-	57,7	8,1	10	22,7

\* alkil dimetil benzil amonijev klorid

Preglednica 3: Navzem baker etanolaminskih pripravkov, ocena razkroja in globina prodora Pilodyn v vzorce smrekovine. Vzorci so bili izpostavljeni terenskemu testiranju od 7. 4. 2006 do 15. 6. 2010.

Table 3: Retention of copper ethanolamine preservative solutions, decay ratings and depth of Pilodyn striker pin into Norway spruce specimens. Specimens were exposed outdoors from 7. 4. 2006 to 16. 6. 2010.

Zaščitno Sredstvo / Preservative solution	Ciljni navzem / Expected dry content (kg/m <sup>3</sup> )	Mokri navzem / Uptake of preservative solutions (kg/m <sup>3</sup> )	Suhi navzem / Dry content (kg/m <sup>3</sup> )	Ocena / Rating				Pilodyn 4. leto / Pilodyn 4 <sup>th</sup> year (mm)
				2007	2008	2009	2010	
CuEaQO	4,9	397	4,0	0	0	0	0	11,3
	19,6	368	18,1	0	0	0	0	11,7
CuEaO	1,2	276	1,3	0	0	0	0,1	14,7
	5,6	301	5,6	0	0	0	0	12,0
	14,9	340	12,7	0	0	0	0	10,3
CuS	1,4	305	1,1	0	0	0	0,1	14,3
	5,6	461	6,5	0	0	0	0	11,0
CuEa	3,4	210	2,1	0	0	0	0,3	12,8
	13,8	316	10,9	0	0	0	0	10,3
EaBQ	3,5	339	3,4	0	0	0,1	0,4	19,0
	14,0	254	8,9	0	0	0,5	0,5	12,5
CCB	4	409	4,1	0	0	0	0	12,3
Smreka 06*	0	0	0	0,2	0,8	1,8	2,8	15

Smreka 06\*- kontrolni vzorci smrekovine izpostavljeni 7. 4. 2006

## 2.2 Impregnacija in izpostavitve vzorcev

### 2.2 Impregnation and exposure of wood samples

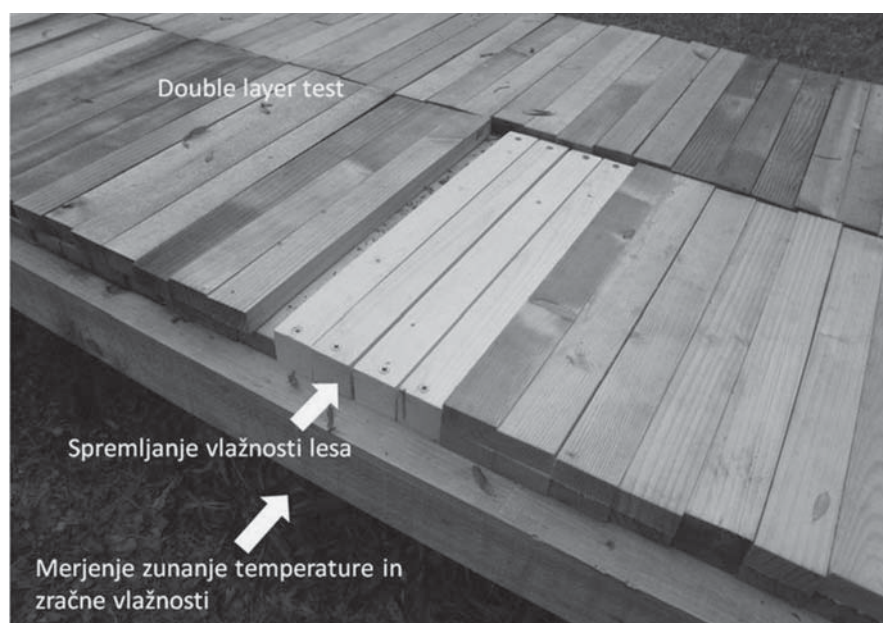
V raziskavi smo uporabili vzorce smrekovine (*Picea abies* Karst.), dimenzij 25 mm × 50 mm × 500 mm. Vzorci so bili pol-radialni, branike so z vzdolžno površino tvorile kot 45±15°. Vzorce smo po treh tednih uravnovešanja pri 20 °C in 65-odstotni relativni zračni vlažnosti (RH) impregnirali z emulzijami voskov po vakuumsko tlačnem postopku (30 min -0,9 bar vakuum, 3 h nadtlak 8 bar, 10 min -0,8 bar vakuum). Z baker etanolaminskimi pripravki smo vzorce impregnirali po nekoliko spremenjenem postopku; 1 h -0,9 bar vakuum, 2 h 6 bar in 15 min pri normalnem tlaku. Po impregnaciji smo vzorcem gravimetrično določili mokri navzem posameznih zaščitnih sredstev. Za vsako/vsakega od uporabljenih emulzij/raztopin/kontrolnih vzorcev smo uporabili po 10 vzporednih vzorcev.

Po štirih tednih sušenja v sobnih razmerah smo impregnirane in kontrolne vzorce terensko testirali. Poleg kontrolnih smrekovih vzorcev smo za primerjavo uporabili neodporne vzorce bukovine (*Fagus sylvatica* L.) in odporne vzorce jedrovine macesna (*Larix* sp.) in jedrovine

hrasta (*Quercus* sp.). Ves les je izviral iz osrednje Slovenije. Vzorce smo izpostavili terenskemu testiranju v različnih časovnih obdobjih, in sicer: 7. 4. 2006, 28. 5. 2007 in 19. 6. 2008 (Preglednica 1 in Preglednica 3). Izpostavili smo jih na Oddelku za lesarstvo v Rožni dolini v Ljubljani na pretežno senčno in zatišno lego (310 m n.m.). Izpostavljeni so bili v tretjem razredu izpostavitve (nepokrito na prostem, pogosto močenje) (SIST EN 335-1/2 1992). Za določanje trajnosti lesa smo v naši raziskavi uporabili dvoslojni test (ang. double layer test) (RAPP / AUGUSTA 2004; SIST EN 252 2004). Pet enako obdelanih vzorcev smo zložili v spodnjo in pet v zgornjo vrsto. Vzorci v zgornji vrsti so bili za polovico vzorca zamaknjeni. Med različno obdelanimi vzorci so bili slepi vzorci (nezaščiteni smrekovi vzorci slabše kvalitete) (Slika 1).

Skozi celotno obdobje trajanja raziskave smo vsako uro spremljali temperaturo in zračno vlažnost z vremensko postajo Davis, ki je bila postavljena na Gozdarskem inštitutu (cca. 300 metrov oddaljena od testnega polja). Podatke o dnevni količini padavin smo pridobili od Agencije Republike Slovenije za okolje s klimatološke postaje Ljubljana Bežigrad. Klimatski podatki so prikazani kot povprečja tedenskih meritev.





Slika 1: Dvoslojni test in spremljanje vlažnosti kontrolnih in zaščitениh vzorcev smrekovine na Biotehniški Fakulteti Oddelku za lesarstvo v Ljubljani.

Figure 1: Double layer test and moisture content measurements of control and treated samples at the Biotechnical Faculty Department for Wood Science and Technology.

Ocenjevanje vzorcev je potekalo vsako leto med petnajstim majem in petnajstim junijem. Vsak vzorec smo si natančno ogledali in ocenili stopnjo razkroja po standardu (SIST EN 252 2004; SIST-TS CEN/TS 12037 2005; RAPP / AUGUSTA 2004) (Preglednica 4).

V letu 2010 smo vizualno oceno podkrepili še z meritvijo prodora udarne igle v vzorec. V ta namen smo uporabili Pilodyn 6J proizvajalca Fuji Teck K.K (Japonska). Naprava deluje tako, da s konstantno udarno močjo (6 J) udari iglo s premerom 2,5 mm in dolžino 60,2 mm v les.

Preglednica 4: Ocene razkroja vzorcev (RAPP / AUGUSTA 2004; SIST EN 252 2004).

Table 4: Decay ratings of samples (RAPP / AUGUSTA 2004; SIST EN 252 2004).

Ocena / Rating	Razvrstitev / Classification	Opis preizkušanca / Definition of condition
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: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spremembe, ki se pokažejo predvsem kot sprememba barve ali zelo površinski razkroj, mehčanje lesa je najpogostejši kazalec, razkroj sega do 1 mm v globino.</li> </ul>
2	Zmeren razkroj	Jasne spremembe v zmernem obsegu: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spremembe, ki se kažejo kot mehčanje lesa 1 mm do 3 mm globoko na 1 cm<sup>2</sup> ali večjem delu vzorca.</li> </ul>
3	Močen razkroj	Velike spremembe: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Izrazit razkroj lesa 3 mm do 5 mm globoko na velikem delu površine (večje od 20 cm<sup>2</sup>), ali mehčanje lesa globlje kot 10 mm na površini, večji od 1 cm<sup>2</sup>.</li> </ul>
4	Propadanje	Preizkušaneec je močno razkrojen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ob padcu z višine 0,5 m se zlomi.</li> </ul>

Nato na merilcu odčitamo globino prodora igle. Meritve prodora igle smo opravljali na treh vzporednih vzorcih za posamezno serijo.

### 2.3 Spremljanje vlažnosti lesa

#### 2.3 Moisture content measurements

Vzporedno smo na impregniranih in kontrolnih vzorcih smrekovine (45 mm × 45 mm × 500 mm) spremljali vlažnost lesa (Slika 1). V obdobju od 3. 7. 2007 do 26. 8. 2008 smo spremljali vlažnost lesa na dveh kontrolnih in dveh vzorcih, impregniranih z 10-odstotno vodno emulzijo voska montana (LGE). V obdobju od 27. 8. 2008 do 15. 6. 2010 pa smo spremljali vlažnost dveh kontrolnih in dveh vzorcev, zaščitnih z oksidiranim polietilenskim voskom (WE6). Impregnacija vzorcev in uravnovešanje sta potekala po enakem postopku kot pri vzorcih za dvoslojni test. Po uravnovešanju smo v sredini vzorca do polovice globine izvrtali luknjo premera 20 mm in vanjo vstavili H-gumbek 23 (Thermo Track, ProgresPlus). Luknjo smo zatesnili z lesenim čepom, zavitim v PVC folijo (Slika 2).



Slika 2: H-gumbek 23 za merjenje temperature in zračne vlažnosti ter njegova namestitve v vzorec.

Figure 2: H-button 23 for temperature and relative humidity measurement and its installation into wood samples.

H-gumbek 23 omogoča merjenje in beleženje temperature v območju od -20 °C do +85 °C ± 0,5 °C in zračne vlažnosti od 0 % do 100 % ± 0,1 %. Temperaturo in zračno vlažnost v vzorcu smo zabeležili vsako uro. Ko smo podatke prenesli v računalnik, smo s pomočjo enačbe 1 izračunali vlažnost lesa (EVANS 2004) in jih podali kot povprečne tedenske vlažnosti lesa.

(1)

$$MC = (5RH^3 - (589,1 - 0,76T)RH^2 + 100(370,1 - 0,7T)RH - 100(564,9 - 6,8T))10^{-5}$$

MC = vlažnost lesa v %, RH = relativna zračna vlažnost v %, in T = temperatura v °C

Vzporedno smo s H-gumbkom merili zunanjo zračno vlažnost in temperaturo. Gumbek je bil nameščen na gredici pod vzorci, ki smo jim merili vlažnost (Slika 1). Tako smo

zagotovili popolno senčenje gumbka. Meritve smo beležili vsako uro in jih podali kot povprečne tedenske temperature oziroma zračne vlažnosti.

### 3 Rezultati in razprava

#### 3 Results and discussion

V prvem delu smo preučevali življenjsko dobo vzorcev, impregniranih z emulzijami voskov in raztopino borove kisline. Mokri navzem zaščitnih sredstev na osnovi emulzij voskov je znašal za premazane vzorce 17,3 kg/m<sup>3</sup>, za vakuumsko-tlačno impregnirane vzorce je bil po pričakovanju precej višji, in sicer med 100 kg/m<sup>3</sup> (WE1) do 580 kg/m<sup>3</sup> (LGE-A), najvišji navzem pa so imeli vzorci, impregnirani z raztopino borove kisline ( $c_B = 0,5\%$ ) 661 kg/m<sup>3</sup> (Preglednica 1). Iz rezultatov je razvidno, da na mokri navzem vpliva delež suhe snovi (voska) v emulziji. Glavni razlog za manjšo penetracijo emulzij z višjim deležem suhe snovi je, da so delci emulzije po informacijah proizvajalcev (ANONYMUS 2005) preveliki (100 μm), da bi prodrli v celično steno. Voski na površini celičnih sten tvorijo oviro in tako zmanjšujejo tudi prodiranje vode v celične stene med impregnacijo. Podobne rezultate smo dobili tudi v eni izmed naših prejšnjih raziskav (LESAR / ZUPANČIČ / HUMAR 2008). Dodatek borove kisline k emulziji ni vplival na mokri navzem. Poleg mokrega navzema smo spremljali tudi suhi navzem, ki je v neposredni povezavi z mokrim navzemom in deležem suhe snovi posameznega pripravka. Najnižji suhi navzem voska je bil pri premazanih vzorcih (LGE P) (0,2 kg/m<sup>3</sup>), najvišji pa pri vzorcih impregniranih, z emulzijo oksidirane polietilenskega voska (WE6) (18,2 kg/m<sup>3</sup>). Suhi navzem borove kisline je znašal med 3,3 kg/m<sup>3</sup> (LGE-E-Ba) in 18,8 kg/m<sup>3</sup> (Ba) (Preglednica 1). Visoki navzem borove kisline v vzorce, impregnirane le z raztopino borove kisline, je pričakovan, saj v pripravku ni bilo emulzije, ki bi ovirala prodiranje borove kisline v les. Kakorkoli, koncentracija borove kisline v lesu je zadostna za zaščito lesa pred najpomembnejšimi glivami razkrojevalkami. Predhodni eksperimentalni podatki so namreč potrdili, da je za zaščito lesa pred lesnimi glivami dovolj 0,8 kg borove kisline / m<sup>3</sup> (LESAR / HUMAR 2009). Po drugi strani pa je treba upoštevati, da se borova kislina iz lesa izpira in s tem slabi tudi kakovost zaščite.

V drugem delu raziskave smo uporabili različne kombinacije biocidnih pripravkov na osnovi bakra, za vsak pripravek smo izbrali po dva ciljna suha navzema. Dobljeni navzemi so se od ciljnih razlikovali za približno ± 25 %, razen pri vzorcih, impregniranih z EaBQ, ker je bil dejanski navzem manjši za 37 %. Razlike v pričakovanih in doseženih suhih navzemih so večinoma posledica nehomogene zgradbe lesa. Do podobnih nihanj prihaja tudi v praksi (RICHARDSON 1993).

V celotnem obdobju izpostavitve vzorcev smo spremljali makro, lokalno in mikro klimatske podatke, ki

vplivajo na pogoje za razkroj lesa (preglednica 5). Povprečna letna temperatura je bila med 10,5 °C (2006) in 11,1 °C (2007, 2009), povprečna relativna zračna vlažnost pa med 50,8 (2009) % in 72 % (2006). V letu 2010 so povprečna temperatura (8,5 °C), relativna zračna vlažnost (47 %) in količina padavin nekoliko nižje, ker je v povprečje zajeta le prva (hladnejša in bolj suha) polovica leta. Letna količina padavin znaša za preiskovano obdobje med 1195 mm in

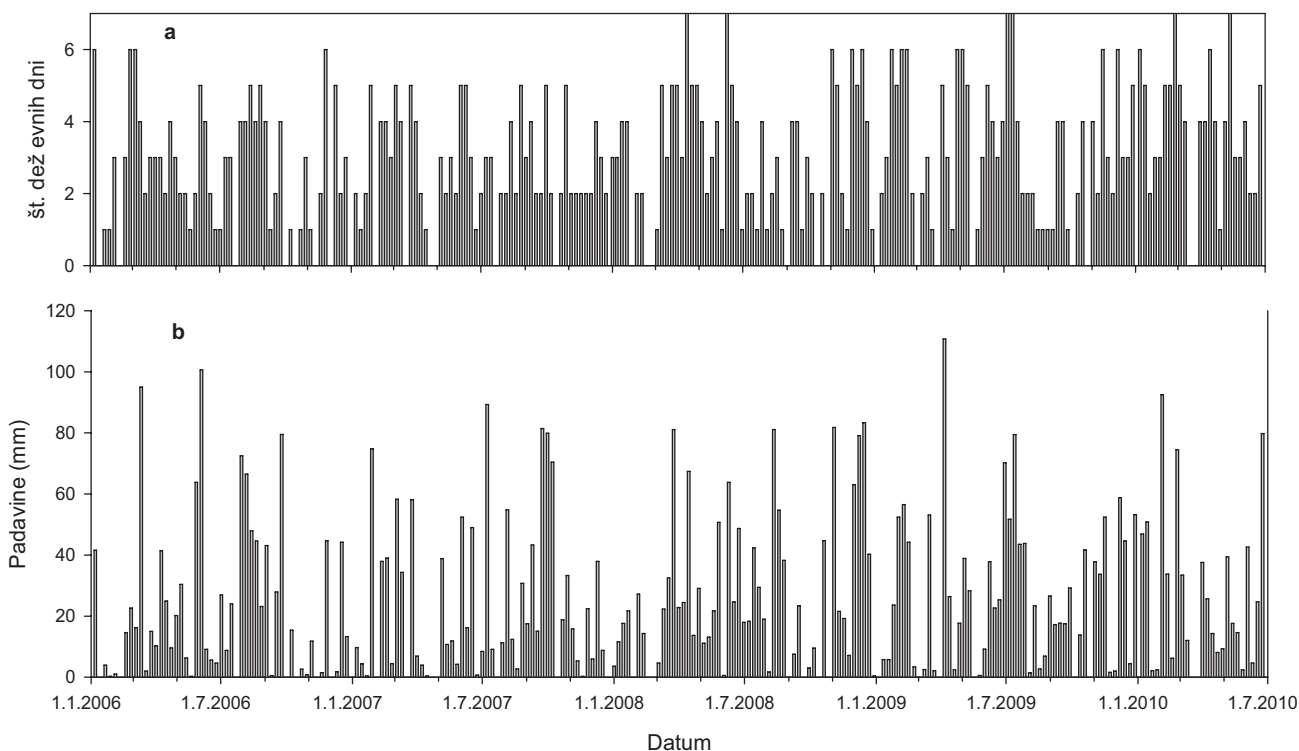
1440 mm (Preglednica 5). Na življenjsko dobo lesa zunaj veliko bolj vpliva število deževnih dni kot količina padavin (BRISCHKE / BAYERBACH / RAPP 2006). Opazili smo, da zadnja leta število deževnih dni narašča, in sicer je bilo v letu 2006 takšnih 113 dni, v letu 2009 že 166, v prvi polovici leta 2010 pa kar 94 (Preglednica 5, Slika 3). V štirih letih in pol so bila samo tri suha obdobja daljša od dveh tednov (Slika 3). Les se v takšnih razmerah

Preglednica 5: Povprečna letna temperatura, zračna vlažnost, letna količina padavin in število deževnih dni v posameznih letih izpostavitve vzorcev.

Table 5: Average year temperature, relative air humidity, sum of year precipitation and number of rainy days in the years of samples exposure.

Leto / Year	Povprečna temperatura / Average temperature (°C)	Povprečna relativna zračna vlažnost / Average relative air humidity (%)	Letna količina padavin / Sum of precipitation (mm)	Število deževnih dni / No. of rainy days
2006	10,5	72,0	1440	113
2007	11,1	69,5	1195	136
2008	10,7	58,9	1411	153
2009	11,1	50,8	1405	166
2010*	8,5	47,0	675	94

\*1. 1. do 30. 6. 2010



Slika 3: Povprečno tedensko število deževnih dni in povprečna tedenska količina padavin v obdobju med 7. 4. 2006 in 15. 6. 2010.

Figure 3: Average weekly number of rainy days and average weekly sum of precipitation in the period between 7. 4. 2006 and 15. 6. 2010.

ne osuši in ima stalno vlažnost, ki jo glive potrebujejo za razkroj. Velik pomen imajo tudi lokalne klimatske razmere, kot je na primer izpostavljenost na soncu oziroma v senci. Večja količina padavin in večje število deževnih/snežnih dni pozimi imata manjši vpliv na razkroj kot spomladi, poleti in jeseni oziroma v obdobju, ko so temperature ugodne za razkroj (BRISCHKE et al. 2010).

Primerjava meritev temperature in zračne vlažnosti pod dvoslojnim testom z meritvami na merilni postaji je pokazala, da se lokalna temperatura pod vzorci statistično ne razlikuje od temperature, izmerjene z vremensko postajo na Gozdarskem inštitutu. Manjše razlike se kažejo pri ekstremnih temperaturah, le-te so nekoliko manjše pod vzorci. Povprečna vlažnost zraka, izmerjena na merilnem mestu, je bila 59 %, pod vzorci pa kar 87 %. Znano je, da so v senci temperaturni ekstremi manjši, poleg tega se les počasneje suši, kar po drugi strani vodi k bolj intenzivnemu razkroju lesa (BRISCHKE / RAPP 2008b). Ugotovili smo, da so tudi temperature lesa manj ekstremne, vendar se le-te statistično ne razlikujejo od temperature zraka, izmerjene s H-gumbkom pod vzorci. Relativna zračna vlažnost, izmerjena v lesu, počasneje sledi vlažnosti zraka pod vzorci. Vzrok za to je počasno navlaževanje in sušenje lesa. To je razvidno iz izračunanih vlažnosti lesa, prikazanih na slikah 4 in 5. Vlažnost kontrolnih in impregniranih vzorcev smrekovine je v obdobju od julija 2007 do sredine junija 2010 znašala med 10 % in 28 % in je sledila zračni vlažnosti. Najvišja vlažnost (28 %) LGE, WE6 impregniranih in kontrolnih vzorcev je bila v vseh treh letih izpostavitve v zimskem obdobju približno od začetka novembra do začetka marca. V tem obdobju je bila zračna vlažnost najvišja in najbolj konstantna, povprečna temperatura je bila stalno pod 10 °C, v januarju in februarju vsa tri leta, nekaj tednov celo pod 0 °C. Izkazalo se je, da je vlažnost lesa v zimskem času nekoliko precenjena, saj pri vzporednem testu, kjer smo vlažnost lesa spremljali gravimetrično, nismo zaznali tako visoke vlažnosti lesa prek zime (HAFNER 2009). Spomladi, poleti in jeseni je vlažnost lesa bolj nihala. Nihanje je bilo posledica nihanja zračne vlažnosti in količine padavin. Vlažnost vzorcev, impregniranih z LGE emulzijo, je bila približno enaka vlažnosti kontrolnih vzorcev (Slika 4), medtem ko je pri vzorcih, impregniranih z WE6 emulzijo, opazen hidrofobni učinek. Impregnirani vzorci so dosegli za približno 2 odstotni točki nižjo vlažnost v določenem obdobju, medtem ko je bila dinamika navlaževanja in sušenja primerljiva tako za impregnirane kot tudi za kontrolne vzorce (Slika 5). Manjšo učinkovitost LGE emulzije v primerjavi z WE6 emulzijo pripisujemo nižjemu deležu suhe snovi v LGE emulziji in posledično manjšemu navzemu voska LGE (LESAR / HUMAR 2010). Pri impregnaciji s 50-odstotno emulzijo WE6 oksidirane polietilenskega voska je prišlo do delne zapolnitve celičnih lumnov, medtem ko tega učinka z emulzijo LGE voska montana zaradi prenizkega deleža suhe snovi nismo dosegli (LESAR / ZUPANČIČ / HUMAR 2008).

Glavni namen naše raziskave je bil določiti življenjsko

dobo zaščitenega lesa, izpostavljenega v tretjem razredu izpostavitve. Vzorci, zloženi v spodnji vrsti, so bili ne glede na tip impregnacije bolj vlažni in bolj razkrojeni kot vzorci v zgornji vrsti. Poleg tega se je pri vzorcih v spodnjem sloju razkroj pojavil prej. Na vseh vzorcih v zgornji vrsti je bila zgornja površina bolj ali manj degradirana zaradi delovanja UV-svetlobe ne glede na tip impregnacije. Površina je postala siva in vlaknasta zaradi razgradnje osnovnih komponent lesa (CHANG / HON / FEIST 1982; GRELIER / CASTELLAN / KAMDEM 2000; ZHANG / KAMDEM / TEMIZ 2009). Nobena izmed emulzij voskov ali bakrovih pripravkov ni preprečila ali upočasnila fotodegradacije lesa. Med ocenjevanjem nismo opazili, da bi bila fotodegradacija površine vzrok za razkroj. Veliko hitreje se je razkroj pojavil na mestih, kjer je zastajala voda oziroma so se vzorci težko sušili. Najbolj degradirano površino smo opazili pri pripravkih, impregniranih z vodno raztopino bakrovega(II) sulfata. Na površini je bilo opaziti več razpok, ki so potekale po letnicah. Očitno je kisl raztopina bakrovega(II) sulfata (pH 3,5) pospešila degradacijo površine.

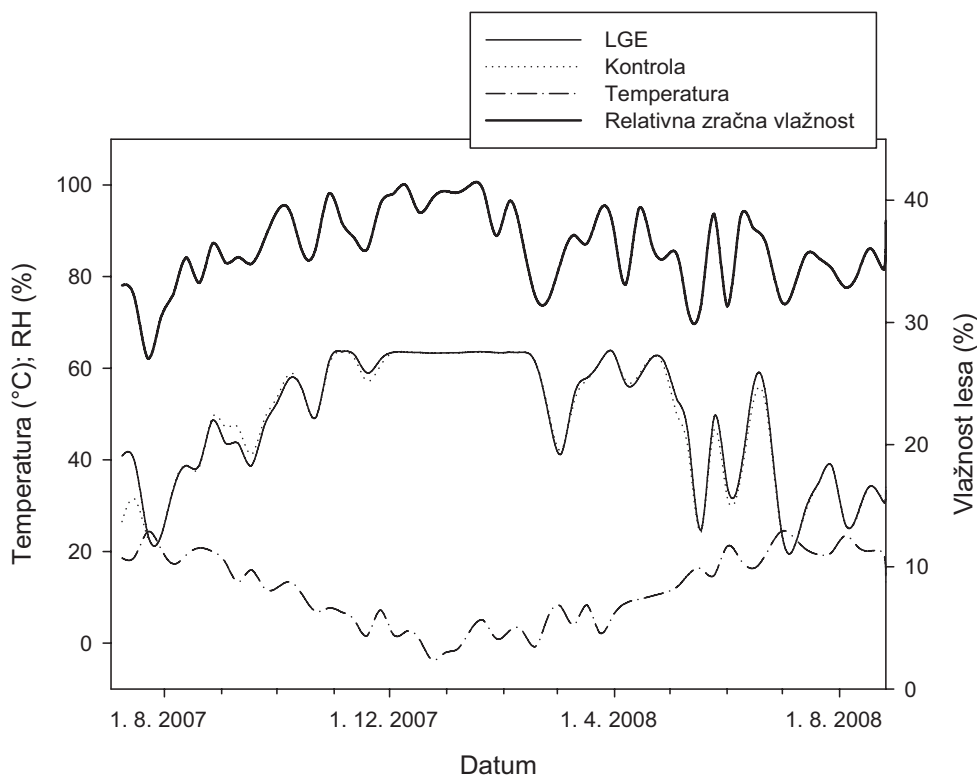
Po prvem, drugem in tretjem letu izpostavitve so bili najbolj razkrojeni kontrolni vzorci smrekovine 07 (kontrolni vzorci smrekovine, začetek izpostavitve 28. 5. 2007) in bukovine. Že po prvem letu izpostavitve smo na smrekovini 07 in bukovini na majhnem delu površine opazili prve znake razkroja (Preglednica 1). Skoraj na vseh vzorcih je bil viden micelij, na bukovini pa so bila poleg micelija še plodišča glive bele trohnobe pahljačice (*Schizophyllum commune*). V drugem in tretjem letu se je stopnja razkroja še povečevala. Tako so bili nekateri smrekovi 07 in bukovi vzorci že zelo močno razkrojeni (ocena 4) in so se zlomili že ob padcu z višine 0,5 m. Veliko bolj odporni so bili kontrolni vzorci smrekovine 06 (kontrolni vzorci smrekovine, začetek izpostavitve 7. 4. 2006). Po štirih letih so imeli povprečno oceno 2,8, kar je ena ocena nižje, kot je bila zabeležena pri vzorcih smrekovine 07. Vzorce smrekovine 08 (kontrolni vzorci smrekovine, začetek izpostavitve 19. 6. 2008), ki smo jih testirali leta 2008, so imeli po dveh letih veliko nižjo oceno (0,2) kot pa smrekovina 07 po enem letu testiranja (1,4). Vzorci hrastovine tudi po treh letih niso kazali znakov razkroja, razen enega vzorca, ki je dobil oceno 1. Omenjeni vzorec je bil poleg slepih vzorcev (vzorci smrekovine slabše kakovosti, ki smo jih namestili med vzorce posameznih obdelav oziroma druge vrste lesa), ki so bili že po prvem letu močno razkrojeni. Vzorci macesnovine po dveh letih ne kažejo nikakršnega razkroja. Omenjene rezultate podpirajo tudi rezultati merjenja prodora igle *Pilodyna* v letu 2010. Iгла *Pilodyna* je po treh letih testiranja prodrla skozi celotno debelino (25 mm) vzorcev smrekovine 07 in bukovine, medtem ko je v vzorce smrekovina 08 prodrla 19,3 mm, v vzorce macesnovine pa le 13,3 mm (Preglednica 1). Tako majhna globina prodora igle v macesnovino ni presenetljiva, saj na globino prodora vplivajo gostota lesa in smer prodora igle (tangencialna ali radialna) ter stopnja razkroja lesa. Vpliv razkroja je veliko večji, kot je



vpliv gostote ali orientacije lesnih vlaken. Iz rezultatov je razvidno, da so vzorci smrekovine 07 v našem podnebnem pasu slabše odporni od bukovine, čeprav standard SIST EN 350-2 (1994) navaja ravno obratno. Slabše odporni so bili tudi od smrekovine 06 in smrekovine 08. Predvidevamo, da je vzrok za slabšo odpornost vzorcev smrekovine 07 tudi slabša kakovost lesa. Omenjeni vzorci so imeli zelo široke branike z velikim deležem ranega lesa in povprečno gostoto  $477 \text{ kg/m}^3$  ( $u = 10 \%$ ), medtem ko je bila gostota vzorcev z začetkom izpostavitve leta 2006  $493 \text{ kg/m}^3$ . Iz literature ni znanih podatkov o vplivu gostote na naravno odpornost smrekovine. Za macesen poročajo, da gostota nima vpliva na odpornost (VIITANEN et al. 1997), za hrastovino pa velja, da višja gostota pomeni bolj odporen les (HUMAR et al. 2008).

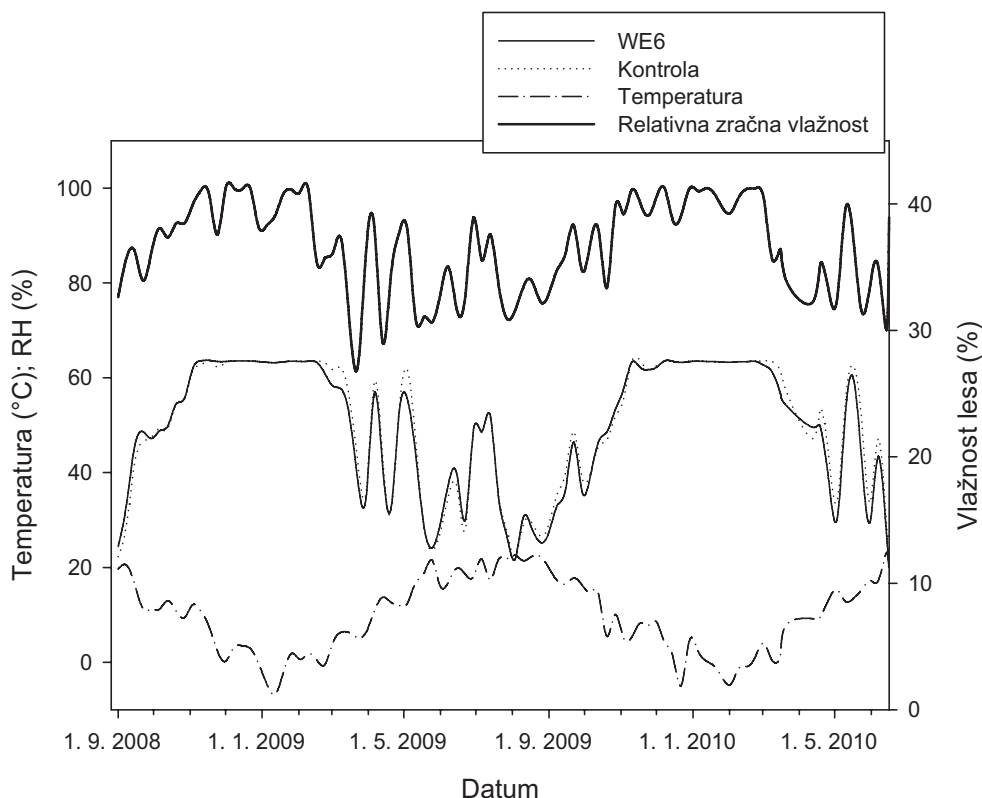
V letu 2007 in 2008 smo izpostavili naravnemu staranju vzorce, zaščitene z različnimi emulzijami voskov. Ti vzorci so bili nekoliko manj razkrojeni kot kontrolni vzorci. Po prvem letu so imeli vzorci povprečne ocene od 0 (LGE-P) do 0,4 (LGE-A), v drugem letu so bile razlike večje od 0,1 (LGE-P) do 2,1 (LGE-C) in v tretjem letu od 1 (LGE-P) do 3 (LGE-C) (Preglednica 1). Rezultati kažejo, da vakuumsko tlačna impregnacija z emulzijami voska montana (LGE) koncentracij od 0,12 % do 1,17 % ne izboljšuje odpornosti oziroma ne vpliva na življenjsko dobo vzorcev. Premazovanje z emulzijo (LGE-P) povečuje odpornost, saj se šele po drugem letu kažejo prvi znaki razkroja. Vzorci, impregnirani z višjimi koncentracijami

voskov (LGE-D, LGE-E, WE1 in WE6), ki smo jih izpostavili leto kasneje (2008), kažejo nekoliko večjo odpornost. Pri teh vzorcih po drugem letu še ni vidnih znakov razkroja razen na enem vzorcu LGE-D. Vendar pa so bili ti vzorci naravnim dejavnikom izpostavljeni premalo časa, da bi lahko zaključili oziroma napovedali življenjsko dobo tako obdelanega lesa. Vzorci, impregnirani z raztopino borove kisline (Ba), kažejo prve znake razkroja po treh letih izpostavitve. Njena učinkovitost je v kombinaciji z emulzijo LGE manjša. Po treh letih razkroja so bile na polovici vzorcev manjše poškodbe do globine 1 mm, na drugi polovici vzorcev pa so poškodbe bile že večje od  $1 \text{ cm}^2$  in globoke od 1 mm do 3 mm. Vzorci LGE-D-Ba, ki so bili izpostavljeni testiranju samo dve leti, še ne kažejo nikakršnih poškodb. Rezultate te raziskave potrjujejo tudi laboratorijski testi fungicidnih lastnosti emulzij voskov (LESAR / KRALJ / HUMAR 2009). Ugotovili smo, da borova kislina povečuje odpornost, vendar se njen učinek skozi leta zmanjšuje. Glavni vzrok za to je izpiranje bora iz lesa (LLOYD 1998; OBANDA / SHUPE / BARNES 2008; HUMAR / LESAR 2008). Zaradi slabše odpornosti predvidevamo, da je bilo največje izpiranje bora pri vzorcih, impregniranih z emulzijo LGE-C-Ba, kljub temu da je bilo v laboratoriju izpiranje bora manjše v kombinaciji z voskom montana kot brez voska (LESAR / KRALJ / HUMAR 2009). Predvidevamo, da je vzrok za to film voska montana na površini vzorca, skozi katerega je bor med impregnacijo veliko težje prodiral v les in ga je tako veliko ostalo pod površino, od koder se je zato hitreje izpral.



Slika 4: Vlažnost kontrolnih vzorcev in vzorcev smrekovine, impregnirane z emulzijo LGE voska montana, izpostavljenih terenskem testiranju od 9. 7. 2007 do 26. 8. 2008.

Figure 4: Moisture content of control and LGE montan wax treated samples exposed outdoor from 9. 7. 2007 to 26. 8. 2008.



Slika 5: Vlažnost kontrolnih vzorcev in vzorcev smrekovine, impregnirane z emulzijo WE6 oksidirane polietilenskega voska, izpostavljenih terenskem testiranju od 26. 8. 2008 do 15. 6. 2010.

Figure 5: Moisture content of control and WE6 wax polyethylene wax emulsion treated samples exposed outdoor from 26. 8. 2008 to 15. 6. 2010.

V primerjavi z vzorci, impregniranimi z emulzijami voskov, vzorci iz serije, zaščitene s sredstvi na osnovi etanolamina in/ali bakrovih spojin, kažejo na veliko boljše odpornost. Po treh letih testiranja so se pokazali prvi znaki razkroja le na vzorcih, impregniranih z raztopino EaBQ obeh ciljnih navzemov (0,1 oziroma 0,5). Omeniti pa velja, da ta pripravek ni vseboval bakrovih spojin, temveč le bor in kvartarno amonijevo spojino. Po štirih letih pa smo prve šibkejšje znake razkroja zaznali še na vzorcih, impregniranih z nižjo koncentracijo CuEaO (0,1), CuS (0,1) in CuEa (0,3) (Preglednica 1). Razkroj je bil opažen le na površini, manjši od 1 cm<sup>2</sup>, in v globini do 1 mm, na vseh drugih vzorcih pa ni bilo vidnih znakov razkroja. Skupna značilnost teh vzorcev je, da smo uporabili relativno nizek navzem. Poleg tega pa so vsi omenjeni biocidni pripravki vsebovali le eno biocidno učinkovino – baker. Ti podatki jasno potrjujejo laboratorijske podatke (HUMAR / LESAR 2008), da biocidni pripravki, ki vsebujejo le bakrove učinkovine, ne zagotavljajo popolne zaščite pred glivami rjave trohnobe, zato jih moramo kombinirati z drugimi biocidi (kvartarno amonijevo spojino, borom, triazolom...), če želimo doseči zadostno zaščito lesa. Po štirih letih izpostavitve vzorcev ni statistično značilnih razlik v globini prodora igle *Pyrodina* med posameznimi

zaščitnimi sredstvi in njihovimi koncentracijami. Razlikujejo se le vzorci EaBQ, impregnirani s pripravkom brez bakrovih spojin s ciljnim navzemom 3,5 kg/m<sup>3</sup>, v katere je igla prodrla povprečno 19,0 mm, saj je bila globina prodora pri drugih vzorcih med 10,3 mm in 14,3 mm. Rezultati nakazujejo trend povečevanja globine prodora igle pri vzorcih, na katerih se pojavlja razkroj, glede na vzorce brez znakov razkroja (preglednica 3).

## 4 Zaključki

### 4 Conclusions

Primerjava rezultatov razkroja vzorcev, zaščiteneh z emulzijami voskov in vzorcev, zaščiteneh s sredstvi na osnovi bakrovih spojin, pokaže, da so slednji bolje zaščitili les. Rezultat je pričakovan, saj je baker biocid, ki se s pomočjo etanolamina veže v les in tako zagotavlja dolgotrajno zaščito (JIANG / RUDDICK 1999; HUMAR / LESAR 2008; LEE / COOPER 2010).

Emulzije voska montana (LGE) niso vsebovale biocidov, ampak so lesu le povečale hidrofobnost. V

primeru, da je bila koncentracija le-teh dovolj visoka, izboljšajo odpornost lesa.

Poleg tega je na končni rezultat vplivala kakovost vzorcev. Vzorci, ki so bili izpostavljeni naravnim razmeram v letu 2007, so bili izdelani iz lesa slabše kvalitete, s širokimi branikami, kar se kaže v slabši odpornosti in večji dovzetnosti za glivni razkroj.

## 5 Summary

Service life prediction is becoming more and more important. In our research, service life of wood exposed in Use Class 3 was tested. Untreated wood and wood impregnated with water based wax emulsions and copper-ethanolamine based preservative solution was used. In the first part, Norway spruce wood was impregnated with three different wax emulsions: montan wax, polyethylene and oxidised polyethylene wax emulsion of different concentrations in combination with boron compounds. In the second part of the research, wood specimens were impregnated with copper-ethanolamine preservative solution (Silvanolin) and individual components of the original solution. CCB preservative, consisting of copper compounds, chromium compounds and boron compounds) was used as a reference solution. For comparison, untreated Norway spruce, larch, beech and oak wood specimens were used. Wood specimens were exposed outdoor in double layer test on the field test site at the Department of Wood Science and Technology in Ljubljana for three and four years. During exposure, temperature and relative humidity were measured under specimens with H-button and at weather station (Davis) 300 m away from the test field. Visual estimation according to SIST EN 252 standard was performed every year between fifteenth of May and fifteenth of June. In parallel, wood temperature and air humidity were measured in untreated Norway spruce control and wood impregnated with montan and polyethylene wax emulsions. Afterwards, wood moisture content was calculated.

Retention of wax emulsion was influenced by dry content and impregnation process. Emulsions with higher dry content had lower retention. For copper-ethanolamine based solutions target retention before impregnation was chosen based on literature and experimental data. After impregnation, the retention differed for  $\pm 25\%$ , and was influenced by inhomogeneous wood structure. The average year temperature during exposure was around  $11^{\circ}\text{C}$  and average relative air humidity was around 60%. Yearly amount of rainfall was approximately the same during exposure years (1400 mm), but numbers of rainy days increased from 113 in the year 2006 up to 166 days in the year 2009. The temperature under the specimens and the temperature measured at the weather station were almost the same; however, extreme temperatures measured under the specimens were slightly lower. The average relative

air humidity under the specimens was by approximately 30% points higher. Temperature of wood was less extreme than air temperature, but the difference was not significant. Wood moisture content was almost constant (28%) during the winter season from November to March. From March to November, wood moisture content was lower and oscillating with relative air humidity. However, it should be considered that moisture content was measured indirectly.

Specimens exposed in the lower layer had higher moisture content and consequently decay started earlier. All specimens in the upper layer were UV degraded, but this degradation did not result in decay. After the first, the second and the third exposure years, the control specimens were the most decayed, Norway spruce 07 and beech specimens in particular. There were no signs of decay at larch and oak specimens after three years of exposure. Resistance of specimens impregnated with wax emulsion was influenced by retention of wax emulsion. Higher decay resistance was evident at specimens impregnated with wax emulsion and boric acid. But after three years of exposure, the first signs of decay become evident. It is supposed that leaching of boron compounds is the main reason for this phenomenon. As expected, resistance of copper-amine treated wood was higher than resistance of wax emulsion treated specimens. The first signs of decay became evident after the third and/or the fourth years of exposure of the specimens impregnated with lower retention of preservative solutions. In these solutions, copper was the only biocidal component. Furthermore, results showed that wood quality had considerable influence on resistance of treated and untreated wood. For more exact service life prediction of treated wood exposure, time has to be longer (five or more years).

## 6 Zahvala

### 6 Acknowledgements

Avtorja se zahvaljujeva Javni agenciji za raziskovalno dejavnost republike Slovenije za finančno podporo v okviru projekta L4-0820-0481 in programske skupine P4-0015-0481. Za klimatološke podatke se zahvaljujeva doc. dr. Jožici Gričar in doc. dr. Tomu Levaniču z Gozdarskega inštituta Slovenije.

## 7 Viri

### 7 References

- ANONYMUS 2005. Poligen WE1, Technical information. www.basf.de, (5.12. 2008)
- ATELŠEK, J., 2007. Določanje minimalne koncentracije zaščitnega pripravka na osnovi bakra in etanolamina za zaščito lesa pred trohnenjem. Diplomaska naloga 45s.
- 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.
- BRISCHKE, C. / RAPP, A. O. / HASAN, M. / DESPOT, R., 2010. Impact of climate change on wood deterioration - Challenges and solutions for cultural heritage and modern structures. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 10-20441, 14.
- BRISCHKE, C. / RAPP, A. O., 2008a. Dose-response relationships between wood moisture content, wood temperature and fungal decay determined for 23 European field test sites. *Wood Science and Technology* 42, 6: 507-518.
- BRISCHKE, C. / RAPP, A. O., 2008b. Influence of wood moisture content and wood temperature on fungal decay in the field: observations in different micro-climates. *Wood Science and Technology* 42, 8: 663-677.
- CHANG, S. T. / HON, D. N. S. / FEIST, W. C., 1982. Photodegradation And Photoprotection Of Wood Surfaces. *Wood and Fibber Science* 14, 2: 104-117.
- COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1988. Council Directive of 21 December on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the member states relating to construction products (89/106/EEC). Bruselj; Council of the European Communities.
- EVANS, F.G., 2004. Monitoring a Timber Bridge in Norway. The International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 04-40282.
- GRELIER, S. / CASTELLAN, A. / KAMDEM, D. P., 2000. Photoprotection of copper-amine-treated pine. *Wood and Fiber Science* 32, 2: 196-202.
- GRINDA, M. / CAREY, J., 2004. The COST Euro Index for fungal decay-Five years results. In Proceedings of COST E22 Final Workshop.
- HAFNER, B., 2009. Vpliv klimatskih pogojev na vlažnost lesa impregniranega z vodnimi emulzijami polietilenskih in montanskih voskov. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Diplomsko delo, 59 str.
- HUCKFELDT, T. / SCHMIDT, O. / QUADER, H., 2005. Ecological investigations on *Serpula lacrymans* and other house rot fungi. *Holz als Roh-und Werkstoff* 63, 3: 209-219.
- HUMAR, M. / FABČIČ, B. / ZUPANČIČ, M. / POHLEVEN, F. / OVEN, P., 2008. Influence of xylem growth ring width and wood density on durability of oak heartwood. *International Biodeterioration & Biodegradation* 62, 4: 368-371.
- HUMAR, M. / LESAR, B., 2008. Fungicidal properties of individual components of copper-ethanolamine-based wood preservatives. *International Biodeterioration & Biodegradation* 62, 1: 46-50.
- HUMAR, M. / POHLEVEN, F., 2008. Solution for wood preservation: EP1791682(B1). Geneva: World intellectual property organization.
- JIANG X. / RUDDICK J.N.R., 1999. A spectroscopic investigation of copper ethylenediamine fixation in wood. The International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 99-20160, 13 str.
- LEE, M.J. / COOPER, P., 2010. Effect of amine ligand, copper/amine ratio, and pH on copper adsorption into wood. *Holzforschung* 64, DOI 10.1515/HF.2010.07, In press.
- LESAR, B. / HUMAR, M., 2009. Re-evaluation of fungicidal properties of boric acid. *European Journal of Wood and Wood Products* 67, 4: 483-484.
- LESAR, B. / HUMAR, M., 2010. Use of wax emulsions for improvement of wood durability and sorption properties. *European Journal of Wood and Wood Products*. DOI 10.1007/s00107-010-0425-y
- LESAR, B. / KRALJ, P. / HUMAR, M., 2009. Montan wax improves performance of boron-based wood preservatives. *International Biodeterioration & Biodegradation* 63, 3: 306-310.
- LESAR, B. / ZUPANČIČ, M. / HUMAR, M., 2008. Mikroskopska analiza lesa, impregniranega z vodno emulzijo montana voska. *Les/Wood* 60, 320-326.
- LLOYD, J. D., 1998. Borates and their biological applications. The International Research Group for Wood Preservation, IRG/WP 30178.
- OBANDA, D. N. / SHUPE, T. F. / BARNES, H. M., 2008. Reducing leaching of boron-based wood preservatives - A review of research. *Bioresource Technology* 99, 15: 7312-7322.
- POHLEVEN, F., 2008. Konstrukcijska zaščita lesa pred škodljivci. V: *Gradnja z lesom - Izziv in priložnost za Slovenijo*. K.K. M. (ur.). Ljubljana, Biotehniška Fakulteta.
- RAPP, A. / AUGUSTA, U. / BRANDT, K., 2006. The natural durability of wood in different use classes: Part II. The International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 10598.
- 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. IRG/WP 04-20290,
- RICHARDSON, B.A. 1993. *Wood Preservation*. Second edition. London, Glasgow, E & FN Spon: 226 str.
- SCHMIDT, O., 2006. *Wood and tree fungi, Biology, Damage, Protection and use*. Czeschlik D. (ur.) Berlin Springer-Verlag, 326 s.
- SIST EN 252, 2004. Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact. European Committee for Standardization
- SIST EN 335-1/2, 1992. Durability of wood derived materials - definition of hazard classes of biological attack - part 1 and 2. European Committee for Standardization
- SIST EN 350-1, 1995. Trajnost lesa in lesnih izdelkov - Naravna trajnost masivnega lesa - 1. del: Navodila za osnove preskušanja in klasifikacije naravne trajnosti lesa. European Committee for Standardization
- SIST EN 350-2, 1995 Trajnost lesa in lesnih izdelkov - Naravna trajnost masivnega lesa - 2. del: Naravna trajnost in možnost impregnacije izbranih, v Evropi pomembnih vrst lesa. European Committee for Standardization
- SIST-TS CEN/TS 12037:2005 - Zaščitna sredstva za les - Terenska preskusna metoda za ugotavljanje relativne preventivne učinkovitosti zaščitnega sredstva za les izven stika z zemljo - Wood preservatives - Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative exposed out of ground contact - Horizontal lap-joint method
- VIITANEN, H. / PAAJANEN, L. / PEKKA, S. / VIITANIEMI, P., 1997. Durability of larch (*Larix* spp) wood against



brown-rot fungi. The International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 97-10228.

WILLEITNER, H., 2001. Current national approaches to defining retentions in use. COST E22 6 s.

ZHANG, J. / KAMDEM, D. P. / TEMIZ, A., 2009. Weathering of copper-amine treated wood. Applied Surface Science 256, 3: 842-846.