

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matej HOČEVAR

**PRIMERJAVA LASTNOSTI SODOBNIH LESNIH  
PREMAZOV ZA ZUNANJO UPORABO**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2007

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matej HOČEVAR

**PRIMERJAVA LASTNOSTI SODOBNIH LESNIH PREMAZOV ZA  
ZUNANJO UPORABO**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

**COMPARISON OF CHARACTERISTICS OF CONTEMPORARY  
WOOD COATINGS FOR EXTERIOR USE**

GRADUATION THESIS  
Higher professional studies

Ljubljana, 2007

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za pohištvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Marka Petriča, za recenzentko pa prof. dr. Vesno Tišler.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Matej Hočevar

“If I were asked for an area of science and engineering that will most likely produce the breakthroughs of tomorrow, I would point to nanoscale science and engineering.”

“Če bi me vprašali, katero področje znanosti in tehnike bo najverjetneje povzročilo razvojne preboje v prihodnosti, bi pokazal na znanost in tehniko na nano nivoju.

-Dr. Neal Lane, nekdanji direktor urada za znanost in tehnologijo ZDA-

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Vs
- DK UDK 630\*829.19
- KG les/površinska obdelava/nanotehnologija/nanopremazi/avtomobilski lak
- AV HOČEVAR, Matej
- SA PETRIČ, Marko (mentor)/TIŠLER, Vesna (recenzent)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- LI 2007
- IN PRIMERJAVA LASTNOSTI SODOBNIH LESNIH PREMAZOV  
ZA ZUNANJO UPORABO
- TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
- OP X, 50 str., 7 pregl., 44 sl., 4 pril., 25 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Preučevali smo možnosti uporabe avtomobilskega laka na bukovi in tako imenovanega nanopremaza ter komercialnega premaza na robinijeve podlagi. Vzorce smo izpostavili umetnemu pospešenemu staranju in izmerili debeline filmov, določili permeabilnost, barvo in sijaj. Ugotovili smo, da avtomobilski lak, kljub svoji optimiranosti za uporabo na vozilih, ni primeren za zunanjo zaščito lesa, saj je preveč nepermeabilen. V procesu staranja je površina razpokala; lak se je dobro odrezal le pri zaščiti podlage pred fotodegradacijo in diskoloracijo. Tudi nanopremaz se ni obnesel, saj ni zaščitil podlage pred fotodegradacijo; sijaj se mu je med umetnim pospešenim staranjem občutno spremenil, prav tako je bil podvržen izpiranju s podlage. Komercialni premaz se je izkazal najboljše; permeabilnost je bila zadovoljiva, kar se je kasneje pokazalo tudi pri umetnem pospešenem staranju. Spremembe barve in sijaja bi lahko ocenili kot majhne, saj razen rahle potemnitve in izgube sijaja, površina ni bistveno spremenila svojega izgleda. Menimo, da bi bilo z nadaljnjimi raziskavami smiselno proučiti in primerjati več sodobnih premazov med seboj, še posebno če bi jih dodatno modificirali.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs  
DC UDC 630\*829.19  
CX wood/surface finishing/nanotechnology/nanocoating/automobile coating  
AU HOČEVAR, Matej  
AA PETRIČ, Marko (supervisor)/TIŠLER, Vesna (reviewer)  
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology  
PY 2007  
TI COMPARISON OF CHARACTERISTICS OF CONTEMPORARY WOOD COATINGS FOR EXTERIOR USE  
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)  
NO X, 50 p., 7 tab., 44 fig., 4 app., 25 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB Possible applications of the automobile coating on beech wood substrate, and the so called nano-coating and the commercially obtainable wood finish on robinia substrate, were studied. The samples were exposed to artificially accelerated ageing. Coating layers thickness was measured and permeability, colour and gloss determined. It was found out that the automobile coating, in spite of its optimal properties for the use on vehicles, is not appropriate for protection of wood exposed outdoors. During the process of aging, the surface of the automobile coating cracked, because it was not permeable enough. This finish proved its applicability only for the protection of a substrate against photodegradation and discolourations. The nano-coating also did not perform well; it did not protect the substrate against photodegradation, and furthermore, its gloss changed during artificial ageing; it also was subjected to leaching. On the contrary, the commercially available and established finish exhibited much better properties. Its permeability was satisfying, what was proved later during the accelerated aging. Changes of colour and gloss were estimated as insignificant – beside only slight darkening and loss of gloss, the appearance of the surface did not change essentially. We believe that it would be well to investigate and compare a wider spectrum of contemporary coatings, especially when additionally modified.

## KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	IV
KEY WORDS DOCUMENTATION	V
KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO SLIK	VIII
<b>1 UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2 PREGLED OBJAV</b> .....	<b>2</b>
2.1 KAJ JE NANOTEHNOLOGIJA .....	2
2.2 PREDNOSTI IN PRIHODNOST NANOTEHNOLOGIJE .....	3
2.3 PRIMERI DELOVANJA NANO PREMАЗOV IN RAZLAGA NJIHOVE UČINKOVITOSTI .....	4
2.3.1 Lotosov efekt .....	4
2.3.2 Kvantna mehanika .....	4
2.3.3 Van der Waalsova sila .....	6
2.3.4 Adhezija .....	6
2.3.5 Kohezija .....	7
2.3.6 Površinska napetost in kontaktni kot .....	7
2.4 DEFINICIJA LESA .....	8
2.4.1 Bukev ( <i>Fagus sylvatica</i> L.) .....	8
2.4.2 Robinija ( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.) .....	8
2.5 DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA SPREMEMBE LESA .....	9
2.5.1 Svetloba .....	9
2.5.2 Barva .....	9
2.5.2.1 CIE- barvni prostor .....	10
2.5.2.2 CIE L* a* b* sistem .....	11
2.5.2.3 Barvne razlike po CIE L*a*b* sistemu .....	12
2.5.3 Sijaj .....	14
<b>3 MATERIALI IN METODE</b> .....	<b>16</b>
3.1 MATERIALI .....	16
3.1.1 Površinski sistemi .....	16
3.1.2 Obdelava elementov s premaznim sistemom .....	17
3.1.2.1 Lak .....	17
3.1.2.2 Nano premaz .....	18
3.1.2.3 Timber .....	19
3.2 METODE .....	20

<b>3.2.1</b>	<b>Določanje debeline suhega filma .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Postopek umetnega pospešenega staranja.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Merjenje sijaja .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Merjenje barve.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Določanje permeabilnosti premazov po standardu SIST EN 927-5 .....</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>REZULTATI.....</b>	<b>25</b>
4.1	DEBELINE PREMAZNIH SISTEMOV .....	25
4.2	ABSORPCIJA VODE/VLAGE V NEPREMAZANE IN PREMAZANE VZORCE .....	25
4.3	VPLIVI UMETNEGA POSPEŠENEGA STARANJA .....	26
<b>4.3.1</b>	<b>Pojav poškodb in vidne spremembe zaradi izpostavitve postopku UPS.....</b>	<b>26</b>
4.3.1.1	Kontrolni vzorec BUKOVINE .....	26
4.3.1.2	Premaz »LAK« .....	27
4.3.1.3	Kontrolni vzorec ROBINIJE .....	28
4.3.1.4	Premaz »NANO« .....	29
4.3.1.5	Premaz »TIMBER« .....	30
<b>4.3.2</b>	<b>Numerična ocena barvnih sprememb zaradi staranja.....</b>	<b>30</b>
4.3.2.1	Spremembe barve kontrolnega vzorca BUKOVINE.....	30
4.3.2.2	Spremembe barve bukovih vzorcev, obdelanih s premazom LAK .....	32
4.3.2.3	Numerična barvna ocena kontrolnega vzorca ROBINIJE.....	34
4.3.2.4	Spremembe barve robinijevih vzorcev, obdelanih s premazom NANO .....	35
4.3.2.5	Spremembe barve preizkušancev s premazom TIMBER.....	37
<b>4.3.3</b>	<b>Spremembe sijaja zaradi izpostavitve UPS.....</b>	<b>38</b>
4.3.3.1	Sijaj kontrolnega vzorca BUKOVINE .....	38
4.3.3.2	Sijaj sistema s premazom LAK .....	39
4.3.3.3	Sijaj nepremazanega lesa ROBINIJE .....	40
4.3.3.4	Sijaj sistema s premazom NANO .....	41
4.3.3.5	Sijaj sistema s premazom TIMBER .....	42
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI.....</b>	<b>44</b>
5.1	RAZPRAVA.....	44
5.2	NARAVNO STARANJE .....	46
5.3	SKLEPI.....	46
<b>6</b>	<b>POVZETEK.....</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>VIRI .....</b>	<b>49</b>
	<b>ZAHVALA</b>	
	<b>PRILOGE</b>	



## KAZALO SLIK

Slika 1.:	Prikaz delovanja nano premazov (Huskić, 2007).....	4
Slika 2.:	CIE L*a b*, C* in h sistem (Golob in Golob, 2001).....	11
Slika 3.:	Barvni prostor po CIE L* a* b* sistemu vrednotenja barv (Jeler, 2001)....	12
Slika 4.:	Robovi zaščitenih preizkušancev.....	17
Slika 5.:	Prikaz vzorca, obdelanega z avtomobilskim premazom »LAK« .....	17
Slika 6.:	Prikaz vzorca, obdelanega s premazom »NANO« .....	18
Slika 7.:	Prikaz vzorca, obdelanega s premazom »TIMBER«.....	19
Slika 8.:	Komora umetnega pospešenega staranja.....	21
Slika 9.:	Naprava za merjenje sijaja.....	21
Slika 10.:	Prikaz mest, na katerih smo merili sijaj.....	22
Slika 11.:	Naprava za merjenje barve .....	22
Slika 12.:	Prikaz mest, na katerih smo merili barvo .....	23
Slika 13.:	Absorpcija vode/vlage v nepremazane in premazane vzorce .....	26
Slika 14.:	Posledica izpiranja pigmentnih delcev iz premaza NANO .....	26
Slika 15.:	Primerjava izgleda kontrolnih vzorcev BUKOVINE, pred postopkom UPS in po njem .....	27
Slika 16.:	Primerjava vzorcev LAK, pred postopkom UPS in po njem .....	28
Slika 17.:	Primerjava kontrolnih vzorcev ROBINIJE, pred postopkom UPS in po njem .....	29
Slika 18.:	Primerjava vzorcev NANO, pred postopkom UPS in po njem.....	29
Slika 19.:	Primerjava vzorcev TIMBER, pred postopkom UPS in po njem.....	30
Slika 20.:	Kontrolni vzorci BUKOVINE: vrednosti L*, a*, b* in odstotki sprememb teh vrednosti po izpostavitvi v temi.....	31
Slika 21.:	Spremembe koordinat L*, a*, b* kontrolnih vzorcev BUKOVINE .....	31
Slika 22.:	Velikost spremembe barve $\Delta E^*$ , za kontrolne vzorce BUKOVINE.....	32
Slika 23.:	Sprememba barve v temi, v času trajanja UPS, za površinski sistem LAK	32
Slika 24.:	Spremembe vrednosti koordinat L*, a*, b* premaznega sistema LAK .....	33
Slika 25.:	Velikost spremembe barve $\Delta E^*$ , za premazni sistem LAK na bukovi podlagi .....	33
Slika 26.:	Kontrolni vzorci ROBINIJE: vrednosti L*, a* in b* in odstotki sprememb teh vrednosti po izpostavitvi v temi.....	34
Slika 27.:	Spremembe koordinat L*, a*, b* kontrolnih vzorcev ROBINIJE .....	34
Slika 28.:	Velikost spremembe barve $\Delta E^*$ , za kontrolne vzorce ROBINIJE .....	35
Slika 29.:	Sprememba barve v temi, v času trajanja UPS, za površinski sistem NANO .....	35
Slika 30.:	Spremembe vrednosti koordinat L*, a*, b* premaznega sistema NANO...	36

Slika 31.:	Velikost spremembe barve $\Delta E^*$ , za premazni sistem NANO na robinijevi podlagi.....	36
Slika 32.:	Sprememba barve v temi, v času trajanja UPS, za površinski sistem TIMBER.....	37
Slika 33.:	Spremembe vrednosti koordinat $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ premaznega sistema TIMBER	37
Slika 34.:	Velikost spremembe barve $\Delta E^*$ , za premazni sistem TIMBER na robinijevi osnovi .....	38
Slika 35.:	Kontrolni vzorci BUKOVINE: vrednosti spremembe sijaja po izpostavitvi v temi .....	38
Slika 36.:	Velikost spremembe sijaja za kontrolne vzorce BUKOVINE .....	39
Slika 37.:	Vrednost spremembe sijaja v temi, za premazni sistem LAK na bukovi podlagi .....	39
Slika 38.:	Velikost spremembe sijaja, za premazni sistem LAK na bukovi podlagi ...	40
Slika 39.:	Kontrolni vzorci ROBINIJE: vrednost spremembe sijaja po izpostavitvi v temi .....	40
Slika 40.:	Velikost spremembe sijaja za kontrolne vzorce ROBINIJE .....	41
Slika 41.:	Vrednost spremembe sijaja v temi, za premazni sistem NANO na robinijevi podlagi.....	41
Slika 42.:	Velikost spremembe sijaja, za premazni sistem NANO na robinijevi podlagi.....	42
Slika 43.:	Vrednost spremembe sijaja v temi, za premazni sistem TIMBER na robinijevi podlagi.....	42
Slika 44.:	Velikost spremembe sijaja, za premazni sistem TIMBER na robinijevi podlagi.....	43

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1.: Ocena barvnih razlik (Sandermann in Schlumbom, 1962).....	14
Preglednica 2.: Delitev premazov za les, glede na sijaj (JUS D.E8.224, cit. po Tušar, 1995).....	15
Preglednica 3.: Seznam raziskanih vzorcev .....	20
Preglednica 4.: Faze enega cikla UPS (Kričej, 1974).....	21
Preglednica 5.: Število ciklov UPS, pri katerih smo preverjali sijaj in barvo .....	23
Preglednica 6.: Postopek prekondicioniranja .....	24
Preglednica 7.: Debeline suhega premaznega filma posameznih premaznih sistemov.....	25

## 1 UVOD

Ne glede na velik tehnološki napredek in razvoj množice novih in sodobnih materialov v zadnjih 100 letih, ljudje še vedno v veliki meri uporabljajo tudi les. Vedno hitrejši tempo življenja les kot uporaben material od nas oddaljuje, saj zaščita pred zunanjimi vplivi zahteva njegovo redno vzdrževanje. Čas pa je danes vrednota, ki je ni na pretek. Les je po svoji strukturi heterogen in higroskopen material, za njegovo zaščito pa to niso dobre lastnosti. Kljub vsemu pa nam les in njegova bližina dajeta občutek domačnosti, topline in povezanosti z naravo. Vedno bolj se zavedamo, da je pomembna kvaliteta bivanja in ne njegova kvantiteta.

Če želimo biti obdani z lesom, moramo zanj tudi primerno poskrbeti. Les je navkljub vsem svojim dobrim lastnostim še vedno živ, naraven material, ki zahteva posebno nego. Ker les "diha" tudi po vgradnji v končni produkt, moramo ta pojav omiliti. Zaščititi les, ki ga bomo uporabljali v interieru ni težko, saj ne bo v stiku z atmosferilijami. Tak les je potrebno zaščititi zgolj pred mehanskimi poškodbami in delno pred UV sevanjem.

Les, ki ga bomo uporabljali na prostem, oziramo na mestih, kjer bo izpostavljen različnim vremenskim nevšečnostim, moramo zaščititi pred propadanjem. Prva in najučinkovitejša zaščita je konstrukcijska zaščita lesenih elementov, seveda kjer je to mogoče. Na mestih, kjer pa to ni mogoče, ga moramo zaščititi s premazi. Slednjih je na trgu več vrst in se delijo na več skupin. Do sedaj so se nekateri izkazali za zadovoljive, vendar še vedno nobeden ne zadovolji vseh zahtevanih parametrov.

V tej diplomski nalogi bomo izvedli primerjalno analizo treh različnih premazov za les, katerega uporabljamo na prostem, na dveh podlagah. Vpliv vremena na površinske sisteme bomo simulirali s postopkom umetnega pospešenega staranja (UPS). Primerjali bomo spremembo barve in sijaja površinskega sistema. Določili bomo tudi permeabilnost teh sistemov. Preizkušani vzorci bodo izdelani v slovenskem lesnem podjetju, po enakem postopku kot elementi za trg.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 KAJ JE NANOTEHNOLOGIJA

Nanotehnologija je izraz, ki zajema vse materiale in naprave, s katerimi operiramo na merski lestvici velikosti nanometra. Na metrski lestvici pomeni »nano« enako eni milijardinki metra. V nanotehnologiji obravnavamo delce velikosti od 1 nm - 100 nm. Da bi se zavedali velikosti nanometra, lahko kot dejstvo navedemo, da meri debelina lista papirja okoli 100.000 nm, širina povprečnega človeškega lasu 80.000 nm, dolžina valov svetlobe, ki jo zaznavamo kot vidno svetlobo, pa 400 nm – 700 nm.

Nanotehnologija predstavlja veliko priložnost za lesno industrijo; za razvoj novih produktov. Pete Lancaster (2005) pravi tudi, da se z uvedbo te tehnologije predvideva znižanje procesnih stroškov in odpiranje novih trgov, lahko pa nam prinese celo drugo industrijsko revolucijo. Ti premazi niso premazi, ki bi predstavljali bariero, ampak modificirajo površino lesa na molekularni ravni do te mere, da postane le-ta vodoodbojna. Tako s hidrofobnim tretiranjem umazani delci ne morejo penetrirati v površino, saj se nano delci trdno držijo podlage in odbijajo vse tujke.

Evropski komisar za znanost in raziskovanje, Janez Potočnik (2006) pravi, da je nanotehnologija v perspektivnem obdobju, ki obeta vizijo in konstantno raziskovanje ter vodi v uspešne inovacije. Ne bo se povečala samo tekmovalnost v industriji, ampak tudi ustvarjanje novih produktov, ki bodo prinesli pozitivne spremembe v življenja ljudi, pa naj bo to v medicini, okolju, elektroniki ali katerikoli drugi panogi.

Nanodelci, ki se najpogosteje uporabljajo za pripravo polimernih nanokompozitov so predvsem plastni silikati (glina, montmorilonit), in ogljikove nanocevke. Med kompozitne materiale v širšem pomenu besede pa lahko štejemo tudi premaze, v katerih se uporabljajo silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ) in razni kovinski oksidi ( $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ). Različne oblike ogljikovih nanocevk vodijo do različnih lastnosti, npr. v gostoti, in električni prevodnosti. Merjenje določenih lastnosti nanomaterialov je težavno, zato se pogosto navajajo teoretične, izračunane vrednosti, katerih pa z meritvami ni možno dokazati. Enojne nano cevke so široke 0,6 nm - 1,8 nm, dolge pa so lahko tudi nekaj mikrometrov. Njihova gostota znaša  $1,33 \text{ g/cm}^3$  -  $1,40 \text{ g/cm}^3$ , kar je pol manj od gostote aluminija. Po dolžini so približno dvajsetkrat trdnejše od najmočnejšega jekla. Prečno so elastične in se lahko močno ukrivijo, pri čemer je njihova deformacija reverzibilna. Njihov izmerjeni Youngov modul znaša od 0,6 TPa do 1,8 TPa. So izredno dober prevodnik električnega toka, saj je njihova električna prevodnost ocenjena od  $10^9 \text{ A/cm}^2$  pa do  $10^{13} \text{ A/cm}^2$ , izmerjena jakost električnega toka v

snopiču je bila  $10^7$  A/cm<sup>2</sup>. Toplotna prevodnost pri sobni temperaturi ima vrednosti od 2 W/m<sup>2</sup>K - 6000 W/m<sup>2</sup>K. V vakuumu so stabilne do 2800 °C, na zraku pa do 450°C (Huskić, 2007).

## 2.2 PREDNOSTI IN PRIHODNOST NANOTEHNOLOGIJE

V prihodnosti bodo nanodelci ščitili pred požarom gorljive produkte kot so lesena vrata, oblačila pa bodo odporna proti umazaniji, saj se umazanija ne bo mogla oprijeti takšnih površin. Nanopremazi bodo varovali avtomobilsko barvo pred praskami, medicinski povoji bodo na ranah uničevali bakterije, itd. Pomembno področje se odpira tudi pri temperaturno odpornih premazih, ki bodo naneseni na površino s postopkom brizganja in bodo tvorili tanek, trd keramičen premaz in s tem ščitili podlago. Najhitrejši razcvet pa nanotehnologija doživlja v medicini. V tem segmentu že proučujejo možnosti izdelave nanorobotov, ki bodo krožili po krvnem obtoku in bodo programirani za ubijanje virusov kot so virusi gripe, ošpic, HIV-a itd.

Rudi Moerck (2002) navaja, da so koristi nanodelcev v tem, da so manjši od valovne dolžine vidne svetlobe (400 nm – 700 nm), torej so nevidni za oko. V normalnih pogojih materiali, ki izboljšajo karakteristike kot je npr. abrazivna odpornost, naredijo površino manj prozorno. Nanodelci pa imajo lastnost, da ohranijo nespremenjen videz površine. Dodamo jih lahko tudi biocidom. Majhne, prazne mikrospore, narejene iz nanodelcev, so ključ do pravih odgovorov. Premazi, ki vsebujejo take nanodelce, so lahko npr. dobro zaščiteni pred algami. Skoraj vsi premazi za domačo uporabo vsebujejo biocide. Fungicidi običajno opravljajo svojo nalogo tri do pet let, z biocidi v nanodelcih, pa lahko fungicidi v premazih svojo nalogo opravljajo dlje.

Theodore H. Wegner (2005), pravi, da so se do sedaj raziskave osredotočale na anorganske snovi, kot so npr. silikonski nanodelci za boljše računalniške čipe. Poudarja pa, da imajo biomateriali prednost, ker jih je ogromno in so obnovljiv vir. Ogljikove nanocevice so izdelane do svoje največje možne trdnosti. Celulozna nanovlakna, taka kot so v lesu, pa imajo kar 25 % trdnosti ogljikovih nanocevk. Tako bodo lahko ta vlakna uporabljena kot nadomestilo za keramiko in železo, ki sta sedaj narejena iz anorganskih, neobnovljivih virov. Sedaj primarno upravljamo gozdove zaradi pridobivanja lesa, vendar pa je možno, da bomo prišli do spoznanja, da je gozd tako kot vir različnih snovi, tudi vir nanodelcev, ki bi bili z ustrežno modifikacijo

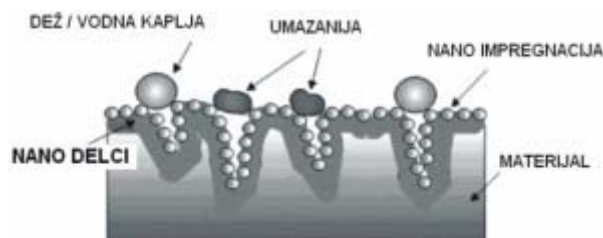
uporabni za izdelavo različnih novih materialov, ki so sedaj narejene na osnovi naftnih derivatov.

V svojem poročilu David J. Roughley (2005) navaja, da so pogoji za razvoj in komercialno rabo nanodelcev v nekaterih primerih, kot je npr. cinkov oksid že blizu izpolnitve. Največji razcvet je pričakovati pri izdelavi zaščitnih sredstev pred UV svetlobo in pri pripravi protipožarnih sredstev. Nano-zaščitna sredstva pred UV svetlobo je pričakovati že v nekaj letih, možnosti za izdelavo večfunkcionalnih premazov pa so tudi visoke. Ostale priložnosti se vidijo v kontroli vlaženja lesa, sredstvih za zaščito lesa pred biološko razgradnjo in v zmanjšanju emisij lahko hlapnih organskih spojin.

## 2.3 PRIMERI DELOVANJA NANO PREMAZOV IN RAZLAGA NJIHOVE UČINKOVITOSTI

### 2.3.1 Lotosov efekt

Za ponazoritev uporabnosti nanopremazov, proizvajalci navajajo primer tako imenovanega efekta lotosovega lista. Rastlina lotos ima naravni samočistilni mehanizem, ki vodne kapljice odbija od svoje površine. Kapljice, ki polzijo z listov, s seboj odnesejo tudi vso umazanijo, ki se je nabrala na njih.



Slika 1.: Prikaz delovanja nano premazov (Huskić, 2007)

### 2.3.2 Kvantna mehanika

Na nano ravni imajo materiali pogosto drugačne fizikalne, kemične in biološke lastnosti kot pa večje količine istih materialov. Lastnosti nano delcev, npr. njihova kemična aktivnost in še posebej sposobnost, da prehajajo tudi nekatere težko prehodne meje med posameznimi vrstami tkiv, vodijo do novih oblik ciljnega usmerjanja in posredovanja (Sever, 2005).

Pri velikosti, manjši od 5 nm, moramo upoštevati tudi zakonitosti kvantne fizike (tudi kvantna mehanika, op.a.). Kvantna mehanika, teorija o gibanju kvantnih delcev (npr. elektronov) opisuje mehaniko procesov v mikrofizikalnih sistemih (atom, atomsko jedro,

osnovni delci). V njej je klasična mehanika zajeta kot posamični (mejni) primer za veliko število delcev, zato si kvantnomehanska teorija in klasična mehanika nista protislovni. Kvantna mehanika temelji na dveh glavnih načelih. Načelo nedoločljivosti pravi, da dveh enakih kvantnih delcev ni mogoče razločevati med seboj. Načelo statističnega opisa pa pravi, da izida poskusa z enim delcem ne moremo napovedati, lahko napovemo le njegovo verjetnost. Gibanja kvantnih delcev zaradi načela nedoločenosti ne moremo kot v klasični (Newtonovi) mehaniki opisati s tirom, temveč ga opisuje valovna funkcija oz. funkcija stanja. V klasični mehaniki opišemo stanje sistema z navedbo vrednosti njegovih merljivih dinamičnih spremenljivk (opazljivke, kot so npr. lega, gibalnih količin, energija). V kvantni mehaniki pa razločujemo funkcijo stanja, ki opisuje sistem in dinamične spremenljivke, ki jim priredimo operatorje. Imamo dve enakovredni matematični formulaciji kvantne mehanike, matrično mehaniko, v kateri so spremenljivkam prirejene matrike, ki jo je 1925 razvil W. Heisenberg, valovno mehaniko pa je 1926 razvil E. Schrodinger, ki temelji na po njem imenovani enačbi.

Merjenja v kvantni mehaniki močno vplivajo in spremenijo stanje kvantnega sistema, meritve pa navadno podajo le srednje vrednosti kakšne dinamične spremenljivke ali verjetnostno gostoto. V kvantni mehaniki niso možne napovedi za posamezen delec, temveč le napovedi za veliko število delcev. Takšne statistične napovedi so zadostne, saj kvantni procesi niso natančno določeni oz. determinirani kakor v klasični mehaniki, temveč so statistične narave (Veliki splošni leksikon, 1998).

Kvantna mehanika ponuja kvantitativno razlago dveh vrst pojavov, ki jih klasična mehanika in klasična elektrodinamika ne moreta pojasniti:

- Nekatere opazljive fizikalne količine, kot denimo skupna energija črnega telesa, lahko namesto zveznih zavzamejo le nezvezne vrednosti. Pojav je znan kot kvantizacija, najmanjši korak med stanji pa je kvant. Velikost kvanta je praviloma odvisna od opazovanega sistema.
- Pod določenimi pogoji se mikroskopski delci, kot so atomi ali elektroni, obnašajo kot valovanje; opazimo lahko denimo interferenco. Pod drugimi pogoji pa se isti delci obnašajo kot klasični »delci«, torej točkasta telesa, omejena na določen del prostora; opazimo lahko denimo sipanje. Ta pojav je znan kot valovno-delčna dvojnost.

(Kvantna mehanika, 2007).



### 2.3.3 Van der Waalsova sila

Van der Waalsova sila je šibka, privlačna medmolekulska sila, ki deluje med sosednjima molekulama ali atomoma zaradi njunih induciranih električnih dipolov. Prvotno so s tem izrazom imenovali vse medmolekulske sile, danes pa se uporablja bolj ali manj izključno za disperzijsko silo med induciranimi električnimi dipoloma.

Disperzijska sila nastane med dvema nepolarnima molekulama, ker se elektroni statistično gibljejo okrog atomskega jedra, zato je velika verjetnost, da elektronski oblak ne bo povsem krogelno simetričen. Posledica je nastanek začasnega električnega dipola, ta pa v sosednjih molekulah inducira električne dipole, ki z njim interagirajo.

Van der Waalsova sila pada s sedmo potenco razdalje med molekulama in je približno stokrat šibkejša od kemijskih vezi, zato ni dovolj močna, da bi mogla atome vezati v molekule. Treba jo je upoštevati, kadar med molekulami ni druge močnejše sile, ki bi sicer prevladala (Van der Waalsova sila, 2007).

### 2.3.4 Adhezija

Fizikalno-kemični pojav medsebojnega oprijemanja različnih snovi imenujemo adhezija. Nastaja zaradi medmolekularnega privlačevanja, ob medsebojnem dotiku različnih teles (adhezija). V vsakdanjem življenju definiramo z adhezijo vsoto vseh učinkov, ki privedejo do oprijemanja, ne glede na to, ali so izredno šibki oziroma toliko močni, da privedejo med oprijetimi telesi do skrajno trdnih spojev.

V tehnoloških procesih lesne industrije je adhezija pomembna posebno v procesih lepljenja in površinske obdelave izdelkov. V prvem primeru je od nje odvisna trdnost lepljenih spojev, v drugem pa oprijemanje premazov ali prevlek na površinah proizvodov. V obeh primerih je adhezija pomemben ali celo odločilen dejavnik ocenjevanja in določevanja kvalitete proizvodov.

Na adhezijo ne moremo gledati kot na neko absolutno lastnost uporabljenih materialov. Isto lepilo, lak, premazno sredstvo ali prevleka, imajo lahko različno adhezijo, ker je ta odvisna še od raznih drugih faktorjev, npr. materiala podlage, tehnike nanašanja, klimatskih pogojev, vpliva njihove kemične sestave na nastajajoči film itd. Svoj vpliv na adhezijo imajo prav tako starost lepil, premaznih in prevlečnih materialov, ter včasih tudi razni drugi nepredvideni dejavniki.

Zaradi širšega gledanja na adhezijo pri lepljenju, kot tudi pri površinski obdelavi lesa, imamo v obeh primerih tudi specifične izraze, s katerimi označujemo adhezijo. Tako pri lepljenju govorimo o trdnosti lepilnega spoja, pri površinski obdelavi pa o oprijemnosti premaza na podlago (Mihevc, 1987).

### **2.3.5 Kohezija**

Vsako molekulo v tekočini privlačijo sosednje molekule. Sile med molekulami so močne, imajo pa kratek doseg. Rezultante vseh sil se v povprečju izničijo, če je molekula globoko v notranjosti homogene tekočine. Drugače je pri molekulah na površini. Nanje delujejo močne sile notranjih molekul, ki jih zelo razredčene molekule v plinski fazi ne morejo kompenzirati. Zato molekule na površini stalno prehajajo s površine tekočine v njeno notranjost. Rezultat takšnega gibanja površinskih molekul v notranjost tekočine je ta, da zavzame tekočina najmanjšo možno površino. Navzven se to kaže kot sila, ki vleče površino skupaj (Debeljak, 1999).

### **2.3.6 Površinska napetost in kontaktni kot**

Prosta površinska energija (pri kapljevinah površinska napetost) je razlika energij na površini in v notranjosti telesa. Znano je, da ima površina telesa drugačne lastnosti kot njegova notranjost. Zanimiv je rek, ki ga je napisal W. Pauli: »Bog je ustvaril telo, površina pa je delo hudiča« »God created solid. But surfaces are the work of the Devil« (Šernek, 2003, cit. po Flerin, 2006).

Nano premaz na površini podlage ne tvori filma, ampak se nano delci, z Van der Waalsovimi silami, vežejo na površino podlage. Ker so delci nano premaza zelo majhni, so kohezijske sile večje od adhezijskih, zato premaz ne penetrira v površino podlage, ampak se na njej veže v urejene strukture. Za nanos nano delcev na podlago uporabljajo kot medij alkoholne mešanice, redko tudi vodo. Na podlago so naneseni kot »nano kroglice«. Umazanija, ki pade na tako premazano podlago, ima posledično višjo kohezijo od adhezije, zato se ne more vezati s podlago. Ko na tak sistem padejo vodne kaplje se vrinejo med umazanijo in podlago ter tako s seboj odplaknejo vse nečistoče. Ta pojav v strokovni literaturi imenujejo lotosov efekt, površine z opisanimi lastnostmi »samočistilne površine« oz. premaze, ki to lastnost zagotavljajo »samočistilni premazi«.

## 2.4 DEFINICIJA LESA

Botanično je les sekundarni ksilem, ki ga kambij v procesu sekundarne (debelitvene) rasti proizvaja navznoter, t.j. v smeri stržena. Tehnično ga je mogoče definirati kot trdo vlakneno snov pod skorjo debel in vej dreves in grmov. Les je torej biološki material. Je tkivo, sestavljeno iz različnih celic. Nastaja v lesnih rastlinah, drevesih in grmih. Opravlja prevajanje vode, mehansko funkcijo, ter prevajane in skladiščenje hrane. Večina celic v lesu je mrtvih, z izjemo parenhimskih celic v beljavi. Prevajanje vode opravljajo mrtve celice, prevajanje in skladiščenje hrane pa žive celice (Čufar, 2006).

### 2.4.1 Bukev (*Fagus sylvatica* L.)

Bukev je naš najbolj razširjen listavec in naša najpomembnejša lesna vrsta. Do sredine 19. stoletja so jo uporabljali skoraj izključno za kurjavo. Dosega višine tudi do 30 m in premere 100 cm – 150 cm. Les bukve ima visoko gostoto, je trd in se zelo krči in nabreka. Stabilnost je neugodna, trdnostne lastnosti so glede na gostoto nadpovprečno visoke, elastičnost je nižja. Les je zelo žilav, malo elastičen in zelo trden. Možen je obilnejši pojav tenzijskega lesa. Notranje napetosti so lahko znatne, kar ima za posledico pokanje in zvijanje lesa (Čufar, 2006).

Vemo, da je bukev dimenzijsko nestabilna drevesna vrsta, zato smo predvidevali, da bomo pri njej z nanosom premazov dosegli najbolj izrazite učinke. Čeprav se bukov les praktično ne uporablja za eksterier, smo želeli preizkusiti, kako bi se tak les izkazal v kombinaciji s skoraj popolnoma nepermeabilnim premaznim sredstvom, v skrajnih okoliščinah kot je izpostavljenost abiotičnim dejavnikom.

### 2.4.2 Robinija (*Robinia pseudoacacia* L.)

Les robinije se zelo pogosto uporablja kot osnova za zunanje pohištvo, kar je razumljivo, saj ima dobre mehanske lastnosti. Les je zelo gost in trd. Je trdnejši od hrastovine, elastičen in zelo upogljiv kot tudi žilav. Odporen do zelo odporen je proti atmosferilijam, glivam in insektom. Trajen je tudi v vodi. Impregnira se zelo težko. Lesni prah je dražeč in lahko povzroča dermatitis in vnetja sluznice.

Obdeluje se zmerno dobro do dobro, odlično se struži in rezka. Poskobljane površine so zelo gladke in svetleče. Površinska obdelava z vsemi sredstvi je dobra. Zaradi dobre naravne trajnosti jedrovine v zadnjem času les vse bolj uporabljajo za vrtno pohištvo (Čufar, 2006).

## 2.5 DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA SPREMEMBE LESA

### 2.5.1 Svetloba

Svetloba, še posebej ultravijolična, s sevanjem energije na površino organskega materiala povzroča spremembe v molekularni zgradbi lesa. Vse sestavine (lignin, celuloza, hemiceluloza in ekstraktivi) so občutljive na UV svetlobo, med njimi je najbolj izpostavljen lignin, ki absorbira 80 % - 95 % UV žarkov. Sevalna energija povzroča pretvorbe lignina v lesu, ob prisotnosti kisika pa je lignin izpostavljen fotokemični oksidaciji. Le-ta povzroča spremembo kemične zgradbe in barvne spremembe lesa. Tako na primer svetli lesovi (smreka, jesen, breza) dobijo rjavkasto rumene tone, medtem ko temnejši lesovi posvetlijo, obe spremembi pa gresta v smer sivega obarvanja. V prostorih je vpliv svetlobe počasen in procesi lahko trajajo tudi nekaj let. Pri lesu, izpostavljenem zunanjim vremenskim vplivom, je proces fotokemične reakcije intenzivnejši, saj deževnica odnaša s površine degradacijske produkte lignina. Rezultat tega je hitrejši pojav sive barve na izpostavljeni površini in erozija ranega lesa, kar se kaže v formiranju reliefne površine. Poleg reakcij, ki jih povzroča na lesu, UV svetloba lahko skupaj z visoko temperaturo povzroči tudi nadaljnjo polimerizacijo premaza, ki zato postaja bolj trd in krhek. Tak film izgubi svojo elastičnost in ne more slediti dimenzijskim spremembam lesa, zato prihaja do poka in luščenja filma. Ultravijolično sevanje povzroča tudi barvne spremembe na premazih, ki zato postajajo bolj rumenkasti in motni. Ob ostalih enakih pogojih je UV degradacijski fenomen proporcionalen z intenzivnostjo sevanja na izpostavljeno površino in časom izpostavitve. Tako so največje spremembe opazne na filmih, ki so dolgotrajno izpostavljeni direktnemu viru svetlobe (Ambrosi in Offredi, 1996, cit. po Štefe, 2004).

### 2.5.2 Barva

Za objektivno vrednotenje barve in barvnih razlik je pomembno dobro poznavanje teorije nastanka čutne zaznave barve, pri katerem sodelujejo svetloba, objekt in vidni organ. Sklop dogajanj pri vidni zaznavi in njihova identifikacija je osnova za preslikavo subjektivnega vtisa o barvi, v objektivno, numerično vrednotenje barve. CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) je s predpisi, objavljenimi leta 1931, postavila temelje za numerično vrednotenje barv in barvnih razlik. Znanost o barvi je interdisciplinarna, saj zahteva obširno teoretično znanje s področja fizike, kemije, matematike, fiziologije in psihologije (Golob in Golob, 2001).

### 2.5.2.1 CIE- barvni prostor

CIE-barvni prostor omejujejo vektorji X, Y, Z iz skupne črne oz. ničelne točke 0 (brez barve in svetlobe).

CIE-barvni prostor je bil matematično določen s pomočjo aditivnega mešanja spektralnih svetlob treh primarnih barv: R (rdeča-700 nm), G (zelena-546,1 nm), B (modra-435,8 nm). Vektorji X, Y, Z so v prostoru orientirani tako, da tvorijo v enaki oddaljenosti od izhodišča enakokrak pravokotni trikotnik z oglišči X=1, Y=1, Z=1, katetama x, y in hipotenuzo z. Vektorji spektralnih barv sekajo ravnino trikotnika v točkah S ( $\lambda$ ), ki oblikujejo spektralno črto od 400 nm - 700 nm. Na spektralni črti ležijo čiste spektralne barve. Kratkovalovno in dolgovalovno območje povezuje črta škrleta, na njej pa so barve, ki so nastale z aditivnim mešanjem rdečih in modrih spektralnih barv, torej barve, ki jih ni v spektru svetlobe. V CIE-prostoru ležijo realne barve (barve, ki jih zazna povprečen opazovalec) znotraj stožca, ki ga oblikujejo spektralna črta, črta škrleta in točka 0. Standardizirane barvne vrednosti X, Y, Z realnih barv so vedno pozitivne, ker je stožec definiran v pozitivnem kvadrantu dveh vektorjev.

Položaj spektralne črte oz. lega spektralne barve določene valovne dolžine na spektralni črti je določena z izračunom standardiziranih barvnih deležev, x in y:

$$x = \frac{\bar{x}}{x + y + z} \quad \dots[1]$$

$$y = \frac{\bar{y}}{x + y + z} \quad \dots[2]$$

Vse realne barve ležijo znotraj barvnega diagrama, njihov položaj pa izračunamo z določitvijo standardiziranih barvnih deležev po formulah:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad \dots[3]$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad \dots[4]$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad \dots[5]$$

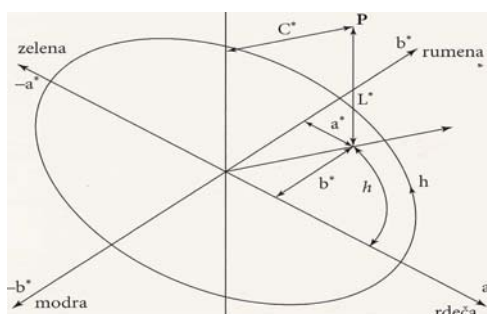
Pri čemer so:

X,Y,Z standardizirane barvne vrednosti.

### 2.5.2.2 CIE L\* a\* b\* sistem

Najbolj izpopolnjen in najpogosteje uporabljen sistem za vrednotenje barve je danes CIE L\*a\*b\* sistem iz leta 1976, ki predstavlja matematično kombinacijo kartezijskega in cilindričnega koordinatnega sistema (Slika 2), kjer je barva opredeljena z naslednjimi barvnimi vrednotami:

- L\* - pomeni svetlost barve in zavzema vrednost od 0 (absolutno črno) do 100 (absolutno belo)
- a\* - določa lego barve na rdeče-zeleni osi
- b\* - določa lego barve na rumeno-modri osi
- C\* - predstavlja kromo (čistost) oz. delež čiste barvne komponente v neki barvi
- h – je barvni oz. pestri kot in pomeni razporeditev barv po barvnem krogu



Slika 2.: CIE L\*a b\*, C\* in h sistem (Golob in Golob, 2001)

Barvne vrednosti L\*a\*b\*, C\* in h so s standardiziranimi barvnimi vrednostmi X, Y in Z v naslednji zvezi:

$$L^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad \dots[6]$$

$$a^* = 500 \left[ \left( \frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad \dots[7]$$

$$b^* = 200 \left[ \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad \dots[8]$$

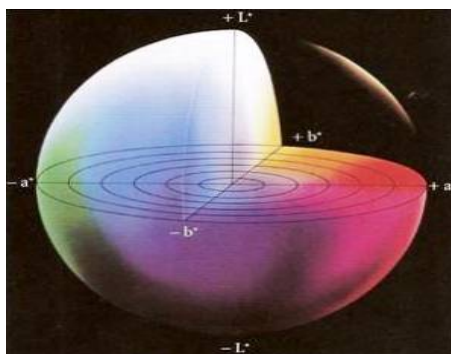
$$C^* = \left( a^{*2} + b^{*2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots[9]$$

$$h = \arctg \left( \frac{b^*}{a^*} \right); +a^* = 0^0; +b^* = 90^0; -a^* = 180^0; -b^* = 270^0 \quad \dots[10]$$

Xn, Yn, Zn so standardizirane vrednosti za BaSO<sub>4</sub> in imajo za 10<sup>0</sup> zorni kot in svetlobo D<sub>65</sub> naslednje vrednosti: Xn = 94,81, Yn = 100,00, Zn = 107,30.

### 2.5.2.3 Barvne razlike po CIE L\*a\*b\* sistemu

Leta 1976 je bila predlagana in sprejeta splošna uporaba CIE L\* a\*b\* sistema v svetovnem merilu in s tem želeno poenotenje vrednotenja barvnih razlik (Slika 3).



Slika 3.: Barvni prostor po CIE L\* a\* b\* sistemu vrednotenja barv (Jeler, 2001)

L\*a\*b\* sistem predstavlja nelinearno transformacijo CIE x, y, Y sistema in je postavljen v kartezijski geometrijski prostor. Razdaljo med dvema točkama v L\*, a\*, b\* sistemu določimo s pomočjo Pitagorovega izreka:

$$E^{*2} = L^{*2} + a^{*2} + b^{*2} \quad \dots[11]$$

in

$$E^* = L^{*2} + a^{*2} + b^{*2} \quad \dots[12]$$

Barvne razlike med dvema vzorcema v CIE L\*a\*b\* sistemu lahko izračunamo iz razlik koordinat v vseh treh smereh barvnega prostora.

Celotna barvna razlika  $\Delta E^*$  je matematično izražena z zvezami:

$$\Delta E^* = \left[ \Delta L^{*2} + a^{*2} + b^{*2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots[13]$$

$$\Delta E^* = \left[ (\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*)^2 + (\Delta H^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots[14]$$

pri tem je:

$\Delta L^*$ -razlika svetlosti

- $+\Delta L^*$  pomeni svetleje
- $-\Delta L^*$  pomeni temneje

$\Delta a^*$ - razlika na osi rdeče/zeleno

- $+\Delta a^*$  pomeni bolj rdeče oz. manj zeleno
- $-\Delta a^*$  pomeni bolj zeleno oz. manj rdeče

$\Delta b^*$ - razlika na osi rumeno/modro

- $+\Delta b^*$  pomeni bolj rumeno oz. manj modro
- $-\Delta b^*$  pomeni bolj modro oz. manj rumeno

$\Delta C^*$ - razlika krome (čistosti)

- $+\Delta C^*$  pomeni bolj čisto
- $-\Delta C^*$  pomeni bolj motno

$\Delta H^*$ - razlika barvnega tona je odvisna od  $\Delta E^*$ ,  $\Delta L^*$  in  $\Delta C^*$  oz. od krome in spremembe barvnega kota

$$\Delta H^* = \left[ \Delta E^{*2} - \Delta L^{*2} - \Delta C^{*2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots[15]$$

oziroma

$$\Delta H^* = C^* \Delta h \left( \frac{\pi}{180} \right) \quad \dots[16]$$

Vsaka barva je natančno določena s tremi standardiziranimi barvnimi vrednostmi X, Y, Z, ki so osnova za izračun različnih barvnih vrednosti in s tem razvrščanja barv v tridimenzionalni barvni prostor. Določanje matematičnih razmikov med barvami v barvnem prostoru predstavlja osnovo za izračun barvnih razlik, ki naj bi se ujemale z vizualno zaznavo (Golob in Golob, 2001).



Za kvalitativno primerjavo lesenih staranih vzorcev, se pogosto uporablja lestvica barvnih razlik, ki sta jo v svoji raziskavi uporabila Sandermann in Schlumbom (1962), kjer sta razvrstila barve 74 izmerjenih drevesnih vrst v 4 skupine (Preglednica 1).

Preglednica 1.: Ocena barvnih razlik (Sandermann in Schlumbom, 1962)

Razlika $\Delta E$	Ocena barvne razlike
od 0 do 2,3	ni zaznana nobena sprememba
od 2,3 do 4,2	komaj zaznana sprememba
od 4,2 do 10	razločna sprememba
do 10 dalje	zelo razločna sprememba

### 2.5.3 Sijaj

Sijaj je za naše vidne občutke obnova zrcalnih slik, zaradi odboja svetlobe z gladkih površin. Čim razločneje in jasnejše so zrcalne slike, tem večji je sijaj na teh površinah. Zaradi tega odbojni zakon vsiljuje zamisel o možnosti vzpostavljanja neke objektivne in natančne metode, ki naj bi omogočala tudi številčno izražanje izmerjenih vrednosti.

S svojimi očmi občutimo kot sijaj samo tisti del svetlobe, ki ga odsevajo sijajne površine. Če površine niso ravne, nastopa poleg tega še razpršeni sloj svetlobe, ki ima tudi določen vpliv. Zato ne smemo zanemarjati vpliva na odboj svetlobe, ki ga imajo drobni delci pigmentov in ga naši organi vida ne zaznajo kot sijaj. Tisti del odbite svetlobe, ki je ne zaznavamo z očmi, lahko natančno izmerimo le s pomočjo posebnih aparatov.

Občutek sijaja, dobljen s prostim očesom, je odvisen tudi od zornega kota, iz katerega predmet opazujemo. Sijaj, ki ga merimo z instrumenti, je merjen iz ene same točke. Da bi se pri primerjanju čim bolj približali vizualnemu občutku sijaja, uporabljamo metodo merjenja pri različnih vpadnih in odbojnih kotih. Na podlagi dobljenih podatkov lahko narišemo krivuljo sijaja z izstopajočimi ekstremnimi vrednostmi. Za primerjalno enoto vzamemo pri vseh teh meritvah kot stoo odstotno vrednost sijaja, svetlobni odboj s ploščice poliranega črnega zrcalnega stekla (Podjed, 2001).

Zaradi tega je določeno, da je enota za sijaj, enostavno rečeno, stoti del sijaja standarda optično ravne površine črnega stekla z lomnim količnikom 1,567 določene minimalne absorpcije svetlobe. V praksi se v ta namen proizvajajo standardni etaloni, za katere ni potrebno, da imajo vrednost 100, ampak drugo, toda natančno določeno vrednost, z označenim vpadnim kotom svetlobe, pod katerim mora biti izvedeno merjenje.

Vrednost sijaja 100, ne glede na vpadni kot svetlobe, bodo namreč imeli le tisti vzorci, ki imajo ob ostalih določenih lastnostih količnik loma natančno 1,567 (t.i. primarni standardi). Sekundarni standardi, ki nimajo tega količnika loma (ni potrebno, da so iz črnega stekla), kažejo različne vrednosti sijaja, glede na kot merjenja. Tako ima npr. standard z lomnim indeksom 1,527 pod kotom  $20^{\circ}$  sijaj 89,2 %, pod kotom  $60^{\circ}$  sijaj 93,6 % in pod kotom  $85^{\circ}$  sijaj 99,4 %. Zaradi tega se ni treba čuditi podatku, če smo nekje prebrali, da je sijaj nekega vzorca 110, ker to pomeni le, da ima vzorec višji sijaj od sijaja določenega etalona in ne tega, da je jakost odbojne svetlobe vzorca večja od tiste, ki pada na njo (Renko, 1981). V preglednici 2 je navedena starejša delitev površinskih premazov za les glede na njihov sijaj.

Preglednica 2.: Delitev premazov za les, glede na sijaj (JUS D.E8.224, cit. po Tušar, 1995)

Lastnost površine premaza	vrednost sijaja [%]
Visoko sijajna	Nad 80
Sijajna	61-80
Pol sijajna	41-60
Pol mat	21-40
Mat	1-20
Popolni mat	0

### **3 MATERIALI IN METODE**

#### **3.1 MATERIALI**

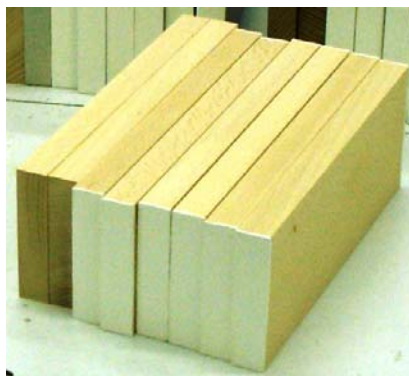
Vzorci za diplomsko nalogo so pripravili v slovenski lesni industriji pod enakimi pogoji kot ostale elemente, ki jih prodajajo na trgu. Dve različni podlagi (vrsti lesa) sta bili premazani s tremi različnimi premaznimi sistemi. Tako nobeden izmed vzorcev kvalitativno ni odstopal od povišstva, narejenega v industriji.

##### **3.1.1 Površinski sistemi**

Prva podlaga je bila les bukovine, druga pa je les robinije. Vsi vzorci so bili čim bolj homogene strukture, da smo izničili vpliv različnosti podlag na lastnosti premaznega sistema. Les je bil tehnično sušen in je pred začetkom nanosa premazov vseboval 13 % vlage. Na tako stopnjo vlažnosti je bil les sušen zaradi njegove nadaljnje uporabe na prostem. Poskobljani elementi dimenzij 250 mm x 100 mm x 20 mm ( $\pm 2$ mm) so imeli obrušene robove s papirjem granulacije 120. Z enako granulacijo so bile obrušene tudi vse štiri ploskve elementov.

V laboratoriju smo izmed vseh pripravljenih vzorcev izbrali tiste, ki so si bili med seboj vizualno najbolj podobni. Tako smo zmanjšali vpliv različnosti podlage na sistem in s tem na končne rezultate. Vsi preizkušanci so bili brez anomalij kot so grče, tenzijski les in podobno. Izbrali smo preizkušance, ki so imeli radialno usmerjena vlakna.

Izbrane elemente smo dimenzijsko prilagodili na mere, ki ustrezajo potrebam preizkusa v komori za umetno pospešeno staranje (UPS). V naslednji fazi priprav smo preizkušancem zaščitili čela (Slika 4). Premazali smo jih z netopnim epoksidnim premazom zaradi izničenja vplivov prečnega lesa na celoten sistem. Tak nanos smo izvršili dvakrat zapored, da bi v kar največji meri preprečili negativne posledice vpijanja vlage. Naši preizkušanci so bil zaščiteni s premazom EPOLOR HB, proizvajalca Color Medvode, d.o.o.



Slika 4.: Robovi zaščitnih preizkušancev

### 3.1.2 Obdelava elementov s premaznim sistemom

#### 3.1.2.1 Lak

Prvi izmed preizkušenih sistemov je imel za podlago bukov les, površinski zaščitni sloj pa je bil avtomobilski lak premaz (Slika 5).

- prvi nanos
  - potapljanje v bazen z impregnacijo P 38008
  - sušenje v sušilnem kanalu šest ur
  - ročno brušenje z gobico
- drugi nanos
  - brizganje temeljnega laka P 31913 z metodo airless
  - sušenje v sušilnem kanalu štiriindvajset ur
  - brušenje s sredstvom granulacije 320
- tretji nanos
  - končno lakiranje z avtolakom, s pištolo na lonček
  - sušenje štiriindvajset ur



Slika 5.: Prikaz vzorca, obdelanega z avtomobilskim premazom »LAK«

### 3.1.2.2 Nano premaz

Drugi premaz, ki smo ga preizkušali, je premaz na osnovi olja, kateremu so bili dodani delci v velikosti nekaj nanometrov. V tej diplomski nalogi ga imenujemo »nano« premaz. Ta premaz je prosojen in smo ga nanесли na preizkušance robinijevega lesa (Slika 6). Obdelava elementov z nano premazom je bila sledeča:

- prvi nanos:
  - potapljanje v bazen z impregnacijo P 35806
  - sušenje v sušilnem kanalu šest ur
  - ročno brušenje z gobico
- drugi nanos:
  - potapljanje v brezbarvno oljno impregnacijo P 38031 (po potrebi razredčeno z razredčilom 10 %)
  - sušenje osem do dvanajst ur



Slika 6.: Prikaz vzorca, obdelanega s premazom »NANO«

Ta premaz je eden izmed novejših in še nepreizkušenih, z vsebnostjo nano delcev. Vsebovani delci so zaradi svoje majhnosti nevidni za človeško oko, in ne vplivajo na spremembo barve, sijaja ali katerega drugega vidnega parametra. Ti majhni elementi naj bi se prav zaradi svoje velikosti bolje vezali na površino lesa in ga tako ščitili pred vremenskimi nevšečnostmi, fotodegradacijo in drugimi negativnimi vplivi okolja.

### 3.1.2.3 Timber

Tretji premaz smo poimenovali »timber«. Premaz je prosojen in že dalj časa v uporabi v lesni proizvodnji. Obravnavali smo ga kot primerjalni vzorec ostalima dvema premaznima sistemoma. Nanesen je na podlago lesa robinije (Slika 7).

- prvi nanos:
  - potapljanje v bazen z impregnacijo P 08730
  - sušenje v sušilnem kanalu dvanajst ur
  - brušenje s Scotch brite volno in gobico
- drugi nanos:
  - potapljanje v laku P 38016 in razredčilu P 36001
  - sušenje v sušilnem kanalu dvanajst ur
  - brušenje z brusnim papirjem granulacije 320 in z brusno gobico
- tretji nanos:
  - brizganje po postopku airless airmix, v neogreti klimi z lakom za končno lakiranje P 38012, razredčilom P 36023 in impregnacijo VPAA 08730
  - brizga se po postopku airless airmix, v neogreti klimi
  - sušenje šestindvetdeset ur



Slika 7.: Prikaz vzorca, obdelanega s premazom »TIMBER«

V preglednici 3 so podani podatki o imenih vzorcev, podlagi in premaznem sistemu, ter oznake, s katerimi smo označevali vzorce v procesu preizkušanja.

Preglednica 3.: Seznam raziskanih vzorcev

Ime vzorca	Površinski sistem		Oznaka vzorca
	Podlaga	Premazni sistem	
Kontrolni vzorec	bukovina	-	BUKEV
Avtomobilski lak	bukovina	impregnacija + poliuretanski lak	LAK
Kontrolni vzorec	robinija	-	ROBINIJA
Nano premaz	robinija	oljna impregnacija + toniran na barvo tika	NANO
Komercialni sistem	robinija	impregnacija + poliuretanski lak + toniran na barvo mahagonija	TIMBER

## 3.2 METODE

### 3.2.1 Določanje debeline suhega filma

Debelino suhega filma smo določili na vzorcih, izžaganih iz preizkušancev, katere smo uporabili za postopek UPS. Z vsakega izžaganega vzorca smo odrezali majhen kos premazanega lesa in nato določili debelino po standardu SIST EN ISO 2808:1999.

### 3.2.2 Postopek umetnega pospešenega staranja

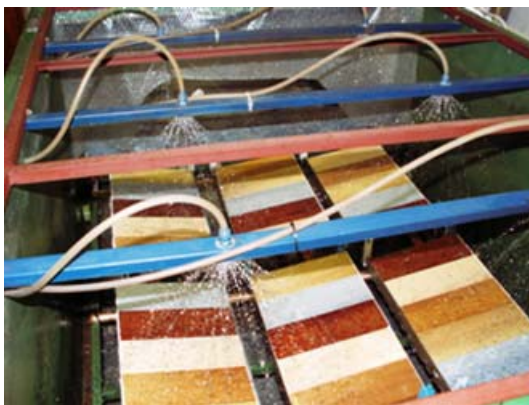
Glavni in najpomembnejši del diplomskega dela je predstavljalo umetno pospešeno staranje (UPS) vzorcev in vpliv le-tega na njihovo barvo, sijaj ter permeabilnost premaznega sistema. S tem postopkom smo lahko določitev vpliva vremena izvedli veliko hitreje, kot če bi vzorce starali v naravni klimi.

Naprava za umetno-pospešeno staranje na lesarskem oddelku Biotehniške fakultete v Ljubljani, Katedra za mehansko predelavo lesa, je prostorsko razdeljena na dva dela. V prvem delu so vzorci izpostavljeni umetnemu dežju, v drugem delu pa UV in IR sevanju (Preglednica 4). Izmenično izpostavljanje vzorcev umetnemu dežju in sevanju je rešeno s pomičnim vozičkom, ki avtomatično, glede na fazo umetnega staranja, vzorce transportira v prvi ali drugi del naprave. Površina vozička (površina, namenjena za namestitve vzorcev) 1300 mm x 1000 mm omogoča, da je velikost vzorcev lahko zelo različna (najbolj primerna velikost vzorcev za ugotavljanje lastnosti in sprememb lastnosti premazov je 300 mm x 100 mm x 19 mm), ter da se lahko izpostavijo umetnemu staranju že izdelani in površinsko obdelani konstrukcijski elementi (npr. okensko krilo) in se tako proučujejo lastnosti premazov na kritičnih mestih, kot so spoji čelnega in vzdolžnega lesa (kotne vezi) (Kričej, 1974).

Preglednica 4.: Faze enega cikla UPS (Kričej, 1974)

UPS staranje	
umetni dež	22min
mirovanje	9min
UV in IR sevanje (600 C)	3min
UV sevanje	21 min
UV in IR sevanje (600 C)	3min
mirovanje	2min
SKUPAJ	60 min

Staranje v UPS klimi (Slika 8), lahko okvirno primerjamo s staranjem vzorcev v naravni klimi v obdobju 1 leta.



Slika 8.: Komora umetnega pospešenega staranja

### 3.2.3 Merjenje sijaja

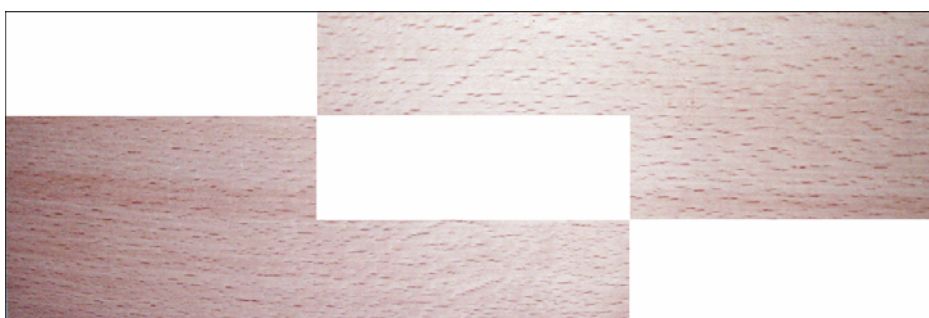
Pri metodi merjenja sijaja smo uporabljali fotoelektrični aparat, ki deluje na principu odboja svetlobe, ki jo pod določenim kotom usmerimo na podlago, merimo pa pod istim kotom, kot je vpadni kot (Slika 9).



Slika 9.: Naprava za merjenje sijaja



Merjenje sijaja smo izvedli po standardu SIST EN ISO 2813. Preden smo pričeli z merjenjem, smo instrument umerili na izbrani etalon. Površine vzorcev smo očistili z bombažno krpico, preden smo nanje postavili merilno glavo instrumenta. Meritev je preprosta, enostavno smo odčitali dobljene vrednosti. Izmed treh vrednosti, pri vpadnih kotih  $20^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  in  $85^{\circ}$ , smo odčitali in uporabili vrednosti samo pri srednjem vpadnem kotu, torej pri  $60^{\circ}$ . Sijaj se namreč najpogosteje meri, če ni drugače dogovorjeno oz. drugačne potrebe, vedno samo pod kotom  $60^{\circ}$ . Na vsakem vzorcu smo izvedli po tri meritve, kot je razvidno s slike 10. Tako razporeditev merjenj smo izbrali zaradi omilitve heterogenosti podlage.



Slika 10.: Prikaz mest, na katerih smo merili sijaj

### 3.2.4 Merjenje barve

Barvo smo merili po CIE  $L^*a^*b^*$  sistemu (Slika 11). Tudi tu smo na vsakem vzorcu izvedli po tri meritve (Slika 12). Merili smo pred začetkom UPS, nato pa skladno s številom ciklov (preglednica 5).



Slika 11.: Naprava za merjenje barve

Za računsko primerjanje barve, med cikli preizkušanj, smo rezultate ovrednotili s parametri:

- Aritmetična sredina: najpogosteje uporabljena. Je povprečje vseh vrednosti v populaciji.
- Standardni odklon: je mera za obseg razpršenosti vrednosti od povprečne vrednosti (srednje vrednosti).



Slika 12.: Prikaz mest, na katerih smo merili barvo

Preizkušancem smo določali sijaj in barvo po vnaprej določenih intervalih, ki so prikazani v preglednici 5.

Preglednica 5.: Število ciklov UPS, pri katerih smo preverjali sijaj in barvo

Število ciklov	0	50	100	200	350	500
----------------	---	----	-----	-----	-----	-----

### 3.2.5 Določanje permeabilnosti premazov po standardu SIST EN 927-5

Preizkus, ki smo ga izvedli po standardu SIST EN 927-5, se imenuje ocenjevanje prepustnosti vode. Da bi izključili variabilnost lesa, smo izbrali med seboj čim bolj podobne vzorce. Les je bil brez anomalij, kot so grče, rastne napake in poškodbe. Vzorce smo izžagali po standardu, dimenzije so bile 150 mm x 70 mm x 20 mm ( $\pm 2$  mm). S petih strani smo vzorce zaščitili z neprepustnim elastičnim premazom, da smo čim bolj omejili delovanje zunanjih dejavnikov. Zaradi omenjenih vzrokov smo zaščito nanесли dvakrat.

Pred kondicioniranjem smo vzorce uravnesili do konstantne mase, pri temperaturi  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  in relativni zračni vlažnosti  $50\% \pm 5\%$ . Po tej pripravi smo jih izpostavili standardiziranemu postopku, tabelarično ponazorjenem v preglednici 6.

Preglednica 6.: Postopek prekondicioniranja

	čas	medij
1. dan	24 h	Destilirana voda
	3 h	Normalna zračna klima (20 ± 2) °C
	3 h	Sušenje pri 50 °C
	18 h	Normalna zračna klima (20 ± 2) °C
2. dan	18 h	Normalna zračna klima (20 ± 2) °C
3. dan	24 h	Destilirana voda
	3 h	Normalna zračna klima (20 ± 2) °C
	3 h	Sušenje pri 50 °C
	18 h	Normalna zračna klima (20 ± 2) °C
4. dan	18 h	Normalna zračna klima (20 ± 2) °C

Naslednje dni smo vzorce tehtali do konstantne mase na 0,01g natančno. Ko so bili preizkušanci uravnani, smo jih lahko izpostavili kondicioniranju.

S postopkom kondicioniranja smo preverili kakšno absorpcijo vode imajo vzorci, obdelani s testnimi površinski sistemi. Vzorce smo stekali in jih ponovno izpostavili destilirani vodi za 72 h. Po tem času smo vzorce vzeli iz vode, jih rahlo otrli s suho krpo in tehtali do konstantne mase. Iz razlik začetne in končne mase smo izračunali stopnjo absorpcije vode/vlage.

## 4 REZULTATI

### 4.1 DEBELINE PREMAZNIH SISTEMOV

Debelino premazanega filma smo določili pri 120x povečavi. Na vsakem preizkušancu smo tako izvedli po pet meritev in določili najmanjšo ter največjo dobljeno vrednost. Iz izmerjenih vrednosti smo izračunali debelino premaznih filmov v mikrometrih (Preglednica 7). Iz preglednice je razvidno, da smo najmanjšo debelino filma dosegli pri premaznem sistemu nano, največjo pa pri lak premazu. Iz dobljenih rezultatov sklepamo, da se bodo elementi v proizvodnji, ki imajo na površini nanesene enake debeline premazov obnašali podobno kot preizkušeni vzorci.

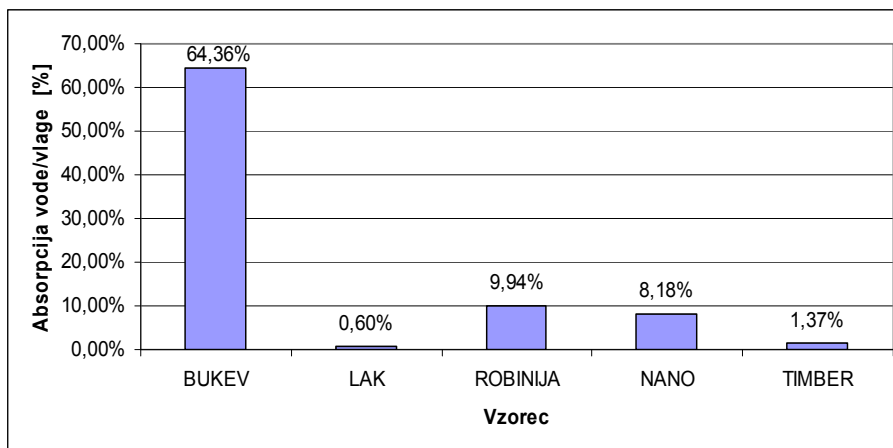
Preglednica 7.: Debeline suhega premaznega filma posameznih premaznih sistemov

OZNAKA	DEBELINA	
	od [ $\mu\text{m}$ ]	do [ $\mu\text{m}$ ]
LAK	50	75
NANO	0,1	5
TIMBER	25	35

### 4.2 ABSORPCIJA VODE/VLAGE V NEPREMAZANE IN PREMAZANE VZORCE

Testiranje preizkušancev na absorpcijo vlage v podlago smo določali samo pred staranjem vzorcev, saj so bili vzorci po končanem staranju preveč poškodovani in bi ponovne meritve pokazale neprimerljive podatke. Vzorci bukovine so, kot je razvidno s slike 13, svojo maso povečali kar za dobrih 64 % in s tem močno odstopali od preizkušancev, ki so bili zaščiteni s premazom LAK. Ti so imeli izjemno majhno absorpcijsko sposobnost in so v povprečju povečali svojo maso le za 0,60 % (Slika 13).

Pri nezaščitenih vzorcih robinije smo opazili 9,94 % navzem vodne mase, za razliko od preizkušancev s premazom nano (8,18 %) in s premazom timber, ki so absorbirali 1,37 % vlage. Lahko rečemo, da so premazi omejili navzem vlage v podlago. Za razliko od ostalih preizkušancev, je imel premaz nano relativno visoko prepustnost za vodo, saj je bila razlika med vzorci, zaščitenimi s premazom nano in med nezaščitenimi vzorci zgolj 1,76 %. Razlog za tako slabo zaščito izvira tudi iz dejstva, da se je premaz izpiral s podlage. Izpiranje smo opazili med testiranjem absorpcije. Destilirana voda, v kateri smo kondicionirali nano preizkušance je, za razliko od ostalih, dobivala rjavkast odtenek, kar je dobro razvidno s slike 14.



Slika 13.: Absorpcija vode/vlage v nepremazane in premazane vzorce



Slika 14.: Posledica izpiranja pigmentnih delcev iz premaza NANO

## 4.3 VPLIVI UMETNEGA POSPEŠENEGA STARANJA

### 4.3.1 Pojav poškodb in vidne spremembe zaradi izpostavitve postopku UPS

#### 4.3.1.1 Kontrolni vzorec BUKOVINE

Izmed vseh preizkušancev so se vzorci bukovine med staranjem odrezali najslabše (Slika 15). To niti ni presenetljivo, saj vemo, da ima les bukve neugodno stabilnost, les se močno krči in nabreka. Tako so bile že pred koncem prvega dela ciklov, od skupno petih, na površini vzorcev opazne močne barvne spremembe. Taka diskoloracija je nastopila pri vseh šestih preizkušancih. Na njihovih čelih so se okoli stotega cikla začele pojavljati rahle razpoke, ki so se kasneje še povečevale. Opazno je bilo tudi močno vpijanje vode, saj so vzorci občutno pridobili na teži, vizualno pa so bile vidne tudi večje dimenzijske

spremembe. Kasneje, v fazi preizkušanja se je pojavil tudi občutek fino prašnate (hrapave) površine na vseh vzorcih. Vse do konca UPS se je tako stanje samo še stopnjevalo.



Slika 15.: Primerjava izgleda kontrolnih vzorcev BUKOVINE, pred postopkom UPS in po njem

#### 4.3.1.2 Premaz »LAK«

Na površinah dveh izmed preizkušancev so se že po 23. in 25. ciklu pojavile izredno močne poškodbe površine (Slika 16). Po 46. ciklu sta bila vzorca že tako poškodovana, da sijaja in barve nismo mogli več ovrednotiti, tako da smo ju izločili iz nadaljnjega postopka ocenjevanja, vendar pa še naprej pustili v postopku staranja. Na dveh vzorcih so nastale na površini manjše razpoke, preostala dva pa nista pokazala vidnih sprememb. V nadaljnjem procesu staranja (po 100 ciklih) so se izrazite razpoke pojavile še na dveh vzorcih, ki sta bila zato obravnavana enako kot izločena preizkušanca (brez preizkušanja sijaja in barve, puščena nadaljnjemu staranju). Po 200 ciklih pa sta očitne znake deformacije pokazala še preostala dva sistema: na enem vzorcu smo opazili razpoke pod površino premaza, na drugem pa so bile razpoke vidne na površini sistema.



Slika 16.: Primerjava vzorcev LAK, pred postopkom UPS in po njem

Do 350. cikla se razpoke niso povečevale, je pa na vseh preizkušancih na omenjenih mestih začel lak odstopati od površine. Tako odstopanje laka se je pojavilo predvsem na robovih elementov in okoli razpok. Lak je ob razpokah začel odstopati zaradi povečanega vrivanja vode med podlago in premaz. Ker so bili robovi preizkušancev zelo ostri, je bila tam debelina premaza nižja kot drugje na obdelani površini in je na teh mestih zato prihajalo do odstopanja premaza od podlage.

#### 4.3.1.3 Kontrolni vzorec ROBINIJE

Površina vzorcev je postajala z daljšanjem staranja vedno bolj hrapava. Po približno polovici ciklov pa so se pokazali tudi prvi znaki izpiranja površine. To izpiranje je postajalo vedno bolj očitno in je bilo na koncu UPS-a močno opazno, saj je voda, ki je služila za umetni dež, popolnoma porjavela. Dva izmed vzorcev sta razpokala močnejše, preostali štirje so imeli površino rahlo do srednje razpokano, primerno nezaščitenim preizkušancem. Vzorci so opazneje temneli (Slika 17), kar se je pokazalo tudi pri numeričnem vrednotenju barve (Slika 28).



Slika 17.: Primerjava kontrolnih vzorcev ROBINIJE, pred postopkom UPS in po njem

#### 4.3.1.4 Premaz »NANO«

Že na samem začetku staranja je bilo opaziti, da ta premaz, kljub pričakovanju, ni izkazoval vodoodbojnosti. Pri prvem merjenju smo vizualno ugotovili, da je površina sistema hrapava in vsebuje majhne površinske razpoke. Te razpoke so se povečevale z daljšanjem preizkušanja. Pri približno 100. ciklu je eden izmed vzorcev po svoji celotni dolžini močno razpokal. V tem času smo tudi opazili, da se premaz močno izpira, kar je bila posledica nezadostne vezave premaza na podlago. V nadaljnjem procesu se je hrapavost površine ustalila, izpiranje premaznega filma pa se je nadaljevalo skozi celoten proces staranja. Tako so bili po 500 ciklih preizkušanja vsi vzorci močno izprani, imeli so spremenjeno barvo, nekateri pa so bili močno razpokani (Slika 18).



Slika 18.: Primerjava vzorcev NANO, pred postopkom UPS in po njem



#### 4.3.1.5 Premaz »TIMBER«

Ta premaz se je odrezal najbolje, saj je med postopkom UPS izkazal najmanj pomanjkljivosti. Pri prvem ocenjevanju je imel eden izmed vzorcev rahlo hrapavo površino, ostali so bili brez vidnih sprememb. Vzorci se tako niso spreminjali ves čas staranja, razen proti koncu, ko je površina sistema malo potemnela, zmanjšal se je tudi sijaj (Slika 19). Opaziti je bilo, da premaz kvalitetno opravlja svojo nalogo, saj je v nasprotju z lak premazom, ki je popolnoma zaprl površino sistema, prepuščal ravno dovolj vodne pare, da je lahko podlaga prosto dihala, hkrati pa je zaščitil les pred prevelikim nabrekanjem in sušenjem ter posledično pred njegovo degradacijo.

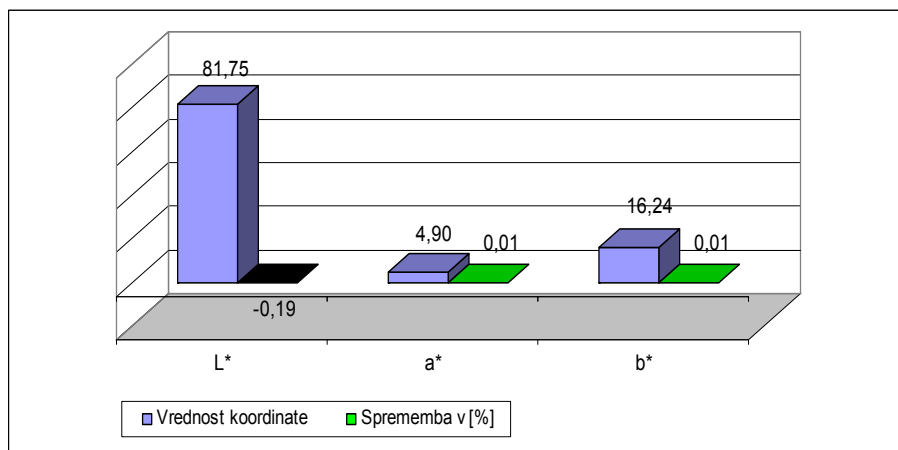


Slika 19.: Primerjava vzorcev TIMBER, pred postopkom UPS in po njem

### 4.3.2 Numerična ocena barvnih sprememb zaradi staranja

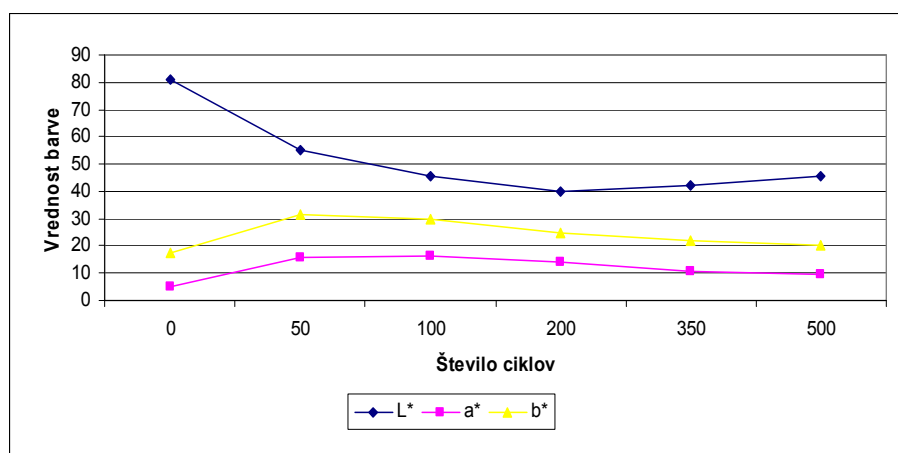
#### 4.3.2.1 Spremembe barve kontrolnega vzorca BUKOVINE

Barvne razlike, do katerih je prišlo med skladiščenjem bukovih vzorcev v temi, so bile v enakem času kot je trajalo UPS, zanemarljive (Slika 20).



Slika 20.: Kontrolni vzorci BUKOVINE: vrednosti L\*, a\*, b\* in odstotki sprememb teh vrednosti po izpostavitvi v temi.

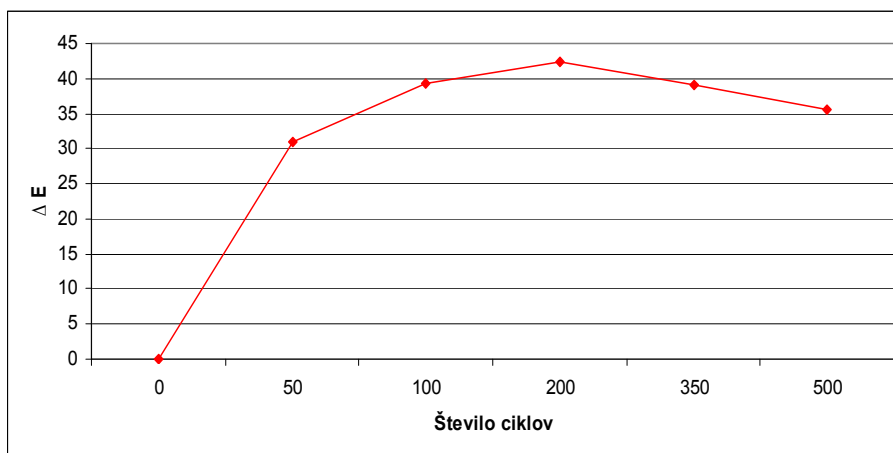
Svetlost preizkušancev je med postopkom UPS z začetne vrednosti  $L^* = 80,8$  padla na 40,1, po 200 ciklih staranja. Največji padec se je pri vrednosti koordinate  $L^*$  pokazal pri 50 ciklu preizkušanja (Slika 21). Razlika barve na rumeno/modri osi se je odražala z začasnim rumenenjem v prvi petini preizkušanja, ves nadaljnji čas pa so se vrednosti koordinate  $b^*$  spreminjale proti modri. Z začetne vrednosti 17,3 se je vrednost  $b^*$  povzpela na 20,5. Rečemo lahko, da so preizkušanci porumeneli. Na rdeče/zeleni osi  $a^*$  je bil rezultat močno podoben tistemu na osi  $b^*$ . Z začetnih 5,2 se je vrednost  $a^*$  dvignila na 9,3 in prispevala k rdečenju preizkušancev.



Slika 21.: Spremembe koordinat L\*, a\*, b\* kontrolnih vzorcev BUKOVINE

Bukovim nezaščitenim vzorcem je sprememba barve v prvih 50 ciklih UPS narasla na vrednost 31. Barvna sprememba ja dosegla svoj vrhunec pri 200 ciklih in sicer pri

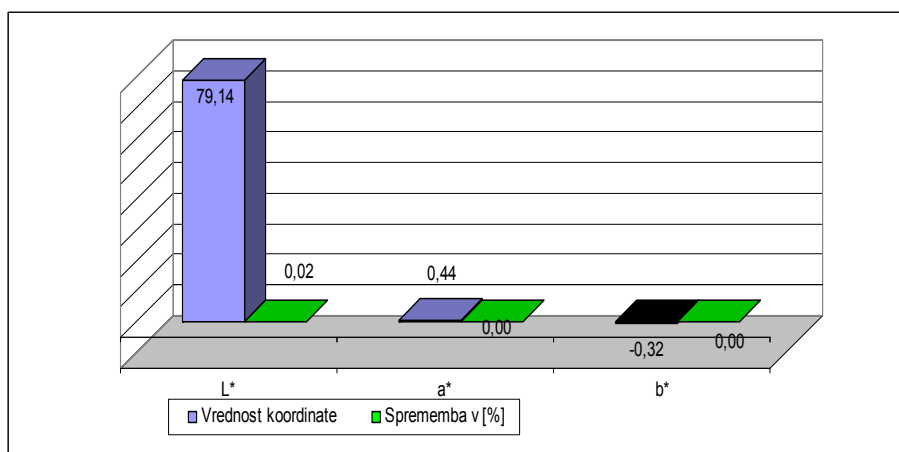
vrednosti 42. Nato je nekoliko upadla, po končanem UPS je končna spremembe barve pokazala vrednost pribl. 36 (Slika 22).



Slika 22.: Velikost spremembe barve  $\Delta E^*$ , za kontrolne vzorce BUKOVINE

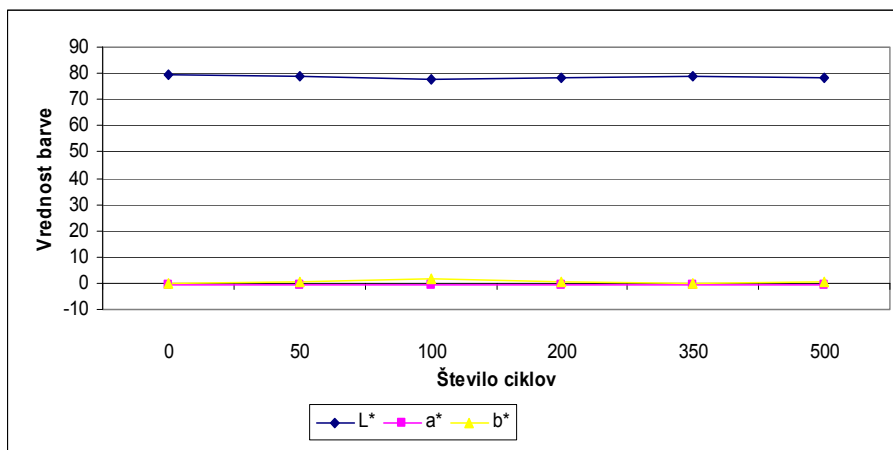
#### 4.3.2.2 Spremembe barve bukovih vzorcev, obdelanih s premazom LAK

Razlike v parametrih barve, ki so vidne na sliki 24 in so nastale pri procesu UPS, na kartezijskem diagramu (barvna lestvica), dobijo še manjši pomen, če pogledamo podatke na sliki 23. Opazimo, da so se posamezni parametri barve avtomobilskega laka rahlo spreminjali tudi v temi, pri normalni klimi.



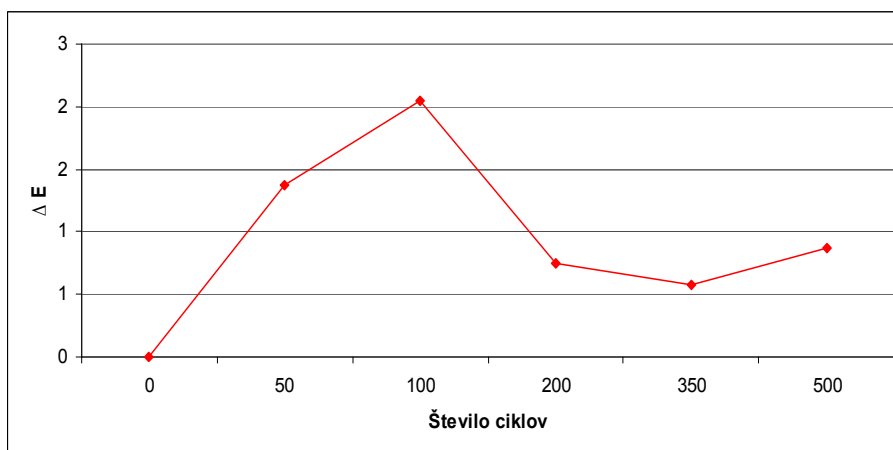
Slika 23.: Sprememba barve v temi, v času trajanja UPS, za površinski sistem LAK

S slike 24 je razvidno, da je premazni sistem rahlo potemnel, vrednost parametra  $b^*$  se je dvignila in je sistem tako porumenel, razlika na rdeče/zeleni osi  $a^*$ , pa se je ravno tako povzpela in s tem je površina pordečila.



Slika 24.: Spremembe vrednosti koordinat  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  premaznega sistema LAK

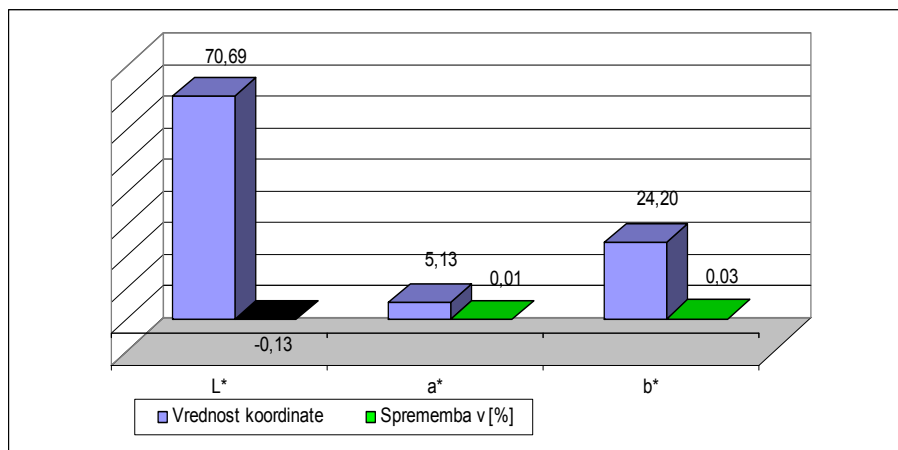
Sprememba barve pri avtomobilskem laku se je povečevala v prvih 100 ciklih in je rasla skoraj do zgornje meje dovoljenega, oz. do spremembe barve, ki je naše oko še ne zazna. Naslednjih 100 ciklov je sprememba barve padla za več kot polovico in je znašala  $\Delta E^* = 0,75$ . V naslednjih 300 ciklih se barva ni več bistveno spreminjala in je ostala v dovoljenih mejah, kjer na oko spremembe še ne zaznamo (Slika 25).



Slika 25.: Velikost spremembe barve  $\Delta E^*$ , za premazni sistem LAK na bukovi podlagi

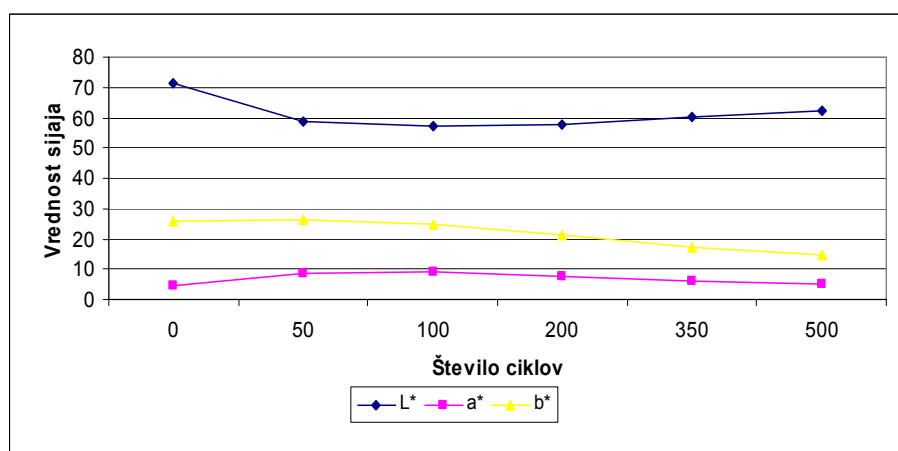
#### 4.3.2.3 Numerična barvna ocena kontrolnega vzorca ROBINIJE

Spremembe barve robinijevega lesa v temi so bile malenkostne in niso vplivale na oceno sprememb barve premaza zaradi izpostavitve UPS (Slika 26).



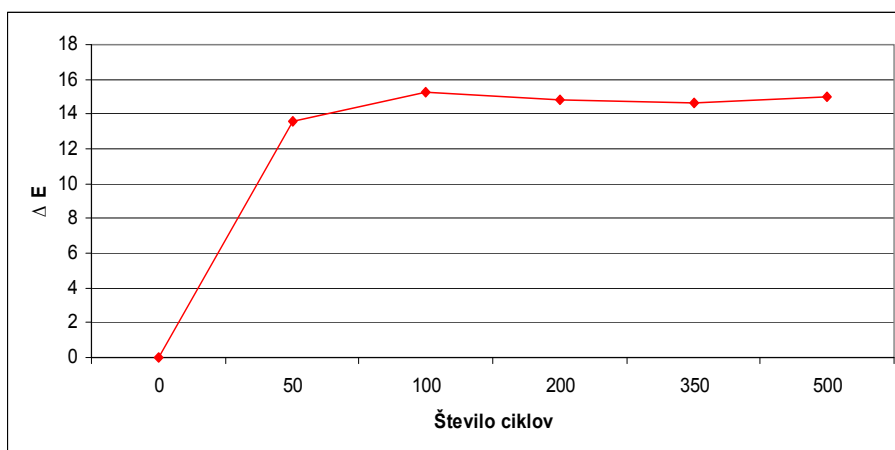
Slika 26.: Kontrolni vzorci ROBINIJE: vrednosti L\*, a\* in b\* in odstotki sprememb teh vrednosti po izpostavitvi v temi

Svetlost robinije je najbolj padla v prvi petini, saj se je znižala z 71,7 na 58,7. Pri vseh nadaljnjih merjenjih smo beležili svetljenje lesa. Tako se je vrednost L\* vzpenjala do končne vrednosti 62,2 (Slika 27). Razlika na rumeno/modri osi je po prvih 50 ciklih kazala na rumenenje lesa, pri vseh nadaljnjih merjenjih pa se je izkazalo, da je les pridobival na modri barvi. Tako je z začetnih 25,8, vrednost koordinate b\* padla na končnih 14,8. Na rdeče/zeleni osi je les prvih 100 ciklov rdečil, kasneje pa zelenel. Svojo vrednost je začel na 4,4, končal pa pri 5,0. Lahko rečemo, da je les pordečil.



Slika 27.: Spremembe koordinat L\*, a\*, b\* kontrolnih vzorcev ROBINIJE

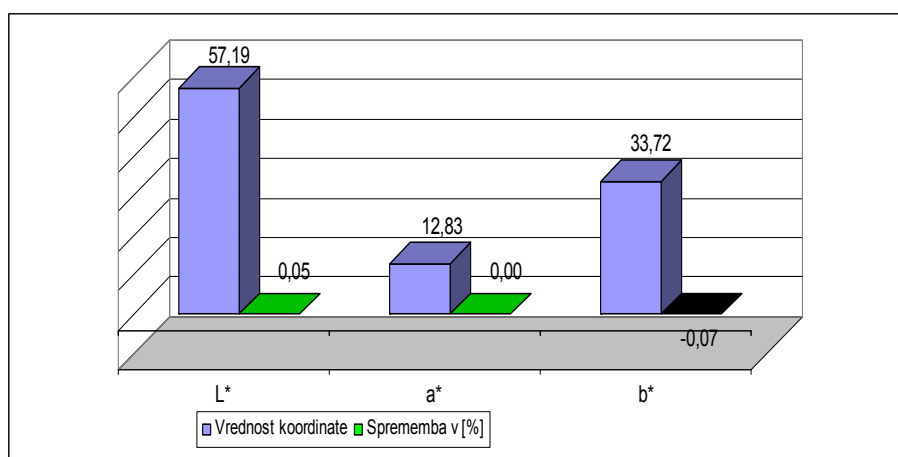
Če pogledamo sliko 28, opazimo v prvih 50 ciklih zelo močan skok, saj se je sprememba barve povzpela na vrednost  $\Delta E^* = 13,6$ . Dvig se je pojavil še v naslednjih 50 ciklih in je zrasel na vrednost 15,3. v naslednjih 100 ciklih smo zabeležili rahel padec, na 14,8. Vrednost spremembe barve je ostala skoraj nespremenjena v naslednjih 150 ciklih (14,6). V zadnji petini UPS je sprememba barve končala na  $\Delta E^* = 15,0$ .



Slika 28.: Velikost spremembe barve  $\Delta E^*$ , za kontrolne vzorce ROBINIJE

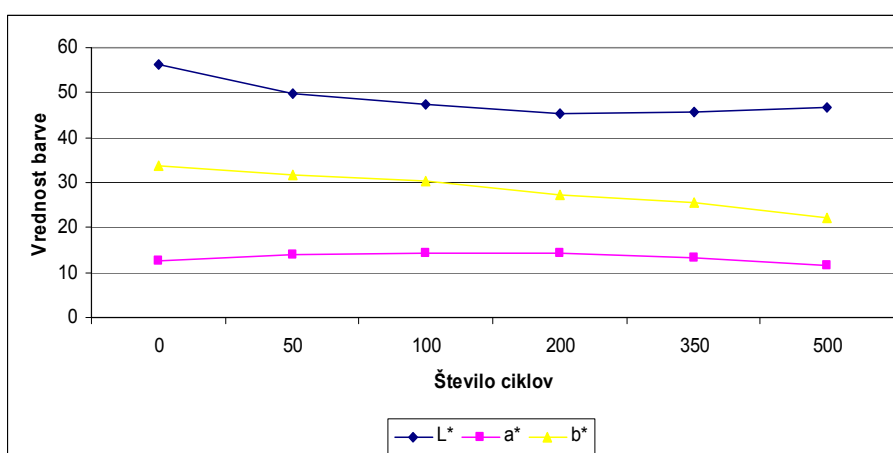
#### 4.3.2.4 Spremembe barve robinijevih vzorcev, obdelanih s premazom NANO

Spremembe v temi so bile malenkostne in niso vplivale na oceno sprememb barve premaza zaradi izpostavitve UPS (Slika 29).



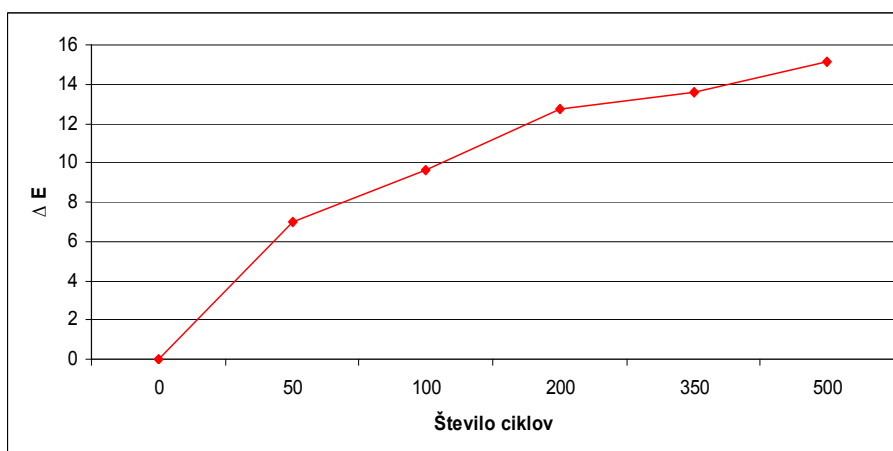
Slika 29.: Sprememba barve v temi, v času trajanja UPS, za površinski sistem NANO

Svetlost premaznega sistema nano, je v prvi polovici UPS padala s 56,2 na 45,5 (Slika 30). V drugi polovici staranja se je ta vrednost malenkostno dvignila in je na koncu znašala 46,8 enot. Sistem je na rumeno/modri osi  $b^*$  beležil konstanten in enakomeren negativen trend. Lahko rečemo, da je sistem modrel, saj je vrednost padla z začetnih 33,8 enot na končnih 22,2 enot. Podobno kot pri svetlosti, samo v obratnem zaporedju, je vrednost na rdeče/zeleni osi  $a^*$  v prvi polovici rasla z 12,5 enot na 14,4, kasneje pa je sistem zopet modrel in se je nazadnje vrednost ustalila pri 11,6.



Slika 30.: Spremembe vrednosti koordinat  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  premaznega sistema NANO

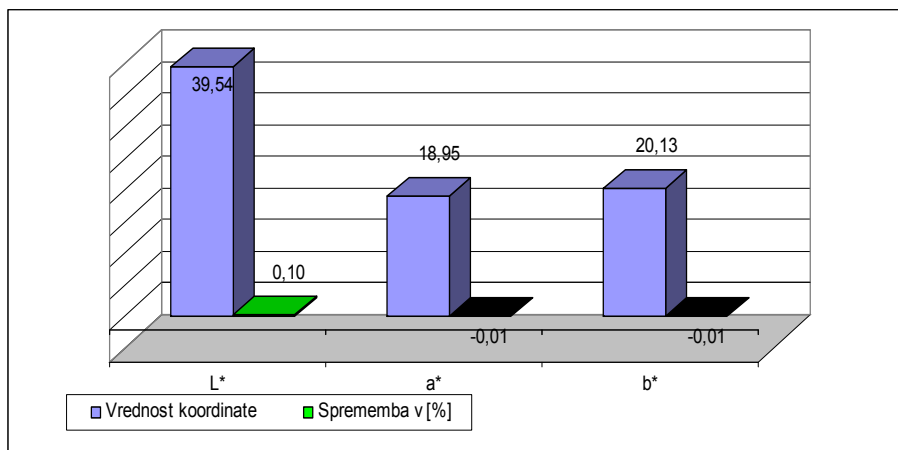
Če pogledamo sliko 31, vidimo, da je sprememba barve pri premazu nano dokaj konstantno rasla in je že v prvih 50 ciklih dosegla vrednost 7,0. Intenziteta spreminjanja se je nato zmanjšala, še vedno pa je že okoli 110. cikla prerasla vrednost, pri kateri lahko spremembo barve razločno opazimo. Po končanem UPS, pri 500. ciklu, je barvna sprememba dosegla vrednost 15,2.



Slika 31.: Velikost spremembe barve  $\Delta E^*$ , za premazni sistem NANO na robinijeji podlagi

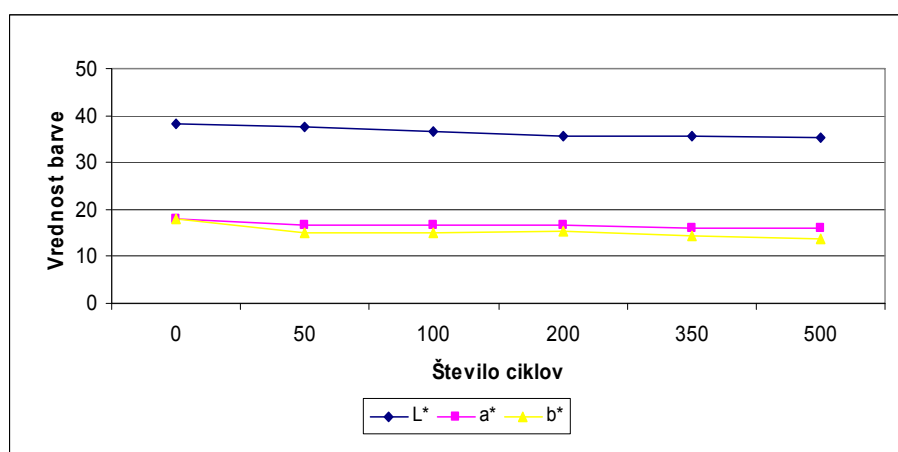
#### 4.3.2.5 Spremembe barve preizkušancev s premazom TIMBER

Spremembe v temi so bile malenkostne in niso vplivale na oceno sprememb barve premaza zaradi izpostavitve UPS (Slika 32).



Slika 32.: Sprememba barve v temi, v času trajanja UPS, za površinski sistem TIMBER

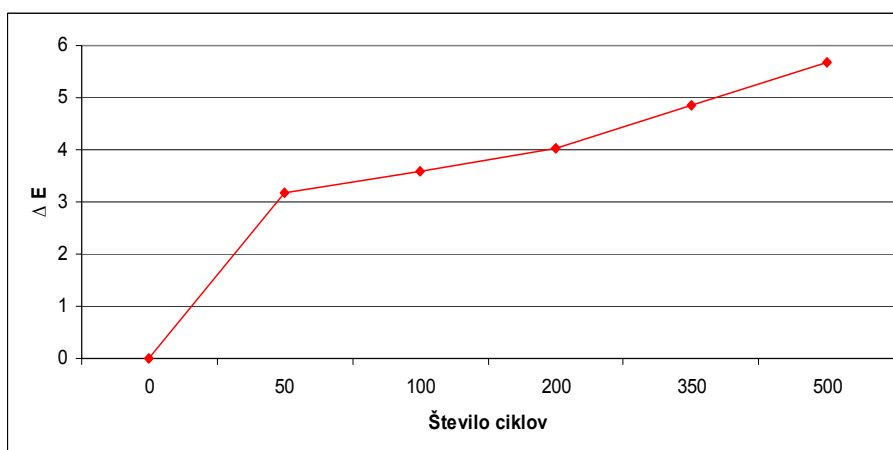
Premaz je potemnel in vrednost svetlosti je z 38,1 padla na 35,2. Enako se je zgodilo z vrednostjo na rdeče/zeleni osi, saj je premaz zelenel, od vrednosti 18,1 na 16,0. Razlika na rumeno/modri osi b\* je bila prav tako negativna. Sistem je tako pomodrel z začetnih 17,9 na 13,6 (Slika 33).



Slika 33.: Spremembe vrednosti koordinat L\*, a\*, b\* premaznega sistema TIMBER

V prvih 50 ciklih je sprememba barve dosegla vrednost 3,2. V vseh naslednjih 90 % izpostavitve UPS, se je vrednost spremembe dvignila za dodanih 2,5 enot. Indeks se je namreč ustavil pri vrednosti 5,7 (Slika 34).



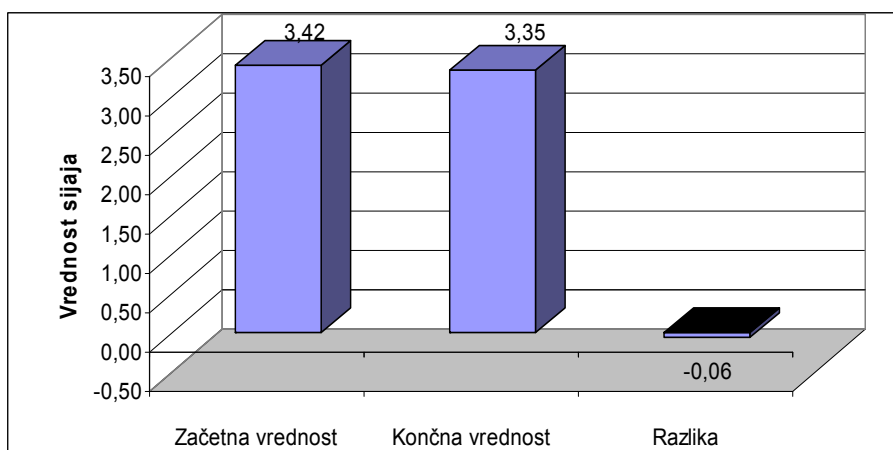


Slika 34.: Velikost spremembe barve  $\Delta E^*$ , za premazni sistem TIMBER na robinijevi osnovi

### 4.3.3 Spremembe sijaja zaradi izpostavitve UPS

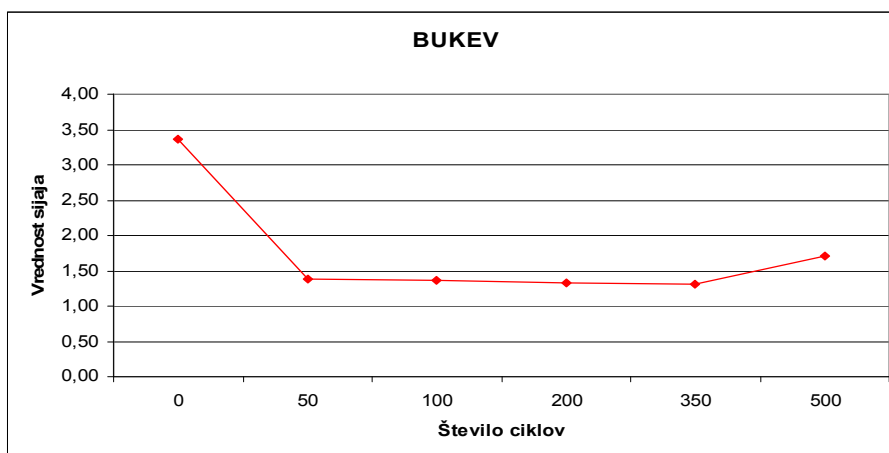
#### 4.3.3.1 Sijaj kontrolnega vzorca BUKOVINE

Vzorci bukovine so v temi dobro ohranili svoj prvotni sijaj (Slika 35).



Slika 35.: Kontrolni vzorci BUKOVINE: vrednosti spremembe sijaja po izpostavitvi v temi

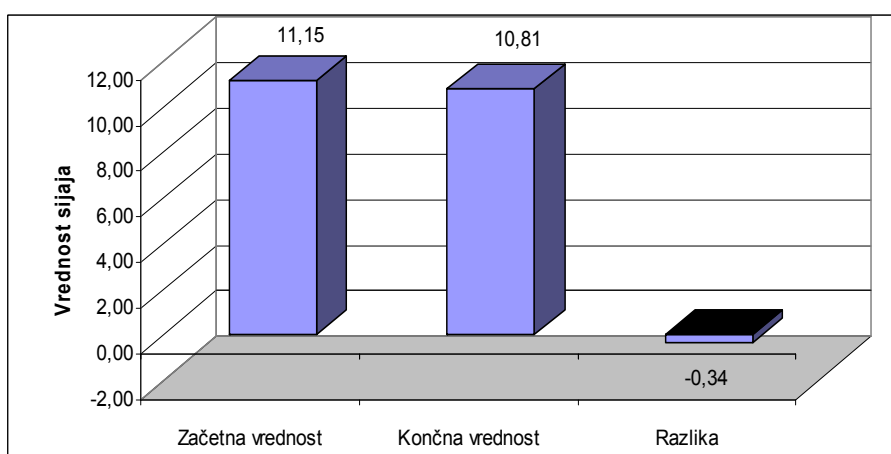
Z začetnih 3,4 točke je vrednost sijaja bukovnega lesa po staranju padla na 1,4 točke. Taka vrednost je bila dokaj konstantna do 350. cikla, ko je nato v zadnjih 150 ciklih ponovno narasla na 1,7, kar je malo nad polovično vrednostjo začetne vrednosti sijaja (Slika 36).



Slika 36.: Velikost spremembe sijaja za kontrolne vzorce BUKOVINE

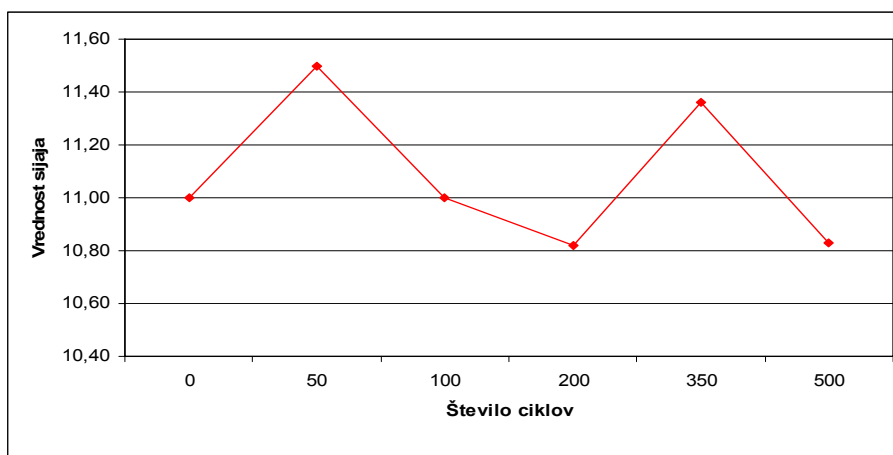
#### 4.3.3.2 Sijaj sistema s premazom LAK

V temi se sijaj vzorcem pričakovano ni veliko spreminjal in je sprememba sijaja vplivala na končno vrednost v zelo majhnem deležu, 0,3 (slika 37).



Slika 37.: Vrednost spremembe sijaja v temi, za premazni sistem LAK na bukovi podlagi

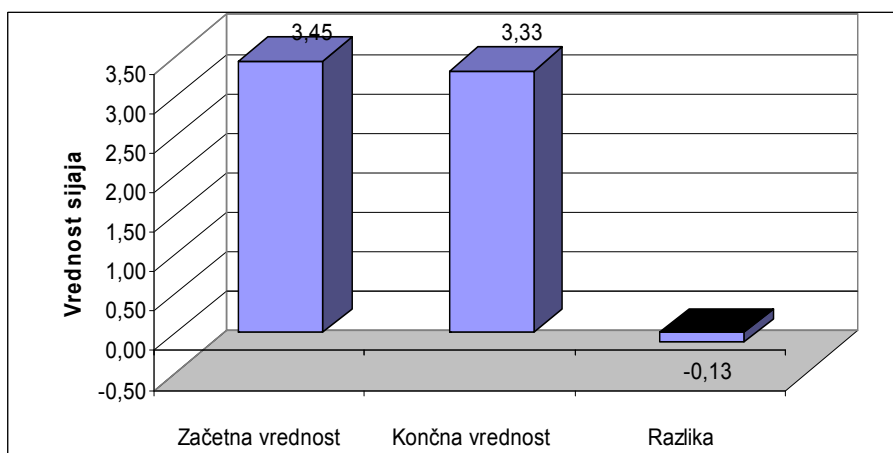
Sijaj vzorcev, premazanih s sredstvom LAK, se zaradi izpostavitve UPS ni kaj bistveno spremenil, med postopkom staranja pa smo zaznali nihanje vrednosti sijaja navzgor in navzdol, glede na začetno stopnjo sijaja (slika 38).



Slika 38.: Velikost spremembe sijaja, za premazni sistem LAK na bukovi podlagi

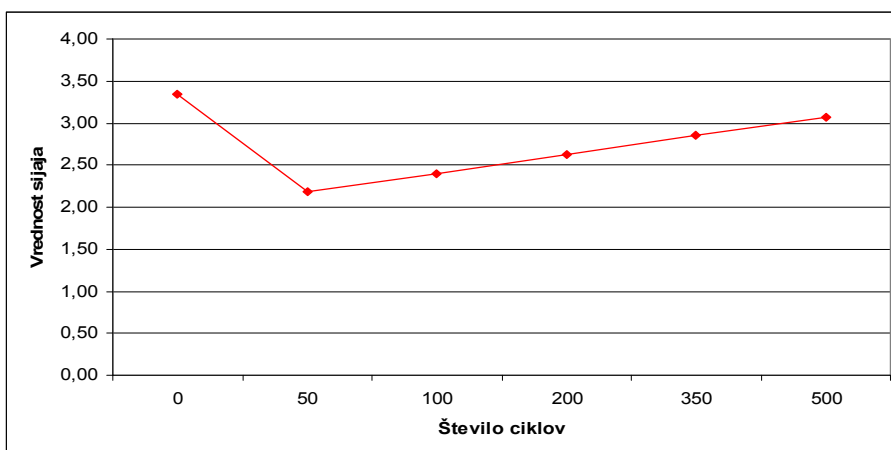
#### 4.3.3.3 Sijaj nepremazanega lesa ROBINIJE

Sprememba sijaja lesa robinije v temi je prikazana na sliki 39 in ne predstavlja velikega vpliva na njegovo končno vrednost.



Slika 39.: Kontrolni vzorci ROBINIJE: vrednost spremembe sijaja po izpostavitvi v temi

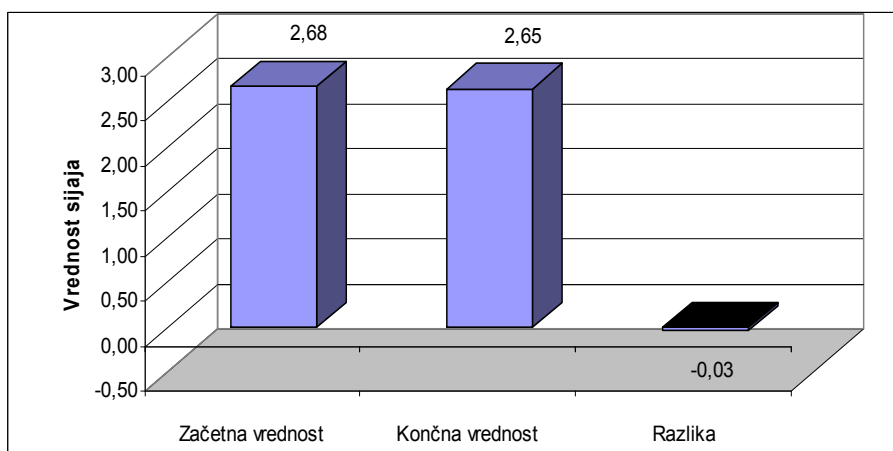
Vrednost sijaja je med UPS nihala, toda končni sijaj je bil podoben začetnemu. Tako je začetna vrednost sijaja znašala 3,4, končna pa 3,1. Zanimivo je, da je začetna vrednost sijaja med staranjem najprej precej padla, nato pa ponovno narasla, skoraj na izhodiščno vrednost (Slika 40).



Slika 40.: Velikost spremembe sijaja za kontrolne vzorce ROBINIJE

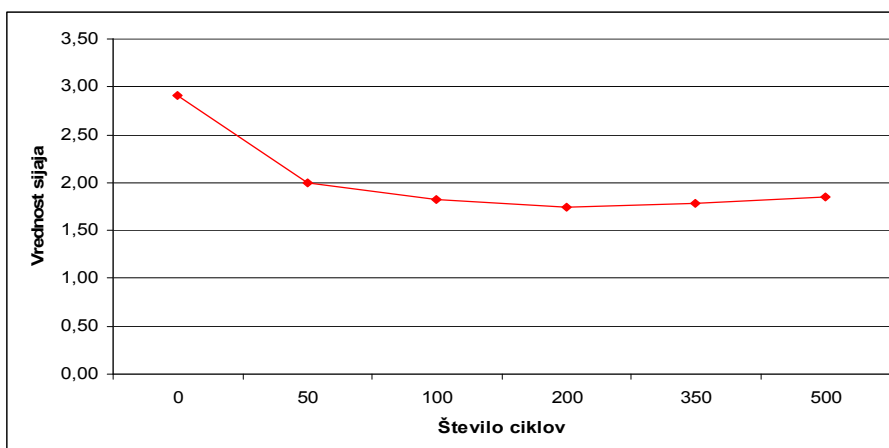
#### 4.3.3.4 Sijaj sistema s premazom NANO

S slike 41 je razvidno, da je bila sprememba sijaja premaza NANO v temi zanemarljiva.



Slika 41.: Vrednost spremembe sijaja v temi, za premazni sistem NANO na robinijevi podlagi

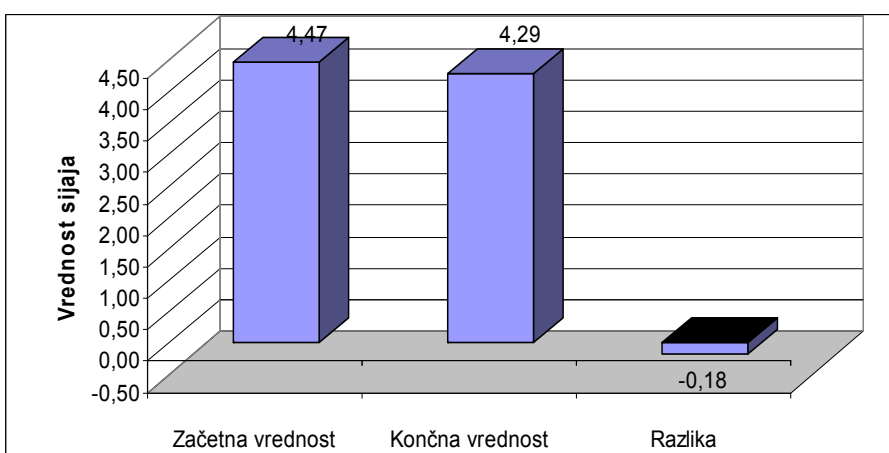
Sprememba sijaja pri premazu nano se je najbolj spremenila v prvi petini UPS, nato pa so vrednosti odstopale bistveno manj. Tako je v prvih 50 ciklih vrednost padla z 2,9 na 2,0, v naslednjih ciklih se je sijaj spreminjal do končne vrednosti 1,9. Ugotovili torej smo, da se je na začetku vrednost sijaja precej spremenila, v nadaljevanju pa ostala dokaj konstantna (Slika 42).



Slika 42.: Velikost spremembe sijaja, za premazni sistem NANO na robinijeви podlagi

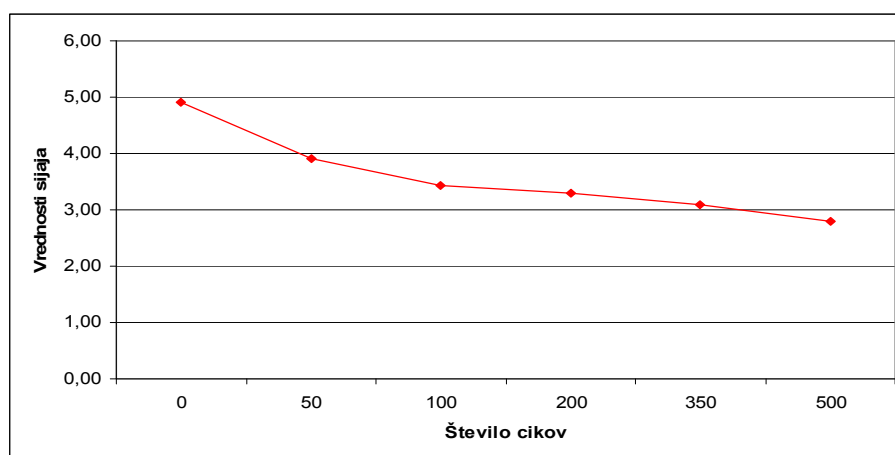
#### 4.3.3.5 Sijaj sistema s premazom TIMBER

Enako kot pri spremembah v UPS komori, ko se je vrednost sijaja spremenila najbolj, je tudi v temi premaz timber med vsemi premazi najbolj spremenil svoj sijaj in sicer za vrednost 0,2 (Slika 43).



Slika 43.: Vrednost spremembe sijaja v temi, za premazni sistem TIMBER na robinijeви podlagi

Premaz Timber je od vseh preizkušancev med UPS najbolj konstantno, vendar najbolj spreminjal sijaj. Od začetne vrednosti 4,9 je na koncu dosegel vrednost 2,8 (Slika 44).



Slika 44.: Velikost spremembe sijaja, za premazni sistem TIMBER na robinijevi podlagi

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

Pri ocenjevanju prepustnosti za vodo smo ugotovili, da so avtomobilski laki za vodo izredno nepropustni. Čeprav so zaradi tega preizkušanci, površinsko obdelani z avtomobilskim lakom, absorbirali zelo malo vode, so taki laki neprimerni za lesene produkte, ki jih uporabljamo na prostem, oziroma na mestih, kjer so izpostavljeni povišani zračni vlažnosti. Četudi avto lak popolnoma zapre les, le-ta še vedno "diha", prav tako pa voda ob primernih pogojih (npr. mikrorazpoke, tanjši sloji premaza) še vedno lahko prodre v les. Premaz, ki je izredno tog, razpoka, kar omogoči vodi neovirano pot do podlage, po drugi strani pa ni omogočeno normalno sušenje podlage. Tako ti premazi les zelo slabo zaščitijo in povzročijo več škode kot koristi, zato je bolje uporabljati nezaščiten les kot les, premazan z avtomobilskim lakom. Za razliko od avtomobilskega laka pa so se vzorci s premazom timber izkazali najboljše, saj so skozi premaz prepuščali ravno primerno količino vode. Opazno je, da so obstoječi komercialni premazi, kar zadeva permeabilnost, še vedno najučinkovitejši, saj imajo najboljše razmerje med prepustnostjo premaza in zaščito lesa. Nasprotno pa je pri vzorcih s testiranim premazom nano v procesu izvajanja preizkusa prišlo do pretiranega izpiranja premaza z lesa. Vzrok je slaba vezava tega premaza na podlago. To je tudi eden izmed razlogov, da je sistem kot celota deloval tako slabo. Kot pri premazu nano, se je tudi pri kontrolnem vzorcu robinije določen delež ekstraktivov izpiral z lesa, tako da je bilo opazno obarvanje destilirane vode, ki smo jo uporabili za izpiranje. Absorpcija vode v les robinije pa je bila še vedno zadovoljivo nizka. Kontrolni vzorci bukovine so se izmed vseh preizkušancev navlažili najbolj in so pridobili kar dve tretjini svoje mase, kar govori, da ta les, tudi nepremazan, ni primeren za uporabo na prostem.

Pri oceni barvne obstojnosti so se avtomobilski laki izkazali kot zelo dobri, saj po vizualni oceni in tudi po numerično ovrednotenih barvnih razlikah le-te niso bile takšne, da bi bile vidne za človeško oko. Tako majhne spremembe je bilo pričakovati, saj so avto laki že dolgo na trgu, zanemariti ne moremo niti dejstva, da je avtomobilska industrija zelo močna in v razvoj kvalitetnih premaznih sistemov vlaga velike finančne vložke. To se je odražalo tudi na naših preizkušancih. Ker pa je les kompleksnejši material od kovine in po poseku še vedno "živi", je ta lak zaradi drugih vzrokov, v kombinaciji z lastnostmi lesa, neprimeren za zaščito lesa v eksterieru. Pogojno bi ga bilo mogoče uporabiti pri notranjem pohištvu.

Za razliko od avtomobilskega laka je bila sprememba barve pri premazu nano veliko pod zadovoljivo ravniyo. Čeprav so se barvne komponente  $L^*$ ,  $a^*$  in  $b^*$  konstantno spreminjale v celotnem poteku staranja, so bile spremembe veliko previsoke. Premaz ni upravičil svojega namena, saj je se je na lesu obnesel celo slabše kot se je obnašal nezaščiten kontrolni vzorec. Premaz se je tudi izpiral z lesa, kar nam pove, da se na podlago ni zadovoljivo vezal.

Premaz z imenom timber se v lesni industriji uporablja že dalj časa in je v nasprotju s pričakovanji (pričakovali smo veliko boljše delovanje premaza NANO), tudi pri našem testu dosegel najboljše rezultate. Vizualno ocenjena barvna sprememba tega laka je po tabelarnih kriterijih dosegla tako vrednost, da smo jo lahko ocenili kot razločno vidno spremembo. Kljub temu bi lahko ta sistem ocenili kot dober, saj smo na oko zaznali samo manjšo potemnitev premaza. Sprememba barve, ki je na premazu potekla v temi, tako kot pri ostalih sistemih, ni pomembno vplivala na končno vrednost barve po izpostavitvi UPS.

Pri kontrolnih vzorcih lesa robinije, ki ni bila tretirana z nobenim premaznim sredstvom, je bila pri prvem preverjanju barve, po prvih ciklih UPS, opazna velika sprememba barve. Pri nadaljnjih meritvah pa se je spreminjanje barve umirilo in se barva praktično ni več spreminjala.

Tudi kontrolni vzorci bukovine so pokazali veliko barvno spremembo. Tak ekstremen odklon je bil pričakovan, saj je ta drevesna vrsta znana po veliki permeabilnosti in nagnjenosti k močnejši diskoloraciji. Podoben trend barvnih sprememb se je nadaljeval tudi v zadnjih ciklih izpostavitve umetnemu pospešenemu staranju.

Vrednost sijaja je pri vzorcih, lakiranih z avtomobilskim lakom, med postopkom UPS močno nihala. Lak premaz je imel od vseh vzorcev daleč najvišjo vrednost sijaja, kar je razumljivo, saj je to v avtomobilski industriji zaželen faktor. Zanimivo je, da smo v prvem delu UPS izmerili dvig sijaja, kasneje pa njegov padec. Razlog takega nihanja pri tem sistemu bi si lahko razlagali z dejstvom, da se premaz po nanosu morda še ni dokončno utrdil/stabiliziral. Tudi pri sijaju moramo deloma upoštevati spreminjanje premaza v temi. Čeprav vrednosti, izmerjene v temi niso imele pomembnejše vloge, pa jih kot prispevek k celotni spremembi sijaja zaradi staranja ne smemo zanemariti.

Premaz nano je zaradi staranja izgubil skoraj polovico svoje začetne vrednosti sijaja, kljub temu pa se je sistem odrezal bolje kot pri spremembi barve. Zanimivo je, da se je sijaj v temi, ravno pri nano premazu, spremenil najmanj in je najbolje ohranil svojo začetno vrednost.



Kljub temu, da je premaz timber na tržišču uveljavljen že dalj časa, se je vrednost njegovega sijaja zaradi staranja spremenila za dokaj velik odstotek. Zanimivo je tudi, da je ta sistem najbolj spremenil sijaj in je bil tako najslabši od vseh preizkušenih premazov. Sijaj se je spremenil celo bolj kot se je spremenil sijaj neobdelane bukovine in robinije. Obenem smo izmerili, da se je tudi v temi premaz timber glede sijaja odrezal najslabše.

Pri kontrolnih vzorcih robinije je začetna vrednost sijaja močno upadla, nato pa je v nadaljevanju staranja skoraj linearno rasla.

Najvišja sprememba sijaja je bila ovrednotena ravno pri neobdelanih vzorcih bukovine. Slednje je bilo pričakovati, saj vemo, da je bukov les že sam po sebi močno podvržen zunanjim, okoljskim dejavnikom. Tako je v prvih 50 ciklih svojo vrednost sijaja več kot prepolovil. Zanimivo pa je, da so bukovi preizkušanci, nasprotno kot pri preizkušanju v UPS komori, v temi ohranili svoj sijaj. Vrednost sijaja se je v temi spremenila le malenkostno. Bolje od bukovih vzorcev so se v temi odrezali samo robinijevi preizkušanci, s premazom nano.

## 5.2 NARAVNO STARANJE

Poleg umetnega pospešenega staranja, smo hkrati pričeli tudi s preizkusom odpornosti vzorcev proti vplivom naravnega staranja. Čeprav rezultatov v nalogi nismo mogli prikazati, smo preizkus opravljali dovolj dolgo, da lahko po do sedaj izvedenih meritvah in po vizualnih ocenah potrdimo, da so podatki podobni kot pri UPS. Naravno staranje je z vidika postopka preskušanja seveda bistveno zahtevnejše, saj so v postopek vključeni tako vplivi vetra, snega, biotični dejavniki, itd., česar pri umetnem pospešenem staranju ne moremo zagotoviti.

## 5.3 SKLEPI

- Avtomobilski lak premaz, v obstoječi obliki, za zaščito lesenih eksteriernih površin ni primeren, zaradi svoje prenizke prepustnosti za vodo. Dobro se je odrezal pri zaščiti podlage pred fotodegradacijo in diskoloracijo, prav tako se ni izpiral. Pogojno bi tak lak lahko uporabili v notranjih prostorih, če bi bili leseni izdelki vgrajeni v prostorih z majhno možnostjo izpostavitve vlagi. Morda bi z modifikacijami sestave avto lakov, lahko razvili odlične lake tudi za les.
- Preizkušanci z nanesenim premazom nano so ohranili svoj začetni videz na lesu med izpostavitvijo UPS le kratek čas. Premaz z nano delci, ki smo ga uporabili, za obdelavo

lesa ni primeren. Premaz ni zaščitil podlage pred fotodegradacijo, sijaj se mu je med umetnim pospešenim staranjem občutno spremenil, prav tako je bil podvržen izpiranju. Za uporabo nanopremazov za zaščito lesa pred vremenskimi vplivi, bo potrebno opraviti še vrsto raziskav.

- Premaz z imenom TIMBER se je med procesom preizkušanja obnesel najboljše. Dobro je prestal preizkus izpostavitve vodi in UPS. Spremembe barve in sijaja bi lahko ocenili kot majhne, saj površina, razen rahle potemnitve in izgube sijaja, ni bistveno spremenila svojega izgleda.
- Zaradi podobnih prvih ocen po naravnem staranju preizkušancev in rezultatov njihove izpostavitve umetnemu pospešenemu staranju, lahko sklepamo, da so pridobljeni podatki umetnega pospešenega staranja realni in uporabni v praksi.
- Premaz nano, ki smo ga preizkusili, lesa ni zaščitil, saj se je z njega močno izpiral. Mogoče je, da so imeli nano delci še vedno prevelike dimenzije in se zaradi tega niso dovolj vezali z vezivom premaznega sistema in s podlago. Morda pa bi lahko boljšo zaščito lesa s tem premazom dosegli, če bi ga v les vnesli s postopkom vakuumske impregnacije.

Naloga je pokazala določene pomanjkljivosti testiranih premaznih sredstev, še posebej na področju izpiranja in permeabilnosti. Premazi, ki vsebujejo nano delce so vsekakor zanimiva smer raziskovanja. V nadaljnjih raziskavah bi bilo potrebno primerjati več takšnih premazov med seboj, še posebno če bi jih dodatno modificirali. Prihodnost zaščite vidimo prav v nanotehnologiji. Zavedati se moramo, da je komercialna raba nanotehnologije še v povojih in bo verjetno potrebnih še nekaj let, da bodo nano lesni premazi dosegli nivo, ki bo dosegal kvaliteto površinsko zaščito oz. kot cilj, presejal zaščitno učinkovitost obstoječih komercialnih lesnih premazov. Les je namreč heterogena, kompleksna in živa materija, in prenos rešitev z drugih področij, npr. od premazov za kovine na področje površinske obdelave lesa je vse prej kot enostaven.

## 6 POVZETEK

Sodobni premazi za zaščito lesa so v današnjem svetu nuja. Tako so uporabni materiali ljudem že od nekdaj omogočali lažje življenje, sodobni pa prinašajo revolucijo. Razvoj novih materialov v tem stoletju je naravnani k dejavnikom kot sta okoljsko in energetsko vprašanje. Kot zelo obetaven se je pokazal razvoj nano znanosti in tehnologije in ima velike možnosti, da postane ključ do teh odgovorov.

Odločili smo se, da za zaščito lesa na prostem preizkusimo premaze, za katere menimo, da bi bili lahko boljša alternativa sedanjim in imajo dobre možnosti za svoj nadaljnji razvoj. Preverili smo zaščitne lastnosti avtomobilskega laka na bukovi in tako imenovanega nanopremaza ter komercialnega premaza na robinijeви podlagi. Vzorce smo izpostavili umetnemu pospešenemu staranju, izmerili smo jim debeline filmov, določili permeabilnost, in po v naprej zastavljenih časovnih ciklih merili njihove barvne koordinate  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , ugotavljali spremembo barve  $\Delta E$  ter določali spremembo sijaja v odvisnosti od časa izpostavitve.

Vsi izmed preizkušenih premazov so omejili absorpcijo vode v podlago, čeprav je premaz nano to funkcijo opravil najslabše, saj je bila razlika permeabilnosti med nezaščitenimi in zaščitenimi vzorci minimalna. Najbolje pa je podlago zaščitil avtomobilski lak, ki praktično ni prepustil vode. Je bilo pa že pred prvimi instrumentalnimi meritvami moč opaziti, da avtomobilski lak površino preveč zapre. Takoj po prvih treh ciklih UPS, sta namreč dva izmed vzorcev pokazala deformacijo površine do mere, da nista bila več primerna za nadaljnje meritve.

Ugotovili smo, da avtomobilski lak, kljub svoji optimiranosti za uporabo na vozilih, ni primeren za zunanjo zaščito lesa, saj je preveč nepermeabilen. V procesu staranja je površina razpokala. Odlično se je odrezal le pri zaščiti podlage pred fotodegradacijo in diskoloracijo. Tudi nanopremaz se ni obnesel, saj ni zaščitil podlage pred fotodegradacijo, sijaj se mu je med umetnim pospešenim staranjem občutneje spremenil, prav tako je bil podvržen spiranju s podlage, kar je bilo še posebej očitno v uporabljeni vodi, ki se je močno obarvala v barvi premaza. Komercialni premaz se je izkazal za najboljšega. Permeabilnost je bila zadovoljiva, kar se je kasneje pokazalo tudi pri umetnem pospešenem staranju. Spremembe barve in sijaja bi lahko ocenili kot majhne, saj razen rahle potemnitve in izgube sijaja, površina ni bistveno spremenila svojega izgleda.

Na podlagi dobljenih rezultatov in meritev menimo, da sodobni premazi še ne dosegajo zadovoljivih rezultatov. Boljše rezultate bi lahko dosegli z nadaljnjimi raziskavami in primerjavo več sodobnih premazov med seboj, še posebno če bi jih dodatno modificirali.

## 7 VIRI

- Debeljak T. 1999. Vpliv kitanja podlage na adhezijo akrilnega laka. Visokošolska diplomska naloga. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 48 str.
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Opisi lesnih vrst. Gradivo za predavanja. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
- Flerin A. 2006. Kontaktni koti premazov na modificiranem lesu. Visokošolska diplomska naloga. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 44 str.
- Golob V., Golob D. 2001. Teorija barvne matrike. V: Interdisciplinarnost barve. 1. del. V znanosti. Jeler S., Kumar M. (ur.). Maribor DKS: 201-230
- Huskić M. (ur.). 2007. Polimerni nanokompoziti.  
<http://nanosvet.com/Nanotehnologija/polimerni-nanokompoziti.htm> (07.03.2007)
- Jeler S. 2001. Teorija barvne matrike. V: Interdisciplinarnost barve. 1. del. V znanosti. Jeler S., Kumar M. (ur.). Maribor DKS: 164-200
- Kričej B. 1974. Postopki umetnega-pospešenega staranja premazov, namenjenih za površinsko obdelavo lesnih konstrukcij, izpostavljenih na prostem. Les. 1974. 4. 131-132
- Kvantna mehanika  
[http://sl.wikipedia.org/wiki/Kvantna\\_mehanika](http://sl.wikipedia.org/wiki/Kvantna_mehanika) (07.03.2007)
- Lancaster P. 2005. Nanotechnology: A revolution for Forestry?.  
[http://www.nanotech-now.com/Nanotech\\_August%202005.pdf](http://www.nanotech-now.com/Nanotech_August%202005.pdf) (22.03.2007)
- Mihevc V. 1987. Kontrolne metode lepljenja in površinske obdelave lesa. Ljubljana, Vdo biotehniška fakulteta, Vtozd za lesarstvo, Katedra za pohištvo: 179 str.
- Moerck R. 2002. When it comes to nanocoatings, size matters. Sicaras, Victoria K. (ur.).  
[http://findarticles.com/p/articles/mi\\_hb3386/is\\_200208/ai\\_n8131610](http://findarticles.com/p/articles/mi_hb3386/is_200208/ai_n8131610) (15.03.2007)
- Podjed J. 2001. Kaj je dobro vedeti o sijaju. Les, 53, 10: 351-352
- Potočnik J. 2006. Nanotehnologija - inovacije za jutrišnji svet. Mathias Schulenburg (ur.). Brošura. Luxembourg: Urad za uradne publikacije evropskih skupnosti.  
[http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/pe\\_leaflets\\_brochures.htm#brochure](http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/pe_leaflets_brochures.htm#brochure) (26.02.2007)

- Renko D. 1981. O sijaju lakiranih površina. *Drvena industrija*, 32, 11-12: 324-325
- Roughley J. D. 2005. Nanotechnology: Implications for the Wood Products Industry. Končno poročilo. North Vancouver.  
<http://www.nanotechforest.org/documents/CanadaReportByForintekCanadaCorp.pdf>  
(07.03.2007)
- Sandermann W., Schlumbom F. 1962. Über die Wirkung gefilterten ultravioletten Lichtens auf Holz- Zweite Mitteilung: Ändurung von Farbwert und Farbpmpfindung an Holzoberflächen. *Holz als foh- und Werkstoff*, 20: 285-291
- Sever V. 2005. Nanotehnologija in zdravje državljanov EU. *Življenje in tehnika*. LVI. 57-66
- SIST EN ISO 2813:1999. Barve in laki - Določevanje sijaja neefektnih premaznih sredstev pod koti 20°, 60° in 85° (ISO 2813:1994, vključno s tehničnim popravkom 1:1997) – Paintsand varnishes - Determination of specular gloss of non metallic paint films at 20°, 60° and 85° (ISO 2813:1994, Including Technical Corrigendum 1:1997).
- SIST EN ISO 2808:1999. Barve in laki - Ugotavljanje debeline plasti – Paints and varnishes - Determination of film thickness (ISO 2808:1997).
- SIST EN 927-5. 2000. Paints and varnishes – Coating materials and coating system for Exterior wood – Part 4: Assessment of the liquid water permeability.
- Štefe P. 2004. Umetno pospešeno staranje površinskih premazov na modificiranem lesu. Visokošolska diplomska naloga. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 47 str.
- Tušar S. 1995. Vpliv brušenja površine na stopnjo sijajnosti. Visokošolska diplomska naloga. Ljubljana, BF, oddelek za lesarstvo: 58 str.
- Van der Waalsova sila  
[http://sl.wikipedia.org/wiki/Van\\_der\\_Waalsova\\_sila](http://sl.wikipedia.org/wiki/Van_der_Waalsova_sila) (07.03.2007)
- Veliki splošni leksikon. 1998. 2., dopolnjena izdaja. Ljubljana, Narodna in univerzitetna knjižnica: 2190: 5004
- Wegner H. T. 2005 Nanotechnology: A revolution for Forestry?.  
[http://www.nanotech-now.com/Nanotech\\_August%202005.pdf](http://www.nanotech-now.com/Nanotech_August%202005.pdf) (22.03.2007)

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se vsem, ki ste mi pri izdelavi diplomske naloge stali ob strani in mi pomagali doseči zastavljeni cilj. Še posebno se zahvaljujem mentorju, prof. dr. Marku Petrič, za neprecenljivo pomoč in strokovno usmerjanje. Zahvala gre tudi tehniškemu sodelavcu dipl. ing. Borutu Kričejju, za asistenco in pomoč pri izvajanju raziskovalnega dela. Hvala tudi INDOK-u in ga. Darji Vranjek za veliko pomoč pri iskanju literature.

Matej Hočevar

## PRILOGE

### Priloga A: Barvne spremembe kontrolnih vzorcev pred UPS in po njem

Preglednica 1: Barva pred UPS in po njem za kontrolne vzorce BUKEV

št. vzorca	0 CIKLOV			500 CIKLOV			$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E$
	L*	a*	b*	L*	a*	b*				
1	81,31	5,18	17,69	51,42	8,73	21,44	-29,89	3,55	3,75	30,33
2	80,24	4,97	17,46	48,97	8,83	23,04	-31,28	3,86	5,58	32,00
3	80,88	5,09	18,00	33,31	11,39	18,68	-47,57	6,30	0,69	47,99
4	79,70	5,47	16,58	55,10	6,92	19,07	-24,59	1,45	2,48	24,76
5	81,74	5,01	16,48	42,36	9,82	20,78	-39,38	4,81	4,30	39,90
6	80,72	5,34	17,36	42,51	10,15	19,70	-38,21	4,80	2,34	38,58
arit. sred.	80,77	5,18	17,26	45,61	9,31	20,45	-35,15	4,13	3,19	35,59
stan. odk.	0,73	0,20	0,61	7,83	1,52	1,64	8,19	1,63	1,72	8,23

Preglednica 2: Barva pred UPS in po njem za kontrolne vzorce ROBINIJA

št. vzorca	0 CIKLOV			500 CIKLOV			$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E$
	L*	a*	b*	L*	a*	b*				
1	67,61	5,63	22,58	65,76	3,97	11,89	-1,85	-1,66	-10,69	10,98
2	73,40	3,86	26,61	62,88	4,30	11,87	-10,53	0,43	-14,74	18,12
3	70,99	4,86	25,49	65,88	4,13	13,29	-5,11	-0,73	-12,19	13,24
4	71,49	5,08	24,09	59,46	6,03	18,23	-12,02	0,95	-5,86	13,41
5	70,01	3,50	29,71	56,46	6,13	17,44	-13,54	2,63	-12,27	18,46
6	74,71	3,16	26,12	62,49	5,32	16,12	-12,22	2,15	-10,00	15,93
arit. sred.	71,37	4,35	25,76	62,16	4,98	14,81	-9,21	0,63	-10,96	15,02
stan. odk.	2,51	0,98	2,43	3,66	0,98	2,82	4,66	1,65	2,99	2,98

## Priloga B: Barve premaznih sistemov pred UPS in po njem

Preglednica 3: Barva premaznega sistema LAK pred UPS in po njem

št. vzorca	0 CIKLOV			500 CIKLOV			$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E$
	L*	a*	b*	L*	a*	b*				
1	78,70	-0,63	-0,35	78,49	-0,71	0,34	-0,21	-0,08	0,69	0,83
2	78,76	-0,63	-0,35	78,09	-0,71	0,40	-0,67	-0,08	0,76	0,87
3	79,02	-0,60	-0,39	NI PODATKA			NI PODATKA			NI POD.
4	80,36	-0,65	-0,31	NI PODATKA			NI PODATKA			NI POD.
5	80,22	-0,69	-0,18	NI PODATKA			NI PODATKA			NI POD.
6	80,02	-0,65	-0,31	NI PODATKA			NI PODATKA			NI POD.
arit. sred.	79,51	-0,64	-0,32	78,29	-0,71	0,37	-0,44	-0,08	0,72	0,85
stan. odk.	0,77	0,03	0,07	0,28	0,00	0,05	0,33	0,00	0,05	0,03

Preglednica 4: Barva premaznega sistema NANO pred UPS in po njem

št. vzorca	0 CIKLOV			500 CIKLOV			$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E$
	L*	a*	b*	L*	a*	b*				
1	54,58	13,34	34,38	48,82	11,43	22,19	-5,77	-1,91	-12,19	13,62
2	55,28	12,98	33,11	49,61	10,51	21,43	-5,67	-2,47	-11,68	13,22
3	56,87	12,59	35,73	45,05	12,92	23,19	-11,81	0,33	-12,53	17,23
4	54,89	12,54	31,54	44,45	11,19	20,96	-10,45	-1,35	-10,57	14,92
5	56,95	11,91	33,26	44,06	10,95	20,63	-12,89	-0,97	-12,63	18,07
6	58,49	11,56	34,74	48,63	12,30	24,82	-9,86	0,74	-9,92	14,00
arit. sred.	56,18	12,49	33,79	46,77	11,55	22,21	-9,41	-0,94	-11,59	15,18
stan. odk.	1,51	0,66	1,47	2,51	0,90	1,58	3,05	1,25	1,11	2,01

Preglednica 5: Barva premaznega sistema TIMBER pred UPS in po njem

št. vzorca	0 CIKLOV			500 CIKLOV			$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E$
	L*	a*	b*	L*	a*	b*				
1	40,60	19,25	21,49	36,86	18,42	17,87	-3,74	-0,83	-3,62	5,27
2	39,27	19,60	19,83	36,85	18,48	17,45	-2,41	-1,12	-2,38	3,57
3	36,11	16,59	14,53	33,86	14,66	11,20	-2,25	-1,92	-3,33	4,46
4	40,07	20,10	20,66	37,45	18,49	16,51	-2,63	-1,61	-4,15	5,17
5	37,00	16,87	16,12	33,36	14,10	10,43	-3,64	-2,77	-5,68	7,30
6	35,72	16,08	14,51	32,73	11,76	8,11	-2,99	-4,32	-6,40	8,28
arit. sred.	38,13	18,08	17,86	35,19	15,98	13,60	-2,94	-2,10	-4,26	5,67
stan. odk.	2,11	1,76	3,17	2,09	2,88	4,18	0,63	1,28	1,51	1,77



## Priloga C: Sijaj kontrolnih vzorcev pred UPS in po njem

Preglednica 6: Sijaj kontrolnih vzorcev pred UPS in po njem za BUKEV

št. vzorca	PRED UPS	PO UPS	$\Delta$
1	3,82	2,56	-1,27
2	3,52	2,13	-1,39
3	3,13	0,80	-2,33
4	3,25	1,96	-1,30
5	3,01	1,35	-1,66
6	3,40	1,46	-1,94
arit. sred.	3,36	1,71	-1,65
stan. odk.	0,29	0,63	0,42

Preglednica 7: Sijaj kontrolnih vzorcev pred UPS in po njem za ROBINIJA

št. vzorca	PRED UPS	PO UPS	$\Delta$
1	3,14	3,33	0,18
2	3,85	3,34	-0,51
3	3,26	3,44	0,18
4	3,60	2,73	-0,87
5	2,88	2,28	-0,60
6	3,34	3,27	-0,06
arit. sred.	3,35	3,07	-0,28
stan. odk.	0,34	0,46	0,44

## Priloga D: Sijaj premaznih sistemov pred UPS in po njem

Preglednica 8: Sijaj pred UPS in po njem za premazni sistem LAK

št. vzorca	PRED UPS	PO UPS	$\Delta$
1	10,55	10,85	0,30
2	10,34	10,81	0,46
3	10,33	NI PODATKA	
4	11,75	NI PODATKA	
5	11,68	NI PODATKA	
6	11,37	NI PODATKA	
arit. sred.	11,00	10,83	0,38
stan. odk.	0,67	0,03	0,11

Preglednica 9: Sijaj pred UPS in po njem za premazni sistem NANO

št. vzorca	PRED UPS	PO UPS	$\Delta$
1	2,16	1,34	-0,83
2	2,72	2,05	-0,67
3	3,28	1,94	-1,34
4	2,88	1,75	-1,14
5	2,99	NI PODATKA	
6	3,47	2,17	-1,29
arit. sred.	2,92	1,85	-1,05
stan. odk.	0,46	0,33	0,29

Preglednica 10: Sijaj pred UPS in po njem za premazni sistem TIMBER

št. vzorca	PRED UPS	PO UPS	$\Delta$
1	4,95	2,39	-2,57
2	3,74	2,39	-1,35
3	4,96	3,56	-1,40
4	7,41	3,26	-4,15
5	4,27	3,19	-1,08
6	4,18	1,99	-2,19
arit. sred.	4,92	2,79	-2,12
stan. odk.	1,31	0,62	1,14