

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matej KORTNIK

**PRIMERJAVA LASTNOSTI LAZUR NA TOPLOTNO  
MODIFICIRANEM ALI Z BIOCIDOM ZAŠČITENEM  
SMREKOVEM LESU**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2007

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matej KORTNIK

**PRIMERJAVA LASTNOSTI LAZUR NA TOPLOTNO  
MODIFICIRANEM ALI Z BIOCIDOM ZAŠČITENEM SMREKOVEM  
LESU**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**COATING PERFORMANCE COMPARISON  
OF HEAT OR BIOCIDAL TREATED NORWAY SPRUCE WOOD**

GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana, 2007

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na katedri za pohišstvo Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomske naloge imenoval prof.dr. Marka Petriča in za recenzenta doc.dr. Miho Humarja.

Mentor: prof.dr. Marko Petrič

Recenzent: doc.dr. Miha Humar

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Matej Kortnik

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn  
DK UDK 630\*829.17  
KG površinska obdelava/premaz/toplotna modifikacija/biocid/Borosol/oprijemnost/  
permeabilnost/umetno pospešeno staranje  
AV KORTNIK, Matej  
SA PETRIČ, Marko (mentor)/HUMAR, Miha (recenzent)  
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34  
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo  
LI 2007  
IN PRIMERJAVA LASTNOSTI LAZUR NA TOPLOTNO MODIFICIRANEM  
ALI Z BIOCIDOM ZAŠČITENEM SMREKOVEM LESU  
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)  
OP X, 42 str., 12 pregl., 5 sl., 38 vir.  
IJ sl  
JI sl/en  
AI Za zaščito lesa za zunanjo uporabo se pogosto uporabljajo površinska zaščitna sredstva, ki poudarjajo tudi dekorativne značilnosti lesa. Vendar za les, ki je izpostavljen vremenskim vplivom, zaščita s površinskimi premazi ponavadi ni zadostna. Vsaka predhodna obdelava lesa, kot sta npr. zaščita lesa z biocidi ali modifikacija lesa, lahko vpliva na lastnosti premazov, kakor tudi na procese staranja površinskih sistemov. V ta namen smo preučevali vpliv impregnacije in toplotne modifikacije substrata na prepustnost premazov za vodo, vodno paro in oprijemnost. Vremenske vplive na celoten sistem »podlaga-premaz« smo simulirali z umetno pospešenim staranjem. Rezultati so pokazali, da predhodna obdelava lesa z impregnacijo z biocidi in toplotno modifikacijo nima pomembnih negativnih vplivov na preučevane lastnosti, pač pa nekatere celo izboljša. Pri umetno pospešenem staranju je prišlo do nastanka napak na površini premazov, ki so bile najmanjše na sistemih »toplotno modificiran les-premaz«, sledili pa so jim sistemi »impregniran les-premaz«.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn  
DC UDC 630\*829.17  
CX surface treatment/coating/thermal modification/biocide/Borosol/adhesion/  
permeability/artificially accelerated aging  
AU KORTNIK, Matej  
AA PETRIČ, Marko (supervisor)/HUMAR, Miha (co-advisor)  
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and  
Technology  
PY 2007  
TI COATING PERFORMANCE COMPARISON  
OF HEAT OR BIOCIDES TREATED NORWAY SPRUCE WOOD  
DT Graduation Thesis (University studies)  
NO X, 42 p., 12 tab., 5 fig., 38 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB Wood products for exterior use are most commonly finished with surface coatings which highlight the decorative properties of wood. However, surface coatings do not provide sufficient protection to wood products that are exposed to weathering. But any pre-treatment of wood, such as impregnation with biocides or modification of wood, may affect the properties of coatings as well as resistance of surface systems against ageing. Therefore, the influence of impregnation and thermal modification of the substrate on water and water-vapour permeability as well as on adhesion was studied. Weathering was simulated on the "substrate-coating" systems with artificially accelerated ageing. It was shown by the results that biocide pre-treatment and thermal modification of wood did not have any important negative influences on the observed properties; some of the properties were even better. During artificially accelerated weathering some defects on the coatings' surfaces appeared which were the lowest in the case of the "thermally modified wood-coating" systems followed by the "impregnated wood-coating" ones.

## KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VIII
Kazalo slik	IX
Okrajšave in simboli	X
<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 UVOD IN PREDSTAVITEV PROBLEMA	1
<b>2 SPLOŠNI DEL</b>	<b>2</b>
2.1 STARANJE LESA	2
<b>2.1.1 Dejavniki, ki povzročajo razgradnjo lesa</b>	<b>2</b>
2.1.1.1 Sončna svetloba	2
2.1.1.2 Padavine	2
2.1.1.3 Insekti	3
2.1.1.4 Glive	3
2.2 BIOCIDI	3
<b>2.2.1 Delitev biocidov</b>	<b>4</b>
2.2.1.1 Klasična kemična zaščitna sredstva	4
2.2.1.2 Novejša kemična sredstva za zaščito lesa	4
<b>2.2.2 Borovi biocidi</b>	<b>5</b>
2.2.2.1 Trietanolamintriborat	7
2.3 MODIFIKACIJA LESA	7
<b>2.3.1 Modifikacija lesa z encimi</b>	<b>7</b>
<b>2.3.2 Kemična modifikacija lesa</b>	<b>7</b>
<b>2.3.3 Toplotna modifikacija lesa</b>	<b>8</b>
2.3.3.1 Toplotna modifikacija z olji	9
2.4 POVRŠINSKA ZAŠČITNA SREDSTVA	9

<b>2.4.1 Brezbarvni laki</b>	10
<b>2.4.2 Lak emajli</b>	10
<b>2.4.3 Lazure</b>	10
<b>2.4.4 Utrjeni filmi na lesu, zaščitenem z etanolno in vodno raztopino trietanolamintriborata</b>	12
<b>2.4.5 Utrjeni filmi na toplotno modificiranem lesu</b>	12
2.5 UMETNO POSPEŠENO STARANJE LESA	13
<b>3 MATERIAL IN METODE</b>	15
3.1 PRIPRAVA VZORCEV	15
<b>3.1.1 Označevanje vzorcev</b>	15
3.2 ZAŠČITNA SREDSTVA	16
3.3 POVRŠINSKI PREMAZI	16
<b>3.3.1 Bori lak lazura (S)</b>	16
<b>3.3.2 Bori akrilna lak lazura (W)</b>	17
3.4 PREDHODNA OBDELAVA LESA	18
<b>3.4.1 Impregnacija lesa</b>	18
3.4.1.1 Določanje globine prodora kemičnega sredstva v les	18
<b>3.4.2 Toplotna modifikacija z olji</b>	19
3.5 NANOS POVRŠINSKIH SREDSTEV IN PRIPRAVA POVRŠINE	19
3.6 UMETNO POSPEŠENO STARANJE LESA	20
3.7 DEBELINA SUHEGA FILMA	21
3.8 PREPUSTNOST	21
<b>3.8.1 Prepustnost za vodno paro</b>	21
<b>3.8.2 Prepustnost za vodo</b>	23
3.9 OPRIJEMNOST PREMAZOV	24
<b>4 REZULTATI</b>	25
4.1 DEBELINE SUHIH FILMOV PREMAZOV	25
4.2 REZULTATI MERITEV PREPUSTNOSTI PREMAZOV	26
<b>4.2.1 Prepustnost za vodno paro</b>	26
<b>4.2.2 Prepustnost za vodo</b>	27
4.3 REZULTATI MERITEV OPRIJEMNOSTI PREMAZOV	28

4.4	OCENA IZGLEDA VZORCEV PO UMETNO POSPEŠENEM STARANJU	30
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI</b>	<b>33</b>
5.1	RAZPRAVA	33
<b>5.1.1</b>	<b>Debelina suhega filma</b>	<b>33</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Prepustnost za vodno paro</b>	<b>33</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Prepustnost za vodo</b>	<b>34</b>
<b>5.1.4</b>	<b>Oprijemnost premazov</b>	<b>35</b>
<b>5.1.5</b>	<b>Staranje testnih sistemov</b>	<b>36</b>
5.2	SKLEPI	36
<b>6</b>	<b>POVZETEK</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>VIRI</b>	<b>40</b>
	<b>ZAHVALA</b>	



## KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Sistem označevanja vzorcev	16
Preglednica 2: Tehnične specifikacije premazov, podane od proizvajalcev	17
Preglednica 3: Globina prodora sredstva Borosol R v les	18
Preglednica 4: Povprečna količina nanosov površinskega premaza na testne sisteme	19
Preglednica 5: Debeline filmov premazov	25
Preglednica 6: Prepustnost nestaranih vzorcev za vodno paro	26
Preglednica 7: Prepustnost umetno pospešeno staranih vzorcev za vodno paro	27
Preglednica 8: Prepustnost nestaranih vzorcev za vodo	27
Preglednica 9: Prepustnost umetno pospešeno staranih vzorcev za vodo	28
Preglednica 10: Oprijemnosti premazov na nestaranih vzorcih	28
Preglednica 11: Oprijemnosti premazov na umetno pospešeno staranih vzorcih	29
Preglednica 12: Spremembe na vzorcih po umetno pospešenem staranju	31

## KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Umetno pospešeno staranje lesa – faza umetnega deža	20
Slika 2: Kondicioniranje vzorcev v laboratorijski komori	23
Slika 3: Instrument za merjenje natezne trdnosti, s katerim smo določali oprijemnost premazov	24
Slika 4: Pečati z vzorci po razslojevanju	30
Slika 5: Vzorci pred umetno pospešenim staranjem in po njem	32

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

RMP	relativna prepustnost za vodno paro v procesu absorpcije
WA	sprememba mase v procesu absorpcije
DMP	dinamična prepustnost vodne pare v procesu desorpcije
WD	sprememba mase vzorca v procesu desorpcije
RWP	relativna prepustnost za vodo v procesu absorpcije
A	adhezijski lom
K	kohezijski lom
CNN	kontrolni, nepremazani in nestarani vzorci
HNN	toplotno modificirani, nepremazani in nestarani vzorci
PNN	z biocidi zaščiteni, nepremazani in nestarani vzorci
CWN	kontrolni, premazani z akrilno lazuro in nestarani vzorci
HWN	toplotno modificirani, premazani z akrilno lazuro in nestarani vzorci
PWN	z biocidi zaščiteni, premazani z akrilno lazuro in nestarani vzorci
CSN	kontrolni, premazani z alkidno lazuro in nestarani vzorci
HSN	toplotno modificirani, premazani z alkidno lazuro in nestarani vzorci
PSN	z biocidi zaščiteni, premazani z alkidno lazuro in nestarani vzorci
CNW	kontrolni, nepremazani in starani vzorci
HNW	toplotno modificirani, nepremazani in starani vzorci
PNW	z biocidi zaščiteni, nepremazani in starani vzorci
CWW	kontrolni, premazani z akrilno lazuro in starani vzorci
HWW	toplotno modificirani, premazani z akrilno lazuro in starani vzorci
PWW	z biocidi zaščiteni, premazani z akrilno lazuro in starani vzorci
CSW	kontrolni, premazani z alkidno lazuro in starani vzorci
HSW	toplotno modificirani, premazani z alkidno lazuro in starani vzorci

PSW z biocidi zaščiteni, premazani z alkidno lazuro in starani vzorci

## 1 UVOD

### 1.1 UVOD IN PREDSTAVITEV PROBLEMA

Les je, kot vsi drugi organski materiali v naravi, udeležen v naravnem krogu snovi – in je ves čas izpostavljen različnim biotskim in abiotskim dejavnikom razgradnje. Abiotski so dejavniki nežive narave, med katere prištevamo ogenj, vremenske vplive (UV žarke, vlago, veter, visoke in nizke temperature...), mehanske sile in kemikalije. Med biotske dejavnike (dejavnike žive narave) prištevamo glive, insekte in bakterije. Naravni krog razkroja lesa je v naravi nujen. Lesu kot materialu za gospodarsko rabo želimo ta naravni razkroj upočasniti in izdelkom z dodano vrednostjo nameniti daljšo življenjsko dobo.

Človek je pričel lesene izdelke ščititi z namenom, da poveča njihovo trajnost že pred več tisoč leti. Prvi zapiski o zaščiti lesa segajo v čas filozofa Konfucija (5.-4. stol. pr. n. št.), ki opozarja, da na trajnost lesa zelo pomembno vpliva čas sečnje (Kervina-Hamović 1990). Najstarejši znani postopek zaščite lesa je poogljevanje oziroma obžiganje površine, kar so ljudje počeli že pred več kot 4000 leti. Kasneje so les potapljali v olja rastlinskega ali živalskega izvora oziroma v slano vodo. Skozi zgodovino so se razvijala vedno bolj učinkovita sredstva in postopki za zaščito lesa, vse do danes, ko je zaščita lesa postala znanstvena disciplina, ki proučuje učinkovite metode in ukrepe, s katerimi bi lesu povečali trajnost in pri tem zadržali njegove lastnosti.

V današnjem času so za zaščito lesa najbolj v uporabi razna površinska zaščitna sredstva, ki poudarjajo tudi estetske značilnosti lesa. Vendar za les, ki je izpostavljen vremenskim vplivom, zaščita s površinskimi premazi ponavadi ni zadostna. Zato les pred nanosom premazov lahko zaščitimo z biocidnimi pripravki. V novejšem času se zaradi okoljskih vzrokov namesto zaščite z biocidi uveljavlja tudi modifikacija lesa. Biocidi v lesu, kakor tudi modifikacija lesa, pa lahko vplivata na lastnosti utrjevanja premazov, kakor tudi na procese staranja površinskih sistemov.

Namen diplomske naloge je bil ugotoviti, ali impregnacija z nekaterimi biocidi in toplotna modifikacija smrekovega lesa poslabšata lastnosti utrjenih površin premazov. V ta namen smo preučevali vpliv impregnacije in toplotne modifikacije substrata na utrjevanje, prepustnost premaza za vodo, vodno paro in oprijemnost. Vpliv vremena na celoten sistem podlaga – premaz smo simulirali z umetno pospešenim staranjem.

## 2 SPLOŠNI DEL

### 2.1 STARANJE LESA

Les, ki ga uporabljamo v zunanjih konstrukcijah (okna, vrata, ograje, zunanje pohištvo, igrala, pergole...), je izpostavljen vremenskim vplivom – abiotskim dejavnikom, kot so padavine, sončna svetloba, veter itd. Ti razkrajajo les razmeroma počasi in pustijo vidne posledice na lesu, če jim je ta izpostavljen daljši čas. Les posivi, postane kosmat, razpoka... Glede na negativno delovanje abiotskih dejavnikov in glede na mesto vgraditve takšnega lesa pa se pogosto razvijejo tudi dobre razmere (temperatura, lesna vlažnost nad 20 %, razpokana in kosmata površina lesa) za razvoj biotskih dejavnikov, kot so lesne glive in insekti. Izrazite in hitre spremembe, ki jih povzročajo na lesu, lahko les že v nekaj tednih popolnoma uničijo (Pohleven, 1998).

#### 2.1.1 Dejavniki, ki povzročajo razgradnjo lesa

##### 2.1.1.1 Sončna svetloba

Sončno svetlobo les dobro absorbira. Zaradi tega so njegove površine podvržene fizikalni in kemični fotodegradaciji, kar odpira pot za nastanek poškodb tudi globlje pod površino. Fotodegradacijo lesa povzroča svetloba z valovno dolžino pod 600 nm, ki prodira v les do 200  $\mu\text{m}$  globoko, največji vpliv pa ima UV-svetloba, ki lahko prodre v les do globine 75  $\mu\text{m}$ . Vse glavne sestavine lesa so na UV-svetlobo občutljive, še najbolj pa lignin, saj absorbira 80 % - 95 % UV-svetlobe. Rezultat degradacije lignina je nastanek nizko molekularnih snovi, ki se izpirajo s površine lesa. Kljub temu, da je razgradnja lesa zaradi vpliva svetlobe površinski fenomen, je velik problem, saj vodi do diskoloracije in kemične razgradnje (Pavlič in Mihevc, 2001).

##### 2.1.1.2 Padavine

Dolgotrajne padavine v obliki dežja na les delujejo korozivno. Podoben učinek povzročajo snežni kristali. Voda tudi izpira s površine od svetlobe degradirane sestavine lesa in tako nastaja kosmata in reliefna površina. Največja škoda pa nastane zaradi higroskopsnosti lesa. Ta sprejema in oddaja vodo glede na klimatske razmere, kar se odraža tudi v spreminjanju njegovih dimenzij. Rečemo lahko, da je higroskopsko krčenje in nabrekanje, ki je posledica oddajanja in sprejemanja vezane ali higroskopske vode v tako imenovanem higroskopskem območju (od absolutne suhosti do točke nasičenja celičnih vlaken) ena izmed najneugodnejših lastnosti lesa (Torelli in Čufar, 1983). Zaradi vlažnostnega gradienta in anizotropne narave lesa prihaja pri procesu sušenja in navlaževanja lesa do

napetosti, ki ob prekoračitvi trdnosti lesa povzročajo razpoke in distorzije (Gorišek in sod., 1994).

#### 2.1.1.3 Insekti

Lesni insekti lahko močno in trajno poškodujejo les z vrtanjem rogov in okužbo s simbiotskimi glivami. Največjo ekonomsko škodo povzročajo insekti, ki napadajo suh vgrajen les. Najbolj pogosti terciarni insekti so trdoglavci, parketarji in hišni kozliček. Ti insekti sicer počasi, vendar v daljšem obdobju močno poškodujejo nosilne konstrukcije, ostrešja, gradbeno pohištvo. Ogromno in neprecenljivo škodo povzročajo na kulturno-zgodovinskih predmetih iz lesa. Še posebej radi napadajo lesene predmete, ki so predhodno okuženi z glivami in skupaj povzročijo popoln razpad lesne mase (Pohleven, 1998).

#### 2.1.1.4 Glive

Lesne glive lahko okužijo les s trosi ali rizomorfi. Ob ustrezni vlažnosti lesa (nad 20 %) in temperaturi vznikne iz trosov podgobje ali micelij, ki prodre v notranjost lesne mase in s pomočjo izločanja encimov razkraja komponente lesa. Nekatere glive, kot so na primer plesni in glive modrivke, povzročajo predvsem barvne spremembe lesa, medtem ko glive prave razkrojevalke lesa lahko les popolnoma uničijo. Te glive poleg barvnih sprememb na lesu lahko močno poslabšajo tudi mehanske lastnosti lesa in ga uničijo do te mere, da ga pogosto ni mogoče več obnoviti (Pohleven, 1998).

## 2.2 BIOCIDI

Biocidi so učinkovine za zaščito pred škodljivci; pri lesu predvsem gliv in insektov. Navadno se nahajajo v obliki raztopine, ki je sestavljena iz aktivne komponente in topila. Sredstva vnesemo v les s pomočjo različnih postopkov in sicer z brizganjem, premazovanjem, potapljanjem, oblivanjem, zaplinjevanjem... Topilo kasneje izpari, aktivna komponenta pa ostane v lesu. Kot aktivno komponento lahko uporabimo različne organske in anorganske snovi. Topilo je lahko organsko ali voda, ki je okoljsko najbolj sprejemljiva in dobiva vse večji pomen. Ker pa lahko kemična zaščita lesa in zaščitna sredstva onesnažujejo okolje in škodljivo delujejo na človeka, se njihovi uporabi pri zaščiti lesa izogibamo. Vendar je glede na izpostavljenost lesa škodljivcem v mnogih primerih kemična zaščita lesa še vedno nujno potrebna.

### 2.2.1 Delitev biocidov

Biocide lahko delimo glede na izvor kemične spojine (Kervina-Hamović 1990) na:

- anorganska zaščitna sredstva in
- organska zaščitna sredstva

ter glede na okoljski aspekt uporabe (Pohleven in Petrič, 1992) na:

- klasična kemična zaščitna sredstva, ki so v večini okoljsko oporečna, in
- novejša zaščitna sredstva, ki ustrezajo novejšim okoljskim merilom.

#### 2.2.1.1 Klasična kemična zaščitna sredstva

Med klasična zaščitna sredstva za les uvrščamo (Pohleven in Petrič, 1992):

- kreozotna olja,
- zaščitna sredstva na osnovi kromovih spojin,
- zaščitna sredstva na osnovi borovih spojin (glej 2.2.2),
- kovinske naftenate,
- pentaklorofenol (PCP) in
- lindan.

#### 2.2.1.2 Novejša kemična sredstva za zaščito lesa

Pohleven in Petrič (1992) navajata, da naj bi nova zaščitna sredstva na škodljivce delovala čim bolj selektivno ter da je pomembno, da so sredstva manj toksična in manj obremenjujoča za okolje. Sredstva naj bi bila topna v vodi, saj je voda ekološko najprimernejše topilo. Mnogo aktivnih komponent pa se v vodi ne raztaplja. Zaradi tega uporabljamo razna organska topila, vendar pa mnoga med njimi že sama po sebi močno obremenjujejo okolje. Alternativa sintetičnim topilom so naravna topila, kot so terpentin in alkoholi. Med novejša zaščitna sredstva za les prištevamo (Pohleven in Petrič, 1992):

- piretrine in piretroide,
- silafluofen,



- triazole,
- izotiazolone,
- bakrov kompleks Cu-HDO,
- alkilamonijeve spojine ter
- druga novejša sredstva.

### 2.2.2 Borovi biocidi

Med zaščitna sredstva za les na osnovi spojin elementa bora spadajo predvsem borova kislina in borati. Te snovi so toksične za večino ksilofagnih insektov ter gliv, so brez vonja, ne izparevajo in po impregnaciji ne spremenijo mehanskih lastnosti in naravne barve lesa, povečajo pa protipožarno odpornost. Toksičnost borovih spojin je za sesalce minimalna in je primerljiva s toksičnostjo običajne kuhinjske soli (Pohleven in Petrič, 1992; Unger in sod., 2001).

Zaradi navedenih prednosti poteka v svetu intenziven razvoj novih zaščitnih sredstev na osnovi spojin bora. Ena od največjih pomanjkljivosti omenjenih sredstev je izpirljivost, kar bi bilo mogoče rešiti s kombinacijo spojin bora z vodoodbojnimi snovmi ali s polimeri (Pohleven in Petrič, 1992).

Če so izdelki izpostavljeni izpiranju, se lahko borove spojine koncentrirajo v zemlji. Borova kislina je strup za ribe in živali, s katerimi se prehranjujejo. Vplivi na okolje pa še niso bili zadostno raziskani. Novejše raziskave nakazujejo, da borova kislina in borati lahko poškodujejo živalske testise in ustavijo nastajanje spermijev. Učinke na možne genske poškodbe še raziskujejo (Unger in sod., 2001).

Borova kislina in borati so učinkoviti kot preventivni fungicidi in insekticidi. Ustavijo delovanje encimov in vplivajo na transportne mehanizme iz celice v celico (Unger in sod., 2001).

Med borove spojine, ki jih uporabljamo za zaščito lesa, spadajo:

#### a. Borova kislina $B(OH_3)$

Borova kislina je lahko v obliki prosojnih luskastih kristalov ali belega prahu. V hladni vodi je slabo topna, vendar topnost s segrevanjem vode hitro narašča. V precejšnji meri je

topna tudi v raztopinah s hidroksilnimi skupinami, kot sta etanol in glicerol (Unger in sod., 2001).

b. Boraks (dinatrijev tetraborat dekahidrat)  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

So brezbarvni kristali, ki na zraku razpadajo. Pri hitrem segrevanju se boraks pri 75 °C topi in odda 8 molekul vode. Pri nadaljnjem segrevanju do 320 °C se proizvaja vode prost tetraborat. Boraks je zmerno topen v hladni vodi. Topnost se hitro povečuje s segrevanjem vode. Topen je tudi v glicerolu, ni pa topen v etanolu (Unger in sod., 2001).

c. Tim-bor ( $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}$ ) \* 4 H<sub>2</sub>O

Dinatrijev oktaborat tetrahidrat je izsušena raztopina enega dela borove kisline in 1,54 dela boraksa (Unger in sod., 2001). Topen je bolj kot borova kislina in večina ostalih boratov, vendar pa pride ta lastnost do izraza šele pri povišanih temperaturah. Pri sobni temperaturi, še bolj pa pri nižjih temperaturah, se njegova krivulja topnosti približa krivulji borove kisline in večine njenih soli.

d. Trimetilborat  $(\text{CH}_3\text{O})_3\text{B}$

Je brezbarvna tekočina in je občutljiv na vlažnost. Topen je v organskih topilih. Z vodo reagira, pri čemer nastane borova kislina in metanol. Trimetilborat (kot pripravek) za razliko od ostalih borovih spojin negativno vpliva na sesalce. Povzroča draženje sluznice in dihalnih poti. V večjih koncentracijah ima narkotičen učinek. Stalen kontakt s kožo pa vodi v izgubo maščevja in pojava ekcema (Unger in sod., 2001).

Pri impregnaciji z lesom izkoriščamo reakcijo trimetilborata z vodo. Les v komori s pod pritiskom izpostavimo param trimetilborata. V lesu trimetilborat reagira z vodo, kot stranski produkt pa se izloča metanol. Prednosti tega postopka so kratek čas obdelave, enostavna oprema impregnacijske postaje in okoljska sprejemljivost. Obdelan les je takoj po končanem postopku suh in primeren za nadaljnjo obdelavo (Pohleven in Petrič, 1992).

e. Trietanolamintriborat (glej 2.2.2.1)

f. Bor v zmesi CCB

Bor se pojavlja tudi v pripravku zmesi kromovih in bakrovih spojin, ki jo poznamo pod imenom CCB. Borova spojina v zmesi deluje insekticidno.

#### 2.2.2.1 Trietanolamintriborat

Trietanolamintriborat  $N(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{-O-H}_2\text{BO}_2)_3$  je produkt sinteze borove(III) kisline ali anhidrida te kisline in trietanolamina. Za topilo se uporabljata voda (komercialno ime sredstva je Borosol A) ali etanol (Borosol R). Spojina se od drugih borovih spojin loči predvsem po veliko boljši topnosti v vodi in v polarnih topilih. Raziskave Petriča in sod. (2000b) so pokazale relativno ugodno fungicidnost, insekticidnost in ognjeodporne lastnosti sredstva Borosol. Borosol pa se enako kot ostala zaščitna sredstva na osnovi bora izpira iz lesa, kar pa je mogoče zmanjšati z uporabo površinskih zaščitnih sredstev (Petrič in sod., 2001).

### 2.3 MODIFIKACIJA LESA

Modifikacija lesa je najnovejši postopek, pri katerem želimo s pomočjo okolju prijaznih metod in brez uporabe biocidov zaščititi les. Z modifikacijo molekul lignina, hemiceluloz in celuloze se spremenijo nekatere lastnosti lesa. Zmanjša se zmožnost vpijanja vlage, s tem pa posledično tudi nabrekanje in krčenje. Na ta način se zmanjša možnost okužbe z lesnimi glivami. Po drugi strani pa zaradi spremenjene kemične zgradbe lesa glive ali insekti modificiranega lesa ne prepoznajo več kot vir hrane. Les lahko modificiramo na več načinov; z encimi, kemično ali toplotno.

#### 2.3.1 Modifikacija lesa z encimi

Modifikacija lesa z encimi je do sedaj še najmanj raziskana. Uporaba encimov omogoča modifikacijo lesa že pri sobnih pogojih. Encim lakaza, na primer, spremeni strukturo lignina in s povečanjem števila reaktivnih mest ugodno vpliva na rezultate pri vročem lepljenju lesnih vlaken.

#### 2.3.2 Kemična modifikacija lesa

Pri tem načinu modifikacije poteka reakcija med kemičnim reagentom in funkcionalnimi skupinami lesa. Večina reagentov reagira s hidroksilnimi (-OH) skupinami lesnih polimerov. Najbolj raziskan je trenutno postopek acetiliranja, s katerim je možno bistveno izboljšati nekatere lastnosti lesa. Lastnosti modificiranega lesa so odvisne predvsem od uporabljenega reagenta in dosežene stopnje modifikacije (Rep in Pohleven, 2001).

### 2.3.3 Toplotna modifikacija lesa

Toplotna modifikacija lesa se je začela razvijati v štiridesetih letih 20. stoletja. Pri lesu, ki so ga segrevali v vroči kovinski kadi, je bila ugotovljena povečana odpornost proti glivam. Od takrat, pa do danes, so številni raziskovalci preučevali vpliv toplotne modifikacije lesa predvsem na izboljšanje dimenzijske stabilnosti lesa, odpornosti lesa proti glivam, kakor tudi na omilitev drugih negativnih značilnosti lesa. Osnovna ideja toplotne modifikacije lesa je s segrevanjem spremeniti molekulsko strukturo komponent celične stene. Med procesom modifikacije nekateri polimeri (predvsem hemiceluloze in lignin) depolimerizirajo in nastajajo novi, v vodi netopni polimeri. Toplotna modifikacija običajno poteka v mediju inertnih plinov pri temperaturi med 150 °C in 260 °C. Prisotnost kisika povzroči depolimerizacijo celuloze, kar povzroči zmanjšanje trdnosti lesa. Zato je največji tehnični problem toplotne modifikacije lesa kontrolirano zmanjšanje njegovih mehanskih lastnosti. Glavni namen vseh različnih postopkov toplotne modifikacije je izboljšati dimenzijsko stabilnost in trajnost lesa kolikor je le mogoče, s tem da bi bila njegova trdnost zmanjšana v minimalni meri. Zaradi tega je toplotno modificiran les pretežno uporaben tam, kjer ni izpostavljen mehanskim obremenitvam, zahteva pa se dobra dimenzijska stabilnost in trajnost lesa (Rep in Pohleven, 2001; Rapp in Sailer, 2001).

V Evropi (Finska, Francija, Nemčija in Nizozemska) in ZDA so razviti že številni različni postopki toplotne modifikacije lesa. Med sabo se razlikujejo predvsem po mediju za segrevanje, ki ga uporabljajo v procesu. Kot najbolj pogosti mediji, ki omogočajo segrevanje v odsotnosti kisika, se uporabljajo dušik, vodna para in različna naravna olja. Za toplotno modifikacijo lesa, ki se izvaja v Evropi, se najbolj pogosto uporabljajo smrekov, borov, brezov in topolov les. Lastnosti toplotno modificiranega lesa so v glavnem odvisne od postopka toplotne modifikacije, parametrov segrevanja (trajanje, temperature) in lesne vrste (Rep in Pohleven, 2001).

Pri vseh različnih procesih toplotne modifikacije pride do izboljšanja nekaterih lastnosti lesa, kot so higroskopičnost (zmanjšana do 50 %), izboljšana dimenzijska stabilnost (do 90 %), povečanje trajnosti lesa ter zmanjšanje njegove gorljivosti. Prav tako pa se v vseh primerih toplotne modifikacije poslabšajo mehanske lastnosti lesa. Les postane krhek, posebno takrat ko so temperature pri modifikaciji zelo visoke. Še posebej je zmanjšana udarna žilavost. Toplotno modificiran les je rjave barve, stopnja potemnelosti pa narašča sorazmerno s temperaturo, ki jo pri postopku uporabljamo. Tako potemnjen les ni odporen na UV svetlobo in hitro posivi. Če želimo ohraniti rjavo bravo, ga je potrebno za zunanjo uporabo dodatno zaščititi s površinskimi premazi (Rep in Pohleven, 2001).

### 2.3.3.1 Toplotna modifikacija z olji

Postopek toplotne modifikacije z olji so razvili v Nemčiji z enakim ciljem kot so ga imeli drugi raziskovalci, in sicer izboljšati dimenzijsko stabilnost in trajnost lesa pri čim manjšem poslabšanju njegovih mehanskih lastnosti. Za medij segrevanja so uporabili olje, ki ima dvojno funkcijo:

- hiter in enakomeren prenos toplote na les, pod pogojem da je v celotnem kotlu enakomerna temperatura,
- onemogoča stik kisika z lesom.

Uporabili so surova naravna olja, ki imajo sposobnost segrevanja do min. 230 °C. Pričakovali so, da bodo olja ugodno vplivala na les zaradi njihovih lastnosti med segrevanjem in vodoodpornega učinka olja, ki ga bo med postopkom modifikacije navzel les. Postopek poteka v impregnacijskem kotlu pri temperaturah med 180 °C – 220 °C. Rapp in Sailer (2001) primerjata les smreke (*Picea abies* (L.) Karsten) in bora (*Pinus sylvestris* L.), tretirana s postopkom toplotne modifikacije z olji, z lesom, obdelanim s postopkom toplotne modifikacije v vročem zraku in kontrolnimi nemodificiranimi vzorci. Raziskovala sta dimenzijsko stabilnost lesa, biološko trajnost in mehanske lastnosti lesa. Navajata, da je ASE (protikrčitvena učinkovitost), ki pove, za koliko je krčenje tretiranega materiala manjše od krčenja netretiranega oziroma kontrolnega materiala, primerljivo zmanjšana pri obeh vrstah toplotne modifikacije in sicer pri temperaturi modifikacije 220 °C, za 40 %. ASE je z naraščajočo ravnovesno vlažnostjo padala. Biološko trajnost sta testirala v skladu z EN 113, in sicer so bili vzorci testirani na odpornost proti kletni gobi (*Coniophora puteana* (Schum. Ex Fr.) Karsten). Izkazalo se je, da je toplotno modificiran les z olji bolj odporen proti okužbi s kletno gobo. Izguba mase toplotno modificiranega lesa pri temperaturi 200 °C je znašala po devetnajstdnevni izpostavitvi glivi v Kollejevih steklenicah pri lesu bora manj kot 2 %, medtem ko je bil pri smrekovem lesu ta rezultat dosežen z modifikacijo pri temperaturi 220 °C.

## 2.4 POVRŠINSKA ZAŠČITNA SREDSTVA

Les lahko pred abiotskimi dejavniki razgradnje površinsko zaščitimo z različnimi premaznimi sredstvi. Poleg zaščitne funkcije ima površinska obdelava s premazi tudi pomembno dekorativno vlogo. Lahko sledi predhodnim oblikam zaščite, kot sta konstrukcijska in kemijska zaščita lesa, modifikaciji lesa, ali pa nastopa povsem samostojno. V obeh primerih površinski premaz lahko zaradi delovanja zunanjih sil razpoka. V prvem primeru je tako les še vedno zaščiten, v drugem primeru pa je odprta prosta pot do nezaščitenega lesa, ki je tako izpostavljen napadu gliv in insektov (Mihevc, 1999).

Površinske premaze za zaščito lesa pred vremenskimi vplivi lahko razvrstimo v posamezne skupine po različnih kriterijih. S pogleda praktične uporabe se je najbolj uveljavila razdelitev (Pečenko, 1987a; Feist, 1996), premazov na:

- brezbarvne lake,
- pokrivne lak emajle in
- lazure.

#### **2.4.1 Brezbarvni laki**

Brezbarvne lake uporabljamo predvsem za naravno obarvane vrste lesa z izrazito teksturo. Laki niso pigmentirani ali umetno obarvani, tvorijo film in so relativno nepropustni za vodno paro. Z laki premazan les je neodporen proti škodljivemu delovanju sončne svetlobe, ker laki slabo absorbirajo UV žarke. Uporaba lakov za zaščito pred vremenskimi vplivi torej ni priporočljiva, razen če izvajamo pogosto in redno vzdrževanje (Pečenko, 1987b), kar pa je relativno drago in zamudno, saj je potrebno pred nanašanjem obnavljalnega nanosa star nanos popolnoma odstraniti.

#### **2.4.2 Lak emajli**

Lak emajli (opleski) so filmotvorna debeloslojna premazna zaščitna sredstva, s katerimi popolnoma prekrijemo lesno teksturo in tako tudi različne napake (Pavlič in Mihevc, 2001). Vsebujejo veliko količino pigmentov, zaradi česar jih je na trgu možno dobiti v raznih barvnih odtenkih (Feist, 1996). Zaradi vsebnosti pigmentov dosti dlje ščitijo les, predvsem pred svetlobnim žarčenjem (Pečenko, 1987a). Njihova prednost je tudi dobra vodoodbojnost in nizka prepustnost za vodo. Dolgo ohranijo svojo elastičnost, vendar se pri obsevanju s sončno svetlobo lahko močno segrejejo, zato temnih barv pri močno soncu izpostavljenih lesenih elementih ni priporočljivo uporabljati.

Kljub dobri odpornosti lak emajlov proti staranju sta njihovi pomanjkljivosti hitro napredovanje luščenja celotnega premaznega sistema ob začetni razpoki ter zamudno kvalitetno obnavljanje sistema (Pečenko, 1987a).

#### **2.4.3 Lazure**

Lazure so na naše tržišče prišle iz zahodne oziroma severne Evrope in so v relativno kratkem času popolnoma osvojile potrošnike. Uporabljamo jih v industriji stavbnega pohištva, predvsem v proizvodnji oken in vrat, za površinsko obdelavo lesenih konstrukcij, lesenih ograj, opažev ter vseh ostalih izdelkov, ki so izpostavljeni vremenskimi vplivom

(Kričej, 1976). Enostavni postopki nanašanja, videz in preprosto obnavljanje so faktorji, ki so pripomogli k vse večji uporabi teh premazov. Za razliko od lak emajlov so lazure manj pigmentirani premazi, ki na lesu tvorijo tanek film in površino lesa obarvajo transparentno, tako da je vidna njegova tekstura. Količina ustreznih pigmentov močno vpliva na obstojnost lazur. Na splošno velja, da z večjo količino pigmentov v lazuri dosegamo daljše vzdrževalne intervale. Osnovna lastnost lazur je odbijanje tekoče vode, saj imajo izrazite vodoodbojne lastnosti. Zaradi svoje relativno velike prepustnosti omogočajo lesu »dihanje«, kar pa ima tudi svojo slabo stran. Vlažnost lesa niha mnogo bolj kot pri neprepustnih ali malo prepustnih premazih. Vendar pa se vlaga v lesu ne akumulira. Nedvomna prednost lazur je preprost način njihovega obnavljanja, saj površine pred ponovnim nanosom običajno samo skrtačimo in obrišemo, z enim ali dvema nanosoma pa že osvežimo površino. V preteklosti so bile poznane alkidne in akrilne lazure z organskimi topili. Danes jih imenujemo konvencionalne lazure. Njihova uporaba se zaradi okoljske osveščenosti zmanjšuje, saj vsebujejo velik delež organskih topil. Zato se vse bolj uveljavljajo lazure, pri katerih je topilo voda.

Lazure delimo na več skupin, predvsem glede na debelino suhega filma in globino penetracije v les.

- Impregnacijske lazure v les prodirajo globlje in tudi po večkratnem premazovanju ne tvorijo popolnoma zaprtega filma. Trajnost teh premazov je majhna, paroprepustnost pa je zelo velika. Običajno vsebujejo biocide, ki v glavnem preprečujejo rast plesni na površini lesa oziroma premaza, delno pa les ščitijo tudi pred glivami in insekti. Ponavadi so osnova za nadaljnjo površinsko obdelavo.
- Tankoslojne lazure tvorijo na površini lesa v primerjavi z impregnacijskimi lazurami nekoliko debelejši film in imajo zato manjšo prepustnost za vodno paro.
- Debeloslojne lazure (»lak lazure«) pa so po svojih lastnostih že podobne klasičnim lakom, zato se pri njih, predvsem zaradi nizke prepustnosti za vodo, že lahko pojavlja problem luščenja in mehurjenja. Pri novejših debeloslojnih lazurah lahko dosežemo veliko debelino suhega filma že z enim nanosom in tako skrajšamo čas površinske obdelave, kakovost zaščite pa ostaja enaka. Posebna skupina debeloslojnih so prekrivne lazure. Od drugih debeloslojnih lazur se razlikujejo predvsem po tem, da popolnoma prekrijejo teksturo lesa, obenem pa so, prav tako kot ostale lazure, bolj prožne in paroprepustne od lak-emajlov oziroma opleskov.

Evropski standardi pa uvajajo popolnoma nov sistem razvrstitve premazov za zunanjo uporabo in določanja njihovih lastnosti, ki je opisan v skupini evropskih standardov EN 927-1 do 927-5. Podobno kot pri zaščiti lesa pred biološkimi škodljivci, se tudi na področju površinske obdelave s premazi poudarjajo pogoji izpostavitve in namen uporabe. Po novem površinske premaze razvrščamo glede na izgled, primerni premaz pa izberemo

glede na dimenzijsko stabilnost lesenega izdelka (podlage) med uporabo ter glede na pogoje izpostavitve. Podlage so po dimenzijski stabilnosti razdeljene v tri skupine (nestabilne, npr. opaži in ograje, polstabilne, npr. vrtno pohištvo, ter stabilne, npr. okna in vrata). V nasprotju s petimi razredi izpostavitve pred biološkimi škodljivci so pri površinskih premazih definirani le trije razredi pogojev izpostavitve: blagi (mili) pogoji, srednje zahtevni ter zahtevni pogoji izpostavitve.

#### **2.4.4 Utrjeni filmi na lesu, zaščitenem z etanolno in vodno raztopino trietanolamintriborata**

Raziskave Petriča in sodelavcev (2000a) o vplivu impregnacije smrekovega lesa z borovimi biocidi na oprijemnost površinskih premazov so pokazale, da impregnacija lesa z Borosolom pri preizkušanju z odtrganjem filma ni povzročila zmanjšanja razslojne trdnosti testiranih sistemov. Alkidni premazi na impregnanem lesu so imeli celo večjo adhezijo kot na netretiranem lesu.

Pavlič in sodelavci (2002) navajajo, da se adhezija premaza na predhodno impregnanem lesu z etanolno raztopino kompleksa borove kisline in trietanolamina ni zmanjšala in da se je v enem primeru celo povečala. Pavlič in sodelavci (2002) navajajo še, da je bilo opaziti vpliv impregnacije na prepustnost vode sistema les-premaz. Do bolj očitnega povišanja prepustnosti je prišlo v primeru akrilne lazure. Navajajo še, da je prišlo v primeru impregnanega lesa do sprememb v utrjevanju premazov. Glavni vzrok temu je verjetno difuzija bora v premaz med procesom utrjevanja premaza. Počasnejše utrjevanje pa je imelo vpliv tudi na odpornost proti zlepljenju.

Predhodna impregnacija lesa z borovim kompleksom z alkanolaminom je imela pomemben vpliv na prepustnost sistema les-premaz. Izmerjena prepustnost za vodno paro in vodo je pokazala, da je pri sistemih impregnan les-premaz prišlo do povišanja prepustnosti v primerjavi s prepustnostjo sistemov netretiran les-premaz (Pavlič in Petrič, 2001).

Pri testiranju sistema impregnan les-lazurni premaz je bilo ugotovljeno pomembno dejstvo, in sicer da predhodna impregnacija lesa ne povzroči zmanjšanja prepustnosti celotnega sistema, ampak ga največkrat poveča (Ostruh, 2001).

#### **2.4.5 Utrjeni filmi na toplotno modificiranem lesu**

Jämsä in sodelavci (1999) so proučevali obnašanje različnih premazov na površini toplotno modificiranega lesa. Penetracija premazov v toplotno modificiran les je bila pri meritvah hitrosti razlivanja premaza med procesom premazovanja dobra. Navajajo, da pri izpostavitvi vzorcev vremenskim vplivom ni bilo nobene razlike v pokanju nepremazane površine toplotno modificiranega lesa oziroma predhodno neobdelanega nepremazanega



lesa. Če želimo ohraniti videz toplotno modificiranega lesa, potrebuje ta zaščitni premaz. Zmanjšanje vsebnosti vlage in dimenzijskih sprememb v toplotno modificiranem lesu pa niso preprečile pokanja premazov na sistemih toplotno modificiran les-premaz med njihovim staranjem. Vsebnost vlage v toplotno modificiranem lesu po izpostavitvi vremenskim vplivom je bila za polovico manjša v primerjavi s predhodno neobdelanimi vzorci. Odpornost proti staranju toplotno modificiranega lesa je bila s premazi izboljšana. Temelječ na teh lastnostih je pričakovati, da naj bi bila dolgoročna trajnost toplotno modificiranega lesa bistveno boljša kot pri običajnem lesu, ne glede na dejstvo, da površina toplotno modificiranega lesa razpoka. Pokanje lesa bi bilo možno zmanjšati z milejšim procesom segrevanja. Jämsä in sodelavci (1999) navajajo, da so komercialni premazi ustrezni za uporabo na toplotno modificiranem lesu. Navajajo, da kljub znanemu dejstvu, da toplotno modificiran les počasneje vpija vodo, ta lastnost ni vplivala na premazovanje s premazi, kjer je topilo voda. Navajajo še, da bodo za zmanjšanje pokanja premazov na toplotno obdelanem lesu v uporabi potrebne nadaljnje študije.

Jämsä in Viitaniemi (2001) navajata, da toplotno obdelan les ne predstavlja nobene ovire pri običajnih načinih nanosa premaza, težava pa se pojavi pri elektrostatičnem nanosu. Zaradi boljše dimenzijske stabilnosti modificiranega lesa so površinski premazi bolj stabilni.

Vernois (2001) navaja, da so po postopkih toplotne modifikacije, ki so ju razvili v Franciji (metodi »Retification« in »Bois Perdure«), površinske napetosti toplotno modificiranega lesa po toplotni obdelavi močno spremenjene. Kakršna koli vrsta barvanja ali lakiranja, ki se ponavadi uporablja za neobdelan les, se tu ne more uporabljati. Možno pa je izbrati površinske premaze, primerne za toplotno obdelan les. Če je potrebno, se površinske napetosti lahko prilagodijo z aditivi. Glavni problem lahko nastane zaradi izločanja smole pri lesnih vrstah, ki vsebujejo smolo.

Premazovanje v olju toplotno obdelanega lesa z akrilnimi barvami na vodni osnovi, kot tudi s sistemi z alkidnimi smolami v organskih topilih, je imelo po dvoletni izpostavljenosti vremenu zelo dobre učinke. Presenetljivo je bila adhezija barv in lakov na toplotno obdelanem lesu z olji po dveh letih boljša kot pri toplotno obdelanem lesu v vročem zraku (Rapp in Sailer, 2001).

## 2.5 UMETNO POSPEŠENO STARANJE LESA

Številne lesene konstrukcije in izdelke, ki so izpostavljeni zunanji klimi, je smotno zaščititi bodisi z že znanimi ali pa najnovejšimi zaščitnimi sistemi. Še posebej pri slednjih se pojavlja vprašanje njihove kakovosti, tukaj mislimo predvsem na trajnost in zaščitno sposobnost posameznega sistema za površinsko zaščito lesa pred zunanjimi vplivi. Najbolj zanesljiv odgovor o kvaliteti zgoraj omenjenih faktorjev nam dajejo preizkusi, opravljeni

pri naravnih vremenskih pogojih. Ker pa so take raziskave dolgotrajne in lahko trajajo tudi več let, so v preteklosti razvili številne postopke umetno pospešenega staranja premazov. Ti postopki so kratkotrajni in v odvisnosti od vrste – tipa naprave trajajo od nekaj dni do nekaj tednov. Prihranek časa ter uporabnost rezultatov zagotavljata pravočasno izbiro ustreznih površinskih premazov ali sistemov za zaščito lesenih konstrukcij pred vremenskimi vplivi.

Osnovni princip metod umetno pospešenega staranja je v tem, da se vzorci v kratkih časovnih intervalih in v določenem zaporedju izpostavijo velikim razlikam v vlažnosti, temperaturi, UV in IR sevanju. Posledica teh obremenitev je ciklično raztezanje in krčenje premaza ter lesa. Po le nekaj 100 urah pospešenega in intenzivnega delovanja vlažnosti, temperature in UV sevanja na premaz, se spremenijo lastnosti premaza v obsegu, ki ustreza naravnemu staranju v času nekaj let (Kričej, 1974).

### 3 MATERIAL IN METODE

#### 3.1 PRIPRAVA VZORCEV

Za poizkus smo uporabili 9 večjih desk navadne smreke (*Picea abies* (L.) Karsten), približnih dimenzij (1100 mm × 170 mm × 20 mm). Površina desk je bila poskobljana, začetna vlažnost lesa pa je znašala približno 12 %. Kot branik na prečnem prerezu desk je bil  $(45 \pm 10)^\circ$ , letnice pa so med sabo bile oddaljene za približno 2 mm.

Deske smo razrezali na manjše kose. Ena tretjina vsake deske (dolžine 350 mm) je bila impregnirana s kemičnim zaščitnim sredstvom, naslednja tretjina je bila toplotno modificirana in zadnja tretjina ni bila obdelana. Te manjše deske smo razrezali še po širini in sicer na širino 70 mm. Desna stran deske je bila uporabljena za preizkušanje lastnosti premazov pred umetnim pospešenim staranjem, leva stran deske pa je bila uporabljena za preizkušanje lastnosti premazov po umetnem pospešenem staranju premazov. Sredina deske, v širini 11 mm, je bila uporabljena v drugih raziskavah, ki niso bile del te naloge. Po postopkih predhodne obdelave vzorcev smo zmanjšane obdelane vzorce in neobdelane vzorce dimenzije (70 mm × 20 mm × 350 mm) poskobljali na dimenzije (60 mm × 18 mm × 350 mm). V primeru vzorcev, predhodno obdelanih s kemičnim zaščitnim sredstvom, smo kot testno površino uporabili tisto, ki ni bila skobljana, ker je kemično sredstvo prodrlo le nekaj mm v globino.

Nadalje smo iz vsake deščice dimenzije (60 mm × 18 mm × 350 mm) pripravili po 3 vzorce dimenzije (60 mm × 18 mm × 70 mm). Kasneje sta bila dva vzorca površinsko zaščitena z alkidno oziroma akrilno lazuro, tretji pa je ostal kot kontrolni vzorec in ni bil površinsko zaščiteno. Na ta način smo pripravili 18 vzorcev devetih različnih testnih sistemov. 9 vzorcev je bilo uporabljenih za določanje permeabilnosti in adhezije premaza pred umetnim pospešenim staranjem in devet vzorcev za določanje permeabilnosti in adhezije po umetnem pospešenemu staranju premazov. Vsi vzorci so bili brez razpok, grč, s pravilno usmerjenimi vlakni in v normalnih rastnih razmerjih.

##### 3.1.1 Označevanje vzorcev

Zaradi velikega števila vzorcev, različnih kombinacij podlag in premazov je bilo potrebno zagotoviti preglednost in sledljivost le-teh. Odločili smo se za sistem označevanja, ki je prikazan v preglednici 1.

Preglednica 1: Sistem označevanja vzorcev

številka deske:	predhodno obdelava:	premaz:	staranje:
od 1 do 9	P – impregniran	W – akrilni	W – staran
	H – toplotno modificiran	S – alkidni	N – nestaran
	C – neobdelan kontrolni	N – nepremazan	

Primer:

Oznaka vzorca 5HWW pomeni, da je bil vzorec pripravljen iz deske številka 5, toplotno modificiran, premazan z akrilno lazuro in umetno pospešeno staran.

### 3.2 ZAŠČITNA SREDSTVA

Testne vzorce smo impregnirali z impregnacijskim sredstvom za les Borosol R proizvajalca Regeneracija d.o.o. Impregnacijsko sredstvo vsebuje 20 % aktivne snovi. Aktivna komponenta tega biocidnega sredstva je trietanolamintriborat, ki je produkt reakcije borove(III) kisline ali anhidrida te kisline s trietanolaminom. Za topilo se uporablja voda (komercialno ime sredstva je Borosol A) ali etanol (Borosol R). Spojina se od drugih borovih spojin loči predvsem po veliko boljši topnosti v vodi in polarnih topilih.

### 3.3 POVRŠINSKI PREMAZI

Kot površinski zaščitni sredstvi smo uporabili dva komercialno uveljavljena premaza in sicer debeloslojno, temno rjavo pigmentirano alkidno lazuro z organskim topilom in debeloslojno, temno rjavo pigmentirano akrilno lazuro, kjer je kot topilo uporabljena voda.

#### 3.3.1 Bori lak lazura (S)

Debeloslojna lazura, izdelana iz alkidne smole, ki je raztopljena v organskem topilu:

- namen uporabe: predvsem zaščita lesa na prostem,
- sestava: alkidna smola, organska topila, transparentni mikro pigmenti, odporni proti UV svetlobi in vodoodbojne snovi (voski),
- poraba: 100 g/m<sup>2</sup> - 120 g/m<sup>2</sup> v enkratnem nanosu; dejanska poraba je odvisna od vrste lesa, vpojnosti in stopnje obdelanosti lesa,
- priprava podlage: les mora biti suh in očiščen,

- nanašanje: s čopičem ali valjčkom v smeri lesnih vlaken; dva ali tri sloje (odvisno od geografske lege postavitve izdelka in njegove namembnosti),
- sušenje: premaz je suh približno po 24 urah, dejanski čas sušenja je odvisen od debeline nanosa in pogojev pri delu (temperatura predmeta in okolice, zračna vlaga).

### 3.3.2 Bori akrilna lak lazura (W)

Debeloslojna akrilna lak lazura, ki namesto organskih topil vsebuje vodo:

- namen uporabe: predvsem zaščita lesa na prostem, primerna pa je tudi za zaščito lesa v bivalnih prostorih,
- sestava: poliakrilatna disperzija, transparentni pigmenti odporni proti UV svetlobi in vodoodbojne snovi,
- poraba: 100 g/m<sup>2</sup> - 120 g/m<sup>2</sup>; dejanska poraba je odvisna od vrste lesa, vpojnosti in stopnje obdelanosti lesa,
- priprava podlage: les mora biti suh in očiščen,
- nanašanje: s čopičem ali valjčkom v smeri lesnih vlaken: dva ali tri sloje (odvisno od geografske lege postavitve izdelka in njegove namembnosti),
- sušenje: premaz je površinsko suh po 1 uri, za premazovanje naslednjega premaza oziroma nadaljnjo uporabo pa je suh po približno 4 urah. Dejanski čas sušenja je odvisen od pogojev pri delu (temperatura predmeta in okolice, zračna vlaga).

Preglednica 2: Tehnične specifikacije premazov, podane od proizvajalcev

Premaz	Bori akrilna lak lazura (W)	Bori lak lazura (S)
iztočni čas (DIN 53211 (1987))	80 s – 90 s	40 s – 45 s
delež suhe snovi (DIN 53216-1 (1989))	38 % – 40 %	47 % – 51 %
gostota (DIN 53217-2 (1991))	1,05 kg/l	0,91 kg/l

### 3.4 PREDHODNA OBDELAVA LESA

#### 3.4.1 Impregnacija lesa

Impregnacijo z Borosolom R smo izvedli v laboratorijski vakuumski komori Kambič. Potek impregnacije je bil sestavljen iz vakuumiranja vzorcev (15 min), polnjenja komore z impregnacijskim sredstvom, impregniranja pri temperaturi 70 °C (15 min), praznjenja impregnacijskega sredstva in ponovnega vakuumiranja (15 min). Vzorce smo tehtali pred impregnacijo in po njej in določili povprečni mokri navzem, ki je znašal 596 g/m<sup>2</sup>.

##### 3.4.1.1 Določanje globine prodora kemičnega sredstva v les

Določanje globine prodora kemičnega sredstva v lesu je postopek, ki je potreben za kontrolo kvalitete zaščite lesa. Globino prodora določamo na površinah odžaganega kosa lesa ali na izvrtkih že vgrajenega lesa. V našem primeru smo vzorce odžagali 10 mm od čela. Za določanje globine prodora borovih ionov v les, smo uporabili naslednja dva reagenta:

- reagent A: ekstrakt 2 g korena kurkume v 100 mL etanola,
- reagent B: zmes 80 mL etanola in 20 mL solne kisline (30 %) nasičene s salicilno kislino.

Vzorec smo najprej prebrizgali z reagentom A, po 10 minutah, ko se je ta vpil v les, pa še z reagentom B. Po 20 minutah se je impregnirana površina obarvala oranžno, ostala, neimpregnirana površina pa je ostala rumena. S pomočjo te barvne reakcije smo lahko z lupo, ki je imela merilno skalo z natančnostjo desetinke mm, vizualno izmerili globino penetracije borovih ionov v les. Na vsaki strani vzorca smo izvedli tri meritve in izračunali povprečno vrednost (preglednica 3). Meritve smo opravili na po enem vzorcu iz vsake deske, ki smo jih uporabili v poizkusu.

Preglednica 3: Globina prodora sredstva Borosol R v les

št. vzorčne deske	1	2	3	4	5	6	7	8	9	povprečje
globina prodora borovih ionov (mm)	1,9	1,9	1,8	2,1	2,1	1,9	1,6	1,9	2,0	1,9

### 3.4.2 Toplotna modifikacija z olji

Toplotno modifikacijo lesa z olji so izvedli v laboratorijih BfH v Hamburgu. Postopek je potekal pri 220 °C v kadi z repičnim oljem. Vzorce so pred modifikacijo 24 ur najprej sušili pri 103 °C. Nato so jih potopili v olje temperature 220 °C. Pri tej temperaturi je potekala modifikacija še štiri ure potem, ko je sredina vzorcev dosegla to temperaturo. Nato so bili vzorci vzeti iz kadi, obrisali so jih s papirjem in jih ponovno sušili 24 ur pri temperaturi 103 °C.

### 3.5 NANOS POVRŠINSKIH SREDSTEV IN PRIPRAVA POVRŠINE

Vzorci so pred pričetkom premazovanja kondicionirali en teden pri temperaturi (20 ± 2) °C in relativni zračni vlažnosti (65 ± 5) %.

Vzorci so z namenom izenačitve testne površine pred nanašanjem površinskih sredstev rahlo obrusili (6 do 7 gibov) z brusnim papirjem granulacije 220. Prav tako so vzorce, ki so jih premazovali s površinskimi sredstvi, rahlo obrusili (3 – 4 gibi) med prvim in drugim premazom z brusnim papirjem granulacije 220.

Površinska premaza so na testne površine nanašali s čopičem v dveh slojih po priporočilih proizvajalca in sicer 100 g/m<sup>2</sup> -120 g/m<sup>2</sup> (preglednica 4). Drugi nanos smo izvedli po 24 urah.

Preglednica 4: povprečna količina nanosov površinskega premaza na testne sisteme

testni sistem	1. nanos (g/m <sup>2</sup> )	2. nanos (g/m <sup>2</sup> )	skupni nanos (g/m <sup>2</sup> )
CWN	122,8	125,3	248,1
CWW	120,9	113,8	234,7
HWN	122,7	111,5	234,2
HWW	119,1	120,5	239,6
PWN	122,8	123,8	246,6
PWW	117,3	119,2	236,6
<i>Povprečje</i>	<i>120,9</i>	<i>119,0</i>	<i>240,0</i>
CSN	118,4	120,8	239,2
CSW	116,1	115,4	231,6
HSN	119,2	119,9	239,1
HSW	114,7	120,4	235,1
PSN	120,6	115,6	236,2
PSW	116,6	115,1	231,6
<i>Povprečje</i>	<i>117,6</i>	<i>117,9</i>	<i>235,5</i>

Po dveh dneh sušenja smo vse ostale površine premazali z nizko permeabilnim dvokomponentnim epoksidnim lakom. Po njegovi osušitvi smo vzorce kondicionirali 28 dni pri temperaturi ( $20 \pm 2$ ) °C in relativni zračni vlažnosti ( $65 \pm 5$ ) %.

### 3.6 UMETNO POSPEŠENO STARANJE LESA

Naprava za UPS na Oddelku za lesarstvo BF v Ljubljani, na kateri smo opravili poskus, je prostorsko razdeljena na dva dela. V prvem delu so vzorci izpostavljeni dežju (slika 1), v drugem pa UV in IR sevanju. Izmenično izpostavljanje vzorcev umetnemu dežju in sevanju je omogočeno s pomičnim vozičkom, ki avtomatično, ne glede na fazo umetnega staranja, transportira vzorce v prvi ali drugi del naprave. Dimenzije vozička (1300 mm x 1000 mm) omogočajo namestitev testnih vzorcev različnih velikosti, vendar pa je najprimernejša velikost vzorca (300 mm x 100 mm x 19 mm). Sama velikost naprave omogoča tudi izpostavitvev nekaterih gotovih in površinsko obdelanih izdelkov, kot so okenska krila ali podboji, kjer je možno proučiti tudi vpliv staranja premazov na kritičnih mestih, kot so kotne vezi.



Slika 1: Umetno pospešeno staranje lesa – faza umetnega dežja (foto: M. Pavlič)



Napravo smo ustrezno priredili našim vzorcem. Vzorce smo namestili v napravo tako, da je bil kot med ravnino testne površine in horizontalno ravnino približno 20 °. Tako je lahko voda od umetnega dežja prosto odtekala z vzorcev. Vzorce istega testnega sistema smo zložili skupaj, nato pa smo vzorce na vsakih 50 ciklov premestili, tako da smo čim bolj izenačili tudi razmere na različnih položajih znotraj naprave.

Skupno trajanje umetno pospešenega staranja je pri primerjalnih testiranjih 500 ur. Posamezen cikel traja 60 minut in je sestavljen iz šestih stopenj :

- umetni dež 22 min,
- mirovanje 9 min,
- UV in IR sevanje (60 °C) 3 min,
- UV sevanje 21 min,
- UV in IR sevanje (60 °C) 3 min,
- mirovanje 2 min.

### 3.7 DEBELINA SUHEGA FILMA

Debelino suhega filma smo določali z metodo z vrtnjem, ki jo opisuje standard SIST EN ISO 2808 (1999). Na poljubnem mestu merjenja smo zavrtali z vrtnim delom aparata sloj filma do podlage. Z merilnim delom aparata, ki ima 50 kratno povečavo smo nato izmerili širino kolobarja filma v enotah aparature. Te smo pomnožili z dolžino enote aparature (83 µm) in izrazili rezultate v µm.

### 3.8 PREPUSTNOST

Metode za določanje permeabilnosti delimo na metode za določanje prepustnosti za tekočo vodo in na metode za določanje prepustnosti za vodno paro. Najbolj aktualni metodi sta metoda določanja prepustnosti za tekočo vodo po SIST EN 927-5 (2000) in metoda za določanje prepustnosti za vodno paro po SIST EN 927-4 (2000), po katerih smo tudi mi določili prepustnost površinskih premazov naših testnih sistemov.

#### 3.8.1 Prepustnost za vodno paro

Prepustnost za vodno paro smo ocenjevali po standardu SIST EN 927-4 (2000). Ta metoda ocenjuje prepustnost testnega premaznega sistema za vodno paro v 28 dnevem procesu sorpcije, v primerjavi z nepremazanimi vzorci. Tako smo si pripravili po 9 (standard

predpisuje 5) smrekovih vzorcev vsakega sistema (premazanih in nepremazanih), dimenzije (70 mm × 60 mm × 18 mm). Standard predpisuje dimenzije (150 mm × 70 mm × 20 mm). Testna površina, ki smo jo izpostavili, je ena dimenzije (70 mm × 60 mm), ostale površine pa so bile v času priprave vzorcev zatesnjene z malo prepustnim dvokomponentnim epoksidnim lakom. Predkondicioniranje, ki ga predpisuje standard smo izpustili, ker bi v primeru kontrolnih vzorcev, predhodno impregniranih z Borosolom, le-tega izprali. Zato smo vzorce samo kondicionirali pri temperaturi (20 ± 2) °C in relativni zračni vlažnosti (65 ± 5) %. Nato smo vse vzorce stehali in jih izpostavili v klimo s temperaturo (20 ± 2) °C in relativno zračno vlažnostjo približno 98 %. Po štirinajstih dneh absorpcije smo vzorce stehali in jih izpostavili klimi s temperaturo (20 ± 2) °C in relativni zračni vlažnosti (65 ± 5) %. Po končanem štirinajstdnevem ciklu desorpcije smo vzorce ponovno stehali in tako iz dobljenih rezultatov izračunali navzem vode v štirinajstdnevem ciklu absorpcije ( $W_A$ ), izgubo vode v štirinajstdnevem ciklu desorpcije ( $W_D$ ), relativno prepustnost za vodno paro ( $RMP$ ), ki odraža odstotek od maksimalnega navzema vode vzorcev brez vsake zaščite in dinamično prepustnost za vodno paro ( $DMP$ ). Oba kazalca prepustnosti za vodno paro smo izračunali na sledeči način:

$$RMP_T = W_{AT}/W_{AC} \times 100\% \quad \dots(1)$$

$RMP_T$  – relativna prepustnost za vodno paro testnega vzorca v procesu absorpcije [%]

$W_{AT}$  – sprememba mase v procesu absorpcije [g]

$W_{AC}$  – povprečna vrednost spremembe mase netretiranih in nepremazanih testnih vzorcev v procesu absorpcije

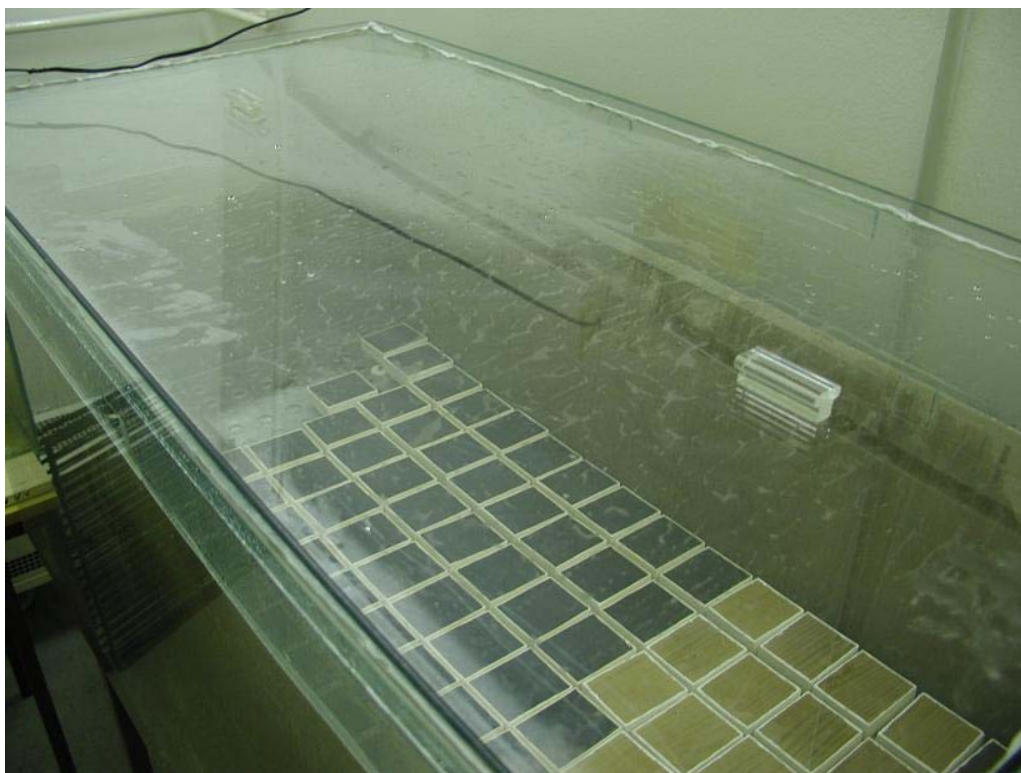
$$DMP = W_D/W_A \times 100\% \quad \dots(2)$$

$DMP$  – dinamična prepustnost vodne pare v procesu desorpcije [%]

$W_A$  – sprememba mase vzorca v procesu absorpcije [g]

$W_D$  – sprememba mase vzorca v procesu desorpcije [g]

$RMP$  je zanimiv, ker je bilo ugotovljeno, da posamezni testni sistemi navzamejo več vlage kot ostali. Vendar to izražanje ne odraža celotnega gibanja vlage. Dva sistema imata lahko popolnoma različne vrednosti desorpcije vlage pri podobnem navzemu. Zato je  $DMP$  bolj pomemben, saj izraža odstotek od absorbirane vlage, ki se je sprostila iz sistema po sušenju.



Slika 2: Kondicioniranje vzorcev v laboratorijski komori (foto: M. Pavlič)

### 3.8.2 Prepustnost za vodo

Prepustnost za vodo smo ocenjevali po standardu SIST EN 927-5 (2000). Ta metoda je zelo podobna metodi ocenjevanja prepustnosti za vodno paro po SIST EN 927-4 (2000), ki je opisana v poglavju 3.8.1. Razlika je le v načinu izpostavitve. Kontrolne in predkondicionirane testne vzorce smo položili na vodno gladino s testno površino obrnjeno navzdol. Tako so vzorci plavali na površini vode tri dni. Po končanem tridnevnem ciklu absorpcije smo na podlagi merjenja mase pred pričetkom preizkusa in po njem, izračunali navzem vode v  $\text{kg/m}^2$  in relativno prepustnost za vodo (RWP) po enačbi (1).

### 3.9 OPRIJEMNOST PREMAZOV

Oprijemnost premazov smo ocenjevali po standardu SIST EN 24624 (1997). Po opravljenem testu za prepustnost za vodo smo vzorce 14 dni kondicionirali pri temperaturi  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  in relativni zračni vlažnosti  $(65 \pm 5) \%$ . Nato smo na površino vzorcev oz filmov premaza nalepili jeklene pečate premera 11,25 mm (standard predpisuje 20 mm). Mesta lepljenja pečatov (površina premaza) in pečate same smo najprej skrbno očistili. Na pečate smo nanесли dvokomponentno epoksidno lepilo, nato pa jih pritisnili na površino premaza za 24 ur. Po preteku 24 ur smo s cevastim rezilom zarezali premaz okoli pečata do podlage. Deščice smo nato razžagali na manjše vzorce (preizkušance). Tako pripravljene pečate smo vložili v instrument za merjenje natezne trdnosti (slika 3) in ugotavljali silo, ki je bila potrebna za porušitev površinskega sistema.



Slika 3: Instrument za merjenje natezne trdnosti, s katerim smo določali oprijemnost premazov (foto: M. Pavlič)

Če prihaja do razslojevanja na meji med podlago in filmom premaza (vsaj 60 %), standard govori o adhezijski trdnosti oz. oprijemnosti laka na podlago. Če pa prihaja do drugačne vrste loma, govorimo o kohezijski trdnosti podlage ali premaznega sistema. Zato smo poleg absolutnih vrednosti razslojne trdnosti (v MPa) vedno navajali tudi naravo loma in sicer adhezijski lom (A) ali kohezijski lom (K).

## 4 REZULTATI

### 4.1 DEBELINE SUHIH FILMOV PREMAZOV

Iz preglednice 5 vidimo, da so debeline filmov premazov znašale od 50  $\mu\text{m}$  do 83  $\mu\text{m}$ . Najmanjšo debelino suhega filma smo v primeru obeh lazur dobili pri kontrolnih podlagah, ki predhodno niso bile obdelane (CW, CS). Največjo debelino suhega filma pa so pri vzorcih z akrilno lazuro imeli vzorci, ki so bili predhodno obdelani s toplotno modifikacijo z olji (HW), pri vzorcih z alkidno lazuro pa vzorci, pri katerih je bil les predhodno impregniran z Borosolom (PS). Na vzorcih, površinsko zaščitenih z alkidno lazuro (CS, HS, PS), smo v primerjavi z vzorci, zaščitenimi z akrilno lazuro (CW, HW, PW), dobili večjo debelino suhega filma.

Preglednica 5: Debeline filmov premazov

Vzorec	debelina filma ( $\mu\text{m}$ )
CW	58
CW	50
<i>povprečje CW</i>	<i>54</i>
HW	66
HW	75
<i>povprečje HW</i>	<i>71</i>
PW	66
PW	58
<i>povprečje PW</i>	<i>62</i>
<i>povprečje debeline filma premaza na sistemih, premazanih z akrilno lazuro</i>	<i>62</i>
CS	75
CS	75
<i>povprečje CS</i>	<i>75</i>
HS	83
HS	75
<i>povprečje HS</i>	<i>79</i>
PS	83
PS	83
<i>povprečje PS</i>	<i>83</i>
<i>povprečje debeline filma premaza na sistemih, premazanih z alkidno lazuro</i>	<i>79</i>

## 4.2 REZULTATI MERITEV PREPUSTNOSTI PREMAZOV

### 4.2.1 Prepustnost za vodno paro

Pri kontrolnih nepremazanih sistemih (CNN, HNN, PNN) je bila RMP (relativna prepustnost za vodno paro v procesu absorpcije) občutno nižja pri sistemu s predhodno toplotno modificiranimi substrati (HNN) (preglednica 6). Enako je tudi pri sistemih, površinsko zaščitenih z akrilno (CWN, HWN, PWN) oziroma alkidno lazuro (CSN, HSN, PSN). Pri sistemih s predhodno impregniranimi substrati (PNN, PWN, PSN) je bila RMP v vseh primerih največja. DMP (dinamična prepustnost vodne pare v procesu desorpcije) je bila najnižja pri sistemih, premazanih z alkidno lazuro (CSN, HSN, PSN). Pri sistemih, premazanih z akrilno lazuro (CWN, HWN, PWN) pa je bila občutno večja. Nizke vrednosti DMP smo zabeležili tudi pri kontrolnem površinsko nezaščitenem sistemu s predhodno modificiranimi substrati (HNN).

Preglednica 6: Prepustnost nestaranih vzorcev za vodno paro

vzorec	$m_0$ (g)	$m_{14}$ (g)	$m_{28}$ (g)	WA (g) ( $m_{14}-m_0$ )	WD (g) ( $m_{14}-m_{28}$ )	RMP	DMP
CNN	41,63	45,70	42,43	4,07	3,27	100,00	80,49
HNN	36,76	38,15	37,57	1,38	0,58	34,01	41,66
PNN	38,98	43,47	39,95	4,49	3,52	110,49	78,45
CWN	42,82	44,87	44,20	2,04	0,67	50,23	32,57
HWN	37,59	38,64	38,28	1,05	0,36	25,79	34,03
PWN	39,81	43,75	41,45	3,94	2,30	96,95	57,96
CSN	41,81	42,61	42,45	0,80	0,16	19,71	19,96
HSN	38,05	38,56	38,45	0,50	0,11	12,38	22,37
PSN	39,47	40,29	40,14	0,82	0,15	20,21	18,30

RMP (relativna prepustnost za vodno paro v procesu absorpcije) je nižja pri vseh starih sistemih, kjer je bil substrat predhodno obdelan s toplotno modifikacijo (HNW, HWW, HSW) (preglednica 7). Pri sistemih, kjer je bil substrat predhodno impregniran z Borosolom (PNW, PWW, PSW), je bila RMP v vseh primerih največja. DMP (dinamična prepustnost vodne pare v procesu desorpcije) je najnižja pri sistemih z akrilno lazuro (CWW, HWW, PWW), razen v primeru sistema, predhodno impregniranega z Borosolom (PWW), kjer je DMP občutno večja. Pri sistemih z alkidno lazuro (CSW, HSW, PSW) sta bili vrednosti DMP pri kontrolnem sistemu (CSW) in predhodno impregniranemu sistemu (PSW) podobni. Sistem s predhodno toplotno modificiranimi substrati (HSW) pa je izstopal z višjo vrednostjo DMP.

Preglednica 7: Prepustnost umetno pospešeno staranih vzorcev za vodno paro

vzorec	$m_0$ (g)	$m_{14}$ (g)	$m_{28}$ (g)	WA (g) ( $m_{14}-m_0$ )	WD (g) ( $m_{14}-m_{28}$ )	RMP	DMP
CNW	42,11	45,63	42,60	3,52	3,02	100,00	86,01
HNW	36,95	38,38	37,76	1,43	0,62	40,66	43,67
PNW	38,45	42,15	39,28	3,70	2,87	105,20	77,61
CWW	40,94	42,08	42,03	1,15	0,07	32,62	6,28
HWW	37,13	37,92	37,89	0,78	0,03	22,23	4,10
PWW	37,99	40,18	39,54	2,19	0,65	62,29	23,37
CSW	40,93	41,90	41,95	0,97	0,07	27,52	7,88
HSW	37,22	37,74	37,81	0,52	0,08	14,85	14,57
PSW	37,94	39,11	39,03	1,17	0,09	33,30	7,33

#### 4.2.2 Prepustnost za vodo

V vseh kombinacijah nestaranih testnih sistemov izstopajo sistemi s toplotno modificiranim substrati (HNN, HWN, HSN), kjer sta RWP (relativna prepustnost za vodo v procesu absorpcije) in navzem vode preko površine povsod najmanjša (preglednica 8). Razen v primeru kontrolnih, površinsko nezaščenih sistemov (CNN, HNN, PNN), sta RWP in navzem vode pri sistemih s predhodno impregniranimi substrati največja (PWN, PSN). Pri sistemih z alkidno lazuro (CSN, HSN, PSN) so omenjene vrednosti v primerjavi z vrednostmi pri sistemih z akrilno lazuro (CWN, HWN, PWN) občutno manjše.

Preglednica 8: Prepustnost nestaranih vzorcev za vodo

vzorec	$m_0$ (g)	$m_1$ (g)	WA(g) ( $m_1-m_0$ )	WA/m <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	RWP
CNN	42,43	47,21	4,78	1,138	100,00
HNN	37,57	39,36	1,79	0,425	37,36
PNN	39,95	44,26	4,31	1,027	90,23
CWN	44,20	44,84	0,64	0,153	13,47
HWN	38,28	38,76	0,48	0,114	10,03
PWN	41,45	42,68	1,23	0,292	25,66
CSN	42,45	42,65	0,20	0,048	4,21
HSN	38,45	38,60	0,15	0,036	3,13
PSN	40,14	40,37	0,23	0,056	4,89

V vseh kombinacijah staranih testnih sistemov izstopajo sistemi s toplotno modificiranimi substrati (HNW, HWW, HSW), kjer sta RWP (relativna prepustnost za vodo v procesu absorpcije) in navzem vode preko površine povsod znatno manjša (preglednica 9). Razen v primeru kontrolnih površinsko nezaščitene sistemov (CNW, HNW, PNW) sta RWP in navzem vode pri sistemih s predhodno impregniranimi substrati (PWW, PSW) največja.

Preglednica 9: Prepustnost umetno pospešeno staranih vzorcev za vodo

vzorec	m <sub>0</sub> (g)	m <sub>1</sub> (g)	WA(g) (m <sub>1</sub> -m <sub>0</sub> )	WA/m <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	RWP
CNW	42,60	46,42	3,82	0,909	100,00
HNW	37,76	39,83	2,07	0,492	54,18
PNW	39,28	43,07	3,80	0,904	99,42
CWW	42,03	42,53	0,50	0,118	13,01
HWW	37,89	38,10	0,22	0,052	5,68
PWW	39,54	40,99	1,45	0,346	38,07
CSW	41,95	42,57	0,61	0,146	16,02
HSW	37,81	37,94	0,14	0,032	3,54
PSW	39,03	39,93	0,90	0,214	23,53

#### 4.3 REZULTATI MERITEV OPRIJEMNOSTI PREMAZOV

Pri večini nestaranih sistemov (preglednica 10) smo opazili kohezijski lom podlage, razen v primeru sistema s predhodno neobdelanimi, z alkidno lazuro premazanimi vzorci (CSN), ko je v 75 % prišlo do adhezijskega loma. Adhezijski lom je bilo opaziti tudi pri tretjini preizkušancev sistema s predhodno neobdelanimi, z akrilno lazuro premazanimi vzorci (CWN) in sistema s predhodno impregniranimi, z akrilno lazuro premazanimi vzorci (PWN).

Preglednica 10: Oprijemnosti premazov na nestaranih vzorcih

vzorec	obremenitev pri razslojitvi (MPa)	narava loma (A/K)
CWN	7,63	K (1/3A)
HWN	3,55	K
PWN	6,27	K (1/3A)
CSN	7,57	A (1/4K)
HSN	5,27	K
PSN	7,53	K
<i>povprečje</i>	<i>6,30</i>	<i>K 73,58%, A 26,42%</i>



Pri vseh starih testnih sistemih je prišlo do kohezijskega loma podlage (preglednica 11). Manjšo vrednost razslojne trdnosti je opaziti pri sistemih, katerih substrati so bili predhodno tretirani z impregnacijo (PWW, PSW) ali pa so bili toplotno modificirani (HWW, HSW).

Preglednica 11: Oprijemnosti premazov na umetno pospešeno starih vzorcih

<b>vzorec</b>	<b>obremenitev pri razslojitvi (MPa)</b>	<b>narava loma (A/K)</b>
CWW	5,66	K
HWW	4,41	K
PWW	3,68	K
CSW	6,28	K
HSW	4,08	K
PSW	5,82	K
<i>povprečje</i>	<i>4,99</i>	<i>K 100 %</i>



Slika 4: Pečati z vzorci po razslojevanju (foto: M. Pavlič)

#### 4.4 OCENA IZGLEDA VZORCEV PO UMETNO POSPEŠENEM STARANJU

Po koncu umetno pospešenega staranja smo vse vzorce pregledali in vizualno ocenili napake, spremembo barve, oblike ter spremembe na filmu premaza (preglednica 12). Največje spremembe so nastale pri sistemih s površinsko nezaščitenimi substrati (CNW, HNW, PNW), posebej še pri kontrolnem sistemu s predhodno neobdelano podlago (CNW) in pri sistemu s predhodno impregnirano podlago (PNW), ki so bili močno razpokani, posiveli in močno ukrivljeni. Pri sistemih z akrilno lazuro (CWW, HWW, PWW) je imela večina vzorcev rahlo pomarančasto površino in vsi vzorci so bili rahlo ukrivljeni, razen sistema z modificiranimi in z akrilno lazuro premazanimi staranimi substrati (HWW), kjer ukrivljenosti ni bilo. Prav tako je bilo opaziti rahlo spremembo barve in izgubo sijaja. Pri sistemih z alkidno lazuro (CSW, HSW, PSW) pa opazimo pri vseh vzorcih spremembo barve ter izgubo sijaja. Večina vzorcev, razen pri sistemu s toplotno modificiranimi in z

alkidno lazuro premazanimi staranimi substrati (HSW) (samo dva), se je rahlo ukrivila (slika 5, preglednica 12).

Preglednica 12: Spremembe na vzorcih po umetno pospešenem staranju

testni sistem	opažene spremembe
CNW	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ na površini so razpoke; na več kot polovici vzorcev čez celo površino</li> <li>➤ vzorci so posiveli</li> <li>➤ vsi vzorci so močno ukrivljeni</li> </ul>
HNW	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ manjše razpoke na površini; čez en vzorec razpoka v celotni dolžini in dva vzorca brez razpok na površini</li> <li>➤ rahla sprememba barve</li> <li>➤ vzorci niso spremenili oblike</li> </ul>
PNW	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ na površini so razpoke; na več kot polovici vzorcev čez celo površino</li> <li>➤ vzorci so posiveli</li> <li>➤ vsi vzorci so močno ukrivljeni</li> </ul>
CWW	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ manjša sprememba barve in izguba sijaja</li> <li>➤ površina premaza je rahlo pomarančasta pri polovici vzorcev</li> <li>➤ vsi vzorci so rahlo ukrivljeni</li> </ul>
HWW	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ manjša sprememba barve in izguba sijaja</li> <li>➤ površina premaza je rahlo pomarančasta pri tretjini vzorcev</li> </ul>
PWW	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ manjša sprememba barve in izguba sijaja</li> <li>➤ površina premaza je pomarančasta pri petih vzorcih, pri ostalih malo</li> <li>➤ vsi vzorci so rahlo ukrivljeni</li> </ul>
CSW	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ manjša sprememba barve in izguba sijaja</li> <li>➤ vsi vzorci so ukrivljeni</li> </ul>
HSW	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ manjša sprememba barve in izguba sijaja</li> <li>➤ dva vzorca sta bila malo ukrivljena</li> </ul>
PSW	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ manjša sprememba barve in izguba sijaja</li> <li>➤ vsi vzorci so rahlo ukrivljeni</li> </ul>



Slika 5: Vzorci pred umetno pospešenim staranjem in po njem (foto: M. Pavlič)

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

#### 5.1.1 Debelina suhega filma

Pri debelini suhega filma (preglednica 5) je opaziti razliko med sistemi, premazanimi z akrilno lazuro, kjer je znašala povprečna debelina suhega filma 62  $\mu\text{m}$  in sistemi, premazanimi z alkidno lazuro, kjer je bila povprečna debelina suhega filma 79  $\mu\text{m}$ , čeprav so bili nanosi (preglednica 4) lazure v obeh primerih podobni oz. v primeru akrilne lazure celo nekoliko večji. Večjo debelino suhega filma pri sistemih z alkidno lazuro bi lahko pripisali večji vsebnosti nehlapnih sestavin v alkidni lazuri (preglednica 2).

#### 5.1.2 Prepustnost za vodno paro

Iz rezultatov za prepustnost vodne pare oz. relativne prepustnosti za vodno paro (RMP) (preglednici 6, 7) je razvidno, da ima predhodna obdelava lesa vpliv na prepustnost za vodno paro. Pri sistemih s predhodno impregniranimi substrati, se je RMP, v primerjavi s kontrolnimi vzorci povečala v vseh primerih, vendar najbolj v primerih akrilne lazure (PWN, PWW), kar bi lahko pripisali različnim dejavnikom. Nefiksiran bor v celičnih stenah lesa lahko med utrjevanjem filma premaza difundira v premaz in mogoče spremeni njegovo sestavo (Pavlič in Petrič, 2001). Ker je opaziti povečanje tudi pri kontrolnih nepremazanih vzorcih sistemov s predhodno impregniranimi substrati (PNN, PNW) v primerjavi s sistemi s predhodno neobdelanimi in nepremazanimi substrati (CNN, CNW), bi lahko povečano paroprepustnost pripisali tudi vezanim aminom v Borosolu, ki so, kot je znano, higroskopični. Zaradi tega obstaja verjetnost da Borosol zaradi alkanolaminov v svoji sestavi vpliva na paroprepustnost sistemov (Pavlič in Petrič, 2001; Založnik, 2001). V vseh primerih sistemov s toplotno modificiranim lesom je opaziti znatno manjšo paroprepustnost v primerjavi s kontrolnimi in predhodno impregniranimi vzorci. Ker je opaziti največjo razliko pri kontrolnih površinsko nezaščitenih in toplotno modificiranih sistemih (HNN, HNW) v primerjavi s predhodno neobdelanimi in nepremazanimi sistemi (CNN, CNW) lahko sklepamo, da toplotna modifikacija lesa bistveno vpliva na manjšo higroskopičnost lesa, kar navajajo tudi drugi (Rapp in Sailer, 2001; Vernois 2001). Če med sabo primerjamo sisteme z akrilno oziroma alkidno lazuro opazimo, da so sistemi z alkidno lazuro v vseh primerjalnih sistemih manj prepustni kot sistemi z akrilno lazuro, kar navajajo tudi Mihevc in sod. (1995) ter Pavlič in Petrič (2001). Vzroke bi lahko iskali v različni kemijski zgradbi lazur in tudi v različni debelini filmov, ki jih tvorita. Zanimivi so rezultati prepustnosti za vodno paro umetno pospešeno staranih vzorcev, kjer se je RMP pri sistemih z akrilno lazuro zmanjšala, pri alkidnih pa zvišala. Razlike so bile najmanj izrazite pri toplotno modificiranih vzorcih. Vzroke za te spremembe bi lahko pripisali več

dejavnikom. Mikro razpoke v premazu filma lahko povečajo prepustnost premaza za paro, medtem ko izpiranje higroskopičnih snovi in zapoznele utrditve filma premaza lahko prepustnost za paro zmanjšajo.

Iz rezultatov dinamične prepustnosti vodne pare (DMP) (preglednici 6, 7) lahko vidimo, da je desorpcijska sposobnost kontrolnih sistemov s predhodno impregniranimi, nepremazanimi substrati pri nestaranih in staranih vzorcih (PNN, PNW), manjša od te sposobnosti pri kontrolnih, netretiranih, nestaranih in staranih vzorcih (CNN, CNW). Pri sistemih s toplotno modificiranimi in površinsko nezaščitenimi substrati (HNN, HNW) pa opazimo pol manjšo desorpcijsko sposobnost vzorcev v primerjavi s to sposobnostjo pri kontrolnih predhodno netretiranih in nepremazanih vzorcih sistemov (CNN, CNW). Pričakovali bi, da bomo podobna razmerja rezultatov dobili tudi pri površinsko zaščitenih sistemih, vendar se je pokazalo, da se razmerje, opaženo pri kontrolnih površinsko nezaščitenih sistemih, ni odrazilo pri desorpcijski sposobnosti površinsko zaščitenih sistemov. Desorpcija se je celo povečala pri nestaranih in staranih površinsko zaščitenih sistemih s predhodno obdelanimi substrati (PWW, HSW, HWN, PWN, HSN) v primerjavi s nestaranimi in staranimi površinsko zaščitenimi sistemi s predhodno neobdelanimi substrati (CWW, CSW, CWN, CSN). Umetno pospešeno staranje ni imelo kašnega večjega vpliva na površinsko nezaščiteni vzorce. Pri sistemih s površinsko zaščitenimi substrati pa se je DMP v vseh primerih zmanjšala, tudi v primeru sistemov z alkidno lazuro, pri katerih se je RMP zvišal. Razen izjem, in sicer staranih sistemov z alkidno lazuro, s predhodno neobdelanimi in predhodno toplotno modificiranimi substrati (CSW in HSW) lahko opazimo, da imajo sistemi z akrilno lazuro višje vrednosti DMP kot sistemi z alkidno lazuro.

### **5.1.3 Prepustnost za vodo**

Iz rezultatov za prepustnost vode (preglednici 8, 9) vidimo, da ima predhodna obdelava lesa vpliv na prepustnost vode. Vrednosti relativne prepustnosti za vodo (RWP) na sistemih »substrat-površinski premaz« so manjše od vrednosti relativne prepustnosti za vodno paro (RMP), vendar so razlike med sistemi podobne. Sistemi s predhodno impregniranimi substrati (PWN, PSN, PWW, PSW) imajo občutno večjo RWP, kot sistemi s predhodno neobdelanimi substrati (CWN, CSN, CWW, CSW), kar lahko vežemo na isto predvidevanje kot pri vrednostih RMP (nefiksiran bor v celičnih stenah lesa lahko med utrjevanjem filma premaza difundira v premaz in mogoče spremeni njegovo sestavo). Sistemi s predhodno toplotno modificiranimi substrati (HWN, HSN, HWW, HSW) so v vseh primerih imeli nižjo vrednost RWP kot kontrolni sistemi s predhodno neobdelanimi substrati (CWN, CSN, CWW; CSW), kar pa verjetno lahko pripišemo, enako kot pri prepustnosti za vodno paro, manjši higroskopičnosti toplotno modificiranega lesa, saj je tudi tukaj v primeru kontrolnih, nepremazanih vzorcev toplotno modificiran les navzel bistveno manjši delež vode kot kontrolni, nepremazani, predhodno netretirani vzorci. Po

umetnem pospešenem staranju so vsi sistemi, razen sistemov, zaščitenih z akrilno lazuro, s predhodno neobdelanimi in predhodno toplotno modificiranimi substrati (CWW in HWW), postali bolj prepustni za vodo. Če primerjamo med sabo sisteme z akrilno in alkidno lazuro, so sistemi z akrilno lazuro, razen v primeru sistema s predhodno neobdelanimi, z akrilno lazuro zaščitenimi in staranimi vzorci (CWW) v primerjavi s predhodno neobdelanimi, z alkidno lazuro zaščitenimi in staranimi vzorci (CSW), bolj prepustni.

#### 5.1.4 Oprijemnost premazov

Vrednosti obremenitev, pri katerih je prišlo do porušitve (razslojitve) površinskega sistema oziroma oprijemnosti, so se gibale pri nestaranih vzorcih med 3,55 in 7,63 MPa, pri umetno pospešeno staranih vzorcih pa med 3,68 in 6,28 MPa. Večina lomov pri nestaranih vzorcih je bila kohezijski lom podlage, razen pri sistemih z akrilno lazuro, s predhodno neobdelanimi vzorci in predhodno impregniranimi vzorci (CWN in PWN), kjer se je pri tretjini vzorcev pojavil adhezijski lom, in pri sistemu z alkidno lazuro s predhodno neobdelanimi vzorci (CSN), kjer je prevladoval adhezijski lom, in sicer v 75 %. Pri vseh treh omenjenih sistemih so bile vrednosti razslojne trdnosti med najvišjimi. Pri umetno staranih vzorcih v vseh testnih sistemih opazimo kohezijski lom podlage. Vrednosti obremenitve pri porušitvi so, razen v primeru sistema s predhodno toplotno modificiranimi in akrilno lazuro premazanimi vzorci (HWW), nižje kot pri nestaranih vzorcih, in sicer v povprečju za 21 %. V primerih kohezijskega loma podlage lahko zaključimo, da je vrednost adhezije testnih sistemov višja od vrednosti, pri katerih je prišlo do kohezijskega loma podlage. Pri vrednostih porušitve preizkušancev lahko opazimo, da so vrednosti pri sistemih s predhodno impregniranimi substrati (PWN, PSN, PSW) enake oziroma malo manjše v primerjavi z vrednostmi pri kontrolnih sistemih (CWN, CSN, CSW), razen v primeru staranega sistema s predhodno impregniranimi in akrilno lazuro premazanimi vzorci (PWW), kjer je vrednost sile porušitve (v vseh primerih je bil lom podlage kohezijski) za 35 % manjša od vrednosti pri kontrolnem sistemu (CWW). Tako lahko trdimo, da impregnacija lesa z Borosolom nima negativnega vpliva na adhezijo premaza, kar je primerljivo tudi z rezultati, ki so jih dobili Petrič in sod. (2000a) ter Pavlič in sod. (2002). Sistemi s predhodno toplotno modificiranimi substrati (HWN, HSN, HWW, HSW) pa imajo od 53 % do 22 % nižje vrednosti kohezijskega loma kot kontrolni sistemi (CWN, CSN, CWW, CSW), kar je primerljivo z rezultati, ki so jih dobili Tomažič in sod. (2004), in jih lahko pripišemo poslabšanim trdnostnim lastnostim toplotno modificiranega lesa, o katerih poročajo Rapp in Sailer (2001) ter Jämsä in Viitaniemi (2001). Po izkušnjah Laboratorija za površinsko obdelavo, Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete, je adhezija pri 2 MPa kritična meja, do katere lahko pri uporabi izdelka pričakujemo luščenje premaza od podlage ali kake druge poškodbe (Pavlič, 2003), in glede na te ugotovitve lahko trdimo, da so vsi naši preizkušeni sistemi glede adhezije zadovoljivi.

### 5.1.5 Staranje testnih sistemov

Pri vizualni oceni staranih sistemov smo ugotovili, da je videz sistemov po staranju drugačen. Do največjih sprememb, in sicer močne spremembe barve, velike ukrivljenosti in razširjenosti razpok, je prišlo pri nepremazanih predhodno neobdelanih in impregniranih substratih (CNW, PNW). To lahko povežemo z rezultati prepustnosti za vodo in vodno paro, kjer sta bila sistema najbolj dovzetna za navzem in oddajo vode in vodne pare in s tem posledično dimenzijsko najmanj stabilna. Pri sistemu z nepremazanimi, modificiranimi substrati (HNW), je bilo opaziti manjšo spremembo barve in malo razpok. Do zakrivljenosti ni prihajalo. Pri površinsko zaščenih vzorcih je prihajalo v vseh primerih do rahle spremembe v barvi, sijaju, do manjših razpok in ukrivljenosti. V primeru toplotno modificiranih substratov so bile spremembe manj izrazite. Če primerjamo med sabo lazuri, se je v primeru akrilne lazure pojavila rahlo pomarančasta površina. Napako bi lahko pripisali večji prepustnosti za vodo in vodno paro pri akrilni lazuri.

## 5.2 SKLEPI

Rezultati testiranja prepustnosti za vodo in vodno paro, oprijemnosti in vpliva umetnega pospešenega staranja na omenjene lastnosti, na sistemih toplotno modificiranega lesa, premazanega z akrilno oziroma alkidno lazuro in z borovim biocidom impregniranega lesa, premazanega z akrilno oziroma alkidno lazuro, so pokazali sledeče ugotovitve:

- impregnacija lesa z Borosolom poveča njegovo prepustnost za vodno paro in vodo tako pri kontrolnih sistemih z nepremazanimi vzorci, kot pri sistemih s površinsko zaščenimi vzorci, kjer pa je povečanje v primeru sistemov z alkidno lazuro manjše, kot v primeru sistemov z akrilno lazuro,
- toplotna modifikacija lesa zmanjša njegovo prepustnost za vodno paro in vodo, kar se kaže v najmanjših napakah pri sistemih s toplotno modificiranimi substrati pri umetno staranih vzorcih,
- predhodna obdelava lesa ni pokazala pomembnega zmanjšanja adhezije premaza, saj je ne glede na nizke vrednosti razzslojne trdnosti pri sistemih, kjer je prihajalo do kohezijskega loma podlage, vrednost še vedno presegala minimalne zahteve za oprijem lazure, tudi po umetno pospešenem staranju, ki je nekoliko zmanjšalo adhezijo premaza na podlago,
- umetno pospešeno staranje lesa je, razen v primeru sistemov z akrilno lazuro, vplivalo na povečano prepustnost sistemov za vodno paro in zmanjšano desorpcijsko sposobnost vseh sistemov; prav tako se je pri vseh sistemih povečala prepustnost za vodo,



- pri umetno pospešenem staranju je prišlo do pojava napak na površini premaza, ki so bile najmanjše na sistemih »toplotno modificiran les-premaz«, katerim sledijo sistemi »impregniran les-premaz« in nato sistemi »neobdelan les-premaz«; od površinsko nezaščitenih substratov se je najbolje izkazal toplotno modificiran les, ki je v primerjavi z impregniranim in neobdelanim lesom imel malo napak.

## 6 POVZETEK

Namen diplomske naloge je bil ugotoviti, ali impregnacija z biocidi in toplotna modifikacija smrekovega lesa poslabšata lastnosti utrjenih površin premazov na predhodno obdelanem lesu.

Les je, kot vsi drugi organski materiali v naravi, udeležen v naravnem krogu snovi – in je ves čas izpostavljen različnim biotskim in abiotskim dejavnikom razgradnje. Naravni krog razkroja lesa je v naravi nujen. Lesu kot materialu za gospodarsko rabo želimo ta naravni razkroj upočasniti in izdelkom z dodano vrednostjo nameniti daljšo življenjsko dobo. V današnjem času so za zaščito lesa najbolj v uporabi razna površinska zaščitna sredstva, ki poudarjajo tudi estetske značilnosti lesa. Vendar za les, ki je izpostavljen vremenskim vplivom, zaščita s površinskimi premazi ponavadi ni zadostna. Zato les pred nanosom premazov lahko zaščitimo z biocidnimi pripravki. V novejšem času se zaradi okoljskih vzrokov namesto zaščite z biocidi uveljavlja tudi modifikacija lesa. Biocidi v lesu, kakor tudi modifikacija lesa, pa lahko vplivata na lastnosti utrjevanja premazov, kakor tudi na procese staranja površinskih sistemov.

V ta namen smo preučevali vpliv impregnacije in toplotne modifikacije substrata na utrjevanje površinskega premaza, prepustnost premaza za vodo, vodno paro in njegovo oprijemnost. Vpliv vremena na celoten sistem podlaga – premaz smo simulirali z umetno pospešenim staranjem. Za poizkus smo uporabili les navadne smreke (*Picea abies* (L.) Karsten) z začetno vlažnostjo približno 12 %. Tretjino testnih vzorcev smo impregirali z novejšim impregnacijskim sredstvom za les Borosol R proizvajalca Regeneracija d.o.o., tretjina vzorcev je bila toplotno modificirana pri 220 °C v kadi z repičnim oljem v laboratorijih BfH v Hamburgu, preostala tretjina testnih vzorcev pa je ostala predhodno neobdelana. Kot površinska zaščitna sredstva smo uporabili dva komercialno uveljavljena premaza in sicer debeloslojno, temno rjavo pigmentirano alkidno lazuro z organskim topilom in debeloslojno, temno rjavo pigmentirano akrilno lazuro, kjer je kot topilo uporabljena voda. Staranje vzorcev smo opravili na napravi za UPS na Oddelku za lesarstvo BF v Ljubljani, ki je prostorsko razdeljena na dva dela. V prvem delu so bili vzorci izpostavljeni dežju, v drugem pa UV in IR sevanju. Prepustnost za vodno paro smo ocenjevali po standardu SIST EN 927-4 (2000), prepustnost za vodo smo ocenjevali po standardu SIST EN 927-5 (2000) in oprijemnost premazov po standardu SIST EN 24624 (1997). Vse vzorce smo po umetno pospešenem staranju tudi vizualno pregledali in opisali nastale spremembe na površini.

Rezultati so pokazali, da predhodna obdelava lesa z impregnacijo z Borosolom in toplotno modifikacijo lesa nima pomembnih negativnih vplivov na preučevane lastnosti, kvečjemu so bile nekatere lastnosti celo izboljšane. Tako je bila pri sistemih s toplotno modificiranimi substrati zmanjšana prepustnost za vodno paro in vodo kar se je pokazalo v manjšem številu napak na sistemih pri umetno pospešenem staranju. Impregnacija lesa z

Borosolom je sicer povečala njegovo prepustnost za vodno paro in vodo, vendar so imeli sistemi »predhodno obdelan les-lazura« povečano desorpcijsko sposobnost v primerjavi z le-to pri predhodno neobdelanem lesu. Adhezija premazov je bila največja v primeru neobdelanega lesa, vendar vrednosti na sistemih z impregniranimi substrati niso dosti odstopale, sistemov s toplotno modificiranimi substrati pa ni bilo moč kvantitativno primerjati, saj je prišlo v vseh primerih do kohezijskega loma podlage. Pri umetno pospešenem staranju je prišlo do nastanka napak na površini premaza, ki so bile najmanjše na sistemih »toplotno modificiran les-premaz«, katerim sledijo sistemi »impregniran les-premaz«. Zato lahko trdimo, da sta obe metodi predhodne obdelave lesa s stališča zaščite lesa perspektivni, saj sta skladni za uporabo s klasičnimi površinskimi premazi in njihove lastnosti celo izboljšujeta.

## 7 VIRI

- Din 53211. 1987. Lacke, Anstrichstoffe und ähnliche Beschichtungsstoffe. Bestimmung der Auslaufzeit mit dem DIN-Becher (withdrawn in 1996)
- Din 53216-1. 1989. Lacke, Anstrichstoffe und ähnliche Beschichtungsstoffe. Bestimmung des nichtflüchtigen Anteils von Lacken und Anstrichstoffen sowie von Bindemitteln für Lacke und Anstrichstoffe; Identisch mit ISO/DIS 3251:1988 (withdrawn in 1995)
- Din 53217-2. 1991. Lacke, Anstrichstoffe und ähnliche Beschichtungsstoffe. Bestimmung der Dichte-Pyknometer-Verfahren (withdrawn in 2002)
- Feist W.C. 1996. Painting and finishing Exterior Wood. *Journal of Coatings Technology*, 68, 856: 23 – 26
- Gorišek Ž., Geršak M., Velušček V., Čop T., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. 1. izdaja. Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva Slovenije, Lesarska založba: 235 str.
- Jämsä S., Ahola P., Viitaniemi P. 1999. Performance of coated heat-treated wood. *Surface Coatings International*, 6: 297 – 300
- Jämsä S., Viitaniemi P. 2001. Heat treatment of wood – better durability without chemicals. V: Review on heat treatments of wood. Proceedings of the special seminar held in Antibes, France, on 9 February 2001. A.O. Rapp (ed.). Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg: 13-22
- Kervina-Hamović L. 1990. Zaščita lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 126 str
- Kričej B. 1974. Postopki umetnega – pospešenega staranja premazov, namenjenih za površinsko obdelavo lesnih konstrukcij, izpostavljenih na prostem. *Les*, 4, 131-133
- Kričej B. 1976. Umetno pospešeno staranje lazurnih in impregnacijskih premazov. *Les*, 28, 9 – 10: 179 – 184
- Mihevc V. 1999. Surface treatment of wood in construction industry. V: Turkulin H. (ed.) Surface properties and durability of exterior wood building components. International conference, Zagreb, 30. april 1999, Zagreb, University of Zagreb, Faculty of Forestry, 1999: Paper 1
- Mihevc V., Knehtl B., Žepič R. 1995. Water-vapour permeability of the wood-coating system of different surface coatings systems. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 46: 177 – 199

- Ostruh K. 2001. Prepustnost sistema impregniran les-premaz za vodno paro. Visokošolska diplomska naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 41-47
- Pavlič M., Mihevc V. 2001. Zaščita lesa pred vremenskimi vplivi. *Les*, 53, 1 – 2: 15 – 20
- Pavlič M., Petrič M. 2001. Water and water-vapour permeability of preservative treated wood-coating systems. V: Proceedings of the Fifth International Conference on the Development of Wood Science, Wood Technology and Forestry, ICWSF 2001, 5th - 7th September 2001, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology, Ljubljana: 75-84
- Pavlič M., Kričej B., Tomazic M., Petrič M. 2002. Performance of exterior coatings on spruce wood, treated with a boron containing wood preservative. V: Woodcoatings foundations for the future: conference papers. Paint research association, Teddington.
- Pavlič M. 2003. Lastnosti premazov in premaznih sistemov za zunanjo zaščito lesa. V: Slovenski standardi za zaščito lesa pred biološkimi škodljivci in vremenskimi vplivi, Ljubljana, 17. jun. 2003. Slovenski inštitut za standardizacijo : Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- Pečenko G. 1987a. Zaščita lesa v praksi. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva Slovenije: 85 – 114
- Pečenko G. 1987b. Lazurni premazi za les. *Les* 39, 11 – 12, 335 – 337
- Petrič M., Pavlič M., Berglez D., Kričej B., Čadež F. 2000a. Compatibility of impregnated construction wood with surface coatings. V: Despot, R. (ed.) Wood in construction industry: international conference. Faculty of Forestry, Zagreb, Croatia: 35-40
- Petrič M., Pohleven F., Okorn T., Čadež F. 2000b. Efficacy of some boron containing wood preservatives. V: Despot, R. (ed.). Wood in construction industry: international conference. Faculty of Forestry, Zagreb, Croatia: 29-34
- Petrič M., Pavlič M., Čadež F. 2001. Leaching of the new boron based biocide from coated wood. The international research group on wood preservation. Document No.: IRG/WP 01-30267.
- Pohleven F. 1998. Zaščita lesa pred škodljivci. *Gradbenik*. 2, 12: 10-13
- Pohleven F., Petrič M. 1992. Ekološke perspektive zaščite lesa pred škodljivci. *Nova proizvodnja*, 43, 3: 94-98
- Rapp A.O., Sailer M. 2001. Oil heat treatment of wood in Germany – state of the art. V: Review on heat treatments of wood. Proceedings of the special seminar held in Antibes,

- France, on 9 February 2001. A.O. Rapp (ed.). Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg: 43-60
- Rep G., Pohleven F. 2001. Wood modification – a promising method for wood preservation. *Drvena industrija*, 52: 71-76
- Slovenski standard SIST EN 24624. 1997. Paints and varnishes – Pull-off test (ISO 4624: 1978).
- Slovenski standard SIST EN 927-1. Paints and varnishes – Coatings materials and coating systems for exterior wood – Part 1: Classification and selection, 1997, 10 str.
- Slovenski standard SIST EN 927-2. Paints and varnishes – Coatings materials and coating systems for exterior wood – Part 2: Performance specification, 2001, 12 str.
- Slovenski standard SIST EN 927-3. Paints and varnishes – Coatings materials and coating systems for exterior wood – Part 3: Natural weathering test, 2006, 25 str.
- Slovenski standard SIST EN 927-4. 2000. Paints and varnishes – Coatings materials and coating systems for exterior wood – Part 4: Assessment of the water-vapour permeability.
- Slovenski standard SIST EN 927-5. 2000. Paints and varnishes – Coatings materials and coating systems for exterior wood – Part 5: Assessment of the liquid water permeability.
- Slovenski standard SIST EN ISO 2808. 1999. Paints and varnishes – Determination of film thickness (ISO 2808:1997).
- Tomažič M., Pavlič M., Kričej B., Štefe P., Petrič M. 2004. Vpliv umetno pospešenega staranja na lastnosti površinskih premazov na nemodificiranem in na modificiranem lesu. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 74: 77 – 96
- Torelli N., Čufar K. 1983. Sorpcija in stabilnost lesa. *Les*, 35, 5-6: 101-106
- Unger A., Schniewind A.P., Unger W. 2001. *Conservation of Wood Artifacts*. Berlin, Springer: 578 str.
- Vernois M. 2001. Heat treatment of wood in France – state of the art. V: Review on heat treatments of wood. Proceedings of the special seminar held in Antibes, France, on 9 February 2001. A.O. Rapp (ed.). Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg: 35-42
- Založnik D. 2001. Prepustnost lazur na impregniranem lesu za vodno paro. Visokošolska diplomska naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 29-33

## **ZAHVALA**

Hvala mentorju, prof. dr. Marku Petriču za zanimivo temo diplomskega dela ter za pomoč in usmerjanje pri pisanju diplomskega dela.

Hvala recenzentu, doc. dr. Mihi Humarju za strokovno recenzijo diplomskega dela.

Zahvaljujem se asistentu Matjažu Pavliču, ki mi je bil v veliko pomoč pri vseh izvedenih poizkusih in tehničnemu sodelavcu Borutu Kričejju za pomoč pri izvajanju testiranj.

In nenazadnje se zahvaljujem staršema za pomoč in podporo v vseh letih študija ter Tini, Sinji in Brinu za strpnost in podporo pri pisanju diplomskega dela.