

GDK: 842:814(045)

Prispelo / *Received*: V aprilu, 2004

Sprejeto / *Accepted*: 5. 7. 2004

Izvirni strokovni članek

*Original professional paper*

## VPLIV UMETNO POSPEŠENEGA STARANJA NA LASTNOSTI POVRŠINSKIH PREMAZOV NA NEMODIFICIRANEM IN NA MODIFICIRANEM LESU

Miro TOMAŽIČ<sup>1</sup>, Matjaž PAVLIČ<sup>2</sup>, Borut KRIČEJ<sup>3</sup>, Primož ŠTEFE<sup>4</sup>, Marko PETRIČ<sup>5</sup>

Izvleček:

Za zunanjo uporabo se v svetu namesto naravnega lesa uvaja uporaba modificiranega lesa, ki je dimenzijsko stabilnejši. V literaturi pa je še vedno zelo malo podatkov o sistemih modificiran les - površinski premaz. Zato je bil cilj naše raziskave preučiti lastnosti premazov za zunanjo uporabo na termično modificiranem lesu rdečega bora in nekaterih drugih lesnih substratih. Izvedli smo umetno pospešeno staranje nepremazanih in premazanih vzorcev ter ugotavljali vplive tega postopka na lastnosti, kot so oprijemnost premaza, barva, sijaj, kontaktni kot za vodo ter prepustnost premaza za vodno paro in tekočo vodo. Ugotovili smo, da je sistem 'termično modificiran rdeči bor – premaz' primerljiv s sistemom 'nemodificiran les – premaz'.

Ključne besede: termična modifikacija, premaz, umetno pospešeno staranje, oprijemnost, barva, sijaj, kontaktni kot

## INFLUENCE OF ARTIFICIAL ACCELERATED WEATHERING ON PROPERTIES OF SURFACE COATINGS ON NON-MODIFIED AND MODIFIED WOOD

Abstract:

Due to its increased dimensional stability, modified wood is suited for outside applications. Because the systems 'exterior surface coatings – modified wood' have not been studied thoroughly up to now, the aim of our work was to investigate some properties of exterior finishes on thermally modified pine wood and on some other wooden substrates. We carried out artificial accelerated aging of unpainted and painted samples and considered the influence of aging procedure on some properties of the coatings like adhesion, colour, gloss, wettability and water-vapour and liquid water permeability. The results showed that the system 'thermally modified pine wood – surface coating' is comparable to conventional systems 'non-modified wood – surface coating'.

Key words: thermal modification of wood, surface coating, artificial accelerated aging, adhesion, colour, gloss, contact angle

<sup>1</sup>univ.dipl.inž.les., BF, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina c. VIII/34, 1000 Ljubljana, SLO, miro.tomazic@bf.uni-lj.si

<sup>2</sup>univ.dipl.inž.les., BF, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina c. VIII/34, 1000 Ljubljana, SLO, matjaz.pavlic@bf.uni-lj.si

<sup>3</sup>BF, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina c. VIII/34, 1000 Ljubljana, SLO borut.kricej@bf.uni-lj.si

<sup>4</sup>BF, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina c. VIII/34, 1000 Ljubljana, SLO

<sup>5</sup>izr.prof.dr., BF, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina c. VIII/34, 1000 Ljubljana, SLO, marko.petric@bf.uni-lj.si

**VSEBINA**  
**CONTENTS**

<b>1</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>79</b>
	INTRODUCTION	
<b>2</b>	<b>MATERIAL IN METODE.....</b>	<b>80</b>
	MATERIALS AND METHODS	
<b>3</b>	<b>REZULTATI IN DISKUSIJA.....</b>	<b>86</b>
	RESULTS AND DISCUSSION	
<b>4</b>	<b>SKLEPI.....</b>	<b>92</b>
	CONCLUSIONS	
<b>5</b>	<b>SUMMARY.....</b>	<b>94</b>
	<b>VIRI.....</b>	<b>94</b>
	REFERENCES	

## 1 UVOD

### INTRODUCTION

Les je higroskopen material, kar pomeni, da glede na klimatske razmere v katerih se nahaja, sprejema ali oddaja vodo. Topovroča njegove dimenzijske spremembe. Zaradi vlažnostnega gradienta in anizotropne narave lesa prihaja pri procesih sušenja in navlaževanja do napetosti, ki ob prekoračitvi trdnosti lesa povzročajo nastanek razpok in distorzij (GORIŠEK *et al.* 1994).

Lesni premazi za zunanjo uporabo imajo dve osnovni funkciji. Prva je dekorativna, druga pa zaščitna. Premaz lahko zaščiti les pred degradacijo zaradi delovanja biotičnih dejavnikov. Glavni namen površinskih premazov za zunanjo uporabo pa je zaščita substrata – izdelka iz lesa - pred škodljivimi abiotičnimi vplivi. Le-ti so spreminjajoča se zračna vlažnost, temperatura, oksidacija, sončna svetloba (UV žarki), onesnažen zrak in atmosferski ozon. Stopnja degradacije lesa je odvisna od okolja, v katerem se nahaja. Prav tako pa so navedeni degradacijski dejavniki pomembni za staranje fizikalne strukture polimernega materiala oziroma površinskega premaza (COLOM *et al.* 2003).

V vlažnih pogojih izpostavitve je zelo pomembna zaščita lesa s premazom proti vodi in vodni pari (ARNOLD 1999). Transport vode skozi premaz v substrat lahko obravnavamo s tremi različnimi mehanizmi: (1) transport tekoče vode skozi premaz v les (absorpcija vode), (2) transport vodne pare skozi premaz v substrat (absorpcija vodne pare) in (3) transport vodne pare iz substrata skozi premaz (desorpcija vodne pare) (EKSTEDT 2001). V lesenih izdelkih je razmerje med absorpcijo vode ali vlage in desorpcijo izjemno pomembna. Če je absorpcija v določenem časovnem obdobju večja od desorpcije, lahko pride do akumulacije vode v substratu. Če doseže akumulirana voda rizični nivo, lahko pride do luščenja ali pokanja filma in okužbe z modrivkami ali celo glivami, pravimi razkrojevalkami lesa (RAPP / PEEK 1999, DESPOT / TRAJKOVIĆ / SINKOVIĆ 1999, ARNOLD 1999). Ena izmed najvažnejših funkcij premaza za zunanjo uporabo torej je, da zagotavlja zaščitni nivo vlažnosti v lesu.

Trajnost premaza lahko povečamo, če sistem les-substrat dimenzijsko stabiliziramo. V svetu se za zunanjo uporabo namesto naravnega uvaja uporaba modificiranega lesa, ki je dimenzijsko stabilnejši (MILITZ / BECKERS/ HOMAN 1997). Dimenzijska stabilnost lesa se lahko poveča s pomočjo postopkov toplotne ali kemijske modifikacije.

V literaturi pa je še vedno zelo malo podatkov o lastnostih sistemov 'modificiran les - površinski premaz'. Na splošno so prve raziskave pokazale, da so taki sistemi pri večletnem naravnem staranju bolj odporni kot klasični sistemi 'les – premaz' (PLACKETT

/ DUNNINGHAM / SINGH 1992, FEIST / ROWELL / ELLIS 1991). Vzrok za boljše odpornost sistemov 'modificiran les – premaz' je lahko v substratu. Predvideva se, da je ključnega pomena izboljšana dimenzijska stabilnost le-tega, vendar to še ni dokazano. Postavlja se tudi vprašanje, ali bi bilo sestavo obstoječih komercialnih premazov (lazure, lak-lazure, laki) smiselno prilagoditi za uporabo na modificiranem lesu.

Cilj naše raziskave je bil preučiti nekatere lastnosti premazov za zunanjo uporabo na različnih substratih, med katerimi je bil tudi termično modificiran les rdečega bora. Izvedli smo umetno pospešeno staranje preskušancev ter ugotavljali vplive tega postopka na lastnosti, kot so oprijemnost premaza, barva, sijaj, kontaktni kot za vodo ter prepustnost premaza za vodno paro in tekočo vodo.

## **2 MATERIAL IN METODE** **MATERIALS AND METHODS**

### **2.1 MATERIALI** **MATERIALS**

Za poskus smo uporabili les smreke (*Picea Abies* L.), rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.), hrasta (*Quercus robur* L.) ter termično modificiran les rdečega bora. Les je bil brez napak. Imel je enakomerno široke branike (3 do 8 branik v dolžini 10 mm). Kot med testno ploskvijo in branikami je znašal med 35° in 55°. Les smo kondicionirali pri temperaturi ( $20 \pm 2$ ) °C in relativni zračni vlažnosti ( $65 \pm 5$ ) %.

Izbrali smo dva premaza na osnovi organskih topil, ki sta namenjena za industrijsko uporabo, in sicer debeloslojno lazuro rjave barve in beli pokrivni lak emajl. Premaza sta komercialno dostopna. Izdeluje ju slovenski proizvajalec. Lak emajli so filmotvorna debeloslojna premazna zaščitna sredstva, s katerimi popolnoma prekrijemo lesno teksturo in tako tudi eventualne možne napake lesa. Vsebujejo veliko količino pigmentov, zaradi česar jih je na trgu možno dobiti v raznih barvnih odtenkih (FEIST 1997). Za razliko od lak emajlov so lazure manj pigmentirani premazi, ki na lesu tvorijo 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 dosežemo daljše vzdrževalne intervale (PEČENKO 1987).

V preglednici 1 so prikazani in označeni vsi uporabljeni sistemi 'lesni substrat – premaz'.

Vzorci smo pripravili po navodilih standarda SIST EN 927-4 (2000). Nanos obeh premazov smo izvedli po priporočilih proizvajalca. Za vsak sistem je bilo pripravljenih po šest vzorcev velikosti  $(340 \pm 2) \text{ mm} \times (70 \pm 2) \text{ mm} \times (20 \pm 2) \text{ mm}$ . Po trije vzorci so bili uporabljeni za preskuse pred umetnim pospešenim staranjem, drugi trije pa za umetno pospešeno staranje in preskuse na starih vzorcih.

Preglednica 1: Sistemi: 'substrat – utrjen premaz' ter njihova označitev

Table 1: The systems 'substrate – coating'

Substrat / Substratum	Premaz / Coating	Sistem / System
Smreka / Spruce (S)	Brez / without	S
Rdeči bor / Scotch pine (B)		B
Hrast / Oak (H)		H
Termično modificiran les rdečega bora Heat treated Scotch pine wood (MB)		MB
Smreka / Spruce (S)	Lak emajl / opaque varnish (P)	SP
Rdeči bor / Scotch pine (B)		BP
Hrast / Oak (H)		HP
Termično modificiran les rdečega bora Heat treated Scotch pine wood (MB)		MBP
Smreka / Spruce (S)	Debeloslojna rjava lazura / High build brown stain (L)	SL
Rdeči bor / Scotch fir (B)		BL
Hrast / Oak (H)		HL
Termično modificiran les rdečega bora Heat treated Scotch pine wood (MB)		MBL

## 2.2 METODE METHODS

### 2.2.1 Določanje prepustnosti za vodno paro Assessment of water-vapour permeability

Prepustnost za vodno paro smo določali po standardu SIST EN 927-4 (2000). Iz treh ustrezno premazanih vzorcev dimenzij  $(340 \pm 2) \text{ mm} \times (70 \pm 2) \text{ mm} \times (20 \pm 2) \text{ mm}$  smo pripravili po šest vzorcev velikosti  $(150 \pm 2) \text{ mm} \times (70 \pm 2) \text{ mm} \times (20 \pm 2) \text{ mm}$ . Netestne površine oziroma robove, čela in nasprotno površine smo premazali z dvokomponentnim epoksidnim premazom EPOLOR HB proizvajalca Color Medvode. Po premazovanju z epoksidnim premazom smo pet, po videzu najboljših vzorcev (za vsak sistem), izpostavili za minimalno 28 dni klimi s temperaturo  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  in relativno zračno vlažnostjo  $(65 \pm 5) \%$  oziroma do takrat, ko smo pri dveh zaporednih tehtanjih dosegli konstantno maso. Potem smo vzorce predkondicionirali: najprej smo jih z navzdol obrnjeno testirano površino za 24 ur položili v destilirano vodo. Po 24 urah smo jih za 3 ure izpostavili temperaturi  $(20 \pm 2)$

°C in relativni zračni vlažnosti ( $65 \pm 5$ ) %. Nato smo vzorce sušili 3 ure pri temperaturi 50 °C. Sledila je 18 urna izpostavitvev temperaturi ( $20 \pm 2$ ) °C in relativni zračni vlažnosti ( $65 \pm 5$ ) %. Ta postopek je bilo potrebno dvakrat ponoviti. Vse sisteme smo predkondicionirali hkrati. Po predkondicioniranju smo vzorce izpostavili normalni klimi do konstantne mase.

Ko so preskušanci dosegli konstantno maso, smo jih stehali in zapisali začetno maso -  $[m(0)]$ . Nato smo jih izpostavili za 14 dni klimi s temperaturo ( $20 \pm 2$ ) °C in relativno zračno vlažnostjo 98 %. Po 14 dneh smo jih stehali  $[m(14)]$  ter jih postavili v komoro s temperaturo ( $20 \pm 2$ ) °C in relativno zračno vlažnostjo ( $65 \pm 5$ ) %. Po 14 dneh smo vzorce ponovno stehali  $[m(28)]$ . Nato smo po enačbi 1 izračunali dinamično permeabilnost vodne pare (DMP):

$$DMP = 100 \times WD(14) / WA(14) \quad \dots(1)$$

pri čemer je WD (14) povprečna vrednost desorpcije vode v gramih ( $m(14) - m(28)$ ) in WA (14) povprečna vrednost absorpcije vode v gramih ( $m(14) - m(0)$ ).

### **2.2.2 Določanje prepustnosti za tekočo vodo** **Assessment of liquid water permeability**

Prepustnost za vodo smo določali po standardu SIST EN 927-5 (2000). Uporabili smo pet vzorcev posameznega sistema, ki so bili prej uporabljeni za določanje paropropustnosti. Vzorce je bilo potrebno spet najprej predkondicionirati, kar smo izvedli po postopku iz standarda SIST EN 927-4 (2000), ki smo ga že opisali v prejšnjem poglavju. Po predkondicioniranju smo vzorce izpostavili normalni klimi do konstantne mase. Nato smo jih stehali in zapisali začetno maso ( $m_0$ ). Vzorce smo položili v posodo, v kateri je bila destilirana voda. Testna površina je morala biti pod vodo. Po 72 urah smo preskušance odstranili iz vode, jih obrisali ter stehali ( $m_1$ ). Nato smo izračunali navzem vode ( $m_1 - m_0$ ) za vsak vzorec, rezultat pa podali kot povprečje v  $g/m^2$ .

### **2.2.3 Merjenje oprijemnosti premazov** **Measurement of adhesion of the coatings**

Adhezijo premazov smo ugotavljali po modificirani standardni metodi, »pull-off test« (SIST EN 24624 (1997)). Za vsak sistem smo uporabili po dva vzorca. Vzorce smo kondicionirali v normalni klimi. Po 21 dneh kondicioniranja smo jih pripravili za lepljenje pečatov s komercialno dostopnim dvokomponentnim epoksidnim lepilom. Premer pečata, na katerega smo nanесли lepilo, je bil 11,25 mm (namesto 20 mm kot je določeno v standardu

SIST EN 24624). Pečati so bili 24 ur nalepljeni na premaz, nato pa smo jih obrezali do podlage lesa. Na vsakem vzorcu je bilo po pet pečatov, skupno torej deset za posamezen sistem. Vzorce smo razžagali na posamezne segmente oziroma na manjše kose, ki smo jih vpeli v instrument za merjenje natezne trdnosti. Natezno trdnost, ki je bila potrebna za zlom pečata, smo zapisali in pregledali površino loma. Če je bilo na površini pečata manj kot 60 % podlage, smo šteli, da je prišlo do adhezijskega loma (A). Če pa je bilo na površini pečata več kot 60 % podlage, smo imeli lom za kohezijski (K).

#### **2.2.4    Kontaktni kot za vodo** **Contact angle of water**

Statični kot omakanja smo merili tako kot predlagata SCHEIKL / DUNKY (1996). Kapljico premera (2–4) mm z brizgalko kanemo na površino. Avtorja predlagata, da se v času 6 minut izmeri 30 kotov omakanja. Začetek merjenja pa naj bi bil, ko se kapljica loči od injekcijske igle. Različni avtorji različno priporočajo, kdaj naj bi pričeli z merjenjem kota omakanja. KALNIS *et al.* (1998: cit po BOGNER 1990) priporočajo merjenje kota omakanja po 3 - 5 sekundah, medtem ko NGUYEN / JOHNS (1978) priporočata merjenje v prvi sekundi.

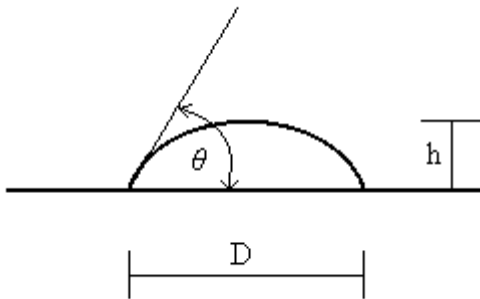
Na podlago smo injicirali destilirano vodo ter naredili za posamezen sistem po pet meritev. Kapljico vode smo snemali približno deset sekund z digitalnim fotoaparatom Olympus, ki je bil nameščen na stereomikroskopu. Fotoaparatus omogoča snemanje 12 slik na sekundo. Povečava, ki smo jo uporabili na stereomikroskopu, je bila 16×. Ko smo posneli kapljico med razlivanjem, smo po prvi sekundi iz video posnetka odvzeli sliko. Prenesli smo jo v računalniški program Image-Pro Plus 3.0 Demo, ki vsebuje merilne aplikacije.

Z domnevo, da je oblika kapljice na površini substrata del sfere, lahko kot omakanja ( $\theta$ ) izračunamo iz trigonometrične korelacije (enačbi 2 in 3) iz višine ( $h$ ) in širine ( $D$ ) kapljice (Slika 1) (BOGNER 1990, SCHEIKL / DUNKY 1998, GINDL *et al.* 2001).

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{2h}{D} \quad \dots(2)$$

iz tega sledi:

$$\theta = 2 * \arctg\left(\frac{2h}{D}\right) \quad \dots(3)$$



Slika 1: Merjenje dimenzije kapljice za izračun kontaktnega kota (Bogner 1990)  
 Figure 1: Sessile drop parameters for computation of contact angle (Bogner 1990)

#### 2.2.4 Merjenje sijaja Measurement of gloss

Sijaj smo merili v skladu z navodili standarda SIST EN ISO 2813 (1998), in sicer pred postopkom umetnega pospešenega staranja in po njem. Sijaj je bil merjen pod kotom  $60^\circ$  z napravo za merjenje sijaja proizvajalca Ericsson, ki smo jo predhodno umerili. Na vsakem vzorcu smo izvedli po pet meritev, in sicer tako, da smo pred procesom umetnega pospešenega staranja in po njem meritve opravljali na istih mestih, kar nam je omogočila posebej izdelana šablona.

#### 2.2.5 Določanje barve Determination of colour

Merjenje barve smo izvedli po CIE  $L^*a^*b^*$  sistemu z barvno diferenčno merilno napravo Microcolor Data Station (*geometrija merjenja  $d/8^\circ$ ,  $10^\circ$  standard observer, D65 standard illuminant, xenon flash lamp source, CIELAB sistem*) proizvajalca dr. LANGE, in sicer v skladu z navodili standarda ASTM D 2244-93 (CIE  $L^*a^*b^*$  system). Na vsakem vzorcu smo izvedli po dve meritvi s posebno šablono tako, da so meritve vedno potekale na istih mestih, pred umetnim pospešenim staranjem in po njem. Vsako barvo lahko opredelimo z  $L^*a^*b^*$  sistemom. Barvni koordinati  $a^*$  in  $b^*$  s svojimi pozitivnimi vrednostmi segata v področje rdeče in rumene barve, z negativnimi vrednostmi pa v področje zelene in modre barve. Tretja koordinata  $L^*$  pa je koordinata svetlosti, ki podaja odmik k beli oziroma črni barvi. Če želimo določiti barvno spremembo, ki je nastala, moramo izračunati  $\Delta E$  (Enačba 7), ki predstavlja premik barve v tridimenzionalnem sistemu.



$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_2 \quad \dots(4)$$

$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_2 \quad \dots(5)$$

$$\Delta b^* = b^*_1 - b^*_2 \quad \dots(6)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})} \quad \dots(7)$$

$\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  in  $\Delta b^*$  (Enačba 4, Enačba 5, Enačba 6) so barvne razlike med začetnimi vrednostmi (indeks 1) in barvami po umetnem pospešenem staranju (indeks 2). Nizek  $\Delta E$  ustreza majhni razliki v spremembi barve. Po IKEA specifikaciji IOS-MAT-0043 (AHL-STRAND 1999) je dovoljena toleranca  $\Delta E$  0,5, katere še ne opazimo z očesom.

### 2.2.6 Umetno pospešeno staranje (UPS) Artificial accelerated weathering (UPS)

Princip umetnega pospešenega staranja premazov je v tem, da vzorce v kratkih časovnih intervalih in v določenem zaporedju izpostavimo velikim razlikam v vlažnosti, temperaturi in sevanju. Posledica takih obremenitev je ciklično raztezanje in krčenje premaza in lesa. Po nekaj sto 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).

Vzorce smo izpostavili umetnemu pospešenemu staranju za 500 ur, s ciklusi po eno uro. V enem ciklusu se zvrstijo po vrstnem redu naslednje faze (Preglednica 2): umetni dež, mirovanje, UV in IR sevanje, UV sevanje, UV in IR sevanje in mirovanje.

Preglednica 2: Ciklus naprave za UPS na BF v Ljubljani (KRIČEJ 1974)

Table 2: The exposure cycle at the artificial weathering device at BF-Ljubljana (KRIČEJ 1974)

Faza / Phase	Čas / Time
Umetni dež / Artificial rain	22 min
Mirovanje / Rest	9 min
UV in IR sevanje / UV and IR radiation (60°C)	3 min
UV sevanje / UV radiation	21 min
UV in IR sevanje / UV and IR radiation (60°C)	3 min
Mirovanje / Rest	2 min
Celotni cikel / Exposure cycle	60 min

Pred umetnim pospešenim staranjem smo vzorcem izmerili barvo in sijaj. Po staranju pa prav tako barvo in sijaj ter paropropustnost, propustnost za tekočo vodo, kontaktni kot in oprijemnost.

### **3 REZULTATI IN DISKUSIJA** **RESULTS AND DISCUSSION**

#### **3.1 PREPUSTNOST ZA VODNO PARO** **WATER-VAPOUR PERMEABILITY**

Pri debeloslojni lazuri (sistemi BL, SL, MBL, HL) smo ugotovili, da se je absorpcija vode po umetnem pospešenem staranju zmanjšala. Tako je npr. pri sistemu BL padla z vrednosti 2,31 g pred staranjem na 1,71 g po UPS, pri sistemu MBL pa je bilo znižanje najmanjše, od 1,19 g na 1,07 g. Desorpcija vode se je po staranju povečala, s tem pa se je povečala tudi dinamična permeabilnost (DMP) celotnega sistema. Najbolj se je povečala desorpcija vode pri sistemu SL z vrednosti 0,72 g pred staranjem na 1,58 g po UPS. Najmanjšo spremembo desorpcije vode smo zasledili pri sistemu HL, z 0,16 g na 0,30 g. DMP sistema SL pred staranjem je bila 26,9 %, po UPS pa 62,0 %, medtem ko je bila pri sistemu HL pred staranjem 12,4 % po njem pa 15,5 %. Največjo dinamično permeabilnost po UPS pri sistemih z debeloslojno lazuro ima sistem SL, in sicer 62,0 % (Preglednica 3).

Pri lak emajlu pa se absorpcija vode zaradi postopka umetnega pospešenega staranja pri sistemih BP in HP zmanjša, medtem ko se je absorpcija pri sistemih MBP in SP povečala. Desorpcija vode pa se je po staranju povečala pri vseh sistemih, največ pa pri sistemu SP z 1,34 g pred staranjem na 1,93 g po UPS. Najmanj se je desorpcija povečala pri sistemu BP z 1,12 g na 1,20 g. Prav tako se je tudi povečala dinamična permeabilnost. Tako se je npr. največ povečala DMP pri sistemu MBP z vrednosti 30,3 % na 47,6 % po UPS. Najmanjšo spremembo DMP pa smo zasledili pri sistemu HP, saj se je DMP povečala samo za 8 %, in sicer s 23,6 % na 31,6 %. Največjo dinamično permeabilnost po UPS ima pri sistemih z lak emajlom sistem SP, in sicer 59,1 % (Preglednica 3).

Kontrolnim vzorcem (B, S, MB, H) se je dinamična permeabilnost sicer povečala, drastično pa sta se jim po umetno pospešenem staranju povečala tako absorpcija kakor tudi desorpcija vode. Absorpcija se je najbolj povečala pri boru (B) z vrednosti 4,75 g pred staranjem na 8,03 g po staranju, medtem ko se je absorpcija najmanj spremenila na termično modificiranem boru (MB), saj je znašala pred staranjem 1,47 g, po njem pa le 1,62 g. Največjo spremembo desorpcije zasledimo pri hrastu (H). Pred staranjem je bila vrednost

desorpcije pri hrastu (H) 2,96 g, po UPS pa 6,45 g. Prav tako se je dinamična permeabilnost najbolj spremenila pri hrastu s 56,8 % pred staranjem, na 89,7 % po njem. Najmanjšo spremembo desorpcije smo zasledili pri modificiranem rdečem boru (Preglednica 3).

Na vseh kontrolnih vzorcih smreke, rdečega bora in posebej še hrasta so po UPS nastale razpoke. Razpok nismo zasledili na termično modificiranem rdečem boru, kar lahko pripišemo dimenzijski stabilnosti termično modificiranega lesa (SAILER / RAPP 2000). Dinamična permeabilnost je pri nemodificiranem in termično modificiranem lesu velika, nabrekanje in krčenje pa zaradi velike dinamične permeabilnosti izrazito samo pri nemodificiranih podlagah, zato nastanejo razpoke le na nemodificiranih podlagah.

Po postopku umetnega pospešenega staranja so torej sistemi z debeloslojno lazuro postali za vodno paro bolj prepustni kot sistemi z lak emajlom. To pomeni, da se naši rezultati po umetno pospešenem staranju skladajo z navedbami v literaturi, da so lazure bolj prepustne za vodo kot lak emalji (VAN DER WEL / ADAN 1999).

Preglednica 3: Prepustnost za vodno paro pred postopkom UPS in po njem

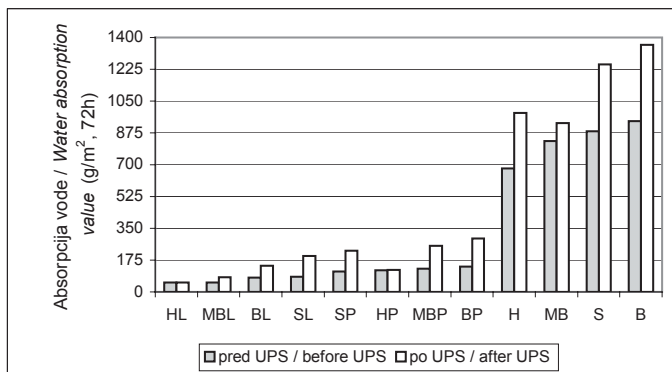
Table 3: Water-vapour permeability before and after artificial weathering

Sistem System	Debelina filma ( $\mu\text{m}$ ) Coatings thickness ( $\mu\text{m}$ )	Pred UPS / before artificial weathering					Po UPS / after artificial weathering				
		WA (14) (g)		WD (14) (g)		DMP (%)	WA (14) (g)		WD (14) (g)		DMP (%)
		$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$		$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	
BL	193	2,31	0,06	0,60	0,07	26,1	1,71	0,30	0,86	0,77	47,4
HL	131	1,87	0,16	0,23	0,03	12,4	1,66	0,35	0,30	0,35	15,5
MBL	149	1,19	0,09	0,30	0,04	24,7	1,07	0,07	0,57	0,27	53,8
SL	143	2,68	0,21	0,72	0,09	26,9	2,54	0,18	1,58	0,42	62,0
BP	106	2,95	0,21	1,12	0,14	37,9	2,41	0,29	1,20	0,33	51,4
HP	93	2,73	0,07	0,65	0,09	23,6	2,43	0,12	0,77	0,20	31,6
MBP	100	1,47	0,20	0,45	0,06	30,3	1,62	0,21	0,77	0,09	47,6
SP	101	3,14	0,14	1,34	0,05	42,6	3,24	0,59	1,93	0,50	59,1
B	/	4,75	0,60	3,92	0,42	82,9	8,03	0,28	7,20	0,22	89,7
H	/	5,20	0,25	2,96	0,28	56,8	7,22	0,39	6,45	0,60	89,2
MB	/	1,62	0,48	1,28	0,51	79,0	2,18	0,63	1,76	0,81	80,7
S	/	6,38	0,20	5,61	0,52	88,0	8,90	0,27	8,37	0,25	94,1

Rezultati za absorpcijo vode pri različnih sistemih so podani kot povprečna vrednost za pet vzorcev. Klasifikacijske meje, priporočene po standardu SIST ENV 927-2 (2001) so: 175 g/m<sup>2</sup>, 250 g/m<sup>2</sup> ter brez omejitev. Vrednost 175 g/m<sup>2</sup> predstavlja dovoljeno maksimalno vrednost navzema vode za sisteme (utrjen premaz – substrat), ki so namenjeni za izdelke s tako imenovano stabilno konstrukcijo (stable-construction), na primer okna. Pojem stabilnosti se v tem primeru nanaša na dovoljen obseg dimenzijskih sprememb. Vrednost 250 g/m<sup>2</sup> predstavlja maksimalno vrednost navzema vode za sisteme, ki so lahko manj stabilni (semi-

stable), na primer leseni elementi fasade. Za nestabilne sisteme (npr. ograje) pa ni omejitvev.

Sivi stolpci na sliki 2 prikazujejo prepustnost za vodo pri nestaranih vzorcih, beli stolpci pa predstavljajo prepustnost starih vzorcev. Opazimo lahko, da se s staranjem poveča prepustnost prav vseh preskušanih sistemov. V povprečju se najbolj poveča prepustnost sistemov, ki so premazani z lak emajlom, in sicer za 78 %. Najbolj se poveča prepustnost sistema (rdeči bor - lak emajl) (BP), za 110 %. Sistemom, ki so premazani z debeloslojno lazuro, se prepustnost za vodo poveča v povprečju za 69 %. Največjo spremembo pa je pokazal sistem (smreka - debeloslojna lazura) (SL), za 139 %. Kontrolnim vzorcem se prepustnost za vodo v povprečju poveča za 36 %. Najmanj se poveča prepustnost za vodo termično modificiranem boru, in sicer samo za 12 %. Pred staranjem so vsi sistemi, ki so bili premazani, ustrezali pogoju oziroma priporočilu standarda ENV 927-2 (2001) za stabilne sisteme, saj je bila absorpcija vode povsod pod maksimalno dovoljeno mejo za ta razred 175 g/m<sup>2</sup>. Po staranju pa smo ugotovili, da so vzorci, ki so bili premazani z lak emajlom (MBP, BP, SP), presegle mejo 175 g/m<sup>2</sup>, razen sistema (hrast - lak emajl) (HP), ki je pod mejo 175 g/m<sup>2</sup> (Slika 2). Tudi EKSTEDT (2003) je ugotovil, da se s staranjem prepustnost premazov za vodo večja. Velikost prepustnosti pa je odvisna od vrste uporabljenega veziva, velikosti delcev, tipa pigmenta itd. Naši rezultati pa so v nasprotju z navedbami VAN DER WELa in ADANA (1999), da so lazure bolj prepustne za vodo kot lak emalji. Vendar, če upoštevamo debelino filma uporabljene debeloslojne lazure (preglednici 3 in 5), lahko vidimo, da je debelina debeloslojne lazure med 131 µm in 193 µm, kar je skoraj dvakrat več od debeline filma pri lak emajlu, ki znaša med 93 µm in 106 µm. Iz literature je znano, da se s povečanjem debeline filma prepustnost filma manjša (DE MEIJER / MILITZ 2001). Menimo, da smo nižjo prepustnost lak emajla za vodo v primerjavi s prepustnostjo debeloslojne lazure izmerili prav zaradi večje debeline filma debeloslojne lazure.



Slika 2: Absorpcija vode

Figure 2: Water absorption

### 3.3 BARVA COLOUR

Največje spremembe barve zaradi umetnega pospešenega staranja smo ugotovili pri nepremazanih podlagah (B,  $\Delta E$  25,9; H,  $\Delta E$  13,0; S,  $\Delta E$  30,9) (Preglednica 3). Termično modificiran bor (MB) je glede na preostale nepremazane vzorce barveno stabilen, saj se mu barva ( $\Delta E$ ) spremeni samo za 7,9. Tudi AYADI je s sodelavci (2003) ugotovil, da je termično modificiran les bolj barveno stabilen kot nemodificiran.

Spremembe barve  $\Delta E$  so bile pri premazanih sistemih veliko manjše in med seboj podobne. Bolj zanimive podatke dobimo, če analiziramo spremembe barve po posameznih komponentah – L,  $a^*$  in  $b^*$ . Iz preglednice 4 vidimo, da so vsi vzorci nepremazanega lesa, kakor tudi površinsko obdelani vzorci, po umetnem pospešenem staranju potemneli ( $\Delta L^* > 0$ ). Barve površine, ki so bile premazane z lak emajlom (BP, HP, MBP in SP), so zaradi staranja pridobile na rdeči komponenti ( $\Delta a^* < 0$ ), prav tako so tudi bolj porumenele ( $\Delta b^* < 0$ ). Vzorci, ki so bili premazani z debeloslojno lazuro (BL, HL in SL), so potemneli, razen MBL sistema. Na rdeče-zeleni osi se barva ni veliko spremenila, medtem ko so na rumeno-modri osi pomodreli ( $\Delta b^* > 0$ ) (Preglednica 4).

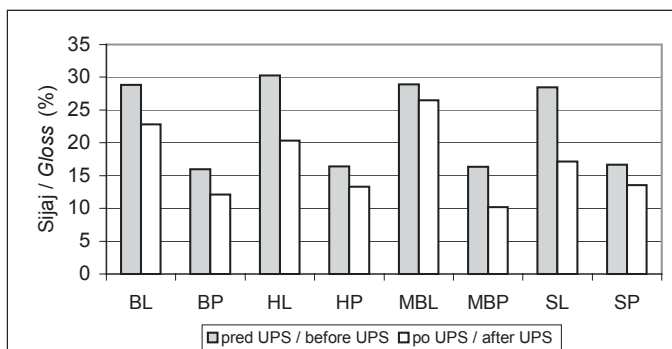
Preglednica 4: Sprememba barve zaradi izpostavitve UPS

Table 4: Colour changes as a consequence of artificial accelerated weathering

Sistem / System	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E$
BL	5,3	3,9	7,4	9,9
HL	3,5	0,9	5,5	6,6
MBL	-1,9	0,0	-2,8	3,3
SL	2,9	1,9	5,7	6,7
BP	4,1	-1,4	-9,2	10,1
HP	2,9	-0,4	-7,2	7,7
MBP	2,5	-0,4	-5,7	6,2
SP	3,0	-0,5	-7,9	8,5
B	25,5	-2,7	-3,9	25,9
H	12,3	2,5	3,2	13,0
MB	4,6	2,0	6,1	7,9
S	29,3	-5,4	-8,0	30,9

### 3.4 SIJAJ GLOSS

Lazura (L) je imela najvišji sijaj tako pred izpostavitvijo umetnemu pospešenemu staranju kakor po njej. Rezultati tudi kažejo na to, da je padec sijaja zaradi staranja približno enak pri obeh vrstah premaza. V povprečju je znašal okrog 5 % (pri debeloslojni lazuri je padel sijaj za 6 %, pri lak emajlu za 4 %). Ugotovili smo tudi, da na spremembo sijaja vrsta podlage ni vplivala (Slika 3). To lahko razložimo s tem, da je izključni vzrok za padec sijaja v strukturnih in kemijskih spremembah premazov oz. veziv (BRAUN / COBRANCHI 1995).



Slika 3: Sijaj pred postopkom UPS in po njem

Figure 3: Change of gloss because of artificial accelerated weathering

### 3.5 OMOČLJIVOST PREMAZANEGA LESA (KONTAKTNI KOT ZA VODO) WETTABILITY OF COATED WOOD (CONTACT ANGLE FOR WATER)

Začetne vrednosti izmerjenih kontaktnih kotov za vodo pri času ene sekunde po nanosu kapljice so prikazane v preglednici 5. Večji kontaktni kot kaže na hidrofobnost površin, medtem ko so nižji kontaktni koti značilni za hidrofilno stanje površine premaza. Pri vseh sistemih, ki so bili umetno pospešeno starani, se je začetna vrednost kontaktnega kota povečala, razen pri umetno pospešeno staranem sistemu BL (rdeči bor - debeloslojna lazura) se je kot omakanja rahlo znižal. Ugotovili smo tudi, da ima destilirana voda na debeloslojni lazuri na različnih podlagah povprečno večje kontaktne kote kot na lak emajlu. Vpliv substrata na kontaktni kot za vodo na premazanem lesu je malenkosten oziroma nepomemben. To lahko sklepamo iz zelo kratkega časa od nanosa kapljice do meritve kontaktnega kota (1 sekunda), tako da je bil vpliv penetracije oz. sorpcije vode prek premaza v les zanemarljiv. Če upoštevamo, da je difuzijski koeficient  $D$  pri premazih na osnovi organskih topil med  $0,15 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$  in  $1,5 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ , znaša izračunana hitrost penetracije

vode v premaz 10  $\mu\text{m}/\text{min}$  (HORA 1994). Pri naši raziskavi je bil maksimalni čas opazovanja kontaktnega kota kapljice vode oz. možnosti za penetracijo le eno sekundo, kar po zgornjem izračunu pomeni, da bi voda penetrirala približno 0,16  $\mu\text{m}$  globoko v premaz. Mikroskopska determinacija debeline filmov je pokazala, da le-te znašajo od 93  $\mu\text{m}$  do 193  $\mu\text{m}$ . Iz tega lahko sklepamo, da vrsta substrata direktno nikakor ne more vplivati na omočljivost površinskega premaza.

Preglednica 5: Omočljivost različnih sistemov

Table 5: Wettability of the tested systems

Sistem / System	Debelina filma ( $\mu\text{m}$ ) Coatings thickness ( $\mu\text{m}$ )	Kontaktni kot ( $^{\circ}$ ) Contact angle ( $^{\circ}$ )	
		pred UPS before artificial weathering	po UPS after artificial weathering
BL	143	97,3	92,7
BP	101	69,4	78,5
HL	193	87,2	98,2
HP	106	71,4	97,4
MBL	131	89,1	93,7
MBP	93	73,0	86,4
SL	149	79,7	90,7
SP	100	77,2	90,7

### 3.6 OPRIJEMNOST PREMAZOV ADHESION OF COATINGS

Iz preglednice 6 lahko razberemo oprijemnost premazov pred procesom staranja in po njem, prav tako pa tudi prevladujoč tip loma sistema: adhezijski (A) ali kohezijski (K). Na podlagah, ki so bile premazane z lak emajlom, je prišlo do kohezijskega loma tako pred staranjem kot po njem. Iz tega lahko sklepamo, da ima lak emajl tudi po staranju še vedno večjo adhezijo, kot je kohezijska trdnost podlage. Če pogledamo oprijemnost debeloslojne lazure, pa ugotovimo, da s procesom staranja adhezijsko trdnost spoja substrat – premaz zmanjšamo, saj se deleži adhezijskega tipa loma povečujejo. Za sistem BL (rdeči bor - debeloslojna lazura) je bil pred umetnim pospešenim staranjem značilen samo kohezijski lom, medtem ko po umetnem pospešenem staranju prevladuje adhezijski lom. To je posledica delovanja temperature, vlage in UV sevanja med procesom UPS na celoten sistem: substrat –premaz.

Premaza na MB podlagi (modificiran rdeči bor) po postopku umetno pospešenega staranja ne izgubita oprijemnosti, saj je bila vrednost oprijemnosti pred staranjem za MBP 4,5 MPa in za MBL 3,9 MPa, po UPS pa za MBP 4,2 MPa ter za MBL 2,7 MPa. Vzrok za padec oprijemnosti na drugih podlagah (B, H in S) lahko pripišemo krčenju in na-

brekanju oziroma posledično nastanku napetosti v lesu, v premazu ter na meji med premazom in lesom med postopkom UPS. Ta rezultat kaže, da je termično modificiran les bolj odporen proti UPS kot nemodificirane podlage. Prav tako so NUOPPONEN *et al.* (2004) ugotovili, da je termično modificiran les bolj odporen proti naravnemu staranju.

Na splošno pa lahko ugotovimo, da je velikost oprijemnosti tudi po UPS še vedno nad 2 MPa. Iz tega sklepamo, da imata premaza na vseh preskušanih podlagah po staranju še vedno dovolj veliko oprijemnost, ki je primerna za uporabo v realnih pogojih izpostavitve. Najnižjo vrednost smo izmerili pri sistemu MBL (modificiran rdeči bor - debeloslojna lazura) – 2,7 MPa, vendar le pri kohezijskem lomu. To pomeni, da je oprijemnost premaza večja od izmerjene vrednosti (Preglednica 6).

Preglednica 6: Oprijemnost in vrsta loma

Table 6: Adhesion and type of fracture

Sistem System	Debelina filma ( $\mu\text{m}$ ) Coatings thickness ( $\mu\text{m}$ )	pred UPS before artificial weathering		po UPS after artificial weathering	
		Adhezija (MPa) Adhesion (MPa)	Vrsta loma Failure type	Adhezija (MPa) Adhesion (MPa)	Vrsta loma Failure type
BP	106	7,7	K	7,6	K
HP	93	7,1	K	10,1	K
MBP	100	4,5	K	4,2	K
SP	101	6,7	A	6,0	K
BL	193	7,0	K	4,7	A
HL	131	9,9	A	4,4	A
MBL	149	3,9	K	2,7	K
SL	143	7,3	A	3,5	A

## 4 SKLEPI CONCLUSIONS

S študijo smo ugotovili, da umetno pospešeno staranje pomembno vpliva na nekatere lastnosti sistemov les-premaz ali modificiran les - premaz.

Dinamična permeabilnost za vodno paro se je pri vseh sistemih zaradi izpostavitve umetnemu pospešenemu staranju povečala. Največjo spremembo smo zaznali pri sistemih, ki so bili premazani z debeloslojno lazuro. Nepremazanim (kontrolnim) vzorcem sta se zelo povečali tako absorpcija kakor tudi desorpcija vodne pare, kar je privedlo do nastanka razpok na kontrolnih vzorcih. Kontrolni vzorci iz termično modificiranega lesa rdečega bora pa niso razpokali, pa čeprav so tudi izkazovali veliko dinamično permeabilnost.



Najbolj prepustni za tekočo vodo so nepremazani (kontrolni) vzorci. Pred staranjem so vsi sistemi, ki so bili premazani, ustrezali klasifikaciji po standardu SIST ENV 927-2 (2001) za stabilne sisteme. Po umetnem pospešenem staranju so zahtevam za stabilne sisteme ustrezali samo še vzorci, ki so bili premazani z debeloslojno lazuro.

Adhezija debeloslojne lazure se je na vseh podlagah zaradi procesa umetnega pospešenega staranja zmanjšala. Substrati, ki so bili premazani z lak emajlom, so izkazovali kohezijski lom tako pred staranjem kakor tudi po njem. To pomeni, da je lak emajl tudi po staranju še vedno obdržal zelo dobro oprijemnost (adhezijske sile so bile ves čas večje od kohezijske trdnosti podlage). V vseh primerih pa je bila oprijemnost premazov po staranju še vedno primerna za uporabo v realnih pogojih. Kontaktni kot za vodo se je na površini debeloslojne lazure in lak emajla po umetnem pospešenem staranju vzorcev povečal. Menimo, da so se zaradi staranja površine premazov strukturno in kemijsko spremenile in posledično postale bolj hidrofobne.

Sijaj premazov na vseh vzorcih se je po umetnem pospešenem staranju zmanjšal.

Barva sistemov se je po umetnem pospešenem staranju spremenila. Najbolj se je spremenila barva lesa, torej kontrolnih vzorcev. Vzorci, ki so bili premazani z belim lak emajlom, so porumeneli, medtem ko so vzorci, premazani z debeloslojno lazuro, v koordinatnem barvnem sistemu pridobili na modri komponenti.

Ugotovili smo tudi, da lahko les rdečega bora in smreke uspešno nadomestimo s termično modificiranim borom oz. da sta preskušena premaza popolnoma kompatibilna z modificiranim substratom. Sistema MBL (termično modificiran rdeči bor - debeloslojna lazura) in MBP (termično modificiran rdeči bor - lak emajl) sta se v vseh proučevanih lastnostih obnesla boljše kot sistemi SL (smreka - debeloslojna lazura), SP (smreka - lak emajl), BL (rdeči bor - debeloslojna lazura) in BP (rdeči bor - lak emajl). Izjema je le oprijemnost, ki je zaradi prevladujočega kohezijskega tipa loma na modificiranem lesu nismo mogli primerjati z oprijemnostjo na nemo modificiranih podlagah. Oprijemnost premaza je gotovo večja kot razslojna trdnost modificiranega lesa (2,7 MPa). To pomeni, da je primerna za uporabo v realnih pogojih.

Na splošno sta se v naši raziskavi kot najboljša sistema izkazala HP (hrast - lak emajl) in HL (hrast - debeloslojna lazura). Po proučevanih lastnostih pa sta bila zelo dobra tudi sistema MBL (termično modificiran rdeči bor - debeloslojna lazura) in MBP (termično modificiran rdeči bor - lak emajl).

## 5 SUMMARY

Preliminary investigations of the systems (modified wood – surface coating) have shown that they are more resistant to natural aging than the systems (non-modified wood – surface coating). The reason probably lies in improved characteristics of modified wood. We assumed that the key factor is the reduced shrinkage and swelling. There is also a question if the existing commercial exterior finishes (stains, lacquers) could be successfully applied to new, modified wood substrates, or they should be adapted for this purpose.

Therefore, the aim of our work was to investigate some properties of exterior finishes on thermally modified pine wood (*Pinus sylvestris* L.) and on some other wooden substrates (non-modified pine (*Pinus sylvestris* L.), spruce (*Picea abies* L.) and oak (*Quercus robur* L.). Two industrial exterior coatings were applied onto these substrates: a brown semi-transparent high build stain and a white pigmented opaque paint. Artificial accelerated weathering was applied to the samples and the influence of this procedure on adhesion, colour, gloss, wettability and water-vapour and liquid vapour permeability was studied.

The best performance was exhibited by the systems HP (oak – white paint) and HL (oak – high build stain). It was also proved that the thermally modified pine wood may successfully replace non-modified pine and spruce wood. Both coatings were compatible with the modified wood. The systems MBL (thermally modified pine – high build stain) and MBP (thermally modified pine – white paint) were by all means better than the systems SL (spruce – high build stain), SP (spruce – white paint), BL (pine – high build stain) and BP (pine – white paint). The only exception was adhesion, shown to be somewhat lower on modified wood, but still suitable for use.

## 6 VIRI REFERENCES

- AHLSTRAND, O., 1999. Color tolerances and handling of samples (Ikea specification, AA-32775-1, IOS-MAT-0043, 1999-05-07).
- ARNOLD, M., 1999. Moisture content of wood painted with low VOC coatings during outdoor exposure test. In: Turkulin H (ed.) Surface properties and durability of exterior wood building components: international conference. Faculty of Forestry, Zagreb, 19 s.
- AYADI, N. / LEJUNE, F. / CHARRIER, F. / CHARRIER, B. / MERLIN, A., 2003. Colour stability of heat-treated wood during artificial weathering.- Holz als Roh- und Werkstoff, 61 (3): 221-226.

- BOGNER, A., 1990. Modification of wood surface for the purpose of a better gluing.- *Drvena industrija*, 41, 5-6: 85-9.
- BRAUN, J., H. / COBRANCHI, D., P. 1995. Durability and gloss.- *Journal of Coatings Technology*, 67, 851: 55-62.
- COLOM, X. / CARRILLO, F. / NOUGES, F. / GARRIGA, P., 2003. Structural analysis of photo degraded wood by means of FTIR spectroscopy.- *Polymer Degradation and Stability*, 80, 3: 543-549.
- DE MEIJER, M. / MILITZ, H. 2001. Moisture transport in coated wood. Part 2: Influence of coating type, film thickness, wood species, temperature and moisture gradient on kinetics of sorption and dimensional change.- *Holz als Roh- und Werkstoff*, 58: 467-475.
- DESPOT, R. / TRAJKOVIC, J. / SINKOVIC, T., 1999. The influence of type and colour of coat on the durability of exterior fir wood joinery. In: Turkulin H (ed.) *Surface properties and durability of exterior wood building components: international conference*. Faculty of Forestry, Zagreb, 10 s.
- EKSTEDT, J., 2001. Liquid Water Permeability of Exterior Wood Coatings-Testing According to a Proposed European Standard Method.- *Journal of Coatings Technology*, 73, 914: 53-59.
- EKSTEDT, J., 2003. Influence of Coating System Composition on Moisture Dynamic Performance of Coated Wood.- *Journal of Coatings Technology*, 75, 938: 27-37.
- FEIST, W., C. / ROWELL, R., M. / ELLIS, W., D., 1991. Moisture sorption and accelerated weathering of acetylated and metacrylated aspen. *Wood and Fiber Science*, 23, 1: 128-136.
- FEIST, W., C., 1997. The challenges of Selecting Finishes for Exterior Wood.- *Forest Product Journal*, 47, 5: 16-20.
- GINDL, M. / SINN, G. / REITERER, A. / TSCHEGG, S., 2001. Wood surface energy and time dependence of wettability: a comparison of different wood surfaces using acid-base approach.- *Holzforschung*, 55: 433-440.
- GORIŠEK, Ž. / GERŠAK, M. / VELUŠČEK, V. / ČOP, T. / MRAK, C., 1994. *Sušenje lesa*. 1. izdaja. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva Slovenije, Lesarska založba, 235 s.
- HORA, G., 1994. The Dynamic Contact Angle – A Characteristic to Predict the Lifetime Of a Wood Topcoat.- *Journal of Coatings Technology*, 66, 832: 55-59.
- KRIČEJ, B., 1974. Umetno pospešeno staranje lazurnih in impregnacijskih premazov.- *Les*, 28, 9-10: 179-184.
- MILITZ, H. / BECKERS, E., P., J. / HOMAN, W., J., 1997. Modification of solid wood: research and practical potential. The International Research Group on Wood Preservation, Document No.: IRG/WP 97-40098.
- NGUYEN, T., G. / JOHNS, E., 1978. Polar and dispersion force contributions to the total surface free energy of wood.- *Wood Science and Technology*, 12: 63-74.
- NUOPPONEN, M. / WIKBERG, H. / VUORINEN, T. / MAUNU, S., L. / JAMSA, S. / VIITANIEMI, P., 2004. Heat-treated softwood exposed to weathering. *Journal of applied polymer science*, 91(4): 2128-2134.
- PLACKETT, D., V. / DUNNINGHAM, E., A., / SINGH, A., P., 1992. Weathering of chemically modified wood. Accelerated weathering of acetylated radiata pine. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 50: 135-140.
- PEČENKO, G., 1987. Lazurni premazi za les.- *Les*, 39, 11 - 12: 335-337.
- RAPP, A., O. / PEEK, R., D., 1999. Melaminharzimpregniertes sowie mit Wetterschutzlasur oberflächenbehandeltes und unbehandeltes Vollholz während zweijähriger Freilandbewitterung.- *Holz als Roh- und Werkstoff*, 57: 331-339.
- SAILER, M. / RAPP, A., O. 2000. Upgrading of wood by application of an oil-heat treatment.- *Holz als Roh- und Werkstoff*, 58 (1-2): 15-22.
- Kontaktwinkelmessmethoden bei der Benetzung von Holz.- *Holz als Roh und Werkstoff*, 54: 113-117.
- VAN DER WEL, G., K. / ADAN, O., C., G. 1999. Moisture in organic coatings – a review.- *Progress in Organic*

Coatings, 37: 1-14.

ASTM D 2244-93 Standard Test Method for Calculation of Color Differences From Instrumentally Measured Color Coordinates. 1993: 4 s.

Slovenski standard SIST EN 24624. Paints and varnishes – Pull-off test (ISO 4624: 1978). 1997, 11 s.

Slovenski predstandard SIST ENV 927-2. Paints and varnishes – Coating materials and coating systems for exterior wood – Part 2: Performance specification. 2001, 12 s.

Slovenski standard SIST EN 927-4. Paints and varnishes – Coating materials and coating systems for exterior wood – Part 4: Assessment of the water-vapour permeability. 2000, 9 s.

Slovenski standard EN 927-5. Paints and varnishes – Coating materials and coating systems for exterior wood – Part 5: Assessment of the liquid water permeability. 2000, 6 s.

Slovenski standard SIST EN ISO 2813. Paints and varnishes – Determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20°, 60° and 85° (ISO 2813:1994, including Technical Corrigendum 1: 1997). 1998, 16 s.