

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Borut KRIČEJ

**SPREMINJANJE BARVE PROSOJNIH POVRŠINSKIH SISTEMOV
V INTERIERU**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**COLOUR CHANGING OF TRANSPARENT COATING SYSTEMS
IN INTERIOR**

GRADUATION THESIS
Higher Professional Studies

Ljubljana, 2006

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva.

Opravljeno je bilo v Laboratoriju za površinsko obdelavo Katedre za pohištvo, Oddelka za lesarstvo na Biotehniški fakulteti, Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je na svoji seji, dne 24. 1. 2006 odobril naslov diplomskega dela in za mentorja imenoval

prof. dr. Marka PETRIČ

za recenzentko pa

prof. dr. Vesno TIŠLER.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član:

prof. dr. Marko PETRIČ

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član:

prof. dr. Vesna TIŠLER

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Datum zagovora: 16. junij 2006

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Borut KRIČEJ

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*829.1
KG	prosojni površinski sistemi/les/interier/sprememba barve/CIEL*a*b*
AV	KRIČEJ, Borut
SA	PETRIČ, Marko (mentor)/TIŠLER, Vesna (recenzentka)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, Cesta VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2006
IN	SPREMINJANJE BARVE PROSOJNIH POVRŠINSKIH SISTEMOV V INTERIERU
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	XI, 80 str., 8 pregl., 71 sl., 6 pril., 60 vir.
IJ	Sl
JJ	sl/en
AI	Prosojne površinske sisteme smo za 48 mesecev izpostavili normalni fluorescenčni svetlobi in popolni temi v interieru. S kolorimetrom smo merili spremembo barve po v naprej določenih časovnih intervalih. Analiza barvnih sprememb ΔE^*_{0-48} je pokazala, da se barva večine prosojnih površinskih sistemov v interieru prekomerno spremeni že v 1. do 3. mesecu. V večini primerov so vzorci potemneli in porumeneli. Barva sistemov se je spreminjala tudi v temi. Premazni sistemi (poliuretan, naravna olja) na podlagi so skoraj pri vseh vzorcih povečali barvno obstojnost celotnega površinskega sistema. Glede na časovni potek barvnih sprememb ΔE^*_{0-48} smo uspeli prepoznati/identificirati 4 značilne skupine časovne odvisnosti barvnih sprememb. Le-te omogočajo, da na osnovi meritev koordinat barve L^* , a^* , b^* in analize barvnih sprememb ΔE^*_{0-3} , v času trimesečne izpostave svetlobi površinske sisteme pohištva razvrstimo v eno od 4 značilnih skupin in napovemo nadaljnje spreminjanje barve.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 630*829.1
CX transparent coating systems/wood/interior/colour change/CIEL*a*b*
AU KRIČEJ, Borut
AA PETRIČ, Marko (supervisor)/TIŠLER, Vesna (co-advisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, Cesta VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2006
TI COLOUR CHANGING OF TRANSPARENT COATING SYSTEMS
IN INTERIOR
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO XI, 80 p., 8 tab., 71 fig., 6.ann., 60 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Transparent coating systems were exposed for 48 months to the normal fluorescent light or complete darkness in interior. In defined time intervals, colour changes were measured. The analyses of ΔE^*_{0-48} colour changes showed that the colour of most transparent coating systems changed substantially in 1st up to 3rd month. In most cases the samples became darker and yellowish. The colour of coating systems was changing also in darkness. In almost all the cases, the coatings (polyurethanes, natural oils) increased the colour stability of the transparent coating systems. Regarding the time course of ΔE^*_{0-48} colour changes, 4 characteristic groups of time dependent colour changes were identified. By measuring L^* , a^* , b^* colour coordinates and analysing ΔE^*_{0-3} colour changes in the exposure period of 3 months, the coating systems of furniture can be sorted out in 1 of 4 characteristic groups, and the subsequent colour changes of coating systems predicted.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key Words Documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Kazalo prilog	XI
1 UVOD	1
2 TEORETIČNE OSNOVE IN PREGLED OBJAV	2
2.1 PROSOJNI POVRŠINSKI SISTEMI	2
2.1.1 Les	3
2.1.1.1 Bukev (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	3
2.1.1.2 Češnja (<i>Prunus avium</i> L.)	4
2.1.1.3 Črna jelša (<i>Alnus glutinosa</i> Gaertn.)	4
2.1.1.4 Javor (<i>Acer pseudoplatanus</i> L.)	4
2.1.1.5 Hrast (<i>Quercus robur</i> L.)	5
2.1.1.6 Jesen (<i>Fraxinus excelsior</i> L.)	5
2.1.1.7 Macesen (<i>Larix decidua</i> Mill.)	6
2.1.2 Premazi za les	6
2.1.2.1 Poliuretanski premazi (PU)	6
2.1.2.2 Poliakrilatni laki za utrjevanje z UV sevanjem (UV-A)	7
2.1.2.3 Naravna olja	7
2.2 SVETLOBA IN BARVA	7
2.2.1 Svetloba	7
2.2.1.1 Fiziološko zaznavanje svetlobe	8
2.2.1.2 Energija svetlobe	10
2.2.1.3 Absorpcija, prepuščanje in sipanje svetlobe	11
2.2.1.4 Svetlobni viri	12
2.2.2 Barva	13
2.3 VREDNOTENJE BARVE	14
2.3.1 CIE - barvni prostor	15
2.3.2 CIE 1976 L*a*b* sistem vrednotenja barve	16
2.4 VREDNOTENJE BARVNIH RAZLIK	18
2.4.1 Barvne razlike po CIEL*a*b* sistemu	18
2.4.1.1 Zveza med ΔE^* in čutno zaznavo barvnih razlik	20
2.4.2 Vrednotenje fotodegradacije površinskih sistemov z infrardečo (nihajno) spektroskopijo	22
2.5 SPREMINJANJE BARVNEGA TONA POVRŠINSKIH SISTEMOV	23
2.5.1 Barva lesa	23
2.5.2 Fotodegradacijski procesi v lesu in premaznih sistemih	23

3	MATERIAL IN METODE	27
3.1	MATERIAL	27
3.1.1	Vzorci prosojnih površinskih sistemov	27
3.1.2	Sijalke	29
3.2	METODE	29
3.2.1	Izpostavitve vzorcev svetlobi v interieru	29
3.2.2	Merjenje in vrednotenje barve vzorcev prosojnih površinskih sistemov	30
3.2.3	Vrednotenje barvnih razlik ΔE^*	30
3.2.4	Ocenjevanje vplivov svetlobe v interieru na sestavo lesa in prosojnih premaznih sistemov s FT-IR spektroskopijo	31
4	REZULTATI	32
4.1	IZMERJENE VREDNOSTI BARVE PROSOJNIH POVRŠINSKIH SISTEMOV	32
4.2	BARVNE RAZLIKE ΔE^*_{0-48} ZARADI OBREMENJEVANJA S SVETLOBO V INTERIERU	37
4.2.1	Barvne razlike ΔE^* po 1., 2. in 3. mesecu učinkovanja fluorescenčne svetlobe	37
4.2.2	Barvne razlike ΔE^* po 48. mesecu učinkovanja fluorescenčne svetlobe	39
4.2.3	Barvne razlike ΔE^*_{48} in spremembe barvnih koordinat ΔL^*_{48} , Δa^*_{48} , Δb^*_{48}	41
4.2.4	Odvisnost barvnih sprememb ΔE^* od časa t_0 do t_{48}	49
4.2.5	Vpliv prosojnega premaznega sistema na barvno spremembo ΔE^*_{48} površinskega sistema	52
4.3	BARVNE RAZLIKE ΔE^*_{T48} POVRŠINSKIH SISTEMOV V TEMI	53
4.4	VREDNOTENJE VPLIVOV IZPOSTAVITVE SVETLOBI V INTERIERU Z METODO NIHAJNE SPEKTROSKOPIJE	55
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	59
5.1	RAZPRAVA	59
5.1.1	Barvne razlike ΔE^* po 1., 2., 3. in 48. mesecu učinkovanja fluorescenčne svetlobe	60
5.1.2	Barvne razlike ΔE^*_{48} in spremembe barvnih koordinat ΔL^*_{48} , Δa^*_{48} in Δb^*_{48}	62
5.1.3	Odvisnost barvnih sprememb ΔE^* od časa t_0 do t_{48}	65
5.1.4	Vpliv prosojnega premaznega sistema na barvno spremembo ΔE^*_{48} površinskega sistema	66
5.1.5	Barvne razlike ΔE^*_{T48} površinskih sistemov v temi	67
5.1.6	Vrednotenje vplivov izpostavitve svetlobi v interieru z metodo nihajne spektroskopije	72
5.2	SKLEPI	73
6	POVZETEK	75
7	VIRI	77

ZAHVALA
PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Odstotni deleži lignina v vrstah lesa, ki so obravnavani v tej diplomski nalogi	3
Preglednica 2: Ocene izmerjenih vrednosti ΔE^*_{ab}	21
Preglednica 3: Ocene barvnih razlik	21
Preglednica 4: V praksi uveljavljena lestvica barvnih razlik	21
Preglednica 5: Seznam raziskanih vzorcev prosojnih površinskih sistemov	28
Preglednica 6: Izmerjene začetne vrednosti L^*_0 in končne L^*_{48} , razvrščene od maksimalne do minimalne	35
Preglednica 7: Primerjava sprememb barve ΔE^*_{48} površinskih sistemov s premaznim sistemom in brez njega	53
Preglednici 8: Medsebojna primerjava barvnih razlik ΔE^*_{48} in ΔE^*_{T48} med površinskimi sistemi na svetlobi in sistemi v temi	54

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Shematski prikaz sestava "površinski sistem"	2
Slika 2: Absorpcija svetlobe v površinski sistem (poglavje 2.2.1.3)	2
Slika 3: Vidni del elektromagnetnega valovanja in njegove spektralne barve	8
Slika 4: Shematski prikaz očesne mrežnice s tribarvnimi čepki in paličicami na zadnji steni mrežnice	8
Slika 5: Spektralne krivulje absorpcije svetlobe v čepkih, ki so občutljivi na rdečo, zeleno in modro svetlobo	9
Slika 6: Relativna občutljivost očesa na vidno svetlobo oziroma barvna občutljivost očesa	9
Slika 7: Odvisnost energije fotona od valovne dolžine elektromagnetnega valovanja po Plancku	10
Slika 8: Shematski prikaz možnih dogodkov pri prehodu svetlobe skozi polprepustno snov	11
Slika 9: Odvisnost spektra svetlobe od temperature žarečega črnega telesa	12
Slika 10: Spekter svetlobe fluorescenčne sijalke OSRAM L58W/20, Cool White - 4600 lm	13
Slika 11: Vidna svetloba, objekt in opazovalec	14
Slika 12: CIE barvni prostor	15
Slika 13: CIE barvni diagram	15
Slika 14: Barvni prostor po CIE1976 $L^*a^*b^*$ sistemu vrednotenja barve	16
Slika 15: Geometrijski pomen vrednosti L^* , a^* , b^* , C^* in h v CIEL $^*a^*b^*$ sistemu	17
Slika 16: Grafični prikaz razlik ΔE^* , ΔL^* , Δa^* in Δb^*	19
Slika 17: Grafična razlaga razlik ΔC^* , ΔH^* in Δh	20
Slika 18: FT-IR spektri obsevanega neekstrahiranega in ekstrahiranega lesa akacije (<i>Acacia auriculaeformis</i>) v odvisnosti od časa sevanja	23
Slika 19: Izpostavitve vzorcev fluorescenčni svetlobi v Laboratoriju za površinsko obdelavo	29
Slika 20: Kolorimeter Micro Color LMC2	30
Slika 21: Spektrometer Spectrum One, Perkin Elmer	31
Slika 22: Svetlost/temnost L^* vzorcev pred 4-letno izpostavitvijo svetlobi v interieru in po njej	33
Slika 23: Izgled vzorcev po 4-letni izpostavitvi svetlobi v interieru	34
Slika 24: Barva posameznih vzorcev v a^*/b^* koordinatnem sistemu pred izpostavitvijo svetlobi v interieru	36
Slika 25: Barva posameznih vzorcev v a^*/b^* koordinatnem sistemu po 4-letni izpostavitvi svetlobi v interieru	37

	str.
Slika 26: Velikost spremembe barve ΔE^*_1 od največje do najmanjše vrednosti po 1. mesecu	38
Slika 27: Velikost spremembe barve ΔE^*_2 od največje do najmanjše vrednosti po 2. mesecu	39
Slika 28: Velikost spremembe barve ΔE^*_3 od največje do najmanjše vrednosti po 3. mesecu	39
Slika 29: Velikost spremembe barve vzorcev ΔE^*_{48} od največje do najmanjše vrednosti	40
Slika 30: Delež in vrednosti koordinat ΔL^*_{48} , Δa^*_{48} in Δb^*_{48} za vse površinske sisteme po 48. mesecu	41
Slika 31: Odvisnost koordinate L^* od časa izpostavitve svetlobi v interieru	42
Slika 32: Različno spreminjanje koordinate L^*_{0-48} pri različnih površinskih sistemih	43
Slika 33: Različno spreminjanje koordinate a^*_{0-48} pri različnih površinskih sistemih	43
Slika 34: Različno spreminjanje koordinate b^*_{0-48} pri različnih površinskih sistemih	44
Slika 35: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v2 (JE)	44
Slika 36: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v7 (ČE+PU)	45
Slika 37: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v8(ČE)	45
Slika 38: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v12 (ČEf)	46
Slika 39: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v23 (BU+PU)	46
Slika 40: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v10 (BU)	47
Slika 41: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v35 (BUf+PU)	47
Slika 42: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v25 (JŠ+PU)	47
Slika 43: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v28 (JŠ)	48
Slika 44: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v42 (MA+O)	48
Slika 45: Potek spremembe barve ΔE^*_{0-48} v 1. skupini	49

	str.
Slika 46: Potek spremembe barve ΔE^*_{0-48} v 2. skupini	50
Slika 47: Potek spremembe barve ΔE^*_{0-48} v 3. skupini	51
Slika 48: Potek spremembe barve ΔE^*_{0-48} v 4. skupini	52
Slika 49: Primerjava velikosti spremembe barve sistemov na svetlobi ΔE^*_{48} s spremembami ΔE^*_{48T} sistemov v temi	54
Slika 50: FT-IR spektra sistema v6 _{T48} (JE) (črta modre barve) in sistema v6 ₄₈ (JE)	55
Slika 51: FT-IR spektra sistema v8 _{T48} (ČE) (črta modre barve) in sistema v8 ₄₈ (ČE)	56
Slika 52: FT-IR spektra sistema v14 _{T48} (ČEf) (črta modre barve) in sistema v14 ₄₈ (ČEf)	56
Slika 53: FT-IR spektra sistema v10 _{T48} (BU) (črta modre barve) in sistema v10 ₄₈ (BU)	57
Slika 54: FT-IR spektra sistema v7 _{T48} (ČE+PU) (črta modre barve) in sistema v7 ₄₈ (ČE+PU)	57
Slika 55: FT-IR spektra sistema v9 ^{T48} (BU+PU) (črta modre barve) in sistema v9 ₄₈ (BU+PU)	58
Slika 56: Velikost spremembe barve ΔE^* prosojnih površinskih sistemov, od največje do najmanjše vrednosti po 1., 2., 3. in 48. mesecu	60
Slika 57: Velikost spremembe barve ΔE^* prosojnih površinskih sistemov, od največje do najmanjše vrednosti po 48. mesecu	61
Slika 58: Očitna barvna sprememba sistema v 2(JE) z $\Delta E^*_{48} = 16,5$	63
Slika 59: Časovni potek spremembe barvnih koordinat sistema v2 (JE)	63
Slika 60: Očitna barvna sprememba sistema v10 (BU) z $\Delta E^*_{48} = 13,0$	64
Slika 61: Časovni potek spremembe barvnih koordinat sistema v10 (BU)	64
Slika 62: Barva sistema v11 (ČEf+PU) po 48 mesecih z $\Delta E^*_{48} = 14,6$	65
Slika 63: Časovni potek spremembe barvnih koordinat sistema v11 (ČEf+PU)	65
Slika 64: Razlika v barvi med sistemom v7 _T , ki je bil v popolni temi in sistemom v7, ki je bil na svetlobi	68
Slika 65: Časovni potek spremembe barvnih koordinat sistema v7 (ČE+PU)	68
Slika 66: Razlika v barvi med sistemom v18 _T , ki je bil v popolni temi in sistemom v18, ki je bil na svetlobi	69
Slika 67: Časovni potek spremembe barvnih koordinat sistema v18 (BUf+PU)	69
Slika 68: Razlika v barvi med sistemom v13 _T , ki je bil v popolni temi in sistemom v13, ki je bil na svetlobi	70
Slika 69: Časovni potek spremembe barvnih koordinat sistema v13 (ČEf+PU)	70
Slika 70: Razlika v barvi med sistemom v6 _T , ki je bil v popolni temi in sistemom v6, ki je bil na svetlobi	71
Slika 71: Časovni potek spremembe barvnih koordinat sistema v6 (JE)	71

KAZALO PRILOG

- Priloga A₁₋₁₁: Izmerjene vrednosti L^* , a^* , b^* in izračunane vrednosti ΔL^* , Δa^* , Δb^* in ΔE^*
- Priloga B₁₋₃: Izmerjene začetne L^*_0 in končne vrednosti L^*_{48} , razvrščene od maksimalne do minimalne
- Priloga C₁₋₂: Izračunane vrednosti ΔE^*_{48} , ΔL^*_{48} , Δa^*_{48} , Δb^*_{48} in razvrščene od maks. do min.
- Priloga D₁₋₂: Izmerjene vrednosti L^*_{T48} , a^*_{T48} in b^*_{T48} in izračunane vrednosti ΔE^*_{T48} , ΔL^*_{T48} , Δa^*_{T48} , Δb^*_{T48}
- Priloga E₁₋₆: Grafični prikaz spreminjanja koordinat L^* , a^* in b^* prosojnih površinskih sistemov v času 48. mesecev izpostavitve svetlobi v interieru
- Priloga F₁₋₃: FT-IR spektri prosojnih površinskih sistemov po 48 mesecih v temi in na svetlobi

1 UVOD

Pohištvo iz lesa ali lesnih tvoriv predstavlja nepogrešljiv element našega interiera - bivalnega in delovnega okolja ter ima v življenjskem ciklu človeka pomembno fiziološko in še bolj psihološko vlogo.

Barva in barvna skladnost (kompozicija, tekstura) površine pohištva (površinskega sistema) sta poleg oblike pohištva, ergonomske sprejemljivosti, cene in drugih manj pomembnih faktorjev, prevladujoča psihološka dejavnika pri odločitvi o nakupu določenega pohištva. Njun prioritetni pomen in psihološki učinek postavljata pri pohištvu iz lesa ali lesnih tvoriv visoko zahtevo po dolgotrajnem ohranjanju barvnega tona (barve in barvne skladnosti) površine pohištva, ki ga ima ta površina v trenutku nakupa. Izpolnjevanje te zahteve je merilo kakovosti površinskega sistema oziroma kupljenega pohištva iz lesa ali lesnega tvoriva.

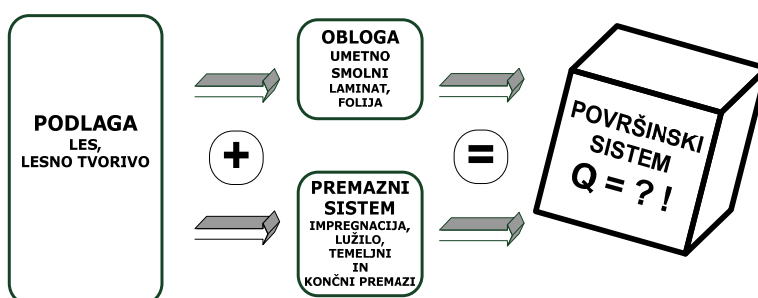
Les in tvoriva iz lesa so naravni polimeri, za katere veljajo naravne zakonitosti in ena izmed najpomembnejših je staranje, ki se najbolj izraža s kontinuiranim procesom spreminjanja barve oziroma barvnega tona površine. Premazni sistemi, ki z leseno podlago ali podlago iz lesnega tvoriva tvorijo površinski sistem pohištva, vsebujejo naravne ali sintetične polimere, ki se prav tako starajo, s časom spreminjajo svoje lastnosti in med drugimi tudi svoj barvni ton. V primeru prosojnih ali lazurnih premaznih sistemov ti skupaj s podlago tvorijo integrirane površinske sisteme, pri katerih je sprememba barvnega tona posledica spreminjanja lastnosti celotnega površinskega sistema, torej podlage in premaznega sistema. Površina pohištva iz lesa ali lesnih tvoriv v naravnih pogojih interiera s časom temni, svetli, rumeni, rdeči, sivi, skratka človek zazna barvne spremembe, ki pa običajno povzročijo negativen psihološki odziv.

V tem diplomskem delu so prikazani rezultati raziskave, ki zajema merjenje in analizo spreminjanja barvnega tona 44 prosojnih površinskih sistemov pohištva, v obdobju 4 let, med izpostavitvijo v običajnih delovnih pogojih v laboratoriju. Raziskovani vzorci so bili elementi pohištva, izdelanega v slovenski lesni industriji leta 2001.

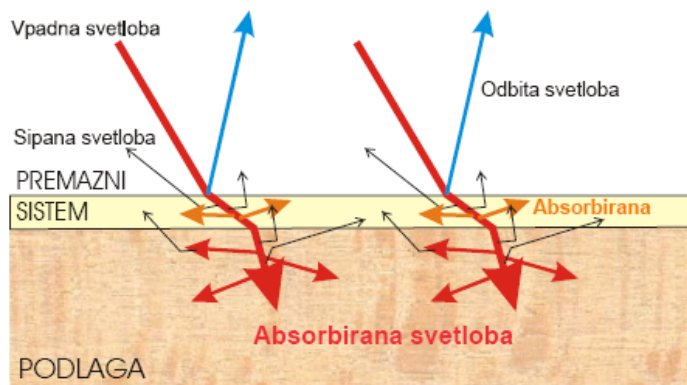
2 TEORETIČNE OSNOVE IN PREGLED OBJAV

2.1 PROSOJNI POVRŠINSKI SISTEMI

Površina izdelkov lesne industrije je običajno sestavljena iz podlage (lesa ali lesnega tvoriva) in premaznega sistema (enega ali več slojev istega ali različnih premazov) ali podlage in obloge (umetno-smolne folije ali umetno-smolnega laminata), kar skupaj tvori površinski sistem (Oblak in Kričej, 2005). V primeru, da je na podlagi prosojni premazni sistem, govorimo o prosojnih površinskih sistemih (sliki 1 in 2).



Slika 1: Shematski prikaz sestava "površinski sistem" (Oblak in Kričej, 2005)



Slika 2: Absorpcija svetlobe v površinski sistem (poglavje 2.2.1.3)

2.1.1 Les

Botanično je les sekundarni ksilem, ki ga vaskularni kambij v procesu sekundarne (debelitve) rasti producira navznoter, t. j. v smeri stržena. Tehnično ga je mogoče definirati kot trdo vlakneno snov pod skorjo debel in vej dreves in grmov (Čufar, 2002).

Les je naravni sistem višjih polimerov. Značilno celično zgradbo lesa tvorijo poleg celuloze, ki predstavlja približno polovico lesne mase, še polioze in lignin (preglednica 1), pri čemer predstavljajo polioze več kot četrtno lesne mase, ostalo predstavlja lignin. Ta razmeroma komplicirana zgradba postane s prisotnostjo akcesornih sestavin še bolj komplicirana. Z ekstrakcijo lesa z vodo ali nekaterimi organskimi topili dobimo smole, eterična olja, ogljikovodike, tanine, organske kisline, anorganske soli itd. Na elementarnem nivoju je praviloma v lesu vseh drevesnih vrst vsebnost ogljika od 48 % do 51 %, v povprečju 50 %, vodika od 6 % do 7 %, v povprečju 6,3 %, dušika od 0,1 % do 0,2 % in pepela t. j. anorganskih sestavin od 0,2 % do 0,6 % (Tišler, 1986).

Preglednica 1: Odstotni deleži lignina v vrstah lesa, ki so obravnavani v tej diplomski nalogi (Wagenführ in Scheiber, 1985; * Rowell, 2005)

Drevesna vrsta	Delež lignina (%)
Bukev (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	11,6...22,7
Češnja (<i>Prunus avium</i> L.)*	21
Jelša (<i>Alnus glutinosa</i> Gaertn.)	22,6...25,8
Javor (<i>Acer pseudoplatanus</i> L.)	25,3
Hrast (<i>Quercus robur</i> L.)	24,9...34,3
Jesen (<i>Fraxinus excelsior</i> L.)	21,1...30,4
Macesen (<i>Larix decidua</i> Mill.)	30

Lignin je polimer aromatskega značaja, ki z ogljikovimi hidrati celične stene tvori oleseneli del rastline. Največja koncentracija lignina je v srednji lameli in nižja v sekundarni steni. Ker je srednja lamela zelo tenka, je 70 % lignina iglavcev v sekundarni steni. Podobno velja za listavce, čeprav imamo opraviti s kemijsko bolj heterogeno sestavo. Količina ogljika v ligninih iglavcev (od 60 % do 65 %) je višja kot v ligninih listavcev (od 56 % do 60 %). Funkcionalne skupine, ki najbolj vplivajo na reaktivnost lignina, so fenolne hidroksilne skupine, benzilne hidroksilne skupine in karbonilne skupine. Njihova pogostnost lahko variira glede na morfološko nahajališče lignina. Prisotnost protonov povzroči nastanek intermediatnih ionov. Najpogostnejša je pretvorba α -eterskih skupin v karbonijeve in oksonijeve ione. Te se nato vključujejo v reakcije kondenzacije (Tišler, 1986).

2.1.1.1 Bukev (*Fagus sylvatica* L.)

Je difuznoporozen listavec z naslednjimi značilnostmi:

- barva - les je rdečkastobel, parjen rdečkast do rdečerjav,

- tekstura - branike razločne, široki trakovi v večjih razmakih (od 0,5 mm do 1,0 mm), trakovi na letnicah razširjeni (P), trakovi v (T) kot bleščeča zrcala, trakovi v (T) kot značilna od 2 mm do 4 mm visoka temna vretena, izgled nedekorativen, le rahlo progast (R) oziroma plamenast(T) (Čufar, 2001);
- gostota - r_0 - 490...680...880 kg/m³,
- kemična zgradba - lignin 11,6 %...22,7 %, celuloza 33,7 %...46,4 %, vsi sladkorji 75,7 %...85,0 %, pentozani 17,8...25,5 %, ekstrakt benzen alkohola 1,8...1,9 %, eterični ekstrakti približno 1,0 %, acetilenske skupine 6,0 %...7,1 %, pepel 5,1 %...5,4 %, pH vrednost 5,1...5,4 (Wagenführ in Scheiber, 1985).

2.1.1.2 Češnja (*Prunus avium* L.)

Je difuznoporozen listavec z naslednjimi značilnostmi:

- barva - beljava rumenkasta do rdečkasto bela, obligatno obarvana jedrovina rumenorjava do zlatorjava, kasneje potemni do rdečkasto- oziroma zlato rjave barve,
- tekstura - letnice izrazite, traheje v ranem lesu tvorijo gost širok venec, posamezne traheje vidne le z lupo, v kasnem so nekoliko redkejšje in nekoliko manjše s progastim (R) in plamenastim (T) izgledom, traheje delno zapolnjene s temnimi jedrovinskimi snovmi na (R) in (T) izgledajo kot temnejše linije, trakovi v (P) in (R) razločni (Čufar, 2001);
- gostota - r_0 - 490...550...670 kg/m³,
- kemična zgradba - lignin 21 % (Rowell, 2005), pH vrednost približno 4,5 (Wagenführ in Scheiber, 1985).

2.1.1.3 Črna jelša (*Alnus glutinosa* Gaertn.)

Je difuznoporozen listavec z naslednjimi značilnostmi:

- barva - beljava in jedrovina se barvno ne ločita, les rdečkasto bel, do rdečkastorumen ali rdečkastorjav, z zmernim leskom,
- tekstura - letnice manj izrazite, traheje razporejene difuzno ali v radialnih skupinicah na (P) brez lupe niso vidne, na vzdolžnih površinah pa so vidne kot komaj vidne raze, agregirani trakovi izgledajo na (P) kot zelo široki trakovi, agregirani trakovi v (T) kot rdečkaste linije, rdečerjavi parenhimski madeži pogosti (Čufar, 2001);
- gostota - r_0 - 450...510...600 kg/m³,
- kemična zgradba - lignin 22,6 %...25,8 %, celuloza 39,6 %...46,5 % (54,6 %), pentozani 18,8 %...25,1 %, ekstrakt benzen alkohola 1,9 %...5,6 %, eterični ekstrakti 0,7 %...1,4 %, pepel 0,48 %...0,64 % (Wagenführ in Scheiber, 1985).

2.1.1.4 Javor (*Acer pseudoplatanus* L.)

Je difuznoporozen listavec z naslednjimi značilnostmi:

- barva - brez obarvane jedrovine ali le z manjšo razliko med beljavo in jedrovino, skoraj bel preko rumenkastobeale do rahlo rdečkaste barve, kasneje porumeni, s svilnatim leskom, lahko prisoten tudi črnorjavo progast diskoloriran les,
- tekstura - letnice zaradi temnejšega pasu kasnega lesa ostro markirane, difuzno razporejene traheje na (P) vidne le z lupo, na vzdolžnih površinah vidne s prostim očesom kot fine raze, trakovi dokaj široki, na gosto posejani, na (P) z letnicami tvorijo radialno usmerjene pravokotnike, trakovi zlasti v (R) razločni kot gosta rdečkasta zrcala, vzdolžni prerez z rahlo progastim (R) oz. plamenastim (T) izgledom (Čufar, 2001);
- gostota - r_0 - 490...590...750 kg/m³,
- kemična zgradba - lignin približno 25,3 %, celuloza približno 38,3 %, pentozani 18,8 %...25,1 %, pepel približno 0,37 %, pH vrednost približno 5,3 (Wagenführ in Scheiber, 1985).

2.1.1.5 Hrast (*Quercus robur* L.)

Je venčastoporozen listavec z naslednjimi značilnostmi:

- barva - jedrovina svetlorjava do rumenkastorjava, svetlorjava do sivkastorjava ,
- tekstura - traheje ranega lesa zelo velike (tangencialni premer nad 200 μ m), traheje ranega lesa so v jedrovini vselej s tilami, traheje kasnega lesa bistveno manjše, tvorijo radialne nize (P)- les s plamenasto strukturo, plamene tvorijo kompleksi traheid s trahejami, prehod med ranim in kasnim lesom večinoma oster, v neenakomernih razdaljah se pojavijo zelo široki (pogosto nad 1mm) in do več mm visoki trakovi, vidni v (T) kot temna dolga vretena v (R) kot očitna zrcala, aksialen parenhim viden na (P) le z lupo kot fini tangencialni nizi (Čufar, 2001);
- gostota - r_0 - 390...650...930 kg/m³,
- kemična zgradba - lignin 24,9 %...34,3 %, celuloza 39,5 %...25,5 %, pentozani 19,0 %...25,5 %, ekstrakt benzen alkohola približno 0,4 %, eterični ekstrakti približno 0,4 %, pepel približno 0,27 %, pH vrednost približno 3,9 (Wagenführ in Scheiber, 1985).

2.1.1.6 Jesen (*Fraxinus excelsior* L.)

Je venčastoporozen listavec z naslednjimi značilnostmi:

- barva - beljava zelo široka, belkasta ali rumenkasta, beljava in jedrovina se včasih barvno ne ločita, diskoloriran les svetlorjav, često belorjavo pegast tudi olivne barve diskoloriran les v (P) nepravilne oblike (oblakast), pogosto neenakomerno obarvan,
- tekstura - traheje ranega lesa velike in razporejene v večrednih vencih, radialni prerez ima progast, tangencialen pa plamenast izgled, z aksialnim parenhimom obdane traheje temnejšega kasnega lesa so enakomerno razporejene in vidne kot svetle pike, trakovi ozki in vidni brez lupe le v (R) kot številna nizka zrcala (Čufar, 2001);
- gostota - r_0 - 410...650...820 kg/m³,

- kemična zgradba - lignin 21,1 %... 30,4 %, celuloza 40,9 %...46,8 %, pentozani 21,2 %...26,7 %, ekstrakt benzen alkohola 4,4 %...5,4 %, eterični ekstrakti približno 0,1 %...0,5 %, acetilenske skupine 3,2 %, pepel 0,07 %...0,43 %, pH vrednost 5,8 (Wagenführ in Scheiber, 1985).

2.1.1.7 Macesen (*Larix decidua* Mill.)

Je iglavec z naslednjimi značilnostmi:

- barva - jedrovina sprva rdečkastorjava, kasneje potemni do rdečerjave oz. temnorjave barve, beljava rumenkasta,
- tekstura - smolni kanali majhni in posamični (vidni z lupo), letnice zelo razločne, prehod iz kasnega v rani les oster, kasni les pogosto širok (Čufar, 2001);
- gostota - ρ_0 - 400...550...820 kg/m³,
- kemična zgradba - lignin približno 30 %, celuloza približno 34 %, ekstrakt benzen alkohola 4,0...9,0 %, acetilenske skupine 6,0 %...7,1 %, pepel približno 0,2 %, pH vrednost 4,2...5,4 (Wagenführ in Scheiber, 1985).

2.1.2 Premazi za les

Premazi za les in lesna tvoriva tvorijo po nanosu na podlago in utrditvi premazni sistem, ki je del površinskega sistema izdelka. Njihova osnovna funkcija je estetske in zaščitne narave. Premazni sistemi naj bi izdelek polepšali in ga zaščitili pred zunanjimi vplivi v času uporabe. Njihov vpliv na spremembo barvnega tona površinskega sistema in njihov delež pri spremembi barvnega tona zaradi vpliva svetlobe je različen.

2.1.2.1 Poliuretanski premazi (PU)

Eno in dvokomponentni PU premazi so reakcijski premazi. Vezivo pri dvokomponentnih premazih sestavljata dve reakcijski komponenti. Prva komponenta so nizkoviskozne raztopine pustih alkidnih ali akrilnih smol z zadostnim številom prostih hidroksilnih skupin ($R_1 - OH$). Druga skupina so raztopine različnih nizko in srednjemolekularnih izocianatov z določenim številom prostih reakcijskih skupin ($R_2 - N = CO$). Komponenti veziva po mešanju v ustreznem razmerju s kemijsko reakcijo adicijo tvorita reakcijski produkt poliuretan, to je prostorsko zamrežen polimer. Poteče reakcija $(R_1) - OH + OC = N - (R_2) \rightarrow (R_1) - O - CO - NH - (R_2)$. Reakcijski čas je 4 ure do 24 ur in se lahko podaljša v alkalnem mediju in skrajša v kislem. Sušenje in utrjevanje nanesenega filma poteka pri normalnih pogojih od 2 uri do 24 ur, pri povišani temperaturi do 80 °C pa od 15 minut do 60 minut (Kotnik, 2003).

Enokomponentni PU premazi so raztopine PU prepolimera, ki ima v svoji molekularni zgradbi še proste izocianatne skupine. Po nanosu na površino film absorbira zračno vlago in se prostorsko zamreži. Pri tem se sprošča CO₂ (Kotnik, 2003).

2.1.2.2 Poliakrilatni laki za utrjevanje z UV sevanjem (UV-A)

Osnovne sestavine UV-A lakov so oligomerni poliakrilati in/ali epoksiakrilatni prepolimeri, pa tudi nenasičene poliestrske smole, raztopljene v primernem poliakrilatnem estru, z dodatki fotoiniciatorja, pomožnih sredstev in pigmentov pri barvnih lakih. V nekaterih recepturah je vključena še manjša količina topil. Akrilat ima v sistemu vlogo topila in reakcijske komponente za reakcijo kopolimerizacije. Reaktivnost sistema zavisi od sestave smole in vrst akrilata, ki je v starejših recepturah delno ali v celoti navzoč v obliki monomera, v novejših pa le še v obliki poliakrilatnih estrov. Utrjujejo se s fotokemičnim procesom, s pomočjo kratkovalovnih UV žarkov, ki imajo pri valovni dolžini 197,4 nm dovolj energije za direktno razbijanje ogljikove dvojne vezi ($-C=C-$), kar povzroči reakcijo polimerizacije brez dodajanja fotoiniciatorjev (Kotnik, 2003).

2.1.2.3 Naravna olja

Naravna olja so trigliceridi, triestri glicerola in maščobnih kislin in so oksidacijsko sušiči premazi. Njihovo oksidativno premreženje je odvisno od prisotnosti nenasičenih, dvojnih kemijskih vezi v kislinskem delu trigliceridov. Število in razporeditev dvojnih vezi odločata o tem, ali bo osušitev potekla do konca (sušiča olja), ali bo na površini ostala lepljiva viskozna plast (polsušiča olja), ali pa bo olje ostalo v tekoči obliki (nesušiča olja). Pri površinski obdelavi lesa se praviloma uporabljajo sušiča naravna olja in najpogosteje laneno olje, tungovo in konoplino olje. (Petrič, 2002).

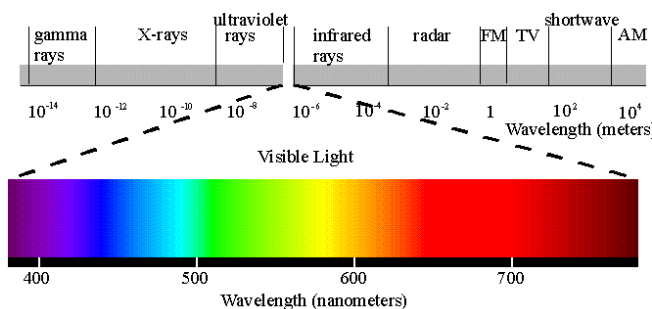
Olja so naravne ali sintetične tekoče snovi rastlinskega, živalskega ali mineralnega izvora. Z vodo se ne mešajo, topijo pa se v bencinu, acetonu in drugih organskih topilih. Osnovna lastnost vsakega olja je njegova sposobnost sušenja. Kot premazno sredstvo pridejo v poštev le olja, ki po nanosu na podlago hitro oksidirajo in tvorijo tanek trd film. To so sušiča se rastlinska olja (laneno, terpentinsko, tikovo, orehovo), ki jih vtiramo v površino lesa, da poudarimo njegovo teksturo, uporabljamo pri poliranju ali za izdelavo firneža. Sodobni oljni premazi so kombinacija različnih olj, ki včasih vsebujejo tudi manjšo količino naravnih olj. Nanašamo jih (hladna ali segreta na ustrezno temperaturo) z mazanjem ter brizganjem v dveh, oziroma treh slojih. Po sušenju površino lahko poliramo. Parafinsko olje je mineralnega izvora in ni sušiče olje. Uporabljamo ga kot polirno olje (Čermak, 2006).

2.2 SVETLOBA IN BARVA

2.2.1 Svetloba

Svetloba je elektromagnetno valovanje, ki ga zaznava človeško oko s svojim vidnim sistemom, mrežnico s 125 milijoni fotoreceptorjev: 120 milijonov paličic in 5 milijonov čepkov (Božič, 2001). Torej predstavlja le človeku vidni del (slika 3) celotnega spektra elektromagnetnega valovanja in zajema valovne dolžine od 400 nm do 700 nm (Sears in

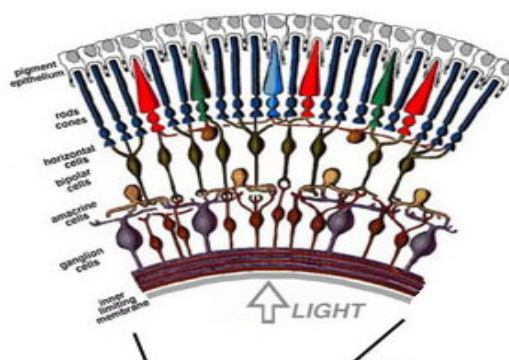
Zemansky, 1964), pri človeku z najbolj občutljivim sistemom zaznavanja svetlobe pa od 380 nm do 780 nm (Klanjšek Gunde, 2001).



Slika 3: Vidni del elektromagnetnega valovanja in njegove spektralne barve (Kaiser, 2005)

2.2.1.1 Fiziološko zaznavanje svetlobe

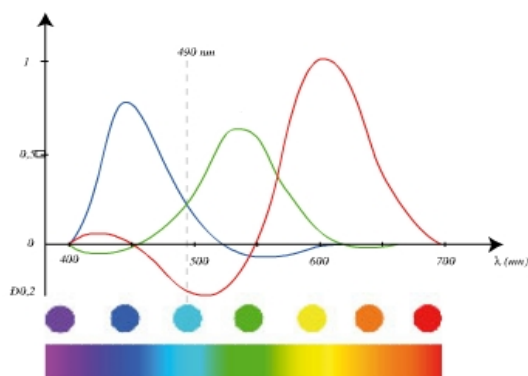
Svetloba različnih valovnih dolžin vzbudi v fotoreceptorjih človeškega očesa različni električni potencial, različne električne dražljaje živčnega sistema in s tem različne barvne vtise. Za celotni spekter vidne svetlobe skrbijo tri skupine fotoreceptorjev (slika 4), ki tvorijo tribarvni sistem zaznavanja vidne svetlobe, RGB sistem (R - rdeča (red - en), G - zelena (green - en), B - modra (blue - en).



Slika 4: Shematski prikaz očesne mrežnice s tribarvnimi čepki in paličicami na zadnji steni mrežnice (Kolb in sod., 2001)

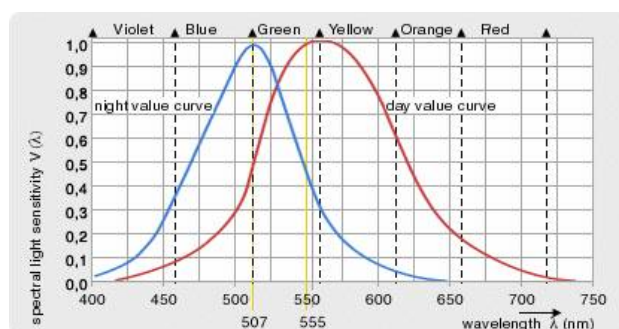
Vidni pigment rodopsin v fotoreceptorjih (čepkih) prve skupine absorbira rdečo svetlobo z vrhom absorpcije pri ~ 620 nm, druge skupine zeleno svetlobo z vrhom absorpcije pri ~ 550 nm in tretje skupine modro svetlobo z vrhom absorpcije pri ~ 450 nm (slika 5). Celotna količina svetlobe, ki jo absorbira vsak od treh pigmentov, pomeni delež modre, zelene ali rdeče. Tako oko v principu neskončno število valovnih dolžin v spektru poljubne vidne svetlobe zmanjša le na tri podatke. Z mešanjem svetlobe teh treh barv lahko dobimo svetlobo vseh barv, zato rdečo, zeleno in modro imenujemo primarne (aditivne) ali osnovne barve (Klanjšek Gunde, 2001). Če v oko dospe zelena svetloba, vzdraži zelene

čepke in predmet vidimo zeleno. Če je barva svetlobe rumena, se vzdražijo rdeči in zeleni čepki in zaznamo rumeno barvo. Če pa je barva svetlobe bela, takrat, ko je svetloba enakomerno porazdeljena po celém vidnem delu spektra, se enakomerno vzdražijo vse tri vrste čepkov in vidimo belo (Bizjak, 2002).



Slika 5: Spektralne krivulje absorpcije svetlobe v čepkih, ki so občutljivi na rdečo, zeleno in modro svetlobo (Les espaces de couler, 2006)

Očesni fotoreceptorji so poleg tega, da so občutljivi na različne valovne dolžine vidne svetlobe, občutljivi tudi na jakost absorbirane svetlobe. Pri dnevni svetlobi, ko so v funkciji barvni čepki (slika 4), je oko najbolj občutljivo na zeleno-rumeno svetlobo z valovno dolžino 555 nm, pri šibki svetlobi in ob mraku, ko prevzamejo funkcijo zaznavanja paličice (slika 4), pa na zeleno-modro svetlobo z valovno dolžino 510 nm. Krivulja očesne občutljivosti se zamakne za 45 nm h krajšim valovnim dolžinam in oko je bolj občutljivo na svetlobo krajših valovnih dolžin in manj na svetlobo daljših valovnih dolžin. Zato zaznavamo barvo pri svetlobi manjše jakosti kot temnejšo in bolj modro-vijolično (slika 6).



Slika 6: Relativna občutljivost očesa na vidno svetlobo oziroma barvna občutljivost očesa (Svetila.com, 2006)

2.2.1.2 Energija svetlobe

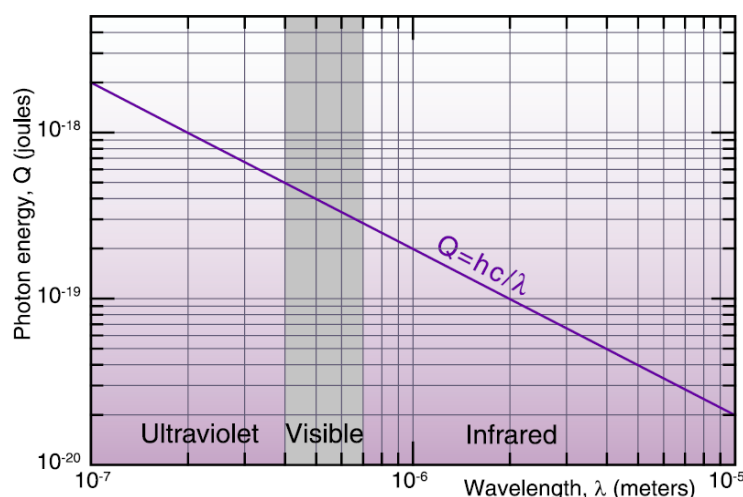
Svetloba, ki je elektromagnetno valovanje, je s svojo valovno dolžino in frekvenco nosilec energije, čeprav nima lastne mase in torej ni materializirana. Nosilci energije svetlobe, s katerimi lahko svetlobo kvantitiziramo, pa so fotoni, ki predstavljajo osnovne energijske delce svetlobe, so brez lastne mase in naboja in se gibljejo s hitrostjo svetlobe. Mirujoči fotoni ne obstajajo in njihova masa je nič. Razvidno je, da velja za svetlobo valvodelčni dualizem, kar pomeni, da se svetloba sočasno obnaša kot valovanje s svojo svetlobno hitrostjo, valovno dolžino in frekvenco ter kot kvant (curek) fotonov.

Energija svetlobe je določena s frekvenco (ν) in valovno dolžino (λ) (1) in velja, da ima svetloba s krajšo valovno dolžino večjo energijo, svetloba z daljšo valovno dolžino pa manjšo (slika 7).

Po kvantni teoriji je watt (W) osnovna enota svetlobnega toka Q , ki je definiran z energijo 1 joula (J) v 1 sekundi. Vsak kvant foton nosi energijo, ki je opisana s Planckovo enačbo:

$$E = h \times \nu = h \times \frac{c_0}{\lambda} \quad \dots (1)$$

kjer je E energija fotona v joulih (J), h je Planckova konstanta ($6,623 \times 10^{-34}$ J·s), ν je frekvenca valovanja, c_0 je hitrost svetlobe v praznem prostoru ($2,998 \times 10^8$ m·s⁻¹) in λ je valovna dolžina svetlobe (m). Fotoni infrardečih žarkov imajo majhno energijo in lahko povzročijo le nihanja atomov v molekulah snovi, to je toploto. Energija fotonov svetlobe zadošča za nedestruktivne interakcije z elektroni v snoveh, energija ultravijoličnih žarkov pa že zadošča za ionizacijo atomov in razpad molekul. (Klanjšek Gunde, 2001).

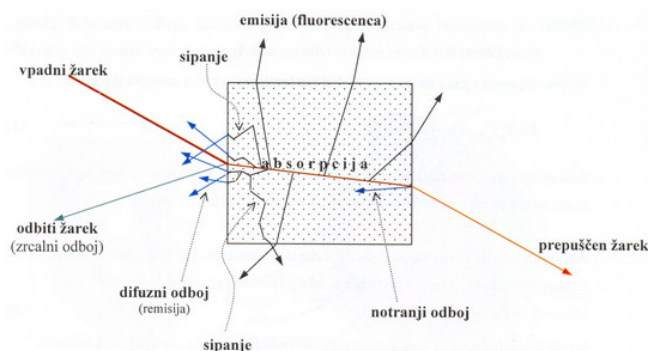


Slika 7: Odvisnost energije fotona od valovne dolžine elektromagnetnega valovanja po Plancku (Ryer, 1997)

2.2.1.3 Absorpcija, prepuščanje in sipanje svetlobe

Absorpcija je transformacija (pretvorba) svetlobe/energije v drugo obliko energije zaradi vzajemnih učinkov (interakcij) s snovjo, ki energijo vpija (Kumar, 2001).

Skozi prazen prostor potuje svetloba popolnoma neovirano. Kadar trči na kakršnokoli snov, z njo interagira in se spremeni. Način te spremembe je odvisen predvsem od snovi. Ko žarek svetlobe pade na mejo snovi z drugačno optično gostoto, se delno odbije, delno pa lomi. Na poti skozi snov se svetloba absorbira, v heterogeni snovi pa tudi sipa in skozi snov tudi prepusti (sliki 2 in 8). Absolutno belo telo odbija vso svetlobo, absolutno črno telo vso svetlobo absorbira. Vsi naštetji optični pojavi so odvisni od spektralne sestave svetlobe in od fizikalnih ter kemijskih lastnosti snovi (Klanjšek Gunde, 1999).



Slika 8: Shematski prikaz možnih dogodkov pri prehodu svetlobe skozi polprepustno snov (Klanjšek Gunde, 1999)

Delež absorbirane svetlobe je odvisen od vrste in debeline snovi ter od valovne dolžine svetlobe. Prodirajoč skozi snov, se svetlobni tok zaradi absorpcije zmanjšuje. Odvisnost absorbiranega svetlobnega toka in s tem absorbirane energije fotonov od vrste snovi in valovne dolžine svetlobe je podana z absorpcijskim koeficientom (μ) snovi. Prepuščeni svetlobni tok eksponentno upada, če debelina snovi narašča, in sicer tem hitreje, čim večji je absorpcijski koeficient (μ) snovi (Kladnik, 1977).

Energija svetlobe (E), ki pade na telo, na površinski sistem, se lahko od telesa odbije - reflektira (Φ_p), absorbira (Φ_a) ter prepusti - transmitira (Φ_t) (enačba 2).

$$E = \Phi_p + \Phi_a + \Phi_t \quad \dots (2)$$

Zgornja enačba (2) lahko velja za premazni sistem, ki tvori s podlago površinski sistem. Del svetlobe se od površine premaznega sistema odbije (Φ_p), del v premaznem sistemu absorbira (Φ_a) in del prepusti do podlage površinskega sistema, do lesa ali lesnega tvoriva. Količina energije svetlobe (E), ki jo absorbira podlaga površinskega sistema, je tem večja,

čim manj svetlobe se odbije - reflektira (Φ_r) in čim več prepusti - transmitira (Φ_t) skozi film premaznega sistema (slika 2).

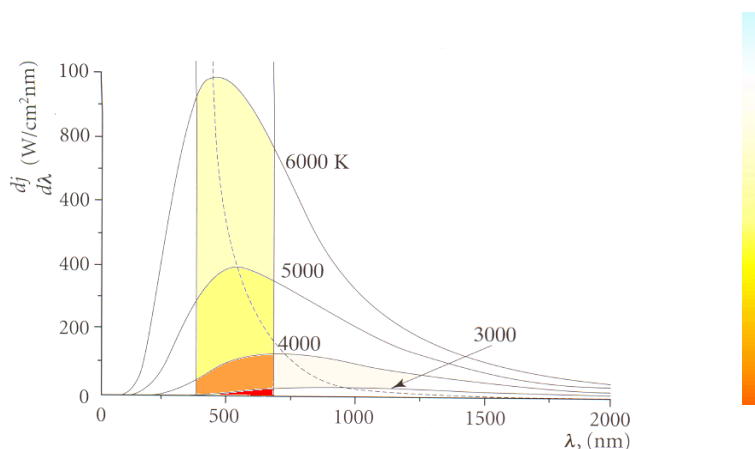
Sipanje nastane zaradi spremembe smeri svetlobe v heterogeni snovi zaradi večkratnega odboja, loma in poljubne kombinacije. Zaradi spektralne odvisnosti lomnih količnikov dajejo vsi ti dogodki spektralno odvisno sipano svetlobo (Klanjšek Gunde, 1999).

O sipanju govorimo tudi, kadar so v svetlobno propustni snovi (v našem primeru premazni sistemi) prevladujoči neabsorbirajoči delci (pigmenti). Običajno pa sta prisotna tako sipanje kot absorpcija svetlobe in pri prosojnih premaznih sistemih še prepustnost oziroma transmisija.

2.2.1.4 Svetlobni viri

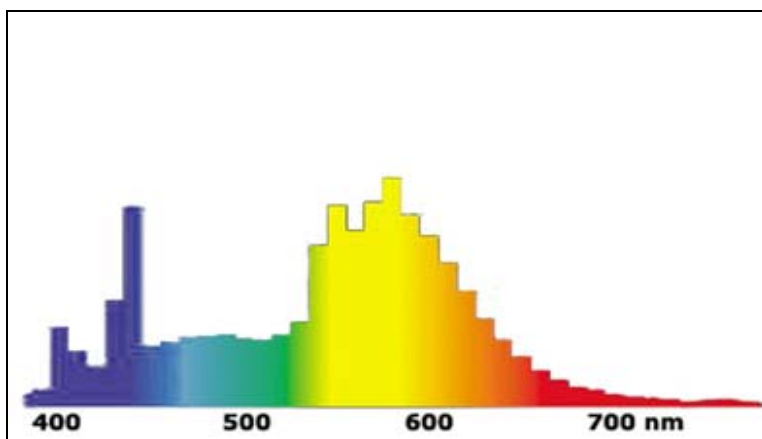
Telesa, ki oddajajo svetlobo, so svetlobni viri. Ločimo naravne in umetne vire. Slednje imenujemo svetilke oziroma električna svetila. Pomembni so trije načini nastanka svetlobe: žarenje, razelektritev in fotoluminiscenca. Naravna svetila oddajajo svetlobo z enim od treh načinov, umetna svetila pa izkoriščajo en ali dva načina. V žarnicah je to žarenje, v obločnicah razelektritev, fluorescenčna svetila pa svetijo zaradi hkratnega učinka razelektritve plina, ki napolnjuje svetilko, in fotoluminiscence v plasti posebne snovi, ki prekriva notranjo steno svetilke. Taka svetila imenujemo sijalke. Nekatera sodobna in varčna svetila svetijo uravnoteženo mešanico svetlobe osnovnih spektralnih barv (Klanjšek Gunde, 2001).

Svetlobo sevajo telesa, segreta na dovolj visoko temperaturo. Če se temperatura telesa povišuje, se spekter elektromagnetnih valov, ki jih telo oddaja, pomika h krajšim valovnim dolžinam. Pri tem se v celotnem spektru emitiranih valov povečuje delež svetlobe (slika 9). Svetloba, ki jo poleg množice toplotnih valov seva segreto telo, je pri nižjih temperaturah v območju rdečih barv in se pomika k rumenim in zelenim barvam, če temperaturo povišujemo. Izvor bele svetlobe so lahko razžarjena telesa, segreta nad 2500 K. Sonce je najpomembnejši izvor svetlobe; seva približno kot črno telo temperature nekaj čez 6000 K (Kladnik, 1977).



Slika 9: Odvisnost spektra svetlobe od temperature žarečega črnega telesa (Klanjšek Gunde, 2001)

Hladno svetlobo oddaja nesegreto, nežareče telo ob pojavu fotoluminiscence, ki je ena od oblik luminiscence. V notrajnosti sijalke segreta katoda sijalke iz volframa, prevlečenega z mešanico barijevih, stroncijevih in kalcijevih oksidov, ustvari ob razelektritvi plina močno ultravijolično žarčenje, katerega fotone absorbira notranja površina sijalke, ki je prevlečena z luminiscenčno barvo iz kovinskih in fosforjevih soli. Energijo absorbiranih fotonov molekule prevleke delno pretvorijo zaradi medsebojnih trkov v toploto, ki se v snovi prevleke zgubi, del pa oddajo v obliki svetlobe - fotonov manjših energij. Tako fluorescenčna sijalka navzven emitira svetlobo blizu bele dnevne svetlobe. Del njenega spektra je zvezen, del pa predstavljajo bolj ali manj ozki spektralni trakovi pri valovnih dolžinah približno 440 nm, 550 nm in 580 nm (slika 10).



Slika 10: Spekter svetlobe fluorescenčne sijalke OSRAM L58W/20, Cool White - 4600 lm
(Svetila.com, 2005)

Pri nizkotlačnih živosrebrvih sijalkah, imenovanih tudi fluorescenčne cevi, pa je večina svetlobe v ultravijoličnem delu. Zaradi tega je sijalka prevlečena s posebno snovjo, ki ultravijolično sevanje spreminja v vidno svetlobo. Barva te svetlobe pa je lahko bolj rumenkasta (topla) ali pa bolj modrikasta (hladna), kar je odvisno od sestave premaza (Bizjak, 2002).

2.2.2 Barva

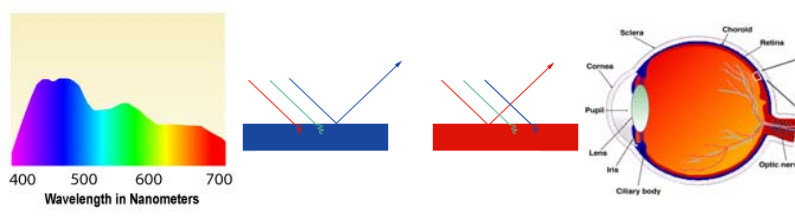
S pojmom barva opisujemo eno od fizikalno kemičnih lastnosti opazovanega predmeta, snovi ali svetlobe in pomeni splošni opis za s človeškim očesom in možgani čutno zaznavo od telesa ali snovi odbite, prepuščene ali sevane vidne svetlobe (slika 11). Je lastnost, ki je posledica fizikalnih in kemijskih lastnosti opazovanega objekta in človeškega fiziološkega ter psihološkega prepoznavanja. Prav zaradi prisotnega človeškega vidika (individualnosti vida, razpoloženja) pa barva, ki jo vidimo, ni enolična in objektivna lastnost opazovanega predmeta, snovi ali svetlobe.

Nastanek barve je posledica petnajstih različnih fizikalnih in kemičnih mehanizmov, ki jih lahko razporedimo v pet skupin (Vončina in Majcen le Marechal, 2001):

- enostavno vzbujanje in vibriranje (žarjenje, vzbujanje plina, vibracije in rotacije),

- prehodi elektronov znotraj polja ligandov (snovi, zgrajene iz prehodnih elementov; nečistoče, zgrajene iz prehodnih elementov),
- prehodi med molekulskimi orbitalami (organske snovi, prenos naboja),
- prehodi znotraj energijskih trakov (kovine in zlitine, polprevodniki, polprevodniki z nečistočami, barvni centri) in
- optični vzroki, povezani z zgradbo in obliko snovi (disperzija, polarizacija; sipanje svetlobe, interferenca, difrakcija).

Objektivno merjenje barve omogočajo merilne naprave kot so kolorimetri in spektrofotometri, vrednotenje pa matematične metode, med katerimi je največkrat uporabljena CIE 1976 $L^*a^*b^*$ metoda, ki barvo obravnava kot vektorsko veličino (ASTM D 2244, 1993., Biffi, 1985., ISO 7724/1, 1984., ISO 7724/2, 1984., ISO 7724-3, 1984., DIN 6174, 1979.).



Slika 11: Vidna svetloba, objekt in opazovalec (Specialchem, 2006; Kolb in sod., 2001)

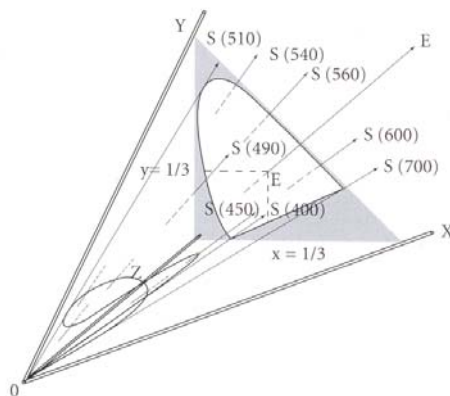
2.3 VREDNOTENJE BARVE

V praksi se pogosto pojavlja potreba po vrednotenju barve, saj celo vrsto proizvodov, ki se uporabljajo v vsakodnevem življenju, ocenjujemo po barvi in nekateri jih uporabljajo prav zaradi njihove določene barve. Vrednotenje barve pride v poštev tudi v lesni industriji, kjer se tej lastnosti posveča premalo pozornosti. To velja tako za barvo lesa, kot za površinsko obdelan les; pobarvan, lakiran, lužen, beljen ipd. Pomembno je, da se neka barva definira nedvoumno, ker to omogoča njeno določenost in ponovljivost (Biffi, 1985).

Za objektivno vrednotenje barve in barvnih razlik je pomembno dobro poznavanje teorije nastanka čutne zaznave barve (poglavje 2.2.1 in 2.2.2), 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. CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) je s predpisi, objavljenimi leta 1931, postavila temelje za numerično vrednotenje barv in barvnih razlik. Tako je vsaka barva 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 (Golob in Golob, 2001).

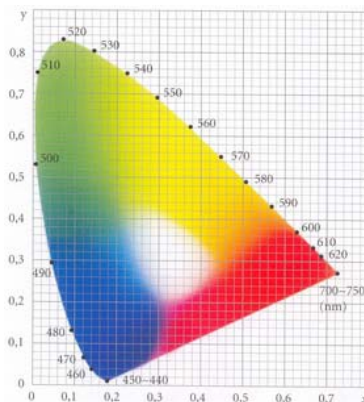
2.3.1 CIE - barvni prostor

CIE- barvni prostor omejujejo vektorji X , Y , Z , ki izhajajo iz ničelne točke 0 oz. črne (brez barve in svetlobe (slika 12).



Slika 12: CIE barvni prostor (Golob in Golob, 2001)

Določen je bil matematično s pomočjo aditivnega mešanja spektralnih svetlob treh primarnih barv: R (rdeča - 700 nm), G (zelená - 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 $X = 1$, $Y = 1$, $Z = 1$, s katetama x , y in s hipotenuzo z . Vektorji spektralnih barv sekajo ravnino trikotnika v točkah $S(\lambda)$, ki oblikujejo spektralno črto od 400 do 700 nm. Na spektralni črti ležijo čiste spektralne barve. Kratkovalovno in dolgovalovno področje povezuje črta šklata, 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 zaznava povprečen opazovalec) znotraj stožca, ki ga oblikujejo spektralna črta, črta šklata in točka 0. Barve, ki ležijo znotraj stožca, so imaginarne. Vrednosti X , Y , Z realnih barv so vedno pozitivne, ker je stožec definiran v pozitivnem kvadrantu treh vektorjev. CIE- barvni diagram ima obliko podkve (slika 13).



Slika 13: CIE barvni diagram (Golob in Golob, 2001)

Položaj realnih barv znotraj barvnega diagrama določimo z izračunom standardiziranih barvnih deležev x , y , z po formulah:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad \dots (3)$$

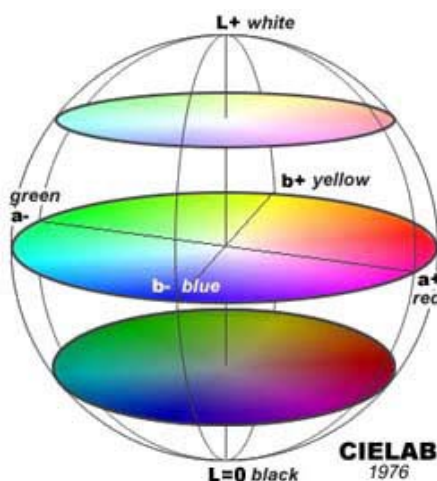
$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad \dots (4)$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad \dots (5)$$

pri čemer so: X , Y , Z standardizirane barvne vrednosti. Težišče trikotnika oziroma podkve ($x = y = z = 1/3$) predstavlja točko nepestrosti in tu leži bela barva. Vrednosti x in y določata položaj barv na barvnem diagramu in s tem njihovo pestrost in čistost, svetlost pa je določena z vrednostjo Y v mejah od 0 (črna) do 100 (bela).

2.3.2 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ sistem vrednotenja barve

Najpogostejše uporabljen sistem za vrednotenje barve je CIELAB oziroma CIE 1976 $L^*a^*b^*$ sistem (v nadaljevanju CIEL $^*a^*b^*$), ki je bil zasnovan leta 1976 in predstavlja barvo kot vektorsko veličino v kombiniranem sistemu, ki je kombinacija kartezijskega in cilindričnega koordinatnega sistema (slika 14).



Slika 14: Barvni prostor po CIE1976 $L^*a^*b^*$ sistemu vrednotenja barve (MacEvoy, 2005)

Vsaka barva je v CIEL $^*a^*b^*$ sistemu številčno ovrednotena z vrednostmi L^* , a^* , b^* , C^* in h od katerih L^* , a^* in b^* vrednosti predstavljajo barvo v kartezijskem koordinatnem

sistemu, vrednosti C^* in h pa v cilindričnem koordinatnem sistemu (slika 15). Omenjene vrednosti opredeljujejo barvo na naslednji način:

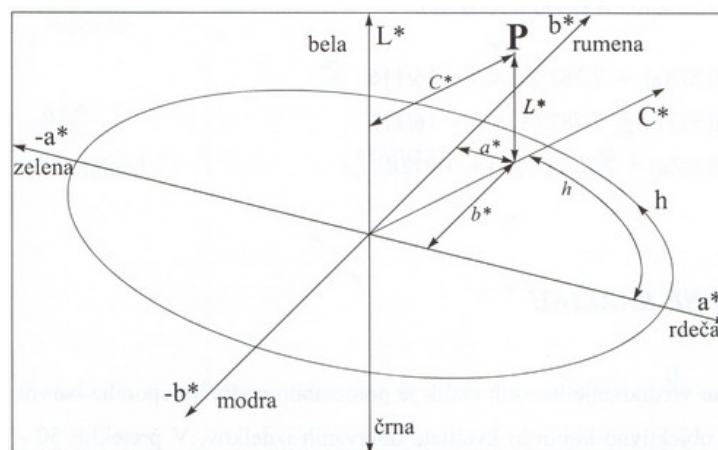
L^* - določa svetlost barve in zavzema vrednosti od 0 (absolutno črno) do 100 (absolutno belo),

a^* - določa lego barve na rdeče - zeleni osi,

b^* - določa lego barve na rumeno - modri osi,

C^* - določa kromo (čistost) oziroma delež čiste barvne komponente v neki barvi,

h - je kot, ki določa pestrost barve oziroma njeno razporeditev na barvnem krogu.



Slika 15: Geometrijski pomen vrednosti L^* , a^* , b^* , C^* in h v CIE $L^*a^*b^*$ sistemu (Golob in Golob, 2001)

Barvne vrednosti L^* , a^* , b^* , C^* in h so s standardiziranimi barvnimi vrednostmi X , Y , in Z (poglavje 2.4.1) v naslednji zvezi:

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

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

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

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \dots (9)$$

$$h = \arctan \frac{b^*}{a^*}; +a^* = 0^\circ, +b^* = 90^\circ, -a^* = 180^\circ, -b^* = 270^\circ \quad \dots (10)$$

X_n , Y_n in Z_n so standardizirane vrednosti za BaSO_4 in imajo za 10° zorni kot in standardizirano svetlobo D_{65} (povprečna dnevna svetloba z UV sevanjem in barvno temperaturo 6500 K) naslednje vrednosti: $X_n = 94,81$, $Y_n = 100$ in $Z_n = 107,30$ (Golob in Golob, 2001).

2.4 VREDNOTENJE BARVNIH RAZLIK

Merilo kakovosti površinskega sistema oziroma kupljenega pohištva iz lesa ali lesnega tvoriva je tudi njegova sposobnost ohranjanja izbrane barve oziroma barvnega tona površinskega sistema, čim daljše časovno obdobje, v katerem dopustno nastale razlike barvnega tona ne bodo dosegle vrednosti, ki jih čutno lahko že zaznamo. Kemična zgradba lesa in prosojnih premaznih sistemov na eni strani in energija vidne svetlobe na drugi strani realno, iz že opisanih razlogov (poglavj1 2.2.1.2 in 2.5.2), pogojujeta večje ali manjše barvne spremembe površinskih sistemov. Vrednotenje teh sprememb nam omogoča njihovo prepoznavanje in obvladovanje, v kolikor je to smiselno in zaželeno.

2.4.1 Barvne razlike po CIEL*a*b* sistemu

V CIEL*a*b* prostoru barve je posamezna barva definirana kot usmerjena daljica, to je kot vektor E^* z izhodiščem v točki $L^* = 0$ in predstavlja oddaljenost barve od izhodišča kartezičnega koordinatnega sistema do mesta, ki ga v barvnem prostoru zaseda. Geometrijsko je velikost vektorja E^* enaka diagonali kvadra s stranicami L^* , a^* in b^* . Po Pitagorovem izreku sledi, da je:

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

in

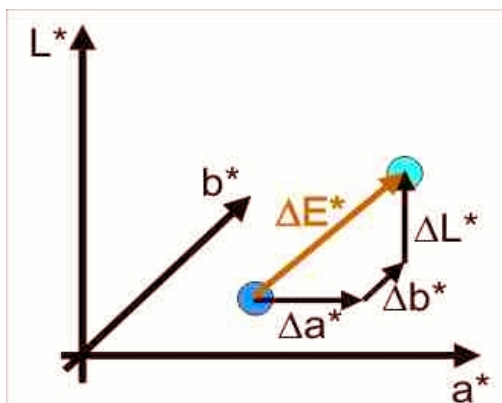
$$E^* = \sqrt{L^{*2} + a^{*2} + b^{*2}} \quad \dots (12)$$

Razlika barve ΔE^* oziroma barvnega tona predstavlja spremembo lege barve v prostoru kar matematično pomeni spremembo velikosti njenega krajevnega vektorja E^* (slika 16). Spremembo barve ΔE^* oziroma barvnega tona zapišemo kot:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})} \quad \dots (13)$$

ali

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^{*2} + \Delta C^{*2} + \Delta H^2)} \quad \dots (14)$$

Slika 16: Grafični prikaz razlik ΔE^* , ΔL^* , Δa^* in Δb^* (Scott in Bewley, 1997)

Pomen posameznih vrednosti razlik je naslednji (sliki 16 in 17):

$\Delta L^* = L_n^* - L_{n-1}^*$ - razlika svetlosti (+ ΔL^* pomeni svetleje, - ΔL^* pomeni temneje),

$\Delta a^* = a_n^* - a_{n-1}^*$ - razlika na rdeče/zeleni osi (+ Δa^* pomeni bolj rdeče oz. manj zeleno, - Δa^* pomeni bolj zeleno oz. manj rdeče),

$\Delta b^* = b_n^* - b_{n-1}^*$ - razlika na rumeno modri osi (+ Δb^* pomeni bolj rumeno oz. manj modro, - Δb^* pomeni bolj modro oz. manj rumeno),

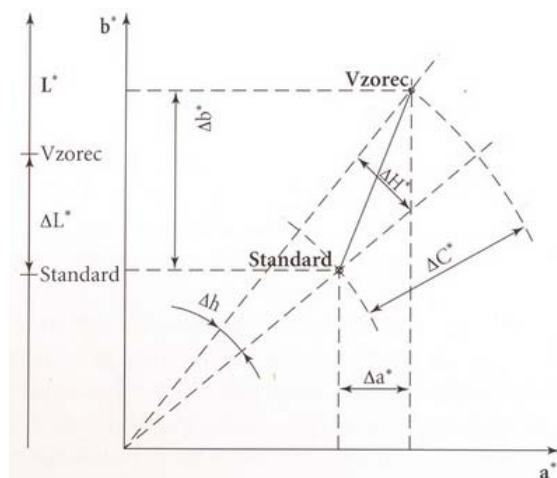
$\Delta C^* = C_n^* - C_{n-1}^*$ ali $\Delta C^* = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$ - razlika krome (+ ΔC^* pomeni čisto, - ΔC^* pomeni bolj motno),

ΔH^* - razlika barvnega tona, ki je odvisna od ΔE^* , ΔL^* in ΔC^* oziroma C^* in Δh (spremembe barvnega kota):

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^{*2} - \Delta L^{*2} - \Delta C^{*2})} \quad \dots (15)$$

oziroma

$$\Delta H^* = C^* \times \Delta h \frac{\pi}{180} \quad \dots (16)$$

Slika 17: Grafična razlaga razlik ΔC^* , ΔH^* in Δh (Golob in Golob, 2001)

2.4.1.1 Zveza med ΔE^* in čutno zaznavo barvnih razlik

Ker je barva za človeka čutno zaznavanje, ki je odvisno od fiziološkega stanja očesa in živčnega sistema ter psihološke kondicije posameznika, je človeško zaznavanje barvnih sprememb ΔE^* zelo individualizirano in relativno. Na drugi strani pa CIEL*a*b* in druga pravila vrednotenja barvnih razlik ter naprave kot so kolorimetri in spektrofotometri omogočajo natančno vrednotenje barve in s tem tudi barvnih razlik. Zato se je v praksi izoblikovalo, na osnovi primerjave meritev in opazovanj, številčno/opisno vrednotenje, ki omogoča lažje dojetje barvnih razlik, odločanje o postavitvi dopustnih vrednosti ΔE^* in splošne sprejemljivosti barvnih razlik, oziroma razlik barvnega tona ΔE^* . Tekstura lesa, njegova barvitost in nehomogenost, povzročajo na področju samega merjenja barve in barvnih sprememb ter opisovanja izmerjenega, dovolj nezanesljivosti in strokovnih dilem.

Barvne razlike so lahko že posledica uporabljenega sistema merjenja in vrednotenja barve. Vendar je pri tem pomembno, da so te razlike manjše od čutnega zaznavanja. CIEL*a*b* sistem lahko že sam generira barvno razliko $\Delta E^* = 1$, kar je lahko v določenih okoliščinah sprejemljivo. Vendar, ko vrednotimo različne pare barvnih vzorcev z izmerjeno barvno razliko $\Delta E^* = 1$ vidimo, da je $\Delta E^* = 1$ lahko sprejemljiva pri bleščečih rumeno zelenih tonih, pri akromatičnih sivih tonih pa barvna razlika $\Delta E^* = 1$ ni sprejemljiva. Razvidno je, da sama matematična razlika 1 ni vedno enaka naši vizualni percepciji (Lavey, 2004).

Pri srebrni brezi (*Betula pendula*) je bila najmanjša vizualno zaznana razlika v barvi zaznana pri $\Delta E^* = 2$. Ko je ΔE^* naraščal, so bile barvne razlike vse bolj izrazite, pri ΔE^* od 2 do 5 zmerne, velike od $\Delta E^* 5$ do 10 in zelo velike okoli $\Delta E^* = 10$ (Mononen in sod., 2002).

$\Delta E^*_{ab} = 2 - 3$ enot, je povprečna meja, da človeško oko zazna barvno spremembo. (Sundqvist in Morén, 2002).

Biffl (1985) v svoji raziskavi za absolutne vrednosti najdenih razlik dopušča ocene barvnih razlik, ki so podane v preglednici 2.

Preglednica 2: Ocene izmerjenih vrednosti ΔE^*_{ab} (Biffl, 1985)

Razlika (ΔE^*_{ab})	Ocena barvne razlike
do 0,2	neopazna
od 0,2 do 0,5	zelo slaba
od 0,5 do 1,5	slaba
od 1,5 do 3,0	jasna
od 3,0 do 6,0	zelo jasna
od 6,0 do 12,0	močna
preko 12,0	zelo močna

Sanderman in Schlumbom (1962) sta v svoji raziskavi spremembe barve lesa 74 drevesnih vrst razvrstila izmerjene barvne razlike v 4 skupine (preglednica 3):

Preglednica 3: Ocene barvnih razlik (Sandermann in Schlumbom, 1962)

Razlika (ΔE)	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
od 10 dalje	zelo razločna sprememba

Černič Letnar in Vodopivec (2003) sta določila barvno razliko ΔE^* med nestaranimi in staranimi vzorci lepenke, na osnovi meritev barve papirja po sistemu CIEL*a*b*, ki se običajno uporablja za oceno kakovosti tiskanih barvnih odtisov na papirju. Za kvalitativno vrednotenje barvne obstojnosti posameznih vzorcev lepenke sta uporabila v praksi uveljavljeno lestvico barvnih razlik (preglednica 4).

Preglednica 4: V praksi uveljavljena lestvica barvnih razlik (Černič Letnar in Vodopivec, 2003)

$\Delta E < 0,2$	Barvne razlike ne vidimo.
$\Delta E = 0,2 - 1,0$	Barvno razliko komaj opazimo, ker je zelo majhna.
$\Delta E = 1,0 - 3,0$	Barvno razliko vidimo - je majhna, vendar še dopustna.
$\Delta E = 3,0 - 6,0$	Barvno razliko dobro vidimo.
$\Delta E > 6,0$	Barvna razlika je velika in nedopustna.

Še en primer, ki ponazarja subjektivno zaznavanje barvnih sprememb, je naslednji: Čeprav so bile razlike v svetlosti osušene breze, sušeno klasično ali sušene pri sobnih pogojih 1,1 enote ($\Delta E^*_{ab} = 1,86$), so bile jasno vidne. Dejstvo pa je, da je zaznavanje barvnih razlik ΔE^*_{ab} zelo močno odvisno od same barve oziroma barvnega tona, bolj kot pa od svetlosti. Čeprav so bile mnoge razlike koordinat a^* in b^* statistično značilne, te niso bile vidne in so bile zato iz praktičnega stališča nepomembne. Tako je bila v mnogih primerih, L^* koordinata ustrežnejša za primerjavo barve različnih vzorcev brezovega lesa (Luostarinen in sod., 2002).

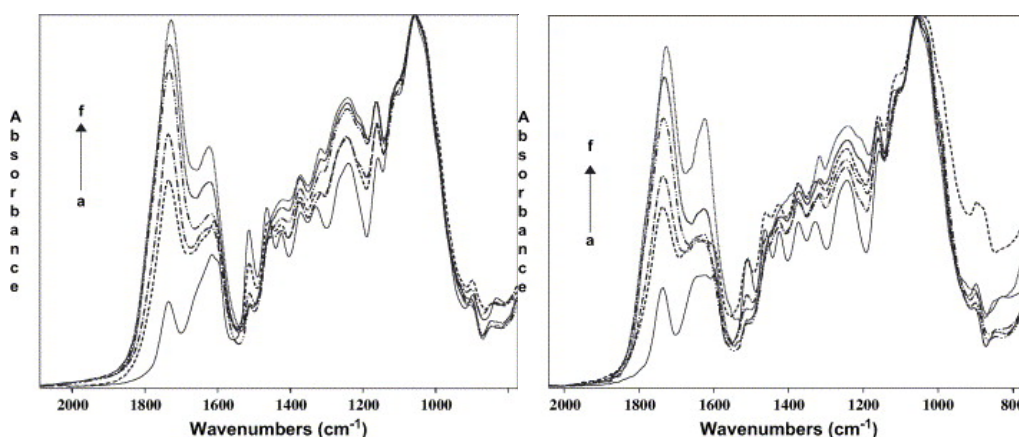
IKEA, svetovno znani prodajalec pohištva, pa v svojih tehničnih zahtevah do dobaviteljev (IOS-MAT-066, 2006) navaja kot še dopustno barvno razliko, pri pigmentiranih površinskih sistemih, vrednost $\Delta E^* = 0,5$.

2.4.2 Vrednotenje fotodegradacije površinskih sistemov z infrardečo (nihajno) spektroskopijo

Infrardeča spektroskopija je analitična tehnika, ki omogoča kemijsko identificirati snov (identifikacija funkcionalnih skupin v molekulah). S pomočjo FT-IR (Fourier transform infrared spectroscopy) spektrometra in mikroskopa lahko kvalitativno in do neke mere kvantitativno analiziramo neznane materiale, spremljamo spremembe, ki se dogajajo na materialih kot posledica različnih obdelav itd. Analizirajo se predvsem organski materiali, kot so tekočine, raztopine, plini, paste, praški, tanki filmski nanosi, premazi, vlakna, papir, tisk, barve ipd. FT-IR spektrometer meri v srednjem IR območju valovnih števil od 4000 cm^{-1} do 500 cm^{-1} (območje je odvisno od uporabljenega detektorja IR svetlobe), lahko pa sistem nadgradimo, da pokrijemo celotno IR območje. Delovanje sodobnih spektrometrov je računalniško vodeno preko različnih programskih paketov (Demšar, 2006).

Metoda temelji na tem, da vzorec presevamo s svetlobo z valovnim številom med 400 cm^{-1} in 4000 cm^{-1} in merimo prepustnost oziroma količino absorbirane svetlobe v odvisnosti od valovnega števila oziroma valovne dolžine. Energijo svetlobe točno določene valovne dolžine absorbirajo določene kemijske vezi ali sistemi kemijskih vezi. Energija svetlobe poviša energijo te vezi, ki zato zaniha (se razteza, vibrira, ...). Tako dobimo informacijo o prisotnosti določenih funkcionalnih skupin v molekuli, zmesi, snovi (Humar, 2002).

Metoda omogoča kvalitativno vrednotenje sprememb v lesu in premazih zaradi izpostavljenosti svetlobi. Kot primer navajamo podatke o fotorazgradnji lesa akacije (*Acacia auriculaeformis*). Učinek fotodegradacije na FT-IR spekter neekstrahiranih in ekstrahiranih vzorcev akacije (*Acacia auriculaeformis*), kaže značilne vplive obsevanja (slika 18). Posledice fotodegradacije se kažejo v razkroju lignina (delignifikacija), ki se odraža v velikem zmanjšanju ligninskega traku pri 1509 cm^{-1} in nastanku novih trakov barvotvornih skupin, kar se vidi v intenziteti traku, ki ga pripisujemo nihanju v C=O vezi pri 1734 cm^{-1} (Pandey, 2005).



Slika 18: FT-IR spektri obsevanega neekstrahiranega in ekstrahiranega lesa akacije (*Acacia auriculaeformis*) v odvisnosti od časa sevanja (Pandey, 2005)

Za vrednotenje učinkov in procesov fotodegradacije je verjetno še bolj primerna metoda elektronske paramagnetne resonance (EPR). Humar in sod.(2001) so jo ocenili kot zelo uspešno, ko so z UV žarki vzbujene proste radikale, pri žarčenju celuloze, polioz in lignina, lovili z lovilcem prostih radikalov DePMPO in jih z metodo EPR analizirali.

2.5 SPREMINJANJE BARVNEGA TONA POVRŠINSKIH SISTEMOV

2.5.1 Barva lesa

Lesu dajejo barvo ekstraktivi (Rowell, 2005). To so predvsem terpeni in terpenoidi, alifatske spojine (predvsem maščobe in voski) ter fenolne snovi (Tišler, 1986). Enako menita avtorja Jirouš-Rajković in Ljuljka (1999), ki pišeta, da imajo odločilen vpliv na barvo lesa akcesorne sestavine (smola, polifenoli, alkaloidi, anorganske spojine), ki se kopičijo v celičnih stenah ali na njih. In še, da zaradi prisotnosti fenolnih substanc kot so flavonoidi, stilben, lignan in kinon, veliko vrst lesa absorbira svetlobo valovne dolžine, daljše od 500 nm. Razlike v barvi med svetlim ranim in temnim kasnim lesom pripisujeta predvsem razlikam v debelini celične stene traheid. Na barvo lesa vplivajo tudi fizikalni učinki, zlasti kot, pod katerim svetloba pada na vlakna, vsebnost vode v lesu in hrapavost površine (Jirouš-Rajković in Ljuljka, 1999).

2.5.2 Fotodegradacijski procesi v lesu in premaznih sistemih

Barva lesa je odvisna od medsebojnega delovanja kemijskih sestavin lesa in svetlobe. Zato reakcije komponent lesa s svetlobo, zrakom, toploto in kemikalijami povzročijo spremembo barve lesa. Razbarvanje oziroma sprememba barvnega tona nastaja v notranjih in v zunanjih prostorih in mnogo je faktorjev, ki so vzrok in pri tem sodelujejo (Jirouš-Rajković in Ljuljka, 1999).

Les dobro absorbira UV žarke (Humar in sod., 2001) in svetlobo (Hon in sod., 1980). Sposoben je absorbirati elektromagnetno sevalno energijo (Hon in sod., 1980), to pa se odraža v nastanku prostih radikalov, ki preko Fentonove reakcije povzročijo depolimerizacijo celuloze, hemiceluloze in lignina (Greljer in sod., 2000). UV žarki penetrirajo v les približno 75 μm globoko, vidna svetloba pa približno 200 μm . Absorbirana energija izzove fotokemično reakcijo predvsem v ligninu, ki privede do fotodiskoloracije in fotodegradacije polimerov celične stene (Hon, 1991). V lesu naj bi nastale tri vrste radikalov: hidroksilni, ogljikovi in peroksidni. Večina radikalov naj bi izvirala iz fotodegradacije lignina in le manjši del iz degradacije polioz. Mehanizem fotodegradacije celuloze naj bi se tudi močno razlikoval od mehanizma razkroja lignina. Pri ligninu naj bi najprej nastali zelo kratkoživi hidroksilni radikali, ki naj bi se zato takoj spremenili v ogljikove radikale na C3 ali C5 atomih benzenskega obroča. Na koncu procesa naj bi nastali kinoni, za katere je značilna temna rjava barva. Zaradi nastanka kinonov se UV obsevan les obarva temnejše (Hon, 1991; Sundell in sod., 2000; Greljer in sod., 2000). Po drugi strani je pri celulozi potek fotodegradacije nekoliko drugačen. UV svetloba naj bi vplivala na razcep glikozidne vezi in tako nastali hidroksilni radikali naj bi bili bistveno stabilnejši od hidroksilnih radikalov, ki se pojavijo na ligninu (Humar in sod., 2001).

Tvorba in obnašanje prostih radikalov pri lesu sta v veliki meri odvisna od izvora svetlobe in od klimatskih pogojev. Vlažen, svež les ne vsebuje prostih radikalov. Prosti radikali se sproščajo v času mehanske obdelave lesa in še bolj, če les izpostavimo elektromagnetnemu sevanju t. j. zunanji sončni svetlobi in fluorescentni svetlobi, ki se uporablja v interieru. Velika količina prostih radikalov je bila zabeležena na vzorcih lesa, ki so bili izpostavljeni sončnemu sevanju, vendar so ti zelo nestabilni in imajo kratko življenjsko dobo. Nasprotno pa je bila pri vzorcih, osvetljenih s fluorescentno svetlobo, količina prostih radikalov razmeroma majhna, bili pa so relativno stabilni pri sobni temperaturi. Prosti radikali se tvorijo tako v vakuumu kot na zraku. Velika količina prostih radikalov se je ustvarila, ko je bil les najprej izpostavljen vakuumu, nato pa sevanju svetlobe iz vseh virov, v zračnem prostoru. Očitno je, da je kisik najpomembnejši element aktivacije površine lesa za tvorbo prostih radikalov, ko uporabljamo fluorescentno ali UV svetlobo v prostoru (Hon in sod., 1980).

Obstaja mnogo raziskav o mehanizmu klimatskega staranja, ki jasno kažejo, da absorpcija fotonov UV žarkov rezultira tvorbo prostih radikalov, ki povzročijo večsmerne reakcije. Z reagiranjem s kisikom in vodo formirajo perokside. Prosti radikali in peroksid lahko povzročijo serijo verižnih cepilnih reakcij, ki razkrajajo polimerne komponente lesa. Kljub mnogim raziskavam v nekaj desetletjih, so mehanizmi razkrajanja polimernih komponent lesa predstavljeni le na splošno. Torej, absorpcija fotonov lahko povzroči tvorbo prostih radikalov, ostaja pa še mnogo nepojasnjenih vprašanj (Rowell, 2005).

Energija fotonov vidne svetlobe v interieru je veliko manjša od energije fotonov UV žarkov v eksterieru, a še dovolj velika, da vpliva na barvne centre v lesu. Pravimo, da les rumeni, v resnici pa se razbarvajo ekstraktivi in vse bolj močna je zaznava barve lignina, ki je neizoliran rumene barve (Tišler, 1986). Velika verjetnost pa je, da je energija vidne svetlobe še dovolj velika, da tudi lignin delno fotooksidira in prispeva svoj delež k spremembi barvnega tona lesa, izpostavljenega v interieru.

Nekateri ekstrahivi so podvrženi fotodegradacijski reakciji pri nižjih energijah kot lignin in ogljikovodiki. Les spremeni barvo tudi, ko je izpostavljen v interieru zaradi vidne svetlobe. Vidna svetloba povzroči, da organski pigmenti v lesu bledijo. Sprememba barve lesa v interieru ni posledica UV žarčenja. Uporaba UV stabilizatorjev v premazih za interier ima zato majhen učinek preprečevanja barvnih sprememb lesa (Rowell, 2005).

Tudi v interieru z difuzno svetlobo, zaradi fotooksidacije lignina, naravno svetel les rumeni in s časom temni. Fotooksidacija lignina in premaznega veziva na splošno opozarja na proces, kjer so polimeri, naravni ali sintetični, podvrženi kemičnim spremembam, kot so cepljenje vezi, hidroliza in tvorba prostih radikalov, oksidacija, tvorba peroksida in novih vezi, tvorba obarvanih in hidroksilnih polproduktov (Rogez in sod., 2002).

Jirouš-Rajković in sod. (2003), ugotavljajo, da so bile izmerjene največje spremembe barve lakiranih in nelakiranih vzorcev že po 24 urah izpostavitve fluorescenčni sijalki UVA-351 na svetlih vrstah lesa, javorovini, jesenovini in bukovini. Češnjevina se je pokazala kot vrsta lesa, ki je lakirana z različnimi laki, zelo občutljiva in različno reagira na UV žarčenje. Uporabljeni prosojni komercialni laki, namenjeni obdelavi lesa v interieru, so pokazali zelo različne velikosti in značilnosti spremembe barvnega tona. Enokomponentni akrilni vodni lak je na večini vrst lesov izzval nesprejemljivo rumenenje, posebej na češnjevini in hrastovini. Dodatek UV absorberja dvokomponentnemu PU laku za pohištvo se je pokazal kot popolnoma neučinkovit na vzorcih jesenovine in češnjevine. Sestava posamezne vrste lesa in vrste laka ustvarjata celoto, ki se na odpornosti proti svetlobi manifestira različno glede na individualne lastnosti lesa oziroma laka (na primer 2KPU na češnjevini, ne pa na jesenovini) in bi morda bilo potrebno posamezne lake modificirati odvisno od vrste lesa, na kateri ga bomo uporabili. Uporabnike lakov bi bilo potrebno opozoriti na možne spremembe barve, če se lak, ki ni odporen proti svetlobi, uporablja za obdelavo površin, ki so izpostavljene UV žarčenju (Jirouš-Rajković in sod., 2003).

Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) je eno od zelo pomembnih plantažnih dreves na Tajvanu. Normalna barva lesa njegove jedrovine je svetlo rožnato rdeča. Ob prisotnosti vlage barva potemni in končno počrni. Zaradi učinka svetlobe z valovno dolžino okoli 600 nm (uporabljena je svetloba fluorescentne sijalke, ki je simulirala svetlobne pogoje v interieru) in kisika se je barva jedrovine spreminjala od rožnato rdeče na modro zelenkasto; Δa^* in Δb^* sta se pomembno spremenila. Zaradi izpostavitve svetlobi valovne dolžine okoli 600 nm je barva vzorcev jedrovine lesa sugi postala bolj temno rdeča (Chang in sod., 2000).

Zgoraj omenjene raziskave in zaključki in še mnoge druge, temeljijo na meritvah učinkovanja prostih radikalov, vzbujenih z UV žarki, z UV žarki in vidno svetlobo ali v najboljšem primeru samo z vidno svetlobo potencirane in nenormalne jakosti (pospešeno osvetljevanje) (Jirouš-Rajković in sod., 2003; Chang in sod., 2000; Sundell in sod., 2000; Grelier in sod., 2000; Hon, 1991 in drugi) in so tako pridobljeni rezultati in iz njih izhajajoče predpostavke o spremembah barve površinskih sistemov v interieru le delno uporabne. Raziskave s tega področja, ki bi temeljila na normalnih in realnih pogojih osvetljevanja premaznih sistemov v interieru, nismo zasledili.

Edini nam poznani vir, ki opisuje spreminjanje barve v temi, je Soklič (2003). Njegova raziskava je bila opravljena v Laboratoriju za površinsko obdelavo, Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete v Ljubljani. Vzorci mahagonija iz rodu *Khaja* in vzorci vezanega lesa te drevesne vrste, so bili 270 ur (11 dni) v popolni temi. Njihova barva se praktično ni spremenila ($\Delta E^*_{270} = 0,8$). Večjo spremembo barve ($\Delta E^*_{270} = 2,7$) pa je izmeril vzorcem iz mahagonijevega vezanega lesa.

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIAL

Za raziskavo spreminjanja barve površinskih sistemov v interieru smo uporabili vzorce prosojnih površinskih sistemov elementov pohištva izdelanega v slovenski lesni industriji leta 2001. Tako imajo vsi vzorci prosojnih površinskih sistemov realne lastnosti pohištva v uporabi in so povezani s takratnim materialnim izborom in tehnološkimi možnostmi.

3.1.1 Vzorci prosojnih površinskih sistemov

Vzorci 44 različnih površinskih sistemov (poglavje 2.1) smo zbirali v Laboratoriju za površinsko obdelavo lesa od naročnikov naših raziskav odpornostnih lastnosti njihovih površinskih sistemov. Pri vzorčenju je bila zagotovljena sledljivost uporabljenih materialov, postopkov in datuma izdelave (datum nanosa premaznega sistema na podlago). Raznolikost pohištva, ki ga ponuja naša lesna industrija, se odraža tudi v raznolikosti vzorcev v naši raziskavi. Tako nastopa kot podlaga vzorčenih površinskih sistemov bukovina (BU), češnjevina (ČE), jelševina (JŠ), jesenovina (JE), macesnovina (MA) in bukov (BUf), češnjev (ČEf), javorjev (JAf) in hrastov furnir (HRf) na iverni plošči. Vzorci bukovine, češnjevine, jesenovine, macesnovine in z bukovino ter s češnjevino furnirani vzorci nastopajo tudi kot samostojni površinski sistemi v funkciji primerjave s površinsko obdelanimi površinskimi sistemi. Kot premazni sistemi so vzorčeni prosojni poliuretanski sistemi (PU), neluženi in luženi (L+PU), prosojni poliuretanski tonirani sistemi (PU+T), akrilni UV utrjujoči (UV) in oljni prosojni površinski sistemi (O).

Vsi površinski sistemi so bili med seboj različni. Vzorci posameznih površinskih sistemov so imeli velikost 100 mm × 230 mm. Velikost 50 mm × 100 mm pa so imeli paralelni vzorci sistemov v6, v7, v8, v9, v10, v11, v13, v14, v16, v17, v18 in v19, ki smo jih shranili v temi, prostoru brez svetlobe. V nadaljevanju je po kronološkem vrstnem redu, od 1 do 44, podan pregledni opis vzorcev (preglednica 5) za lažje kasnejše razumevanje.

Preglednica 5: Seznam raziskanih vzorcev prosojnih površinskih sistemov

Oznaka vzorca	Površinski sistem		Oznaka sistema
	Podlaga	Premazni sistem	
v1	jesenovina	PU lak toniran	JE+PU+T
v2	jesenovina	-	JE
v3	jesenovina	PU lak toniran	JE+PU+T
v4	jesenovina	-	JE
v5	jesenovina	PU lak toniran	JE+PU+T
v6	jesenovina	-	JE
v7	češnjevina	PU lak	ČE+PU
v8	češnjevina	-	ČE
v9	bukovina	PU lak	BU+PU
v10	bukovina	-	BU
v11	češnjev furnir	PU lak	ČEf+PU
v12	češnjev furnir	-	ČEf
v13	češnjev furnir	PU lak	ČEf+PU
v14	češnjev furnir	-	ČEf
v15	češnjev furnir	PU lak	ČEf+PU
v16	bukov furnir	PU lak	BUf+PU
v17	bukov furnir	-	BUf
v18	bukov furnir	PU lak	BUf+PU
v19	bukov furnir	-	BUf
v20	bukovina	olje 1	BU+O
v21	bukovina	olje 2	BU+O
v22	bukovina	olje 3	BU+O
v23	bukovina	PU lak	BU+PU
v24	bukovina	-	BU
v25	jelševina	PU lak	JŠ+PU
v26	jelševina	-	JŠ
v27	jelševina	PU lak	JŠ+PU
v28	jelševina	-	JŠ
v29	bukovina	PU lak	BU+PU
v30	hrastov furnir	lužilo + PU lak	HRf+L+PU
v31	hrastov furnir	lužilo + PU lak	HRf+L+PU
v32	hrastov furnir	PU lak	HRf+PU
v33	bukov furnir	lužilo + PU lak	BUf+L+PU
v34	bukov furnir	lužilo + PU lak	BUf+L+PU
v35	bukov furnir	PU lak	BUf+PU
v36	jesenovina	PU lak toniran	JE+PU+T
v37	jesenovina	-	JE
v38	bukov furnir	UV lak	BUf+UV
v39	bukov furnir	UV lak	BUf+UV
v40	bukov furnir	UV lak	BUf+UV
v41	bukov furnir	UV lak	BUf+UV
v42	macesnovina	olje 4	MA+O
v43	macesnovina	-	MA
v44	javorjev furnir	PU lak	JA+PU

Pri prosojnih površinskih sistemih v1, v3, v5, v7, v9, v11, v13, v16, v18, v23, v25, v27, v36 in v42 smo lahko vzorčenje opravili tako, da smo njim vzporedno vzorčili tudi samo podlago teh sistemov, ki je osnova za analizo vpliva premaznega sistema na barvno spremembo ΔE^* celotnega površinskega sistema. Podlago zgornjim sistemom predstavljajo vzorci: v2 (sistemu v1), v4 (v3), v6 (v5), v8 (v7), v10 (v9), v12 (v11), v14

(v13), v17(v16), v19 (v18), v24 (v23), v26 (v25), v28 (v27), v37 (v36), v43 (v42) in so v raziskavi površinski sistemi, ki jih tvori samo podlaga.

3.1.2 Sijalke

Za izvor svetlobe (poglavje 2.2.1.4), kateri smo izpostavili vzorce prosojnih površinskih sistemov, smo uporabili fluorescenčne sijalke OSRAM L58W/20 (Cool White - 4600 lm), ki se normalno uporabljajo kot vir vidne svetlobe v javnih prostorih, pisarnah, učilnicah, predavalnicah, laboratorijih in tudi v prostorih zasebnega interiera. Sijejo elektromagnetno valovanje s spektrom valovnih dolžin svetlobe (vidni del spektra). Del njihovega spektra je zvezen, del pa predstavljajo bolj ali manj ozki spektralni trakovi pri valovnih dolžinah približno 440 nm, 550 nm in 580 nm (slika 10).

3.2 METODE

3.2.1 Izpostavitve vzorcev svetlobi v interieru

Po 21 dneh kondicioniranja vzorcev v prostoru brez svetlobe in pri normiranih normalnih klimatskih pogojih interiera, od dneva nanosa premaznih sistemov na podlago, smo vzorce izpostavili normalni fluorescenčni svetlobi sijalke OSRAM L58W/20 (Cool White - 4600 lm) (slika 9), kot vertikalni element pohištva za odlaganje in shranjevanje (slika 19).

Časovno so bili vzorci izpostavljeni svetlobi in temi ciklično. V 1 dnevu/v 24 urah, so bili izpostavljeni: 10 ur fluorescenčni svetlobi, od 2 do 4 ure mraku in od 10 do 12 ur temi. V 1 tednu/7 dnevih, so bili vzorci izpostavljeni po zgornjem časovnem razporedu, 5 dni in 2 dni nekontrolirani, izmenjujoči si difuzni dnevni svetlobi, mraku in temi. Dnevna časovna definicija osvetljevanja vzorcev velja za vse delovne dni v letu od 5. junija 2001 do 5. junija 2005, to je 4 leta ali 48 mesecev ali 1008 dni. Iz tega sledi, da so bili vzorci v 4 letnem obdobju izpostavljeni fluorescenčni svetlobi v interieru 10.080 ur.



Slika 19: Izpostavitve vzorcev fluorescenčni svetlobi v Laboratoriju za površinsko obdelavo

Vzorci, označene z v6T, v7T, v8T, v9T, v10T, v11T, v13T, v14T, v16T, v17T, v18T in v19T, smo hranili 48 mesecev v popolni temi, pri istih klimatskih pogojih kot so bili vzorci izpostavljeni svetlobi.

3.2.2 Merjenje in vrednotenje barve vzorcev prosojnih površinskih sistemov

Barvo vsakega prosojnega površinskega sistema smo merili na 10, vnaprej določenih in vedno istih mestih, pred izpostavitvijo svetlobi, vsak mesec prvega leta izpostavitve, vsake 3 mesece drugega leta in vsakih 6 mesecev, do izteka 4-letne izpostavitve. Meritve smo torej izvajali v času $t = 0$ mesecev, po 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 42 in 48 mesecih.

Za merjenje barve vzorcev smo uporabili kolorimeter Micro Color LMC2 (slika 20), proizvajalca Dr. Bruno Lange GmbH iz Nemčije, z merilno geometrijo $d/8^\circ$, standardiziranim zornim kotom 10° , standardizirano svetlobo D_{65} , merilnim območjem Φ 20 mm in ponovljivostjo bele barve $\Delta E^* = 0,15$.



Slika 20: Kolorimeter Micro Color LMC2

Izmerjena vrednost barve vsakega vzorca je bila vedno podana s koordinatami L^* , a^* in b^* po CIEL*a*b* sistemu vrednotenja barve (poglavje 2.3 in poglavje 2.3.2).

3.2.3 Vrednotenje barvnih razlik ΔE^*

Spreminjanje barve, oziroma barvnih razlik, vzorcev prosojnih površinskih sistemov, v odvisnosti od časa učinkovanja svetlobe, smo vrednotili z matematično vrednostjo barvnih razlik ΔE^* (enačba (13), ki predstavlja spremembo krajevnega vektorja E^* zaradi spremembe njegovih koordinat L^* , a^* in b^* (poglavje 2. 4 in poglavje 2.4.1).

3.2.4 Ocenjevanje vplivov svetlobe v interieru na sestavo lesa in prosojnih premaznih sistemov s FT-IR spektroskopijo

Meritve nihajne spektroskopije (Fourier transform infrared spectroscopy – FT-IR) (poglavje 2.4.2) smo opravljali s spektrometrom Spectrum One (Perkin Elmer, ZDA) (slika 21) s tehniko DRIFT. Površino vzorcev smo narahlo obrusili s posebnim brusnim sredstvom, ki smo ga vstavili v spektrometer. Med seboj smo primerjali spektre vzorcev, izpostavljenih 10.080 ur svetlobi in vzporedne vzorce, ki so bili 48 mesecev v temi.



Slika 21: Spektrometer Spectrum One, Perkin Elmer

4 REZULTATI

Osnova za vrednotenje barvnih sprememb prosojnih površinskih sistemov v 4 letih izpostavitve svetlobi (poglavje 3.2.1) so izmerjene vrednosti njihovih barv (poglavje 3.2.2) v planiranem časovnem trenutku in so, v nadaljevanju, predmet naše predstavitve in analize.

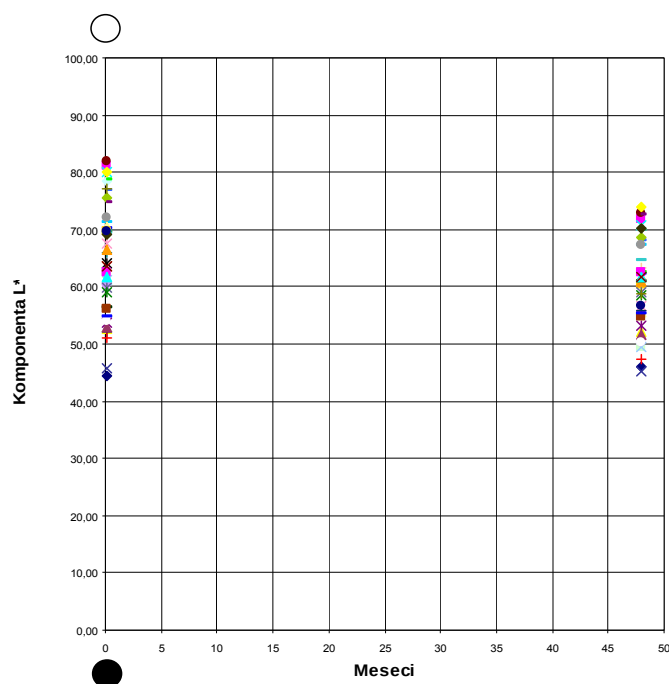
4.1 IZMERJENE VREDNOSTI BARVE PROSOJNIH POVRŠINSKIH SISTEMOV

Rezultat vsake meritve barve (poglavje 3.2.2.) so izmerjene številčne vrednosti koordinat L^* , a^* in b^* , ki vrednotijo barvo na določenem mestu vzorca in v določenem času. Na vseh vzorcih 44 prosojnih površinskih sistemov, smo v obdobju 4 let opravili 9240 meritev ($44 \text{ vzorcev} \times 21 \text{ časov} \times 10 \text{ meritev na vzorcu}$) in tako zbrali 27.720 podatkov o barvnih koordinatah. V nalogi smo kot rezultat meritev in kot osnovo za nadaljnje izračune in analize, barvo posameznega vzorca prosojnih površinskih sistemov predstavili s povprečno vrednostjo barv, ki smo jih izmerili na 10 mestih enega vzorca, v določenem času (priloga A). Zaradi prevelikega obsega, posameznih izmerjenih vrednosti za vsak vzorec nismo priložili k tej nalogi, so pa dosegljive v osebni arhivu avtorja.

V preglednicah (priloga A) smo za posamezne prosojne površinske sisteme od v1 do v44 in 21 časov ($t = 0$ mesecev do 48 mesecev) predstavili povprečne izmerjene vrednosti L^* , a^* , b^* .

L_0^* (svetlost/temnost) vrednosti obravnavanih prosojnih sistemov zajemajo vrednosti od najtemnejših (preglednica 6): $L_0^*v1 = 44,49$ (JE+PU+T) - jesenovina lakirana s toniranim PU premazom, $L_0^*v31 = 45,83$ (HRf+L+PU) - hrastov furnir lužen in lakiran s PU premazom, do najsvetlejših: $L_0^*v6 = 81,80$ (JE) - jesenovina, $L_0^*v35 = 78,61$ (BUf+PU) - bukov furnir lakiran s PU premazom, $L_0^*v10 = 78,55$ (BU) - bukovina, $L_0^*v43 = 77,10$ (MA) - macesnovina itd.

Kot smo pričakovali, je večina vzorcev prosojnih premaznih sistemov, zaradi izpostavitve svetlobi, potemnela (sliki 22 in 23, preglednica 6). Vrednost koordinate L_0^* se je zmanjšala na vrednost L_{48}^* in sicer najbolj pri prosojnih premaznih sistemih: v43 (MA) - macesnovina za 18,24, v35 (BUf+PU) - bukov furnir lakiran s PU premazom za 16,07, v12 (ČE) - češnjevina za 14,89, v11 (ČEf+PU) - češnjev furnir lakiran s PU premazom za 12,92, v42 (MA+O) - oljena macesnovina itd. Minimalno je vrednost koordinate L_0^* narasla pri: v27 (JŠ+PU) - jelševina lakirana s PU premazom za 4,54, v25 (JŠ+PU) - jelševina lakirana s PU premazom in v28 (JŠ) - jelševina za 1,18; ti vzorci so postali malo svetlejši.



Slika 22: Svetlost/temnost L^* vzorcev pred 4-letno izpostavitvijo svetlobi v interieru in po njej



Slika 23: Izgled vzorcev po 4-letni izpostavitvi svetlobi v interieru

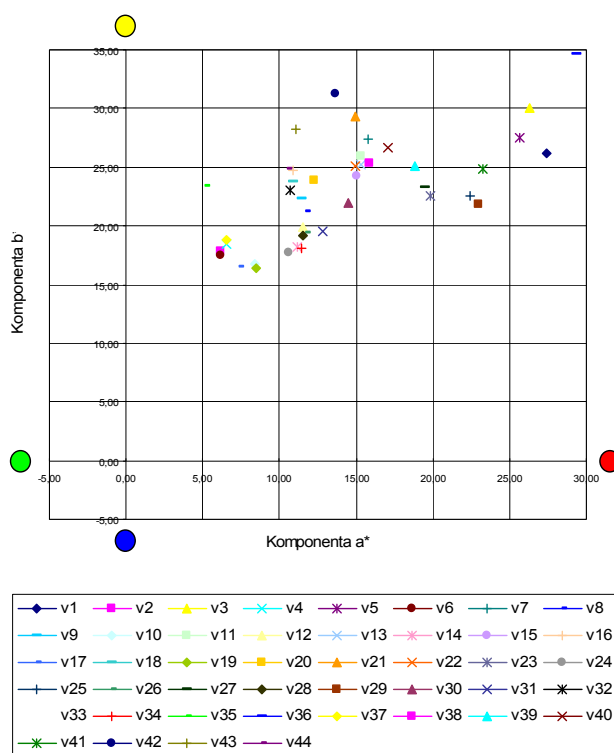
Preglednica 6: Izmerjene začetne vrednosti L^*_0 in končne L^*_{48} , razvrščene od maksimalne do minimalne

$L^*_{_0}$			$L^*_{_48}$				
v6	maks.	81,80	JE	v37	maks.	73,93	JE
v2		81,02	JE	v6		72,94	JE
v4		80,05	JE	v44		72,71	JA+PU
v37		79,98	JE	v2		71,78	JE
v35		78,61	BUf+PU	v4		70,74	JE
v10		78,55	BU	v28		70,32	JŠ
v43		77,10	MA	v10		70,30	BU
v17		76,91	BUf	v26		69,87	JŠ
v19		75,45	BUf	v19		68,57	BUf
v44		74,63	JA+PU	v17		68,11	BUf
v24		72,05	BU	v24		67,35	BU
v9		71,25	BU+PU	v9		67,29	BU+PU
v12		70,59	ČEf	v18		64,62	BUf+PU
v8		70,19	ČE	v16		63,30	BUf+PU
v16		69,75	BUf+PU	v38		62,58	BUf+UV
v42		69,70	MA+O	v35		62,54	BUf+PU
v26		69,62	JŠ	v7		62,43	ČE+P
v20		69,61	BU+O	v8		62,36	ČE
v18		69,48	BUf+PU	v32		62,05	HRf+PU
v28		69,14	JŠ	v22		61,92	BU+O
v14		67,65	ČEf	v40		61,78	BUf+UV
v21		66,37	BU+O	v39		61,74	BUf+UV
v7		65,97	ČE+P	v27		60,93	JŠ+PU
v32		64,17	HRf+PU	v21		60,91	BU+O
v22		63,58	BU+O	v20		60,32	BU+O
v40		63,54	BUf+UV	v23		58,95	BU+PU
v38		62,63	BUf+UV	v43		58,86	MA
v11		62,29	ČEf+PU	v41		58,55	BUf+UV
v39		61,68	BUf+UV	v42		56,70	MA+O
v13		61,26	ČEf+PU	v14		56,53	ČEf
v15		60,50	ČEf+PU	v25		55,95	JŠ+PU
v23		59,79	BU+PU	v12		55,70	ČEf
v41		58,97	BUf+UV	v36		55,38	JE+PU+T
v27		56,39	JŠ+PU	v29		54,83	BU+PU
v29		56,17	BU+PU	v5		53,09	JE+PU+T
v36		54,73	JE+PU+T	v3		52,79	JE+PU+T
v33		53,98	BUf+L+PU	v30		51,64	HRf+L+PU
v5		53,84	JE+PU+T	v33		50,30	BUf+L+PU
v30		52,85	HRf+L+PU	v15		50,14	ČEf+PU
v3		52,17	JE+PU+T	v13		49,53	ČEf+PU
v25		52,05	JŠ+PU	v11		49,37	ČEf+PU
v34		51,00	BUf+L+PU	v34		47,41	BUf+L+PU
v31		45,83	HRf+L+PU	v1		46,02	JE+PU+T
v1	min.	44,49	JE+PU+T	v31	min.	45,24	HRf+L+PU

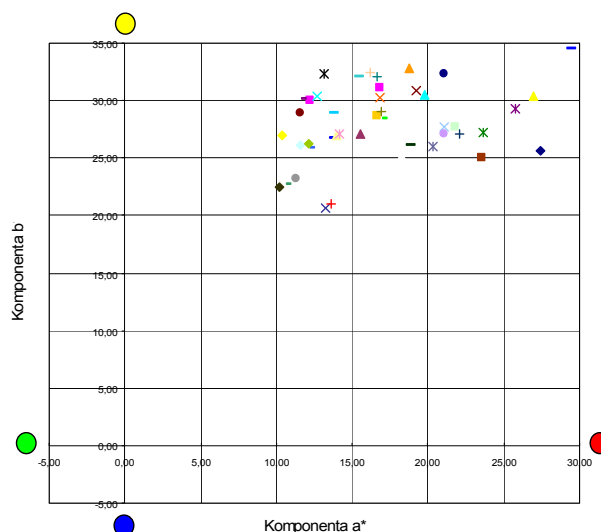
Komponenta a^* vrednotenja barve opredeljuje barvni ton vzorcev na rumeno-modri osi, komponenta b^* pa na rdeče-zeleni osi. V a^*/b^* barvnem koordinatnem sistemu so se barvni toni vseh naših vzorcev z začetnimi pozitivnimi vrednostmi a^*_0 in b^*_0 ter končnimi pozitivnimi vrednostmi a^*_{48} in b^*_{48} (priloga B) porazdelili v prvi kvadrant koordinatnega sistema (sliki 24 in 25).

Večina naših vzorcev je bolj porumenela (priloga B3) kot pordečila (priloga B2) in njihov prevladujoči barvni ton je postal, zaradi vpliva svetlobe, bolj čist. Najbolj so porumeneli vzorci: v2, v4, v6, v37; vsi (JE) - jesenovina za 12,25, 11,89, 11,52, 8,31; v17 in v19, oba (BUf) - bukov furnir za 9,32 in 9,80, v10 (BU) - bukovina za 9,45, v32 (HRf+PU) - hrastov furnir lakiran s PU premazom za 9,32, v14 (ČEf) - češnjev furnir za 8,84 itd.

Bolj izrazito rdečkasti ton pa so zaradi osvetljevanja dobili vzorci: v35 (BUf+PU) za 11,77, v42 (MA+O) za 7,4, v11 (ČRf+PU) za 6,48, v 15 (ČEf+PU) za 6,04 itd.



Slika 24: Barva posameznih vzorcev v a^*/b^* koordinatnem sistemu pred izpostavitvijo svetlobi v interieru

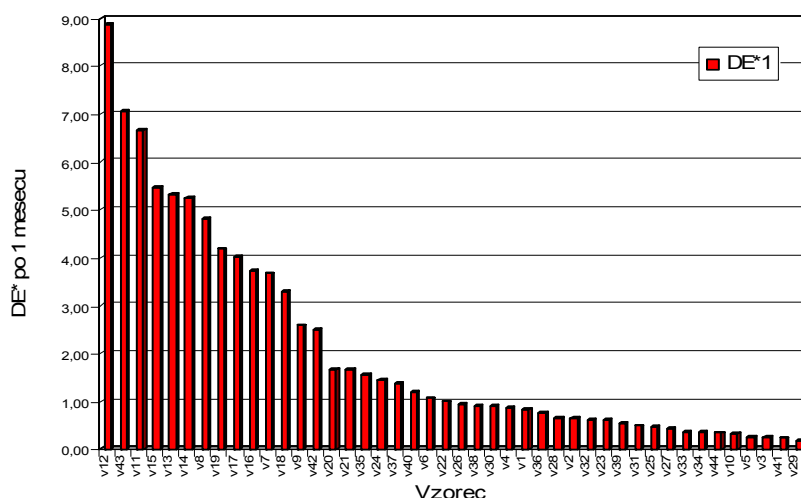
Slika 25: Barva posameznih vzorcev v a^*/b^* koordinatnem sistemu po 4-letni izpostavitvi svetlobi v interieru

4.2 BARVNE RAZLIKE ΔE^*_{0-48} ZARADI OBREMENJEVANJA S SVETLOBO V INTERIERU

4.2.1 Barvne razlike ΔE^* po 1., 2. in 3. mesecu učinkovanja fluorescenčne svetlobe

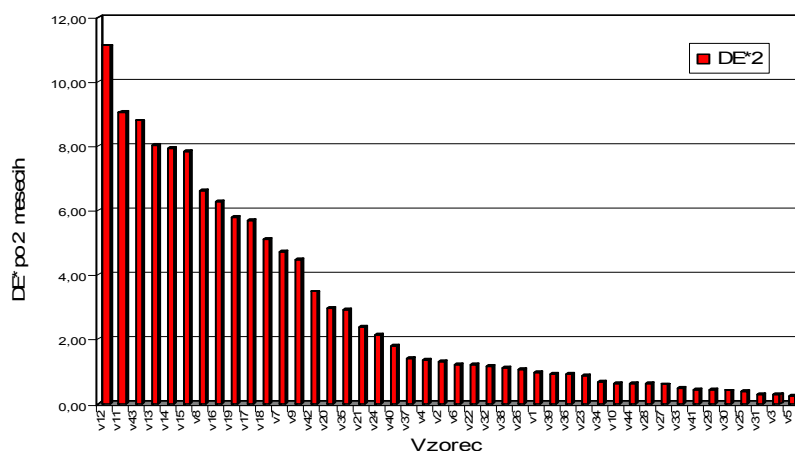
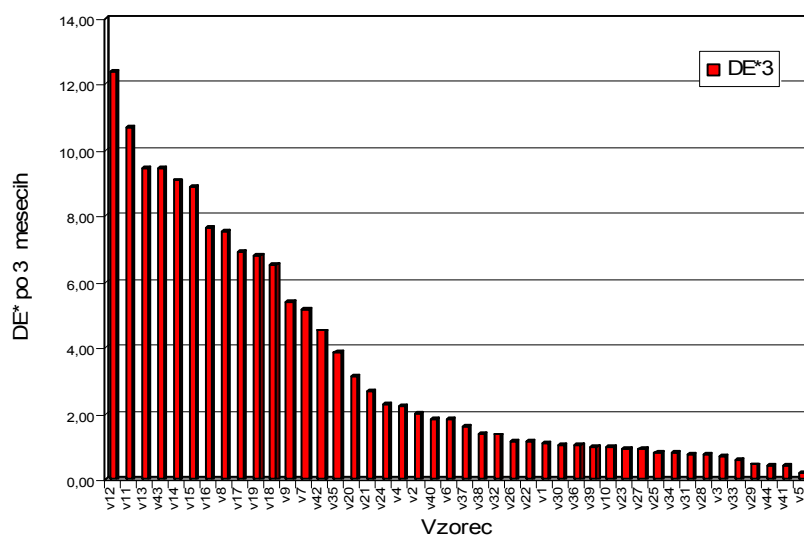
Iz rezultatov naše raziskave vidimo (priloga A), da se pri nekaterih vzorcih pojavijo barvne razlike ΔE^* že kmalu po izpostavitvi svetlobi fluorescenčne sijalke v interieru in to v taki velikosti, da jo človeško oko že zazna (poglavje 2.4.1.1).

Po preteku 1. meseca od izpostavitve vzorcev svetlobi smo že izmerili in izračunali barvne razlike ΔE^* (priloga C2) pri češnjevem furnirju, vzorec v12 (ČEf), za kar $\Delta E^*_1 = 8,9$, pri macesnovem vzorcu v43 (MA) $\Delta E^*_1 = 7,1$, pri vzorcih češnjevega furnirja lakiranega s PU premazom v11 (ČEf+PU), v15 (ČEf+PU) in v13 (ČEf+PU) pa vrednosti $\Delta E^*_1 = 6,7, 5,5$ in $5,2$. K tej skupini, z veliko spremembo barve po 1. mesecu, lahko dodamo še vzorce sistemov v14 (ČEf) - češnjevega furnirja, v8 (ČE) - češnjevine, v19 (BUf) - bukov furnir in v17 (BUf) - bukov furnir. Polovica od vseh sistemov oziroma 23 pa po 1. mesecu ni dosegla vrednosti $\Delta E^* = 1$ (slika 26).

Slika 26: Velikost spremembe barve ΔE^*_1 od največje do najmanjše vrednosti po 1. mesecu

Po dveh in treh mesecih se je zgoraj opisana polarizacija vzorcev ohranila, z manjšimi prerazporeditvami proti večjim ali manjšim vrednostim sprememb barve ΔE^* (priloga C2). Sistem v12 (ČEf) - češnjeve furnir je izkazoval po 2 mesecih že barvno razliko $\Delta E^*_2 = 11,1$ in po 3 mesecih $\Delta E^*_3 = 12,4$, v43 (MA) - macesnovina po 2 mesecih $\Delta E^*_2 = 9,1$ in po 3 mesecih $\Delta E^*_3 = 10,7$. Po 3 mesecih samo še 14 sistemov ni preseglo vrednosti spremembe barve $\Delta E^* = 1$ (sliki 27 in 28).

Iz meritev in izračunanih vrednosti ΔE^* smo zaznali, da je spreminjanje barve nekaterih prosojnih premaznih sistemov ravno v tem času in tja do 5 mesecev izpostavitve, najbolj intenzivno, ter da so kasnejše spremembe, do 48 mesecev, vse manjše in pri nekaterih celo zanemarljive.

Slika 27: Velikost spremembe barve ΔE^*_2 od največje do najmanjše vrednosti po 2. mesecuSlika 28: Velikost spremembe barve ΔE^*_3 od največje do najmanjše vrednosti po 3. mesecu

4.2.2 Barvne razlike ΔE^* po 48. mesecu učinkovanja fluorescenčne svetlobe

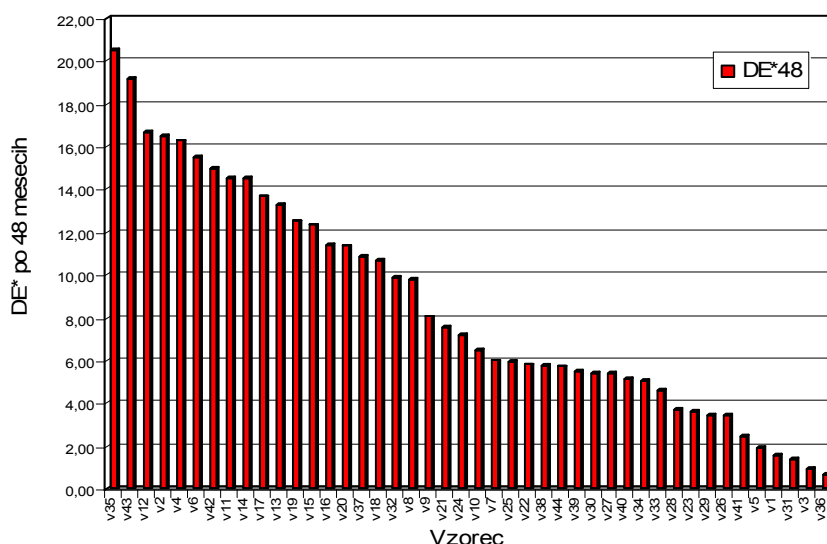
Po 48 mesecih smo vzorcem zadnjič izmerili njihovo barvo oziroma njihove barvne koordinate L^* , a^* in b^* . Po enačbi (13) smo za vse meritve, ki so bile opravljene v načrtovanih časovnih intervalih, za vsak časovni interval izračunali trenutno razliko barve, oziroma barvnega tona, glede na vrednosti barvnih koordinat vzorcev pred izpostavitvijo fluorescenčni svetlobi. Velikost barvne razlike ΔE^* kaže velikost spremembe krajevnega

vektorja barve naših sistemov glede na začetno stanje zaradi sprememb komponent barve ΔL^* , Δa^* in Δb^* (poglavje 2.4.1).

Za vse sisteme in za vse meritve, ki smo jih opravili v času 4 let, oziroma za vse povprečne vrednosti, smo izračunali vrednosti ΔE^*_{tn} , ΔL^*_{tn} , Δa^*_{tn} in Δb^*_{tn} (priloga A). Iz njih je razvidno, da se je barva prosojnih površinskih sistemov, zaradi izpostavitve normalni fluorescenčni svetlobi v interieru spremenila.

Če izvajamo sistem v35 (BUf+PU) - bukov furnir lakiran s PU premazom, kateremu se je barva spremenila kar za $\Delta E^*_{48} = 20,5$ in po lastnostih sistema izstopa iz skupine sistemov z največjo spremembo barve, ΔE^*_{48} , vidimo, da je sprememba barve po 48. mesecu (priloga C, slika 29), $\Delta E^*_{48} = 19,2$ zelo velika pri sistemu v43 (MA) - macesnovina, sledijo sistemi v12 (ČEf) - češnjev furnir z $\Delta E^*_{48} = 16,7$, v2 (JE) - jesenovina z $\Delta E^*_{48} = 16,5$, v4 (JE) - jesenovina, v6 (JE) - jesenovina, v42 (MA+O) - oljena macesnovina itd. Iz rezultatov (priloga C1) je razvidno, da so v tej skupini z največjimi vrednostmi ΔE^*_{48} površinski sistemi brez premaznega sistema na podlagi in sicer macesnovina (MA), jesenovina (JE), češnjev (ČEf) in bukov furnir (BUf), bukovina (BU) ter nekateri površinski sistemi z omenjenimi podlagami in PU in O premaznim sistemom na njih.

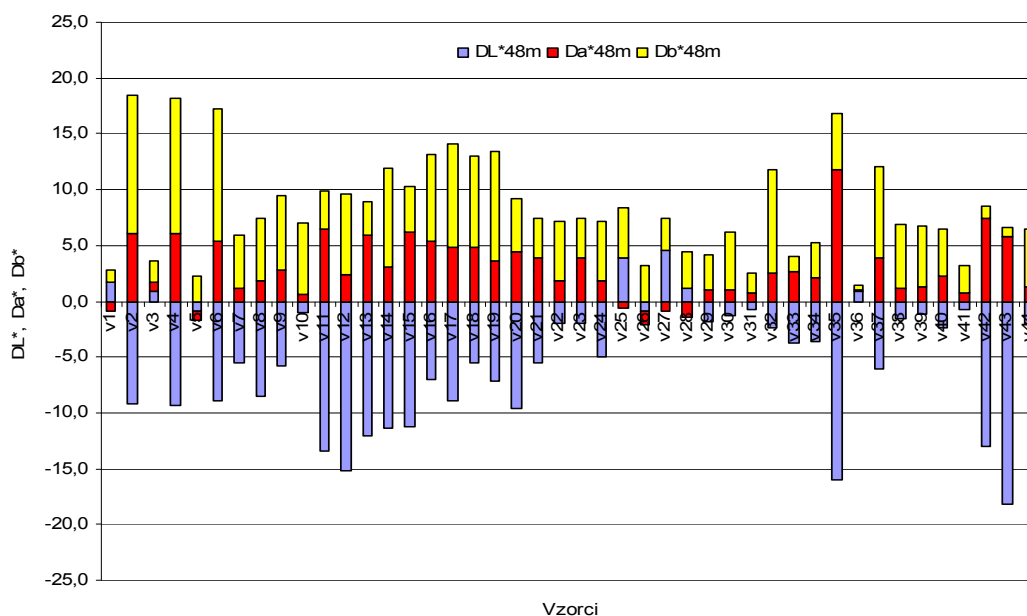
Najmanj ali skoraj nič se je barva v 48 mesecih spremenila sistemom z jesenovo podlago in toniranim PU premazom npr. sistemu v36 (JE+PU+T), $\Delta E^*_{48} = 0,7$, nekoliko bolj sistemu v26 (JŠ) z $\Delta E^*_{48} = 3,4$ in v28 (JŠ) z $\Delta E^*_{48} = 3,7$, ki jih tvori jelševina. V tej skupini z manjšimi spremembami barve so zbrani še sistemi lakirane bukovine (BU+PU), sistemi z luženim bukovim (BUf+L+PU) in hrastovim furnirjem (HRf+L+PU), lakirana jelševina (JŠ+PU), bukov furnir lakiran z UV premazom (BUf+UV) (priloga C1, slika 29).



Slika 29: Velikost spremembe barve vzorcev ΔE^*_{48} od največje do najmanjše vrednosti

4.2.3 Barvne razlike ΔE^*_{48} in spremembe barvnih koordinat ΔL^*_{48} , Δa^*_{48} , Δb^*_{48}

Iz rezultatov lahko razberemo, da barvna razlika ΔE^* zadovoljivo kvantitativno vrednoti barvno spremembo v odvisnosti od časa in razlike med prosojnimi površinskimi sistemi, a v nasprotju s čutno zaznavo ne ovrednoti spremembe svetlosti in barvnega tona kvalitativno. Velikost spremembe ΔE^* nam ne pove, ali je barva potemnela ali posvetlela, ali je pordečila ali porumenela, čeprav iz enačbe (13) vidimo, da je barvna sprememba ΔE^* posledica sprememb vrednosti koordinat ΔL^* , Δa^* in Δb^* (poglavje 2.4.1). Pri enaki absolutni vrednosti barvne spremembe ΔE^* , je ta lahko posledica prevladujoče spremembe svetlosti ΔL^* ali pa prevladujoče spremembe obeh barvnih koordinat: na rdeče/zeleni osi Δa^* in na rumeno/modri osi Δb^* (slika 30, priloga C1).

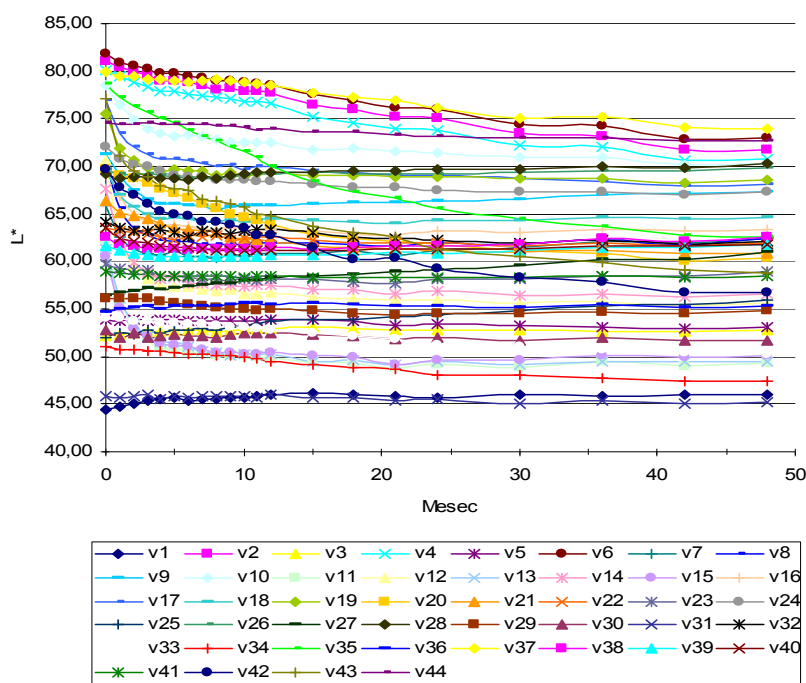


Slika 30: Delež in vrednosti koordinat ΔL^*_{48} , Δa^*_{48} in Δb^*_{48} za vse površinske sisteme po 48. mesecu

Iz slike 30 in podatkov v prilogi C1 vidimo, da je pri prosojnih površinskih sistemih v11, v12, v13 (pri vseh je kot podlaga sistema češnjev furnir (ČEf)), v42 in v43 (podlaga teh dveh sistemov je macesnovina (MA)) sprememba barve ΔE^*_{48} bolj posledica potemnitve ΔL^*_{48} , kot pa spremembe koordinat barvnega tona Δa^*_{48} in Δb^*_{48} . Pri sistemih v2 (JE), v4, (JE) v6 (JE), v37 (JE) (sisteme tvori jesenovina), v10 (BU) - bukovina, v16 (BUf+PU) - bukov furnir lakiran s PU premazom, v17 (BUf) - bukov furnir, v18 (BUf+PU) - bukov furnir lakiran s PU premazom, v19 (BUf) - bukov furnir, v22 (BU+O) - oljena bukovina, v23 (BU+PU) - bukovina lakirana s PU premazom, v32 (HRf+PU) - hrastov furnir lakiran s PU premazom in še nekaterih, jasno vidimo, da je sprememba barve ΔE^*_{48} bolj posledica prevladujoče spremembe koordinat barvnega tona Δa^*_{48} in Δb^*_{48} , kot pa potemnitve ΔL^*_{48} . Iz slike 30 je še razvidno, da so navedeni sistemi bolj porumeneli kot pa pordečili; velikost spremembe Δb^*_{48} je večja od velikosti spremembe Δa^*_{48} . Vzorca v42 (MA+O) in

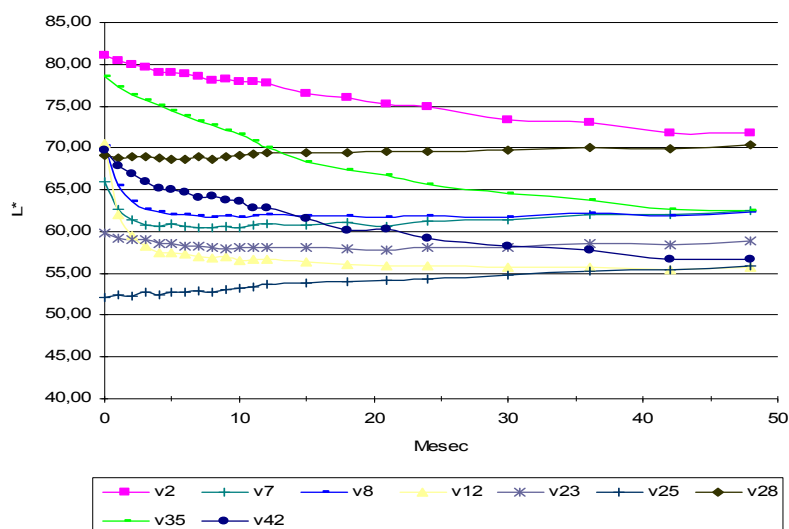
v43 (MA) sta, kot lahko razberemo, potemnela in pordečila. Nekaj vzorcev pa je enakovredno potemnelo in spremenilo barvni ton.

Iz izmerjenih vrednosti L^*_{0-48} in izračunanih vrednosti spremembe koordinate ΔL^*_{48} na y osi belo/črno (priloga A in priloga C1) vidimo, da so sistemi različno temneli oziroma svetleli in da je delež spremembe koordinate ΔL^*_{0-48} v spremembi barve ΔE^*_{0-48} pri različnih sistemih različen (slika 31). Vidimo tudi, da sprememba koordinate L^*_{0-48} ni za vse sisteme enolična in tako tudi ne njen vpliv na spremembo barve ΔE^*_{0-48} .

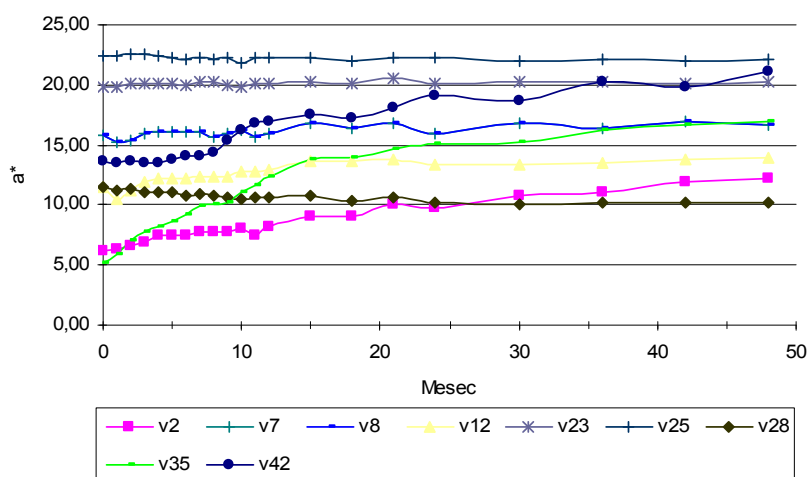


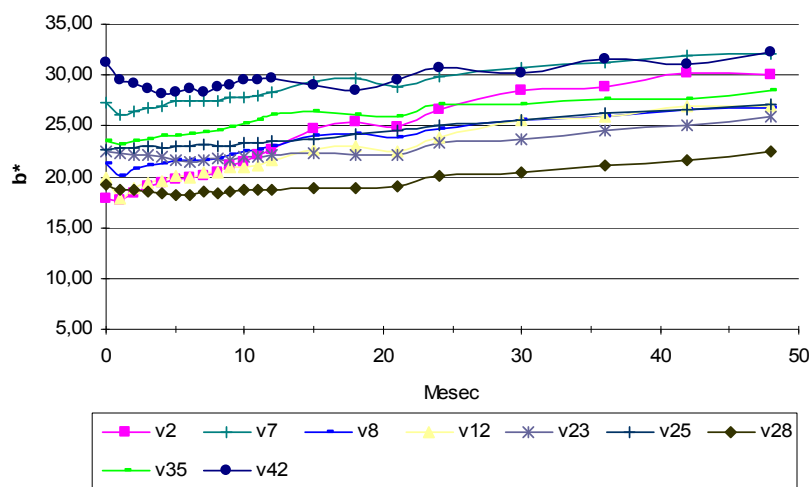
Slika 31: Odvisnost koordinate L^* od časa izpostavitve svetlobi v interieru

Na sliki 31 smo želeli poudariti, kako različno se lahko površinskim sistemom spreminja koordinata L^*_{0-48} , iz česar se tudi lahko sklepa na njen prav tako različno velik in različno značilen vpliv na generalno spremembo barve ΔE^*_{0-48} . Vidimo tudi, da bi lahko površinske sisteme, podobno kot jih bomo kasneje v poglavju 4.2.4, tudi glede na potek spremembe L^*_{0-48} razvrstili v tri ali štiri značilne skupine. V sliki 32 predstavljamo značilno različne površinske sisteme: v2 (JE) - jesenovina, v7 (ČE+PU) - češnjevina lakirana s PU premazom, v8 (ČE) - češnjevina, v12 (ČEf) - češnjev furnir, v23 (BU+PU) - bukovina lakirana s PU premazom, v25 (JŠ+PU) - jelševina lakirana s PU premazom, v28 (JŠ) - jelševina, v35 (BUf+PU) - bukov furnir lakiran s PU premazom in v42 (MA+O) - oljena macesnovina.

Slika 32: Različno spreminjanje koordinate L^*_{0-48} pri različnih površinskih sistemih

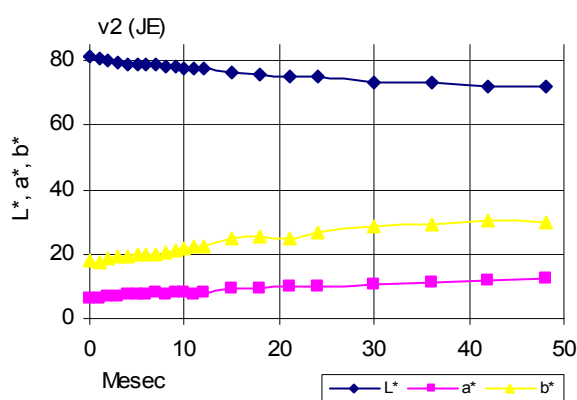
Izmerjene vrednosti (priloga A) koordinate a^*_{0-48} , ki določa lego barve na rdeče - zeleni osi in koordinate b^* , ki določa lego barve na rumeno - modri osi (poglavje 2.3.2), kažeta, s svojo spremembo in predznakom spremembe, spremembo barvnega tona posameznih površinskih sistemov ter spremembo zasičenosti prevladujoče barve. Izračunana vrednost spremembe barve ΔE^*_{0-48} tovrstne spremembe lahko prikrije, kar je razvidno iz enačbe (12). Sliki 33 in 34 nam lepo kažeta, kako se tudi izmerjene vrednosti koordinate a^*_{0-48} in koordinate b^*_{0-48} različno spreminjajo pri zgoraj že obravnavanih površinskih sistemih: v2 (JE), v7 (ČE+PU), v8 (ČE), v12 (ČEf), v23 (BU+PU), v25 (JŠ+PU), v28 (JŠ), v35 (BUf+PU) in v42 (MA+O).

Slika 33: Različno spreminjanje koordinate a^*_{0-48} pri različnih površinskih sistemih

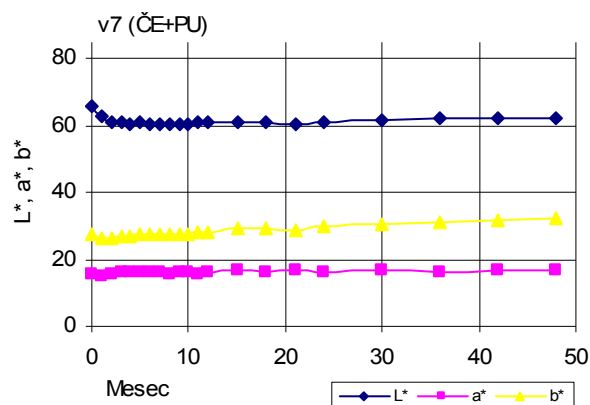
Slika 34: Različno spreminjanje koordinate b^*_{0-48} pri različnih površinskih sistemih

Za zgoraj obravnavane površinske sisteme v2 (JE), v7 (ČE+PU), v8 (ČE), v12 (ČEf), v23 (BU+PU), v25 (JŠ+PU), v28 (JŠ), v35 (BUf+PU), v42 (MA+O) in v10(BU) so v nadaljevanju zaradi kakovostnejše analize v grafikonih prikazane vrednosti meritev (priloga A) koordinat L^* , a^* in b^* skupaj, kar omogoča bolj celovit in jasen vpogled v časovno dogajanje oziroma spreminjanje barvnega tona teh površinskih sistemov. Za vse ostale prosojne površinske sisteme so grafikoni zbrani v prilogi E.

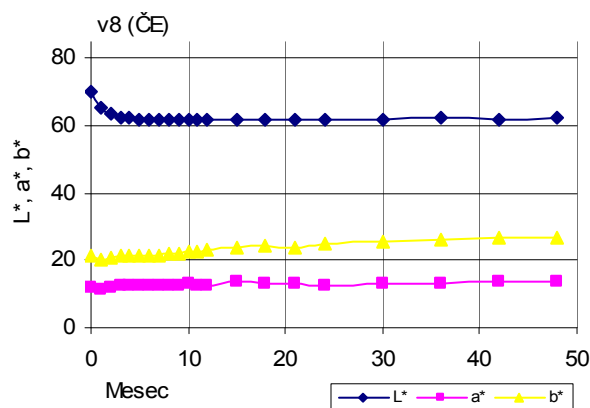
Na sliki 35 se lepo vidi, da je sistem v2 (JE) - jesenovina enakomerno temnel (L^*_{0-48}), enakomerno rdečil (a^*_{0-48}) in enakomerno rumenel (b^*_{0-48}). Njegova celotna barvna sprememba je znašala $\Delta E^*_{48} = 16,5$.

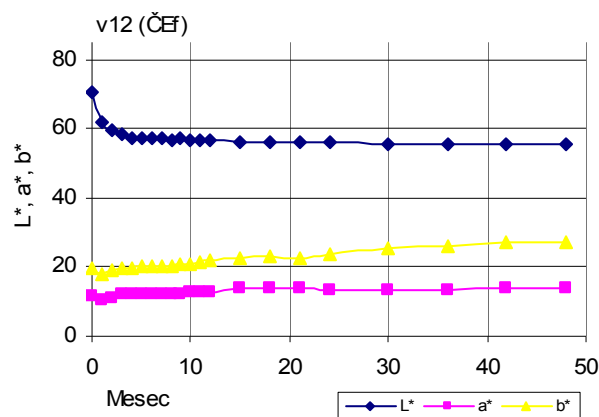
Slika 35: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v2 (JE)

Prosojni površinski sistem v7 (ČE+PU) - češnjevina lakirana s PU premazom je v prvih 3 mesecih potemnel, minimalno pordečil in ves čas konstantno rumenel (slika 36). Njegova celotna barvna sprememba je znašala $\Delta E^*_{48} = 6,0$.

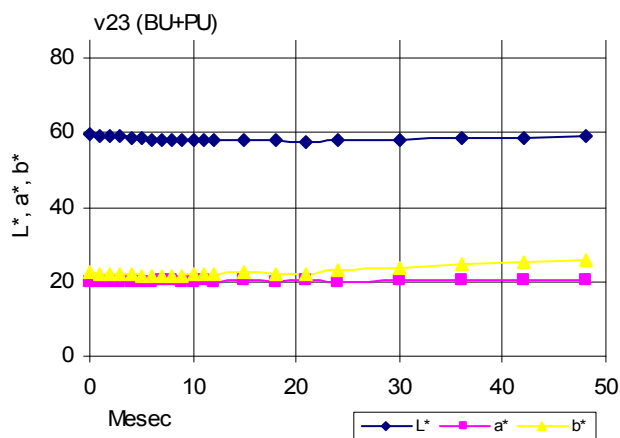
Slika 36: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v7 (ČE+PU)

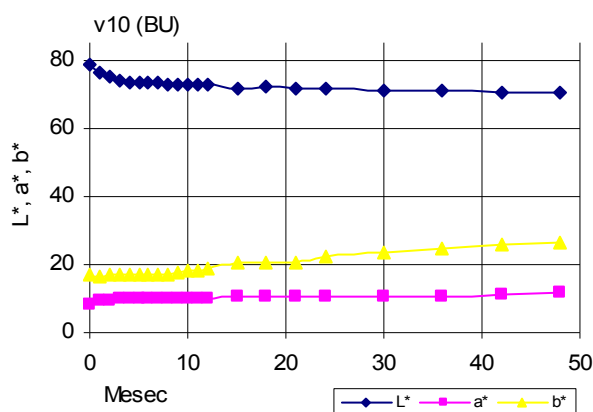
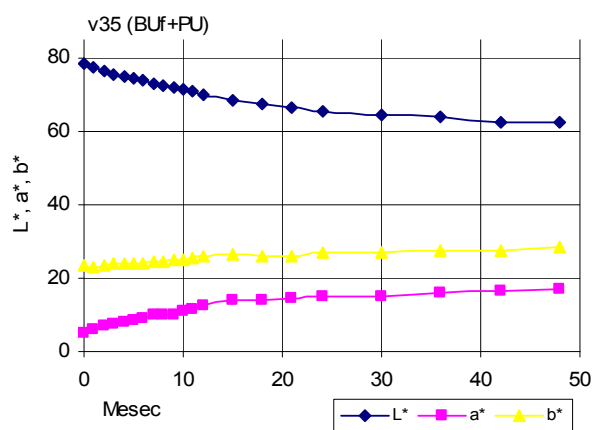
Če primerjamo sistem v7 (ČE+PU) - češnjevina lakirana s PU premazom (slika 36), s sistemom v8 (ČE) - češnjevina (slika 37) in sistemom v12 (ČEf) - češnjev furnir (slika 38), vidimo pozitiven učinek lakiranja češnjevine na zmanjšanje spremembe barve. Pri sistemu v7 (ČE+PU) je $\Delta E^*_{48.} = 6,0$, pri nelakiranem sistemu v8 (ČE) že $\Delta E^*_{48.} = 9,8$ in $\Delta E^*_{48.} = 16,7$ pri sistemu v12 (ČEf) - češnjev furnir. Tudi iz te primerjave je vidno, da je češnjev furnir bolj spremenil barvo kot pa češnjevina.

Slika 37: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v8(ČE)

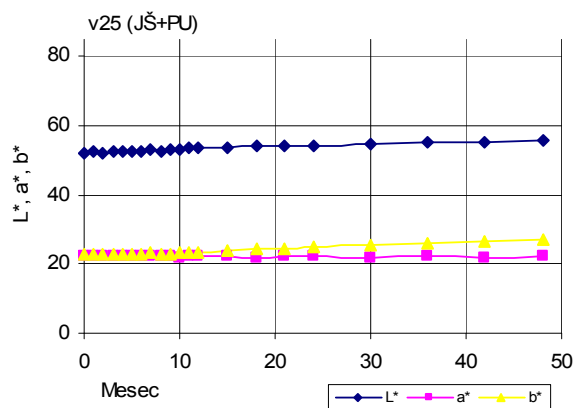
Slika 38: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v12 (ČEf)

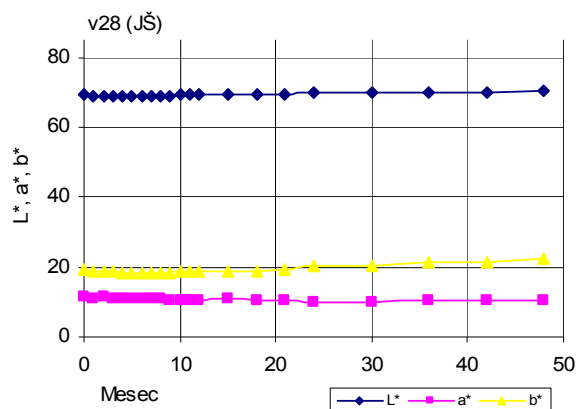
Zanimiva je zopet naslednja primerjava sistemov prosojnih površinskih sistemov v23 (BU+PU), v10 (BU) in v35 (BUf+PU), saj smo imeli za izhodišče primerjave kot podlago bukovino oziroma bukov furnir. Sistem v23 (BU+PU) - bukovina lakirana s PU premazom (slika 39) z $\Delta E^*_{48.} = 3,6$ skoraj ni potemnel in je samo malo spremenil barvni ton. V primerjavi s sistemom v 10 (BU) - bukovina (slika 40), ki ima $\Delta E^*_{48.} = 13,0$, je zopet jasno viden pozitiven vpliv premaznega sistema na stabilnost barve sistema. Primerjava spreminjanja koordinat sistema v23 (BU+PU) na sliki 39 in sistema v 35 (BUf+PU) - bukov furnir lakiran s PU premazom (slika 41) z $\Delta E^*_{48.} = 20,5$, pa zopet kaže na negativen vpliv furnirane podlage na barvno obstojnost sistema.

Slika 39: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v23 (BU+PU)

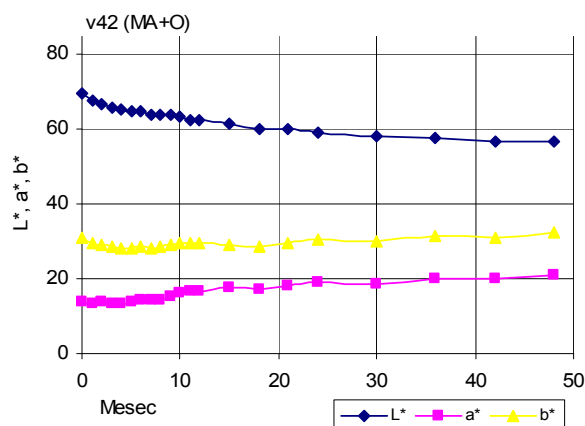
Slika 40: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v10 (BU)Slika 41: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v35 (BUf+PU)

Pri prosojnim premaznem sistemu v25(JŠ+PU) - jelševina lakirana s PU premazom, z $\Delta E^*_{48.} = 6,0$ (slika 42), ki ima za podlago jelševino v28(JŠ) z $\Delta E^*_{48.} = 3,7$ (slika 43), smo že ugotovili, da je vpliv svetlobe nanjo zelo majhen. V tem primeru pa premazni sistem vpliva na povečanje barvne spremembe sistema v 25(JŠ+PU).

Slika 42: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v25 (JŠ+PU)

Slika 43: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v28 (JŠ)

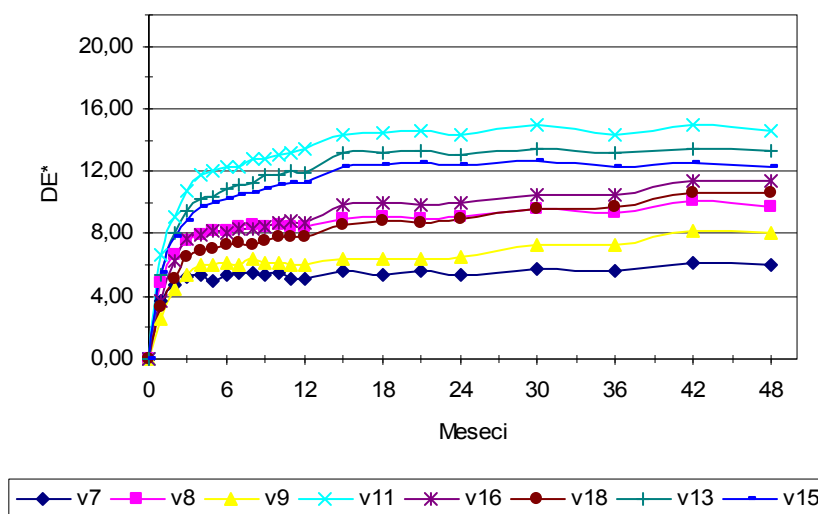
Sistem v42 (MA+O) - oljena macesnovina z $\Delta E^*_{48.} = 15,0$ (slika 44) sodi med raziskovanimi sistemi med sisteme, na katere ima svetloba pri spremembi njihove barve zelo velik vpliv. Vidimo, da je sistem potemnel, pordečil in porumenil.

Slika 44: Časovni potek spremembe koordinat L^* , a^* in b^* prozornega površinskega sistema v42 (MA+O)

4.2.4 Odvisnost barvnih sprememb ΔE^* od časa t_0 do t_{48}

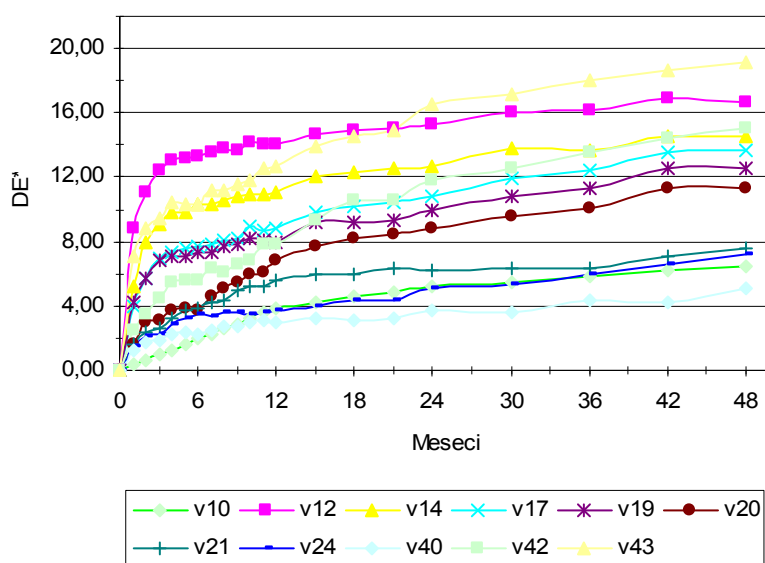
Izmerjene vrednosti barve L^* , a^* in b^* in izračunane vrednosti barvnih sprememb ΔE^* ter sprememb barvnih koordinat ΔL^* , Δa^* in Δb^* v 21 časovnih točkah od t_0 do t_{48} (priloga A, priloga B, priloga C), v časovnem obdobju 4 let, nam odkrivajo časovni potek spreminjanja barve prosojnih premaznih sistemov, izpostavljenih normalni fluorescenčni svetlobi v interieru. Rezultati kažejo, da poteka kontinuiran proces spreminjanja barve v odvisnosti od časa zelo različno. Tako smo identificirali 4 značilne skupine poteka spremembe barve ΔE^*_{0-48} .

Za 1. skupino časovnega poteka barvnih sprememb ΔE^*_{0-48} (slika 45) smo ugotovili, da se prosojnim površinskim sistemom v7 (ČE+PU) - češnjevina lakirana s PU premazom, v8 (ČE) - češnjevina, v9 (BU+PU) - bukovina lakirana s PU premazom, v11 (ČEf+PU) - češnjev furnir lakiran s PU premazom, v13 (ČEf+PU), v15 (ČEf+PU), v16 (BUf+PU) - bukov furnir lakiran s PU premazom in sistemu v18 (BUf+PU) barva spremeni za približno polovico končne vrednosti spremembe barve ΔE^*_{48} že po 3 mesecih na svetlobi v interieru. Po približno 6 do 9 mesecih in do 48. meseca sprememba barve ΔE^*_{9-48} skoraj ne narašča več. Lahko zaključimo, da je pri navedenih sistemih, zaradi vpliva svetlobe, skoraj vsa barvna sprememba ΔE^*_{48} dosežena v dobrih 6 mesecih.



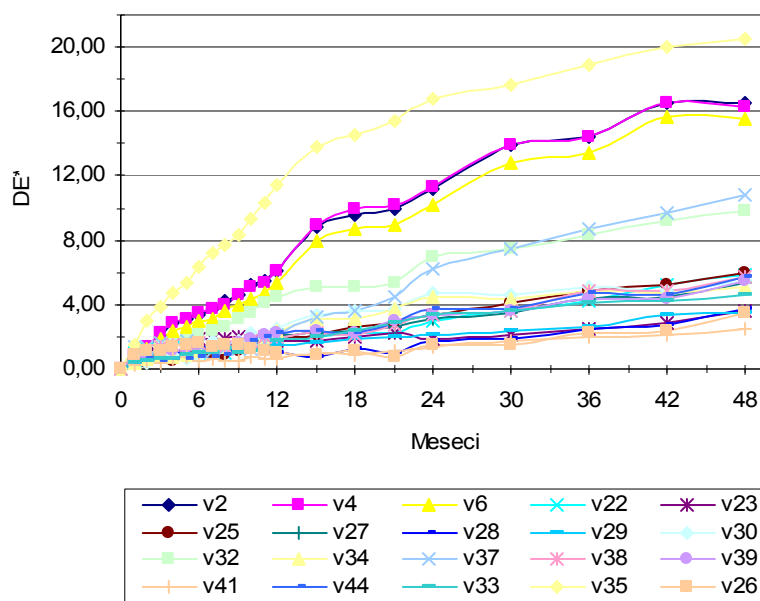
Slika 45: Potek spremembe barve ΔE^*_{0-48} v 1. skupini

V 2. skupino (slika 46) smo razvrstili prosojne premazne sisteme, ki se v času prvih 6 mesecev obnašajo podobno kot sistemi v 1. skupini. Njihova barvna sprememba ΔE^* je v tem času relativno velika, nato pa se povčanje zmanjša, a je še očitno in linearno narašča. V to skupino sodijo naslednji prosojni premazni sistemi: v10 (BU) - bukovina, v12 (ČEf) - češnjev furnir, v14 (ČEf), v17 (BUf) - bukov furnir, v19 (BUf), v20 (BU+O) - oljena bukovina, v21 (BU+O), v24 (BU), v40 (BUf+UV) - bukov furnir lakiran z UV utrjujočim premazom, v42 (MA+O) - oljena macesnovina in v43 (MA) - macesnovina.



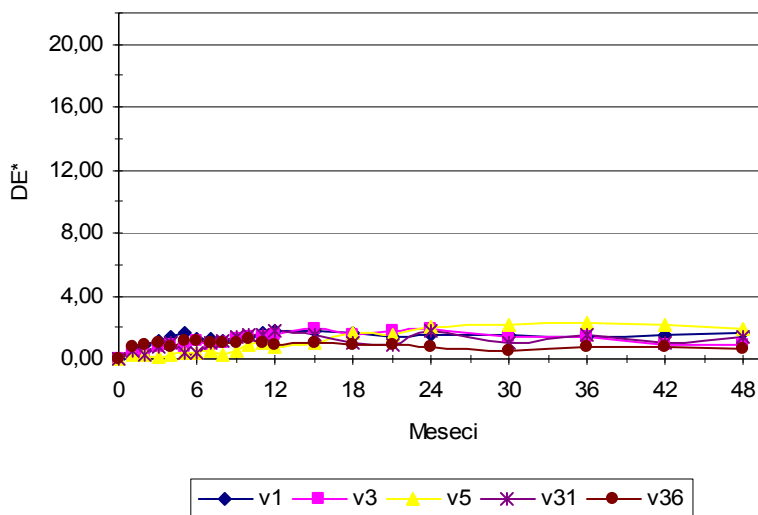
Slika 46: Potek spremembe barve ΔE^*_{0-48} v 2. skupini

Ugotovili smo, da je za 3. skupino (slika 47) značilno relativno veliko in ves čas linearno naraščanje spremembe barve ΔE^*_{0-48} . Posamezne prosojne površinske sisteme med seboj loči naklonski kot premice, ki ponazarja odvisnost ΔE^* od časa oziroma prirastek spremembe ΔE^* v času. Iz slike je razvidno, da lahko pričakujemo, da se bo barva teh vzorcev še naprej zaznavno spreminjala. V to skupino smo razvrstili naslednje sisteme: v2 (JE), v4 (JE), v6 (JE), v22 (BU+O), v23 (BU+PU), v25 (JŠ+PU), v 26 (JŠ), v27 (JŠ+PU), v28 (JŠ), v29 (BU+PU), v30 (HRf +L+PU), v 32 (HRf+PU), v33 (BUf+L+PU), v34 (BUf+L+PU), v35 (BUf+PU), v 37 (JE), v38 (BUf+UV), v39 (BUf+UV), v41 (BUf+UV) in v44 (JA+PU).



Slika 47: Potek spremembe barve ΔE^*_{0-48} v 3. skupini

V 4. skupino (slika 48) smo razdelili prosojne površinske sisteme, katerih sprememba barve ΔE^*_{0-48} je od 0,7 do 1,9 in je ta za tako obdobje izpostavitve svetlobi zelo majhna ter se ne povečuje. Za vse sisteme v skupini je značilno, da se je njihova končna barvna razlika ΔE^*_{48} pojavila v obdobju prvih 12 mesecev in se praktično do 48. meseca ni spreminjala. V tej skupini so zbrani sistemi: v1 (JE+PU+T) - jesenovina lakirana s toniranim PU premazom, v3 (JE+PU+T), v5 (JE+PU+T), v31 (HRf+L+PU) - hrastov furnir, lužen in lakiran s PU premazom in v36 (JE+PU+T).



Slika 48: Potek spremembe barve ΔE^*_{0-48} v 4. skupini

4.2.5 Vpliv prosojnega premaznega sistema na barvno spremembo ΔE^*_{48} površinskega sistema

Pri prosojnih površinskih sistemih v1, v3, v5, v7, v9, v11, v13, v16, v18, v23, v25, v27, v36 in v42 smo lahko vzorčenje opravili tako, da smo njim vzporedno vzorčili tudi samo podlago teh sistemov, ki je osnova za analizo vpliva premaznega sistema na barvno spremembo ΔE^* celotnega površinskega sistema (poglavje 3.1.1). V preglednici 7 so podane končne vrednosti barvne spremembe ΔE^*_{48} celotnih sistemov s premaznimi sistemi na podlagi in vsakemu sistemu odgovarjajoče vrednosti barvne spremembe ΔE^*_{48} njegove podlage (priloga A). Izračunana je absolutna razlika in razlika v % zmanjšanja (-) ali povečanja barvne spremembe zaradi površinskega sistema na podlagi.

Preglednica 7: Primerjava sprememb barve ΔE_{48} površinskih sistemov s premaznim sistemom in brez njega

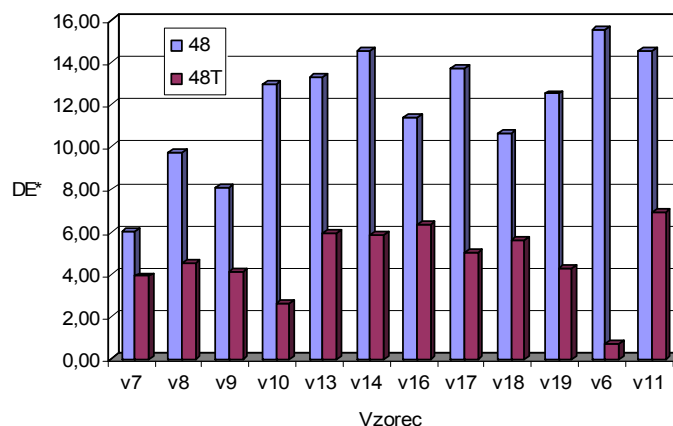
Površinski sist.			Podlaga sist.			Razlika med sist.		
Vz.	ΔE^*_{48}	Sistem	Vz.	ΔE^*_{48}	Sistem	Vz.	ΔE^*_{48}	%
v1	1,6	JE+PU+T	v2	16,5	JE	v2 - v1	-14,9	-90
v3	0,9	JE+PU+T	v4	16,3	JE	v3 - v4	-15,4	-94
v5	1,9	JE+PU+T	v6	15,5	JE	v5 - v6	-13,6	-88
v7	6,0	ČE+PU	v8	9,8	ČE	v7 - v8	-3,8	-39
v9	8,0	BU+PU	v10	12,9	BU	v9 - v10	-4,9	-38
v11	14,6	ČEf+PU	v12	16,7	ČEf	v11 - v12	-2,1	-13
v13	13,3	ČEf+PU	v14	14,5	ČEf	v13 - v14	-1,21	-8
v16	11,4	BUf+PU	v17	13,7	BUf	v16 - v17	-2,3	-17
v18	10,7	BUf+PU	v19	12,5	BUf	v18 - v19	-1,9	-15
v23	3,6	BU+PU	v24	7,2	BU	v23 - v24	-3,6	-50
v25	6,0	JŠ+PU	v26	3,4	JŠ	v25 - v26	2,5	74
v27	5,4	JŠ+PU	v28	3,7	JŠ	v27 - v28	1,7	46
v36	0,7	JE+PU+T	v37	10,8	JE	v36 - v37	-10,2	-94
v42	15,0	MA+O	v43	19,2	MA	v42 - v43	-4,2	-22

Pri sistemih v1, v3, v5 in v38 jasno vidimo velik pozitiven vpliv v PU lak dodanega pigmenta za toniranje še vedno prosojnega premaznega sistema. Pri sistemih v7 (ČE+PU) - češnjevina lakirana s PU premazom, v9 (BU+PU) - bukovina lakirana s PU premazom, v23 (BU+PU) in v42 (MA+O) - oljena macesnovina, ki imajo za podlago češnjevino, bukovino oziroma macesnovino, znaša zmanjšanje spremembe barve ΔE^*_{48} zaradi premaznega sistema v površinskem sistemu 39 %, 38 %, 50 % in 22 %. Pri sistemih v11 (ČEf+PU) - češnjev furnir lakiran s PU premazom, v13 (ČEf+PU), v16 (BUf+PU) - bukov furnir lakiran s PU premazom in v18 (BUf+PU), ki imajo za podlago češnjev oziroma bukov furnir, pa je vpliv premaznega sistema na zmanjšanje spremembe barve površinskega sistema ΔE^*_{48} , očitno zaradi lastnosti podlage, manjši in znaša od 8 % pri sistemu v13 do 17 % pri sistemu v16. Pri sistemu v25 (JŠ+PU) - jelševina lakirana s PU premazom in v27 (JŠ+PU) pa je prišlo celo do povečanja spremembe barve sistema. Pri zelo majhni spremembi barve ΔE^*_{48} pri obeh sistemih v26 (JŠ) - jelševina in v28 (JŠ), ki predstavljata podlago iz jelševine, je dodan premazni sistem s svojimi lastnostmi vplival na povečanje spremembe barve ΔE^*_{48} celotnega sistema za 74 % oziroma 46 %.

4.3 BARVNE RAZLIKE ΔE^*_{T48} POVRŠINSKIH SISTEMOV V TEMI

Paralelne vzorce sistemom v6, v7, v8, v9, v10, v11, v13, v14, v16, v17, v18 in v19, ki smo jih označili z v6T, v7T, v8T, v9T, v10T, v11T, v13T, v14T, v16T, v17T, v18T in v19T smo po 48 mesecih vzeli iz prostora s popolno temo in jim izmerili komponente barve L^*_{T48} , a^*_{T48} in b^*_{T48} in izračunali razlike ΔL^*_{T48} , Δa^*_{T48} in Δb^*_{T48} ter spremembo barve ΔE^*_{T48} . V prilogi D so zbrani rezultati meritev in izračunane vrednosti parametrov, ki nam pojasnjujejo dogodke v temi.

Na sliki 49 in v preglednici 8 vidimo nepričakovano velike vrednosti barvnih sprememb ΔE^*_{T48} sistemov, ki so bili 48 mesecev v popolni temi. Izjema je sistem v6 (JE) - jesenovina, ki barve praktično ni spremenil.



Slika 49: Primerjava velikosti spremembe barve sistemov na svetlobi ΔE^*_{48} s spremembami ΔE^*_{48T} sistemov v temi

Preglednici 8: Medsebojna primerjava barvnih razlik ΔE^*_{48} in ΔE^*_{T48} med površinskimi sistemi na svetlobi in sistemi v temi

Na svetlobi			V temi			
Vz.	ΔE^*_{48}	Sistem	Vz.	ΔE^*_{T48}	Sistem	% ΔE^*_{48}
v7	6,0	ČE+PU	v7T	3,9	ČE+PU	65
v8	9,8	ČE	v8T	4,5	ČE	46
v9	8,0	BU+PU	v9T	4,1	BU+PU	51
v10	13,0	BU	v10T	2,6	BU	20
v13	13,3	ČEf+PU	v13T	6,0	ČEf+PU	45
v14	14,5	ČEf	v14T	5,8	ČEf	40
v16	11,4	BUf+PU	v16T	6,3	BUf+PU	56
v17	13,7	BUf	v17T	5,0	BUf	37
v18	10,7	BUf+PU	v18T	5,6	BUf+PU	52
v19	12,5	BUf	v19T	4,3	BUf	34
v6	15,5	JE	v6T	0,7	JE	4
v11	14,6	ČEf+PU	v11T	7,0	ČEf+PU	47

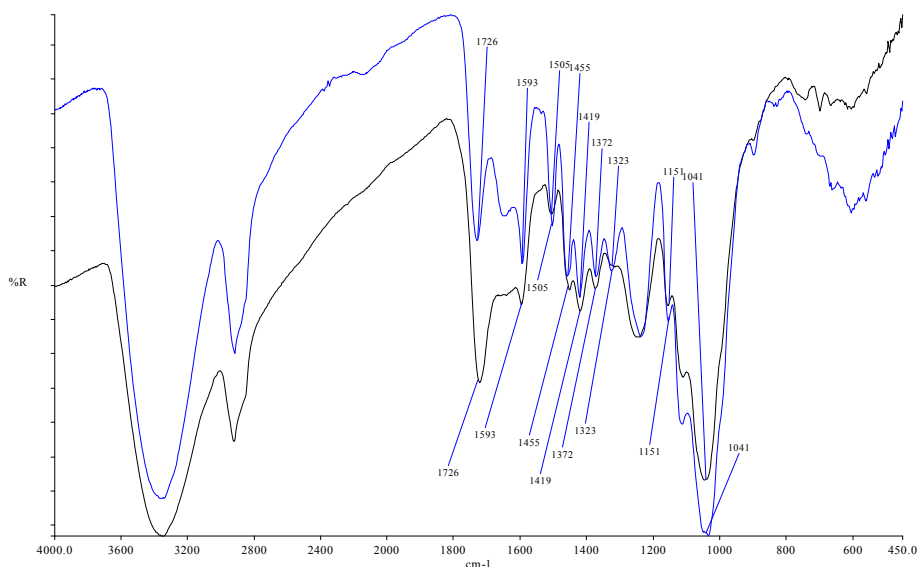
Iz preglednice 8 vidimo, da so prosojni površinski sistemi v9T (BU+PU), v13T (ČEf+PU), v16T (BUf+PU), v18T (BUf+PU) in v11T (ČEf+PU), ki jih tvori podlaga in premazni sistem, v temi bolj spremenili barvo kot sistemi v10T (BU), v14T (ČEf), v17T (BUf) in v19T (BUf), ki jih tvori samo njihova podlaga. Rezultati nam kažejo, da tudi brez energije svetlobe v temi potekajo kemični procesi, ki rezultirajo v spremembi barve ΔE^*_{T48} naših prosojnih premaznih sistemov in sicer v obsegu povprečno nad 50 % spremembe barve ΔE^*_{48} sistemov, izpostavljenih fluorescenčni svetlobi v interieru. In če je temu tako, ima svetloba v interieru pri nekaterih površinskih sistemih samo 40 % do približno 60 % vpliv

na spremembo barve prosojnih premaznih sistemov. Menimo, da gre za oksidacijske procese in vplive vlažnosti in temperature na te procese.

4.4 VREDNOTENJE VPLIVOV IZPOSTAVITVE SVETLOBI V INTERIERU Z METODO NIHAJNE SPEKTROSKOPIJE

Primerjali smo spektre vzorcev, izpostavljenih 10.080 ur svetlobi in vzporedne vzorce, ki so bili 48 mesecev v temi. V tem poglavju so prikazani samo nekateri najbolj značilni spektri, ostali pa so prikazani v prilogi F.

Iz spektrov na sliki 50 je razvidno, da velikih sprememb v kemijski zgradbi med sistemoma, v6T₄₈ (JE) - jesenovina v temi in v6₄₈ (JE) - jesenovina, nismo opazili. Morda je nekaj sprememb opaznih na funkcionalnih skupinah lignina (1593 cm⁻¹, 1504 cm⁻¹, 1421 cm⁻¹) Harrington in sod. (1964), Michell (1989), Bolker in Somerville (1963), Liang in sod. (1960), Michell in sod. (1965), Sarkanen in sod. (1967). Poleg tega smo opazili tudi razlike v intenziteti trakov 1723 cm⁻¹, ki ga pripisujemo funkcionalnim skupinam hemiceluloz Bolker in Somerville (1963), Michell in sod. (1965). Najmanj razlik pa smo zaznali na funkcionalnih skupinah celuloze. Poudariti pa moramo, da so razlike zelo majhne in je zanesljivost zgornje domneve bolj majhna.

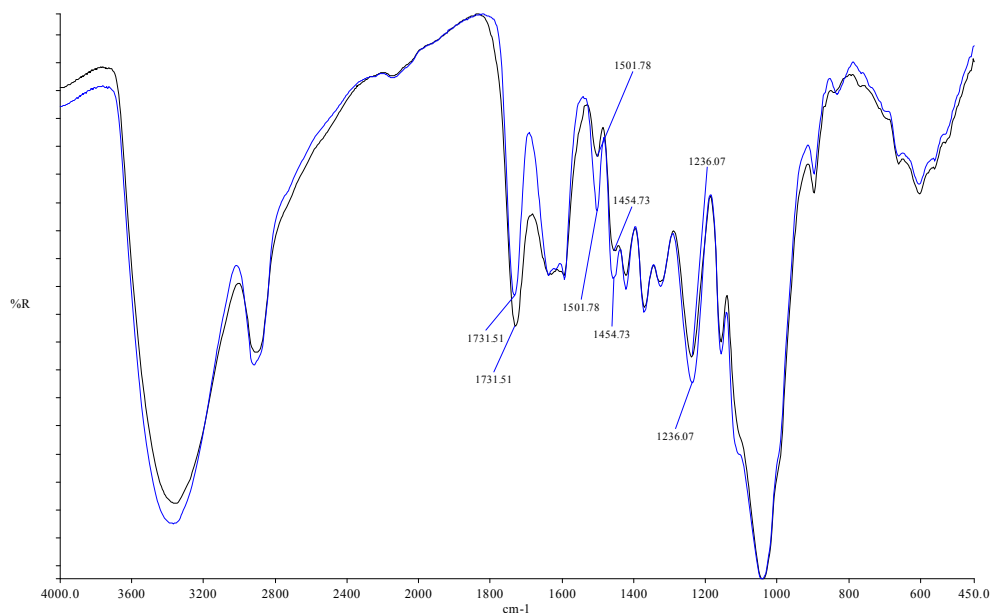


Slika 50: FT-IR spektra sistema v6T₄₈ (JE) (črta modre barve) in sistema v6₄₈ (JE)

Razlike med spektroma (slika 51) sistema v8T₄₈ (ČE) - češnjovina v temi in v8₄₈ (ČE) - češnjovina so manjše kot pri spektrih v6T₄₈ (JE) - jesenovina v temi in v6₄₈ (JE) - jesenovina (slika 50). Verjetno je vzrok temu tudi razlika v kemijski zgradbi med jesenovino in češnjevino.

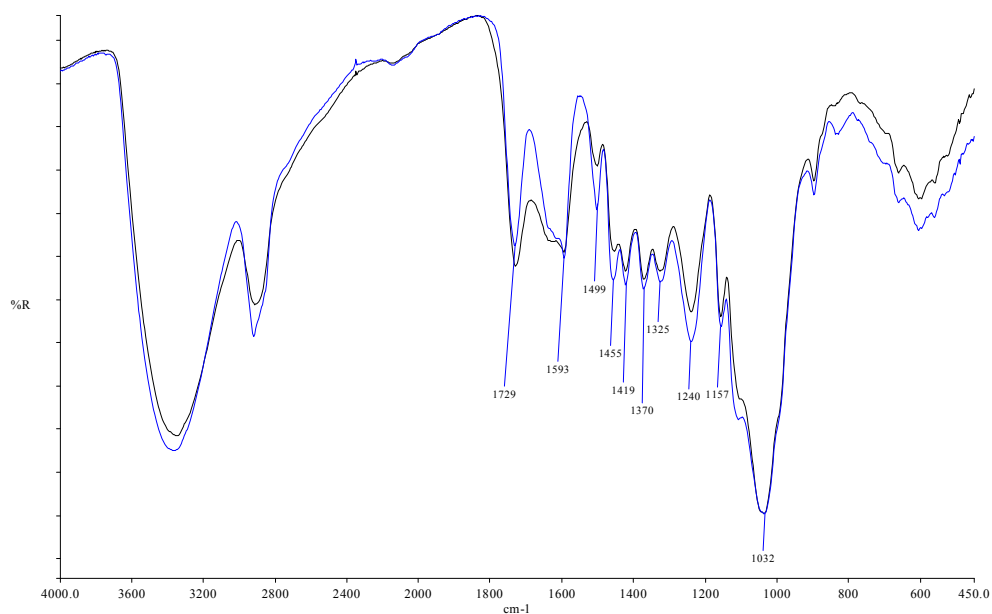
Največ razlik med sistemoma v8T₄₈ (ČE) - češnjovina v temi in v8₄₈ (ČE) - češnjovina (slika 51) je opaznih na funkcionalnih skupinah lignina (1501 cm⁻¹, 1454 cm⁻¹) in

hemiceluloz (1731 cm^{-1} , 1236 cm^{-1}), najmanj pa na funkcionalnih skupinah, ki jih pripisujemo celulozi. Zaznali smo tudi padec intenzitete traku pri 1504 cm^{-1} .

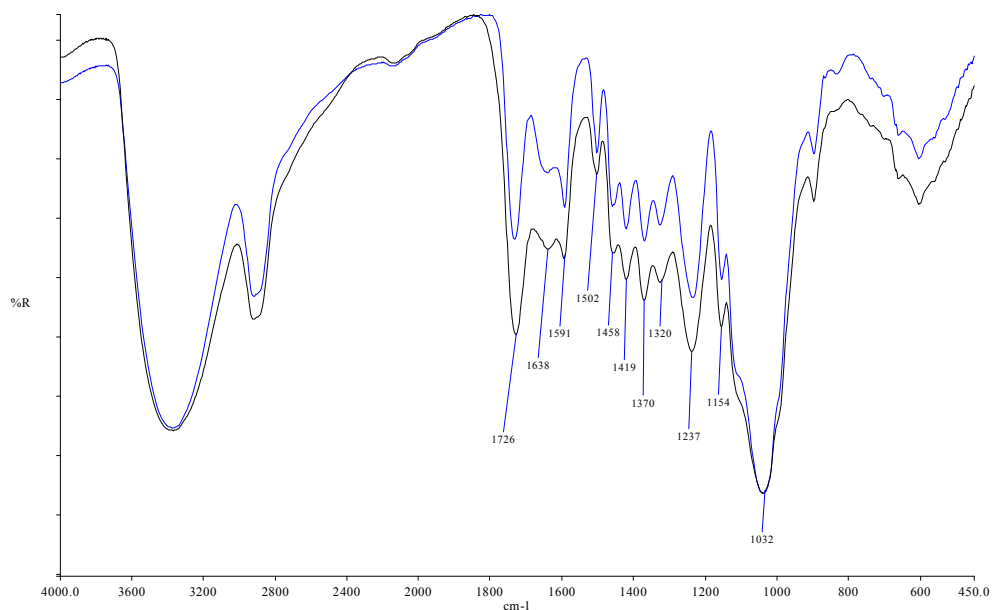


Slika 51: FT-IR spektra sistema v8T₄₈ (ČE) (črta modre barve) in sistema v8₄₈ (ČE)

Med sistemoma v14T₄₈ (ČEf) - češnjev furnir v temi in v14₄₈ (ČEf) - češnjev furnir (slika 52) je na njunih spektrih opaziti malo večje razlike kot v primeru v8T₄₈ (ČE) - češnjevina v temi in v8₄₈ (ČE) - češnjevina (slika 51). To morda lahko pripisujemo večji absorpcijski sposobnosti ali površini pri furnirju oziroma sistemu v14T₄₈ (ČEf) - češnjev furnir, zaradi že predhodnega postopka izdelave furnirja.

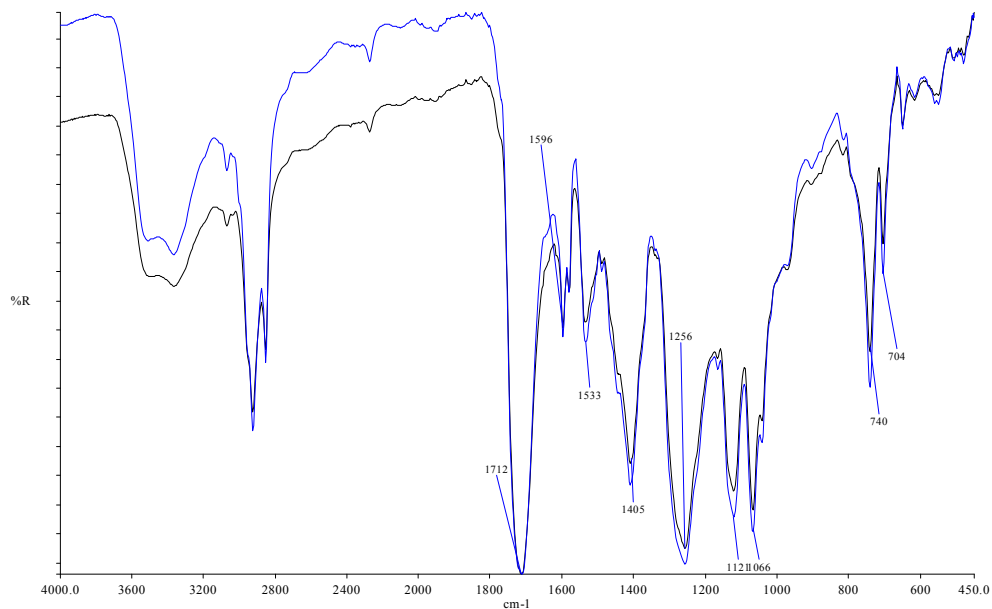


Slika 52: FT-IR spektra sistema v14T₄₈ (ČEf) (črta modre barve) in sistema v14₄₈ (ČEf)



Slika 53: FT-IR spektra sistema v10T₄₈ (BU) (črta modre barve) in sistema v10₄₈ (BU)

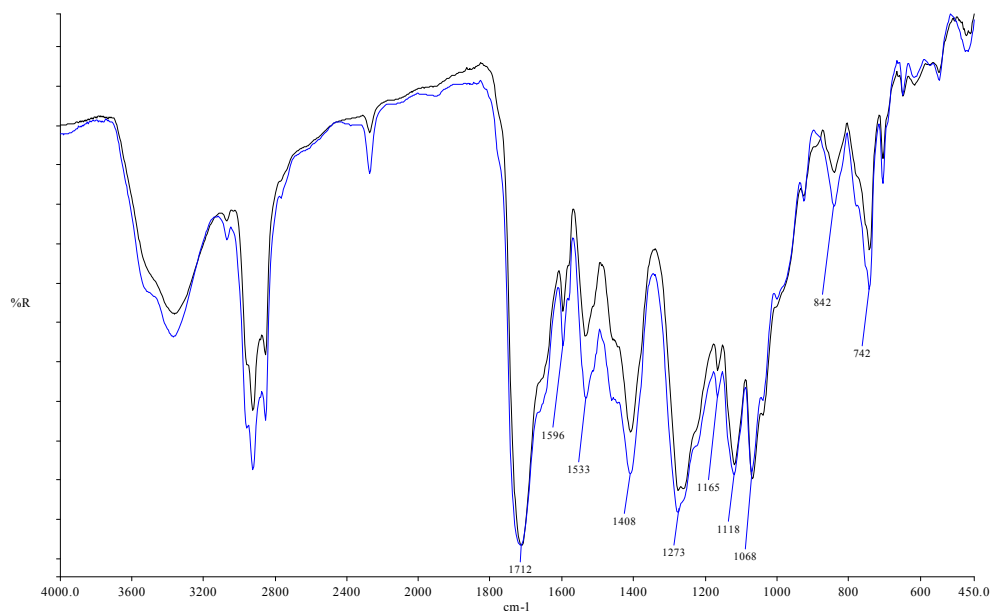
Razlike med spektroma v10T₄₈ (BU) - bukovina v temi in v10₄₈ (BU) - bukovina (slika 53), se kažejo na spektrih funkcionalnih skupin lignina in hemiceluloz najmanj pa na celulozi in so večje kot med sistemoma v8T₄₈ (ČE) in v8₄₈ (ČE) (slika 51) in manjše kot med vzorcema v6T₄₈ (JE) in sistema v6₄₈ (JE) (slika 50).



Slika 54: FT-IR spektra sistema v7T₄₈ (ČE+PU) (črta modre barve) in sistema v7₄₈ (ČE+PU)

Primerjava nihajnih spektrov sistema v7T₄₈ (ČE+PU) - češnjevine lakirana s PU premazom, v temi in sistema v7₄₈ (ČE+PU) - češnjevine lakirana s PU premazom (slika

54), ne kaže kemijskih sprememb PU premaznega sistema, ki bi jih lahko pripisali izpostavljanju premaznega sistema svetlobi.



Slika 55: FT-IR spektra sistema v9T₄₈ (BU+PU) (črta modre barve) in sistema v9₄₈ (BU+PU)

Med spektroma sistema v9T₄₈ (BU+PU) - bukovina lakirana s PU premazom, v temi in sistema v9₄₈ (BU+PU) - bukovina lakirana s PU premazom, ni opaziti razlik, ki bi bile posledica razlik v kemični zgradbi površine PU premaza.

Iz opravljenih meritev nihajnih spektrov vzorcev sistemov, ki so bili 48 mesecev v temi in sistemov na svetlobi, lahko z veliko mero previdnosti rečemo, da so se na površini naših vzorcev bukovine in jesenovine dogodile neke spremembe v zvezi s kemično degradacijo ekstraktivov in lignina. Enako lahko trdimo za vzorec češnjevega furnirja, za češnjevino pa skoraj ne. Pri obeh premaznih sistemih iz PU premaza pa lahko domnevamo, da na površini obeh PU premazov ni prišlo do kemičnih sprememb zaradi obremenjevanja z normalno fluorescenčno svetlobo. Iz samih meritev in analize ugotavljamo tudi, da morda DRIFT metoda ni primerna za identifikacijo manjših kemičnih sprememb na površini.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

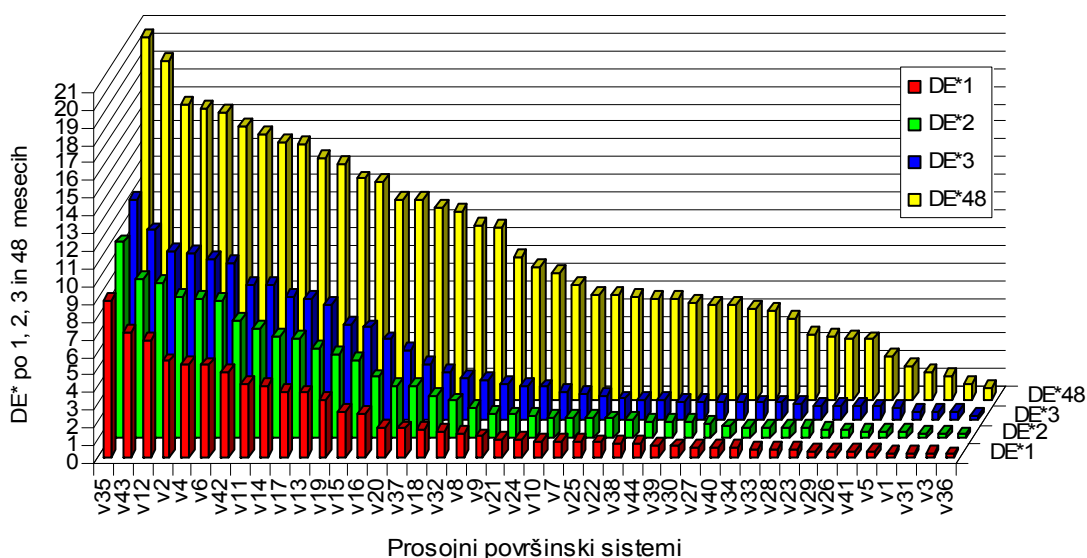
Dejstvo, da se barva (poglavje 2.2.2) prosojnih površinskih sistemov (poglavje 2.1, slika 1 in 2), izpostavljenih žarkom ali svetlobi (poglavje 2.2.1) spreminja, je nam vsem predvsem izkustveno poznano, kar velja gotovo tudi za izpostavitve v interieru. Avtorji (Rowell, 2005; Jirouš-Rajković in sod., 2003; Sundell in sod., 2000; Grelier in sod., 2000; Humar in sod., 2001; Hon, 1991; Hon in sod., 1980), ki se ukvarjajo s procesi in posledicami fotodegradacije (poglavje 2.5.2), med katerimi je tudi sprememba barve prosojnih površinskih sistemov, so proučevali procese fotodegradacije preko nastanka prostih radikalov. Le-ti s Fentonovo reakcijo povzročijo depolimerizacijo lignina, celuloze in hemiceluloze (Grelier in sod., 2000) ter privedejo do fotodiskoloracije in fotodegradacije polimerov celične stene (Hon, 1991), z UV žarki, z UV žarki in vidno svetlobo ali v najboljšem primeru samo z vidno svetlobo potencirane in nenormalne jakosti, z umetno pospešenim osvetljevanjem. V večini primerov je bil njihov izbor žarčenja upravičen, saj so raziskovali ali vplive UV žarčenja na les ali na površinske sisteme, ki so v praksi izpostavljeni sončnim žarkom. Jirouš-Rajković in sod., 2003, so ugotovili, da so bile izmerjene največje spremembe barve lakiranih in nelakiranih vzorcev že po 24 urah izpostavitve fluorescenčni sijalki UVA-351. Osvetljevali so prosojne komercialne lake, namenjene obdelavi lesa v interieru in pri tem uporabili izvor UV-A žarčenja, ki se ga uporablja za umetno pospešeno staranje površinskih sistemov, namenjenih za zunanjo uporabo. To je značilen primer, ko prosojne površinske sisteme, namenjene za interier, izpostavijo za kratek čas UV žarčenju in ne svetlobi in iz tako dobljenih rezultatov sprejemajo zaključke o barvni obstojnosti površinskih sistemov, ki pa so v realnosti izpostavljeni normalnim svetlobnim pogojem v interieru. Chang in sod. (2000), so raziskovali vpliv valovne dolžine svetlobe, vlage in kisika na spremembo barve lesa Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) in so pri tem uporabljali filtrirano svetlobo fluorescentne sijalke, ki je simulirala svetlobne pogoje v interieru. So pa imeli vzorce izpostavljene na razdalji samo 1 mm od filtrov svetlobe. Za njihove rezultate pa smo prepričani, da so vseeno bolj realni in aplikativni.

Prosojni površinski sistemi v naši nalogi so bili realni sistemi elementov že izdelanega pohištva. Izpostavili smo jih normalnim svetlobnim in klimatskim pogojem v delovnem interieru, kot vertikalne elemente pohištva za odlaganje, z namenom slediti procesu spreminjanja barve v realnem okolju in času.

Meritve barvnih sprememb, zaradi izpostavitve sistemov svetlobi fluorescenčnih sijalk, so pokazale, da se kljub manjši energiji fotonov vidne svetlobe (poglavje 2.2.1.2) barva naših površinskih sistemov relativno hitro in zaznavno spreminja. Rowell (2005) v svoji razpravi ugotavlja, da so nekateri ekstraktivi podvrženi fotodegradacijski reakciji pri nižjih energijah kot lignin in ogljikovodiki. Les spremeni barvo tudi, ko je izpostavljen v interieru, zaradi vidne svetlobe. Vidna svetloba povzroči, da organske obarvane snovi v lesu bledijo. Sprememba barve lesa v interieru ni posledica UV žarčenja.

5.1.1 Barvne razlike ΔE^* po 1., 2., 3. in 48. mesecu učinkovanja fluorescenčne svetlobe

Pri nekaterih površinskih sistemih so se barvne razlike ΔE^* pojavile že po 1., 2. in 3. mesecu izpostavitve svetlobi fluorescenčne sijalke (poglavje 4.2.1) in to v taki velikosti (slika 56), da jih človeško oko že zazna (poglavje 2.4.1.1).



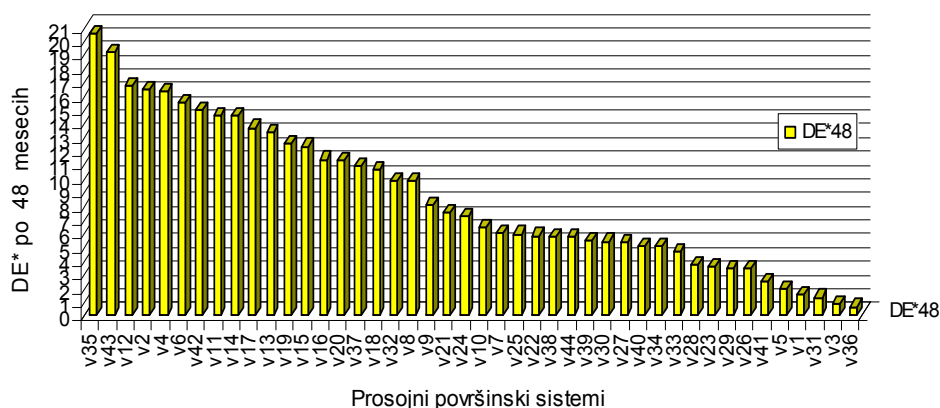
Slika 56: Velikost spremembe barve ΔE^* prosojnih površinskih sistemov, od največje do najmanjše vrednosti po 1., 2., 3. in 48. mesecu

Po 1. mesecu (poglavje 4.2.1, sliki 26, 56 in priloga C2) se je zaznavno spremenil barvni ton pri 48 % naših sistemov in sicer pri češnjem furnirju, vzorec v12 (ČEf), za $\Delta E^*_1 = 8,9$, pri macesnovem vzorcu v43 (MA) $\Delta E^*_1 = 7,1$, pri vzorcih češnjevega furnirja lakiranega s PU premazom v11 (ČEf+PU), v15 (ČEf+PU) in v13 (ČEf+PU) pa vrednosti $\Delta E^*_1 = 6,7$, $5,5$ in $5,2$. K tej skupini, z veliko spremembo barve po 1. mesecu, lahko dodamo še vzorce sistemov v14 (ČEf) - češnjevega furnir, v8 (ČE) - češnjevine, v19 (BUf) - bukov furnir in v17 (BUf) - bukov furnir. Nedvoumno smo ugotovili, da so naši sistemi, ki jih tvori kot podlaga češnjevega (ČEf), bukov (BUf) furnir, češnjevine (ČE), bukovina (BU) in macesnovina (MA), ne glede na to, ali je ali ni v sistemu tudi premazni sistem, najbolj barvno neobstojni in je njihova sprememba barve po 1. mesecu že prevelika. Mnenja smo, da ti prosojni površinski sistemi ne morejo tvoriti komponibilno pohištvo, ki je zasnovano tako, da se po želji kupca naknadno dograjuje in dopolnjuje. Zaznali smo tudi, da se je

barva prosojnih površinskih sistemov, ki imajo za podlago furnir ali je sistem sam furnir, bolj spremenila kot barva sistemov s monolitno leseno podlago. Podobno je v svoji raziskavi zaznal Soklič (2003).

Po 3. mesecu se je zgoraj opisana polarizacija prosojnih površinskih sistemov ohranila (sliki 28 in 56), z manjšimi prerazporeditvami proti večjim ali manjšim vrednostim sprememb barve ΔE^* (priloga C2) in že 68 % vseh sistemov je preseglo vrednost spremembe barve $\Delta E^* = 1$. Chang in sod. (2000), so pri raziskavi vpliva valovne dolžine svetlobe, vlage in kisika na spremembe barve lesa Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don), po 48 dneh osvetljevanja, ugotovili barvno spremembo $\Delta E^* = 4,3$.

Za vse sisteme in za vse meritve, ki smo jih opravili v času 4 let (poglavje 4.2.2), oziroma za vse povprečne vrednosti, smo izračunali vrednosti ΔE^*_{48} (priloga A). Iz njih je razvidno, da se je barva prosojnih površinskih sistemov, zaradi izpostavitve normalni fluorescenčni svetlobi v interieru spreminjala in pri večini sistemov občutno spremenila. Vidimo, da je sprememba barve ΔE^*_{48} po 48. mesecu (priloga C1, slika 57), $\Delta E^*_{48} = 19,2$ zelo velika pri sistemu v43 (MA) - macesnovina, sledijo sistemi v12 (ČEf)- češnjev furnir z $\Delta E^*_{48} = 16,7$, v2 (JE) - jesenovina z $\Delta E^*_{48} = 16,5$, v4 (JE)- jesenovina, v6 (JE) - jesenovina, v42 (MA+O) oljena macesnovina itd. Iz rezultatov (priloga C1) je razvidno, da so v tej skupini z največjimi vrednostmi ΔE^*_{48} površinski sistemi brez premaznega sistema na podlagi in sicer macesnovina (MA), jesenovina (JE), češnjev (ČEf) in bukov furnir (BUf), bukovina (BU) ter nekateri površinski sistemi z omenjenimi podlagami in PU in O premaznim sistemom na njih.



Slika 57: Velikost spremembe barve ΔE^* prosojnih površinskih sistemov, od največje do najmanjše vrednosti po 48. mesecu

Najmanj ali skoraj nič, se je barva v 48 mesecih spremenila sistemom z jesenovo podlago in toniranim PU premazom, npr. sistemu v36 (JE+PU+T) z $\Delta E^*_{48} = 0,7$, nekoliko bolj sistemu v26 (JŠ) z $\Delta E^*_{48} = 3,4$ in v28 (JŠ) z $\Delta E^*_{48} = 3,7$, ki jih tvori jelševina. V skupini z manjšimi spremembami barve so zbrani še sistemi lakirane bukovine (BU+PU), sistemi z luženim bukovim (BUf+L+PU) in hrastovim furnirjem (HRf+L+PU), lakirana jelševina (JŠ+PU), bukov furnir, lakiran z UV premazom (BUf+UV) (priloga C1, slika 57). Po 48. mesecu je 95 % vseh obravnavanih prosojnih površinskih sistemov preseglo vrednost spremembe barve $\Delta E^* = 1$, 89 % vrednost $\Delta E^* = 2$ in 77 % vrednost $\Delta E^* = 3$.

5.1.2 Barvne razlike ΔE^*_{48} in spremembe barvnih koordinat ΔL^*_{48} , Δa^*_{48} in Δb^*_{48}

Iz rezultatov (poglavje 4.2.3, priloga C1 in slike 57) lahko razberemo, da barvna razlika ΔE^* zadovoljivo kvantitativno vrednoti barvno spremembo v odvisnosti od časa in razlik med prosojnimi površinskimi sistemi, a v nasprotju s čutno zaznavo ne ovrednoti spremembe svetlosti in barvnega tona kvalitativno. Velikost spremembe ΔE^* nam ne pove, ali je barva potemnela ali posvetlela, ali je pordečila ali porumenela.

Luostarinen in sod. (2002) pravijo, da je zaznavanje barvnih razlik ΔE^*_{ab} zelo močno odvisno od same barve oziroma barvnega tona, bolj kot pa od svetlosti. Čeprav so bile mnoge razlike koordinat a^* in b^* statistično značilne, te niso bile vidne in so bile zato iz praktičnega stališča nepomembne. Tako je bila v mnogih primerih, L^* koordinata ustrežnejša za primerjavo barve različnih vzorcev brezovega lesa. Hon (1991), Sundell in sod. (2000), Greljer in sod. (2000) menijo, da les potemni zaradi nastanka kinonov pri obsevanju. Rogez in sod. (2002) dokazujejo, da tudi v interieru z difuzno svetlobo, zaradi fotooksidacije lignina, naravno svetel les rumeni in s časom temni. Tišler (1986) navaja, da je neizoliran lignin rumene barve. Ob tem lahko sklepamo, da les rumeni tudi zato, ker se pod vplivom svetlobe razbarvajo ekstraktivi in vse bolj močna je zaznava rumene barve lignina. Chang in sod. (2000) pa so pri študiju spremembe barve lesa Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) ugotovili, da ta ob prisotnosti vlage potemni in počrni, zaradi učinka svetlobe z valovno dolžino okoli 600 nm se je barva jedrovine iz rožnato rdeče spremenila v bolj temno rdečo. Jirouš-Rajković in sod. (2003) so v svoji raziskavi dognali, da je enokomponentni akrilni vodni lak na večini vrst lesov izzval nesprejemljivo rumenenje, posebej na češnjevini in hrastovini.

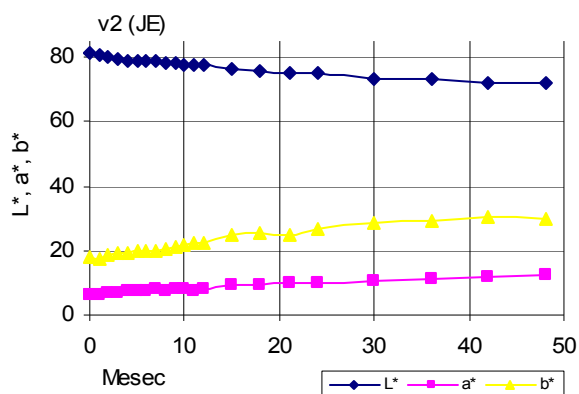
Pri enaki absolutni vrednosti barvne spremembe ΔE^* je ta lahko posledica prevladujoče spremembe svetlosti ΔL^* ali pa prevladujoče spremembe obeh barvnih koordinat: na rdeče/zeleni osi Δa^* in na rumeno/modri osi Δb^* (slika 30, priloga C1). Iz slike 30 in podatkov v prilogi C1 vidimo, da je pri prosojnih površinskih sistemih v11, v12, v13 (pri vseh je kot podlaga sistema češnjev furnir (ČEf)), v42 in v43 (podlaga teh dveh sistemov je macesnovina (MA)) sprememba barve ΔE^*_{48} bolj posledica potemnitve ΔL^*_{48} , kot pa spremembe koordinat barvnega tona Δa^*_{48} in Δb^*_{48} . Pri sistemih v2 (JE) (sliki 58 in 58), v4 (JE), v6 (JE), v37 (JE) (sisteme tvori jesenovina), v10 (BU) - bukovina, v16 (BUf+PU) - bukov furnir lakiran s PU premazom, v17 (BUf) - bukov furnir, v18 (BUf+PU) - bukov furnir lakiran s PU premazom, v19 (BUf) - bukov furnir, v22 (BU+O) - oljena bukovina, v23 (BU+PU) - bukovina lakirana s PU premazom, v32 (HRf+PU) - hrastov furnir lakiran s

PU premazom in še nekaterih, jasno vidimo, da je sprememba barve ΔE^*_{48} bolj posledica prevladujoče spremembe koordinat barvnega tona Δa^*_{48} in Δb^*_{48} , kot pa potemnitve ΔL^*_{48} . Iz slike 30 je še razvidno, da so navedeni sistemi bolj porumeneli kot pa pordečili; velikost spremembe Δb^*_{48} je večja od velikosti spremembe Δa^*_{48} . Vzorca v42 (MA+O) in v43 (MA) sta, kot lahko razberemo, potemnela in pordečila. Nekaj vzorcev pa je enakovredno potemnelo in spremenilo barvni ton.

Vizualno spremembo barve površinskega sistema v2 (JE) v velikosti $\Delta E^*_{48} = 16,5$ vidimo na sliki 58 kot porumenitev. Iz slike 59 pa lahko podrobno na podlagi časovnega poteka spreminjanja vrednosti posameznih barvnih komponent L^* , a^* in b^* (priloga A) in njihovih vrednosti spremembe v času 48 mesecev (priloga C1, $\Delta L^*_{48} = -9,2$; $\Delta a^*_{48} = 6,1$; $\Delta b^*_{48} = 12,3$) razberemo, da je zaradi vpliva fluorescenčne svetlobe površinski sistem v2 (JE) porumenel ($\Delta b^*_{48} = 12,3$) in tudi potemnel ($\Delta L^*_{48} = -9,2$) in pordečil ($\Delta a^*_{48} = 6,1$). Iz slike 59 lahko tudi razberemo, da bo sistem v2 (JE) tudi po 4 letih zelo verjetno še naprej rumenel, temnel in rdečil.



Slika 58: Očitna barvna sprememba sistema v2 (JE) z $\Delta E^*_{48} = 16,5$

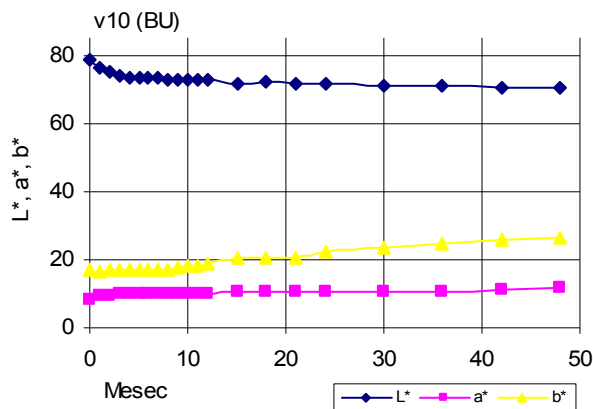


Slika 59: Časovni potek spremembe barvnih koordinat sistema v2 (JE)

Za naslednji primer smo vzeli sistem v10(BU) z $\Delta E^*_{48} = 13,0$ (slika 60). Časovni potek spreminjanja vrednosti barvnih komponent L^* , a^* in b^* in njihovih vrednosti spremembe v času 48 mesecev nam kaže, da je zaradi vpliva fluorescenčne svetlobe površinski sistem v10 (BU) relativno zelo porumenel ($\Delta b^*_{48} = 9,5$), tudi potemnel ($\Delta L^*_{48} = - 8,2$) in relativno malo pordečil ($\Delta a^*_{48} = 3,2$). Iz slike 61 lahko tudi razberemo, da bo sistem v10 (BU) tudi po 4 letih še naprej predvsem rumenel.

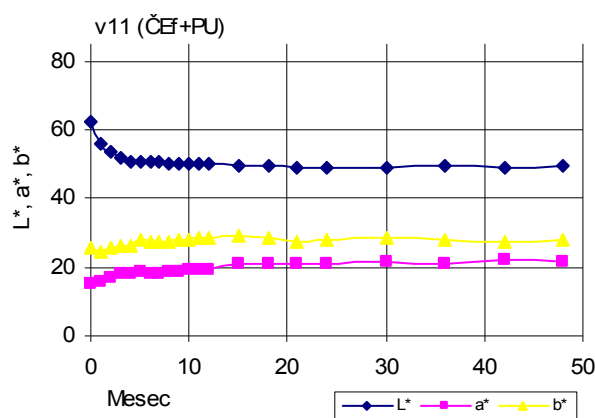


Slika 60: Očitna barvna sprememba sistema v10 (BU) z $\Delta E^*_{48} = 13,0$



Slika 61: Časovni potek spremembe barvnih koordinat sistema v10 (BU)

Na sliki 62 vidimo barvo prosojnega površinskega sistema v11 (ČEf+PU) - češnjev furnir lakiran s PU premazom, ki je v času 48 mesecev spremenil barvo za $\Delta E^*_{48} = 14,6$. Iz slike 63 vidimo, da je zelo potemnel in enakovredno porumenel in pordečil. Vidimo tudi, da se je vsa barvna sprememba dogodila v začetnih 12 mesecih in do 48. meseca ostala na isti ravni. Sklepamo tudi, da površinski sistem najverjetneje ne bo več spreminjal barve.

Slika 62: Barva sistema v11 (ČEf+PU) po 48 mesecih z $\Delta E^*_{48} = 14,6$ 

Slika 63: Časovni potek spremembe barvnih koordinat sistema v11(ČEf+PU)

Iz zgornjih primerov smo videli, da je na splošno sama vrednost spremembe barve ΔE^* površinskih sistemov dovolj pomemben kvantitativni kazalec barvnih sprememb in še, da je za poglobljeno analizo ter kvalitativno vrednotenje potrebna še analiza vrednosti barvnih komponent L^* , a^* in b^* ter njihovega spreminjanja v času izpostavljanja svetlobi v interieru.

5.1.3 Odvisnost barvnih sprememb ΔE^* od časa t_0 do t_{48}

Analiza poteka barvnih sprememb 44 prosojnih premaznih sistemov v času 48 mesecev, ko so bili izpostavljeni normalni svetlobi v interieru, je pokazala, da ΔE^*_{0-48} pri različnih sistemih različno poteka. Te razlike so bile tako značilno različne, da smo lahko naše površinske sisteme, glede na njihov časovni potek ΔE^*_{0-48} , razvrstili v 4 značilne skupine (poglavje 4.2.4). V literaturi podobne raziskave in zaključkov nismo zasledili.

V 1. skupini časovnega poteka barvnih sprememb ΔE^*_{0-48} (slika 45) smo ugotovili, da se prosojnim površinskim sistemom barva spremeni za približno polovico končne vrednosti spremembe barve ΔE^*_{48} že po 3 mesecih na svetlobi v interieru (poglavje 4.2.4). Po

približno 6 do 9 mesecih in do 48. meseca sprememba barve ΔE^*_{9-48} skoraj ne narašča več. Lahko zaključimo, da je pri navedenih sistemih, zaradi vpliva svetlobe, skoraj vsa barvna sprememba ΔE^*_{48} dosežena v dobrih 6 mesecih. Zanimiva je naša ugotovitev, da sodijo v to skupino sistemi s češnjevino (ČE), češnjem (ČEf) in bukovim furnirjem (BUf), nelakirani in lakirani s PU premazom.

V 2. skupino (slika 46) smo razvrstili prosojne premazne sisteme, ki se v času prvih 6 mesecev obnašajo podobno kot sistemi v 1. skupini (poglavje 4.2.4.) Njihova barvna sprememba ΔE^* je v tem času relativno velika, nato pa se povečevanje zmanjša, a je še vedno očitno in linearno narašča (poglavje 4.2.4). V tej skupini so se zvrstili še preostali sistemi češnjevga (ČEf) in bukovga furnirja (BUf), ki sta se jima pridružila oba sistema oljene bukovine (BU+O), sistem iz bukovga furnirja, lakiran z UV utrjujočim premazom (BUf+UV) in oljena macesnovina (MA+O).

3. skupino (slika 47) opredeljuje značilno relativno veliko in ves čas linearno naraščanje spremembe barve ΔE^*_{0-48} (poglavje 4.2.4). Posamezne prosojne površinske sisteme med seboj loči naklonski kot premice, ki ponazarja odvisnost ΔE^* od časa oziroma prirastek spremembe ΔE^* v času. Pri vseh prosojnih površinskih sistemih v tej skupini lahko pričakujemo, da se bo njihova barva še naprej spreminjala s približno enakim prirastkom spremembe. Za to skupino je značilno, da vanjo sodijo sistemi z manjšimi vrednostmi barvne spremembe ΔE^*_{0-48} . Tako v to skupino sodijo vsi sistemi, ki imajo za osnovo jelševino (JŠ), (JŠ+PU) in javorovino (JA+PU), luženi sistemi (BUf+L+PU), (HRf+L+PU), in nekateri od sistemov (BUf+PU), (BUf+UV), (BU+O), ki imajo kot sistem tej skupini značilen potek spremembe barve in relativno nizke vrednosti spremembe ΔE^*_{0-48} . Sistemi (JE) - jesenovina, tudi sodijo v to skupino, a imajo dosti večje vrednosti ΔE^*_{0-48} .

V 4. skupino (slika 48) smo logično zajeli prosojne površinske sisteme, katerih sprememba barve ΔE^*_{0-48} je za tako relativno dolgo obdobje izpostavitve svetlobi zelo majhna ter se ne povečuje (poglavje 4.2.4). Za vse sisteme v skupini je značilno, da se je njihova končna barvna razlika ΔE^*_{48} pojavila v obdobju prvih 12 mesecev in se praktično do 48. meseca ni spreminjala. Tu so združeni sistemi (JE+PU+T) katerih lak je toniran in en sistem (HRf+L+PU) pri katerem je hrastov furnir, lužen z barvno obstojnim lužilom.

Naša ugotovitev, da lahko prosojne površinske sisteme na podlagi časovnega poteka ΔE^* lahko razvrščamo v 4. značilne skupine, ima velik aplikativen pomen. Kajti, na osnovi meritev koordinat barve L^* , a^* , b^* in analize barvnih sprememb ΔE^* realnih površinskih sistemov pohištva, v relativno kratkem obdobju, sprejemljivem času 3 mesecev, lahko le te razvrstimo v značilne skupine ter predvidimo njihovo spreminjanje barve v prihodnosti.

5.1.4 Vpliv prosojnega premaznega sistema na barvno spremembo ΔE^*_{48} površinskega sistema

Velja splošno laično prepričanje, da premazni sistemi (ker večina njih ob nanosu na podlago spremenijo barvo podlage) tudi negativno vplivajo na barvno obstojnost površinskega sistema na svetlobi. Iz naših rezultatov pa je razvidno, da pri skoraj vseh

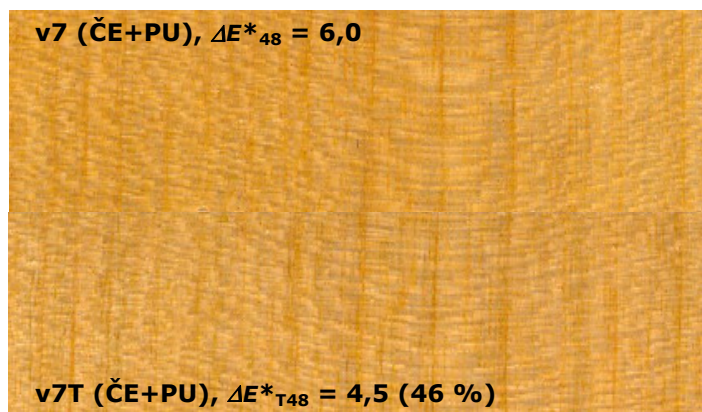
prosojnih površinskih sistemih, premazni sistem zmanjša barvno spremembo ΔE^* površinskega sistema (poglavje 4.2.5), izjema so nekateri oljni premazni sistemi (O), za katere pa vemo, da utrjujejo z oksidacijskim procesom. Proces utrjevanja po tvorbi oljnega filma ni dokončan temveč poteka dalje in z njim tudi spreminjanje barve, ki je posledica oksidacijskih procesov. Iz preglednice 7 vidimo, da je pri povsem prosojnih (netoniranih) premaznih sistemih (ČE+PU), (ČEf+PU), (BU+PU), (BUf+PU) in celo pri (MA+O) ta pozitiven učinek premaznega sistema do 50 %. Negativni vpliv premaznega sistema pa smo zabeležili pri sistemu (JŠ+PU), kjer premazni sistem poslabša barvno obstojnost sistema proti svetlobi. To pripisujemo majhni barvni občutljivosti na svetlobo same jelševine, kot podlage premaznemu sistemu. Sprememba barve premaznega sistema, ki je gotovo prisotna, vsaj pri PU premaznih sistemih, je v tem primeru prevladujoča ali pa se prišteva k majhni spremembi barve podlage.

5.1.5 Barvne razlike ΔE^*_{T48} površinskih sistemov v temi

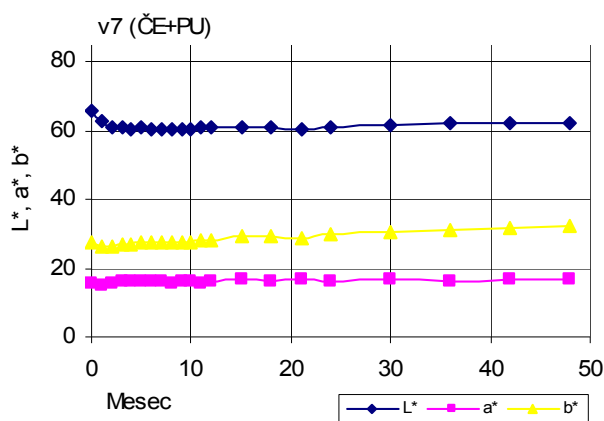
Pomemben rezultat smo dobili, ko smo izmerili komponente barve L^*_{T48} , a^*_{T48} in b^*_{T48} in izračunali razlike ΔL^*_{T48} , Δa^*_{T48} in Δb^*_{T48} ter spremembo barve ΔE^*_{T48} vzporednim vzorcem v6T, v7T, v8T, v9T, v10T, v11T, v13T, v14T, v16T, v17T, v18T in v19T, ki smo jih 48 mesecev hranili v popolni temi, pri enakih klimatskih pogojih kot vzorce sistemov v6, v7, v8, v9, v10, v11, v13, v14, v16, v17, v18 in v19, ki pa so bili izpostavljeni svetlobi fluorescenčne sijalke v interieru. Na sliki 49 in v preglednici 8 vidimo, da so površinski sistemi v temi, v času 48 mesecev tudi spremenili svojo barvo in to presenetljivo veliko. V literaturi nismo zasledili tovrstnih raziskav in zato so nas izračunane vrednosti spremembe barve ΔE^*_{T48} površinskih sistemov, ki so bili v popolni temi 48 mesecev, pravzaprav presenetile. Vzorec sistema v6 (JE) pa nas je presenetil, ker barve v primerjavi z ostalimi praktično ni spremenil ($\Delta L^*_{T48} = 0,7$), čeprav smo verjetno pričakovali nekaj podobnega tudi od ostalih sistemov. Izkazalo se je, da je velika škoda, ker nismo leta 2001 predvideli kontinuiranega periodičnega merjenja parametrov barve tudi na površinskih sistemih v temi. Tako nam manjkajo podatki o gibanju sprememb barve v 48-mesečnem obdobju, ki bi jih lahko primerjali s spremembami, zabeleženimi na vzorcih, ki so bili izpostavljeni svetlobi. Opravili pa smo primerjavo naše čutne zaznave barvnih sprememb med sistemi, ki so bili v temi, z diagrami časovnega poteka spreminjanja komponent barve sistemov na svetlobi.

Predvidevamo, da v popolni temi in pri normalnih klimatskih pogojih potekajo oksidacijski procesi, katerih posledica je sprememba barve prosojnih površinskih sistemov v zabeleženem obsegu. Soklič (2003), je za svoje vzorce, ki so bili 11 dni v popolni temi, ugotovil, da se barva mahagonijevine praktično ni spremenila $\Delta E^*_{270} = 0,8$, večjo spremembo barve $\Delta E^*_{270} = 2,7$ pa je izmeril vzorcem iz mahagonijevega vezanega lesa.

Prosojni površinski sistem v7T (ČE+PU) je v popolni temi spremenil barvo za 46 % spremembe barve sistema v7 (ČE+PU). Razlika v barvi po 48 mesecih je komaj zaznavna (slika 64). Z vizualno primerjavo sistema v7T s časovnim potekom spreminjanja barvnih komponent (slika 65) pri sistemu v7 pa smo ugotovili, da je sistem v temi v7T verjetno manj potemnel in manj porumenel.

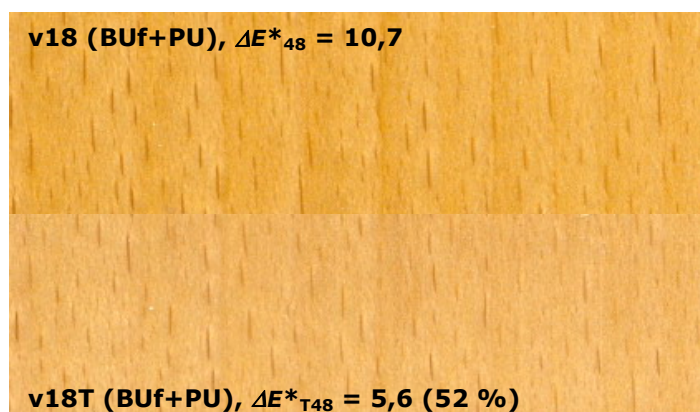


Slika 64: Razlika v barvi med sistemom v7T, ki je bil v popolni temi in sistemom v7, ki je bil na svetlobi

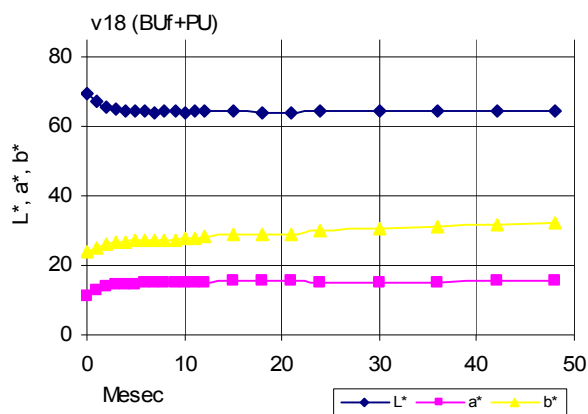


Slika 65: Časovni potek spremembe barvnih koordinat sistema v7 (ČE+PU)

48 % razlika med sistemom vT18 (BUf+PU) in sistemom v18 (BUf+PU) je jasno vidna (slika 66). Z vizualno primerjavo sistema vT18 s časovnim potekom spreminjanja barvnih komponent (slika 67) pri sistemu v18 pa smo ugotovili, da je sistem v temi v18T verjetno predvsem manj porumenel in tudi manj potemnel, morda malo pordečil.

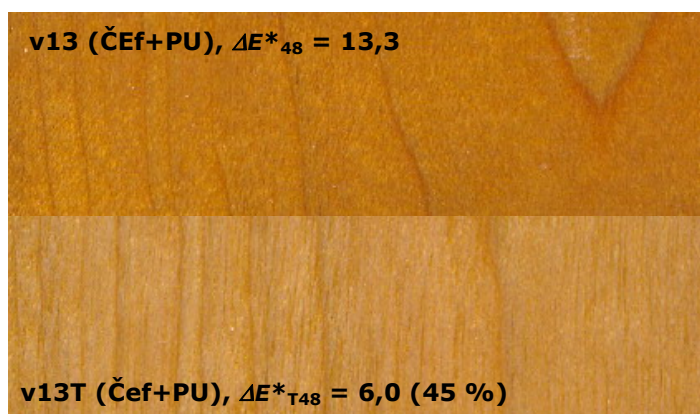


Slika 66: Razlika v barvi med sistemom v18T, ki je bil v popolni temi in sistemom v18, ki je bil na svetlobi

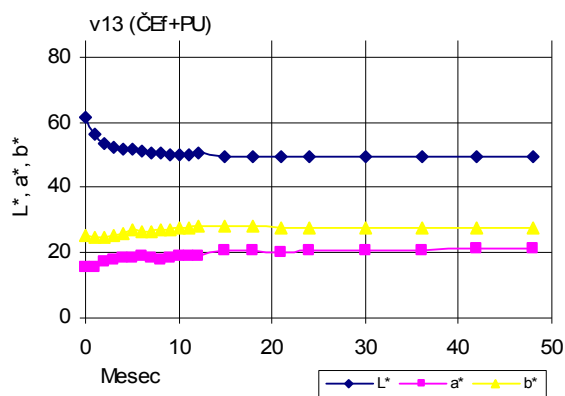


Slika 67: Časovni potek spremembe barvnih koordinat sistema v18 (BUf+PU)

Na sliki 68 je vidna razlika med prosojnima površinskima sistemoma v13T (ČEf+PU) in v13 (ČEf+PU). Z vizualno primerjavo sistema vT13 s časovnim potekom spreminjanja barvnih komponent (slika 69) pri sistemu v13 smo ugotovili, da je sistem v temi v13T verjetno predvsem manj pordečil in potemnel ter malo manj porumenel.

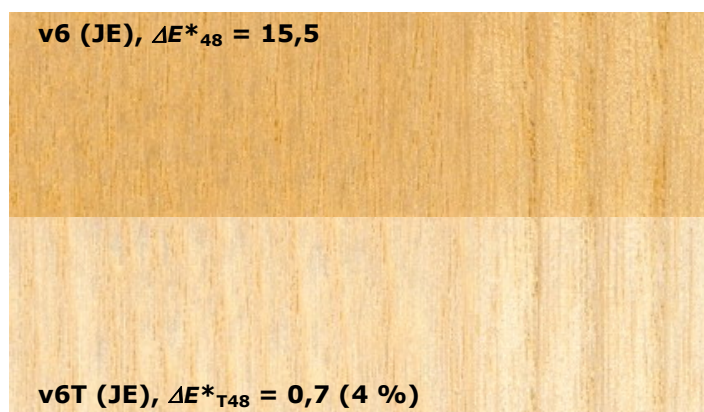


Slika 68: Razlika v barvi med sistemom v13T, ki je bil v popolni temi in sistemom v13, ki je bil na svetlobi

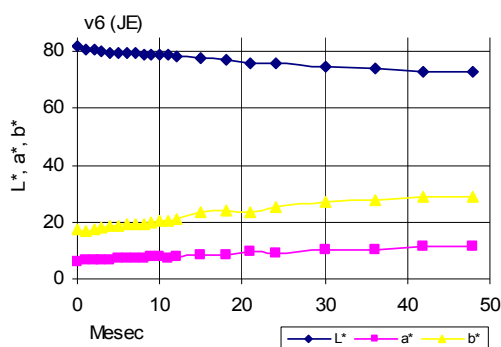


Slika 69: Časovni potek spremembe barvnih koordinat sistema v13 (ČEf+PU)

Jesenovina (slika 70) v 48 mesecih v popolni temi praktično ni spremenila barve, saj smo zabeležili razliko barve $\Delta E^*_{48T} = 0,7$. Z vizualno primerjavo sistema vT6 s časovnim potekom spreminjanja barvnih komponent (slika 71) pri sistemu v6 pa smo ugotovili, da sistem v temi v6T praktično ni potemnel, ni porumenel in ne pordečil.



Slika 70: Razlika v barvi med sistemom v6T, ki je bil v popolni temi in sistemom v6, ki je bil na svetlobi



Slika 71: Časovni potek spremembe barvnih koordinat sistema v6 (JE)

5.1.6 Vrednotenje vplivov izpostavitve svetlobi v interieru z metodo nihajne spektroskopije

Iz analize spektrov, posnetih z metodo nihajne spektroskopije (FT-IR, DRIFT) na prosojnih površinskih sistemih, lahko razberemo na katerih funkcionalnih skupinah so potekale kemične reakcije zaradi 48 mesečne izpostavitve svetlobi v interieru. Posnete spektre površinskih sistemov v_{648} (JE), v_{848} (ČE), v_{1048} (BU), v_{1448} (ČEf), v_{748} (ČE+PU), v_{948} (BU+PU), v_{1148} (ČEf+PU), v_{1348} (ČEf+PU), v_{1548} (ČEf+PU), v_{1648} (Buf+PU) smo primerjali s vzporednimi vzorci v_{6T48} (JE), v_{8T48} (ČE), v_{10T48} (BU), v_{14T48} (ČEf), v_{7T48} (ČE+PU), v_{9T48} (BU+PU), v_{11T48} (ČEf+PU), v_{13T48} (ČEf+PU), v_{15T48} (ČEf+PU), v_{16T48} (Buf+PU), ki so bili 48 mesecev v popolni temi (poglavje 4.4).

Pri primerjavi spektrov površinskih sistemov v_{648} (JE) - jesenovina s sistemom v_{6T48} (JE) - jesenovina (slika 49) smo zaznali predvsem spremembe intenzivnosti traku valovnega števila 1730 cm^{-1} (Bolker in Somerville, 1963; Michell in sod., 1965), ki ga pripisujemo valenčnemu nihanju C=O vezi pri ksilanu in traku 1593 cm^{-1} (Harrington in sod., 1964; Michell, 1989; Bolker in Somerville, 1963; Liang in sod.; 1960, Michell in sod., 1965), ki je značilen za valenčno nihanje aromatskega obroča pri ligninu. Za sistem v_{648} (JE), ki ga tvori jesenovina, smo zaključili, da je energija vidne svetlobe povzročila manjše kemične spremembe pri ksilanu in ligninu, kar se ujema tudi z ugotovitvami analize barvnih sprememb ΔE^*_{0-48} , ko so bile te pri jesenovini največje in je sistem močno potemnel in porumenel (poglavje 4.1 in 5.1.2, sliki 57 in 58, priloga C1 in D1). Podobno je tudi Pandey (2005b) poročal, da je sprememba barve ΔE^* površine lesa v dobri korelaciji s stopnjo fotodegradacije lignina, kar se sklada z našimi rezultati, ter da ΔE^* relativno narašča s koncentracijo karbonilnih radikalov. Primerjava sistema v_{848} (ČE) - češnjevina s sistemom v_{8T48} (ČE) - češnjevina (slika 50) je pokazala enake razlike kot primerjava sistema v_{648} (JE) - jesenovina s sistemom v_{6T48} (JE) - jesenovina, a v manjši spremembi intenzivnosti nihanja trakov pri ksilanu in pri aromatskem obroču lignina. Razlike med spektroma v_{10T48} (BU) - bukovina v temi in v_{1048} (BU) - bukovina (slika 53), so se pokazale na spektrih funkcionalnih skupin lignina med 1594 cm^{-1} ter 1503 cm^{-1} in hemiceluloz in so večje kot med sistemoma v_{8T48} (ČE) in v_{848} (ČE) (slika 51) in manjše kot med sistemoma v_{6T48} (JE) in sistema v_{648} (JE) (slika 50).

Razlike med pari v_{748} (ČE+PU): v_{7T48} (ČE+PU), slika 53, v_{948} (BU+PU): v_{9T48} (BU+PU), slika 54, v_{1148} (ČEf+PU): v_{11T48} (ČEf+PU), priloga F1, v_{1348} (ČEf+PU): v_{13T48} (ČEf+PU), priloga F1, v_{1548} (ČEf+PU): v_{15T48} (ČEf+PU), priloga F2, v_{1648} (Buf+PU): v_{16T48} (Buf+PU), priloga F2, v nihajnih spektrih niso značilne. Tako smo ugotovili, da je energija fotonov normalne fluorescenčne svetlobe premajhna za vzbuditev kemičnih pretvorb v sintetičnih polimerih - poliuretanskih premaznih sistemih (PU).

5.2 SKLEPI

Ugotovili smo, da je področje spreminjanja barve prosojnih površinskih sistemov zaradi izpostavitve svetlobi v interieru zelo neraziskano in da se večina avtorjev, ki raziskujejo vplive žarkov in svetlobe na fotodegradacijske procese v površinskih sistemih in posledice, poslužujejo pospešenega žarčenja in osvetljevanja z UV žarki, z UV žarki in vidno svetlobo ali v najboljšem primeru samo z vidno svetlobo potencirane in nenormalne jakosti (pospešeno osvetljevanje). Tako pridobljeni rezultati in iz njih izhajajoče predpostavke o spremembah barve površinskih sistemov v interieru so le delno uporabne ali celo neuporabne. Raziskave s tega področja, ki bi temeljila na normalnih in realnih pogojih osvetljevanja premaznih sistemov v interieru, nismo zasledili. Zato so za razumevanje in obvladovanje tega področja rezultati naše raziskave toliko bolj dobrodošli.

Barva prosojnih površinskih sistemov pohištva nekaterih slovenskih proizvajalcev, ki je bilo izdelano leta 2001 za prodajo, se je zaradi vpliva normalne fluorescenčne svetlobe, v normalnih pogojih interiera, vidno spremenila in to v zelo kratkem času in v obsegu, ki ga nismo pričakovali. Večina teh prosojnih površinskih sistemov ni primerna za pohištvo, ki je zasnovano tako, da se po želji kupca naknadno dograjuje in dopolnjuje.

Večina vzorcev prosojnih premaznih sistemov je, zaradi izpostavitve svetlobi, potemnela ($- \Delta L^*$). Zaznali smo, da izmed v površinskih sistemih zajetih drevesnih vrst, najbolj temnijo češnjovina, macesnovina in bukovina. Sistemi s furnirano podlago so bolj potemneli kot sistemi z masivno leseno podlago. Prosojni površinski sistemi so bolj porumeneli ($+ \Delta b^*$) kot pordečili ($+ \Delta a^*$) in njihov prevladujoč barvni ton je zaradi vpliva svetlobe postal, bolj čist.

Spoznali smo, da barvna razlika ΔE^* zadovoljivo kvantitativno vrednoti barvno spremembo v odvisnosti od časa in razlike med prosojnimi površinskimi sistemi, a v nasprotju s čutno zaznavo ne ovrednoti spremembe svetlosti in barvnega tona kvalitativno. Velikost spremembe ΔE^* nam ne pove, ali je barva potemnela ali posvetlela, ali je pordečila ali porumenela, čeprav je barvna sprememba ΔE^* posledica sprememb vrednosti koordinat ΔL^* , Δa^* in Δb^* . Pri enaki absolutni vrednosti barvne spremembe ΔE^* , je ta lahko posledica prevladujoče spremembe svetlosti ΔL^* ali pa prevladujoče spremembe obeh barvnih koordinat: na rdeče/zeleni osi Δa^* in na rumeno/modri osi Δb^* . Za popolnejše obvladovanje bi bilo potrebno naše analize sprememb ΔL^* , Δa^* , Δb^* in ΔE^* dopolniti z analizami sprememb barvne čistosti ΔC^* (chroma) in spremembe barvnega tona ΔH^* , ki upošteva spremembo pestrosti Δh (hue) oziroma razporeditve barv po CIEL*a*b* barvnem krogu.

Z oblikovanjem časovnih vrst iz vseh izmerjenih vrednosti barvnih koordinat barve L^* , a^* in b^* in izračunanih vrednosti barvnih sprememb ΔE^* ter sprememb barvnih koordinat ΔL^* , Δa^* in Δb^* v 21 časovnih točkah od t_0 do t_{48} , v časovnem obdobju 4 let, smo določili časovni potek spreminjanja barve prosojnih premaznih sistemov, izpostavljenih normalni fluorescenčni svetlobi v interieru. Rezultati kažejo, da poteka kontinuiran proces spreminjanja barve površinskih sistemov v odvisnosti od časa zelo različno.

Uspelo nam je izoblikovati 4 značilne skupine časovnega poteka spremembe barve ΔE^*_{0-48} . Možnost, da lahko prosojne površinske sisteme na podlagi časovnega poteka ΔE^* razvrščamo v 4 značilne skupine, ima velik aplikativen pomen. Na osnovi meritev koordinat barve L^* , a^* , b^* in analize barvnih sprememb ΔE^* realnim površinskim sistemom pohištva, v relativno kratkem obdobju, sprejemljivem času 3 mesecev, lahko te razvrstimo v eno od naših značilnih skupin ter tako predvidimo njihovo spreminjanje barve v prihodnosti.

Človeško zaznavanje barvnih sprememb ΔE^* je zelo individualizirano in relativno. Na drugi strani pa CIEL*a*b* in druga pravila vrednotenja barvnih razlik ter naprave kot so kolorimetri in spektrofotometri omogočajo natančno vrednotenje barve in s tem tudi barvnih razlik. Zato se je v praksi izoblikovalo, na osnovi primerjave meritev in opazovanj, številčno/opisno vrednotenje, ki omogoča lažje dojetje barvnih razlik, odločanje o postavitvi dopustnih vrednosti ΔE^* in splošne sprejemljivosti barvnih razlik, oziroma razlik barvnega tona ΔE^* . Izkušnje, ki smo jih pridobili ob numeričnem vrednotenju barvnih sprememb in z vizualnim opazovanjem naših sistemov, smo primerjali z ocenami barvnih razlik nekaterih avtorjev, ki so o tem pisali. Upoštevajoč lastnosti naših prosojnih premaznih sistemov, njihove realne podlage, ki je les oziroma lesno tvorivo s svojo značilno bolj ali manj pestro teksturo, barvo in nehomogenostjo, smo se odločili, da barvne spremembe $\Delta E^* \leq 1$ za homogene svetle lesove in spremembe $\Delta E^* \leq 2$ za lesove z izrazito teksturo in barvno pestrostjo, ocenimo kot majhne spremembe in še sprejemljive. Seveda pa je pri tem vrednotenju potrebno upoštevati kot kvalitativno merilo še čas izpostavitve, po katerem je do takih sprememb prišlo.

Ovrgli smo splošno laično prepričanje, da premazni sistemi negativno vplivajo na barvno obstojnost površinskega sistema na svetlobi. Iz naših rezultatov je razvidno, da pri skoraj vseh prosojnih površinskih sistemih premazni sistem zmanjša barvno spremembo ΔE^* površinskega sistema. Obratno so se izkazali nekateri oljni premazni sistemi, za katere pa vemo, da utrjujejo z oksidacijskim procesom, ki po nastanku utrjenega filma ni dokončan, temveč poteka dalje in z njim tudi spreminjanje barve premaznega sistema.

Pomemben rezultat smo zabeležili, ko smo izmerili komponente barve L^*_{T48} , a^*_{T48} in b^*_{T48} in izračunali spremembo barve ΔE^*_{T48} vzporednim vzorcem, ki smo jih 48 mesecev hranili v popolni temi, pri enakih klimatskih pogojih kot vzorce sistemov, ki so bili izpostavljeni svetlobi fluorescenčne sijalke v interieru. Površinski sistemi v popolni temi so v času 48 mesecev tudi spremenili svojo barvo in to presenetljivo veliko, do 60 % spremembe barve sistemov izpostavljenih svetlobi. V literaturi nismo zasledili tovrstnih raziskav in zato so nas izračunane vrednosti spremembe barve ΔE^*_{T48} prosojnih površinskih sistemov pravzaprav presenetile. Predvidevamo, da tudi v popolni temi in pri normalnih klimatskih pogojih potekajo oksidacijski procesi, katerih posledica je sprememba barve prosojnih površinskih sistemov.

6 POVZETEK

Pohištvo iz lesa ali lesnih tvoriv predstavlja nepogrešljiv element našega interiera - bivalnega in delovnega okolja ter ima v življenjskem ciklu človeka pomembno fiziološko in še bolj psihološko vlogo. Pomen barve pohištva in njen psihološki učinek postavljata pri pohištvu iz lesa ali lesnih tvoriv visoko zahtevo po dolgotrajnem ohranjanju barvnega tona površine pohištva, ki ga ima ta površina v trenutku nakupa.

Odločili smo se, da raziščemo spreminjanje barve 44 prosojnih površinskih sistemov že izdelanega pohištva. Izpostavili smo jih normalnim svetlobnim in klimatskim pogojem v delovnem interieru, kot vertikalne elemente pohištva za odlaganje, z namenom slediti procesu spreminjanja barve v realnem okolju in v času. Vzorce sistemov smo izpostavili normalni fluorescenčni svetlobi za obdobje 4 let. Po zastavljenem časovnem programu smo merili njihove barvne koordinate L^* , a^* in b^* po CIEL*a*b* merilnem sistemu in ugotavljali spreminjanje njihove barve ΔE^*_{0-48} v odvisnosti od časa.

Podlage površinskih sistemov so bile bukovina (BU), češnjovina (ČE), jelševina (JŠ), jesenovina (JE), macesnovina (MA) in bukov (BUf), češnjev (ČEf), javorjev (JAf) in hrastov furnir (HRf) na iverni plošči. Vzorci bukovine, češnjevine, jesenovine, macesnovine in z bukovino ter s češnjevino furnirani vzorci nastopajo tudi kot samostojni površinski sistemi v funkciji primerjave s površinsko obdelanimi površinskimi sistemi. Kot premazni sistemi so bili vzorčeni prosojni poliuretanski sistemi (PU), neluženi in luženi (L+PU), prosojni poliuretanski tonirani sistemi (PU+T), akrilni UV utrjujoči (UV) in oljni prosojni površinski sistemi (O).

Analiza spremembe barve ΔE^*_{0-48} sistemov je pokazala, da se pri nekaterih prosojnih površinskih sistemih barvne razlike ΔE^* pojavile že po 1., 2. in 3. mesecu izpostavitve svetlobi fluorescenčne sijalke in to v taki velikosti, da jih je človeško oko že zaznalo. Barvne razlike so bile največje pri vzorcih s češnjevino, bukovino in macesnovino in pri vzorcih s furnirano podlago. Ti prosojni površinski sistemi niso bili več ustrezni za pohištvo, ki je zasnovano tako, da se po želji kupca naknadno dograjuje in dopolnjuje. Po 48 mesecih se je barva pri večini sistemov občutno spremenila. Sistemi so potemneli, porumeneli in le sistem z jelševino je posvetlel.

Pri večini sistemov smo ugotovili, da premazni sistemi zmanjšajo spreminjanje barve celotnega sistema. Le pri macesnovini, ki je bila oljena, je premazni sistem povečal spreminjanje barve.

Sam potek sprememb barvnih koordinat ΔL^* , Δa^* in Δb^* , je bil med različnimi prosojnimi premaznimi sistemi zelo različen. Uspelo nam je prepoznati 4 značilne skupine oziroma načine poteka barvnih sprememb ΔE^*_{0-48} . Tako je za 1. skupino značilno, da se skoraj polovica končne vrednosti spremembe barve ΔE^*_{48} zgodi že po 3 mesecih. Po približno 6 do 9 mesecih in do 48. meseca sprememba barve ΔE^*_{9-48} skoraj ne narašča več. V 2. skupino smo razvrstili prosojne premazne sisteme, ki se v času prvih 6 mesecev obnašajo podobno kot sistemi v 1. skupini. Njihova barvna sprememba ΔE^* je v tem času relativno velika, nato pa se povečevanje zmanjša, a je še očitno in linearno narašča. Za 3. skupino je

značilno relativno veliko in ves čas linearno naraščanje spremembe barve ΔE^*_{0-48} . Posamezne prosojne površinske sisteme med seboj loči naklonski kot premice, ki ponazarja odvisnost ΔE^* od časa oziroma prirastek spremembe ΔE^* v času. V 4. skupino smo razdelili prosojne površinske sisteme, katerih sprememba barve ΔE^*_{0-48} je za tako obdobje izpostavitve svetlobi zelo majhna ter se ne povečuje. Za vse sisteme v skupini je značilno, da se je njihova končna barvna razlika ΔE^*_{48} pojavila v obdobju prvih 12 mesecev in se praktično do 48. meseca ni spreminjala.

Posneli smo tudi infrardeče spektre nekaterih proučevanih sistemov. Medtem ko je analiza spektrov podlag brez površinskih premaznih sistemov nakazala kemijske spremembe ligninskega sistema in hemiceluloz zaradi izpostavitve fluorescenčni svetlobi, takih sprememb pri premazih nismo opazili. Za podlage, pri katerih smo z metodo nihajne spektroskopije zaznali kemijske spremembe, so bile po izpostavitvi svetlobi značilne največje barvne spremembe.

Vzporedni vzorci sistemom na svetlobi, ki so bili 48 mesecev v popolni temi so tudi zaznavno spremenili barvo in sicer so dosegli do 60 % spremembe barve sistemov na svetlobi. Izjema je bila samo jesenovina, ki v temi praktično ni spremenila svoje barve.

Spoznali smo, da barvna razlika ΔE^* zadovoljivo kvantitativno vrednoti barvno spremembo v odvisnosti od časa in razlike med prosojnimi površinskimi sistemi, a v nasprotju s čutno zaznavo ne ovrednoti spremembe svetlosti in barvnega tona kvalitativno. Velikost spremembe ΔE^* nam ne pove, ali je barva potemnela ali posvetlela, ali je pordečila ali porumenela. Pri enaki absolutni vrednosti barvne spremembe ΔE^* je ta lahko posledica prevladujoče spremembe svetlosti ΔL^* ali pa prevladujoče spremembe obeh barvnih koordinat: na rdeče/zeleni osi Δa^* in na rumeno/modri osi Δb^* . Za popolnejše obvladovanje bi bilo potrebno naše analize spremembe barve dopolniti z analizami sprememb barvne čistosti ΔC^* (chroma) in spremembe barvnega tona ΔH^* , ki upošteva spremembo pestrosti Δh (hue) oziroma razporeditve barv po CIEL*a*b* barvnem krogu.

7 VIRI

- ASTM D 2244. Standard Test Method for Calculation of Color Differences From Instrumentally Measured Color Coordinates. 1993: 4 str.
- Biffi M. 1985. Određivanje boje. *Drvena industrija*, 36, 9-10: 217-227
- Bizjak G. 2002. Svetloba in barva. *Gradbenik*, 2: 12-15
- Bolker N. I., Somerville N. G. 1963. Infrared spectroscopy of lignins. Part II. Lignins in unbleached pulp. *Pulp and Paper Canada*, 4, 4: 187-193
- Božič D. 2001. Fiziologija barvnega čuta. V: *Interdisciplinarnost barve*. 1. del. V znanosti. Jeler S., Kumar M. (ur.). Maribor, DKS: 79-86
- Chang S.-T., Wang S.-Y., Cheng S.-S. 2000. Environmental effects on the color of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) heartwood. *J Wood Sci.*, 46: 390-394
- Čermak M. 2006. Lepila in materiali za površinsko obdelavo in zaščito lesa. Lesarska založba, Ljubljana:82.
<http://www.cpi.si/files/userfiles/Datoteke/ucnagradiva/Lepila%20in%20materiali%20za%20povrsinsko%20obdelavo.pdf> (11. maj 2006)
- Černič Letnar M., Vodopivec J. 2003. Lastnosti embalažne lepenke za zaščito arhivskega, knjižničnega in muzejskega gradiva. *Papir*, 31, 3: 29-30
- Čufar K. 2001. Opis lesnih vrst. Nerecenzirano študijsko gradivo. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 54 str.
- Čufar K. 2002. Anatomija lesa. Nerecenzirano študijsko gradivo. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 124 str.
- Demšar A. 2006. FT-IR spektrometer. NTF. Oddelek za tekstilstvo, Ljubljana.
<http://www.ot.ntf.uni-lj.si/ic.pdf> (14. maj 2006)
- DIN 6174. 1979. Farbmtrische Bestimmung von Farbabständen bei Körperfarben nach der CIELAB-Formel. 1979: 2 str.
- Golob V., Golob D. 2001. Teorija barvne metrike. V: *Interdisciplinarnost barve*. 1. del. V znanosti. Jeler S., Kumar M. (ur.). Maribor, DKS: 201-230
- Grelier S., Castellan A., Kamdem D. P. 2000. Photoprotection of copper amine treated pine. *Wood and fibre science*, 32: 196-202
- Harrington k. j., Higgins H. G., Michell A. J. 1964. Infrared spectra of *Eucalyptus regnans* F. Muell. and *Pinus radiata* D. Dan. *Holzforschung*, 18 2: 108-113
- Hon D. N. S. 1991. Photochemistry of wood. In: Hon D. N. S., Shiraishi N., editors. *Wood and cellulosic chemistry*. New York, Marcel Decker: 525 str.
- Hon D. N. S., Ifju G., Feist W. C. 1980. Characteristics of Free Radicals in Wood. *Wood and Fibre*, 12, 2: 121-130
- Humar M. 2002. Interakcije bakrovih zaščitnih pripravkov z lesom in lesnimi glivami. Doktorska disertacija. Ljubljana, m Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 19-20

- Humar M., Petrič M., Šentjerc M. 2001. Opazovanje in karakterizacija prostih radikalov v lesu z metodo lovljenja radikalov. V: Glavič P. (ur.), Brodnjak-Vončina D. (ur.). Slovenski kemijski dnevi 2001, Maribor, 20. in 21. september 2001. Zbornik referatov s posvetovanja. Maribor, Slovensko kemijsko društvo: 624-629
- IKEA. 2006. IOS-MAT-066. 2006. IKEA specifikation. Surface requirements, general. 3.1.3 Approval of colour and tolerances. 11 str.
- ISO 7724/1. 1984. Paints and varnishes - Colorimetry - Part 1: Principles. 1984: 9 str.
- ISO 7724/2. 1984. Paints and varnishes - Colorimetry - Part 2: Colour measurement. 1984: 12 str.
- ISO 7724-3. 1984. Paints and varnishes – Colorimetry – Part 3: Calculation of colour differences. 1984: 5 str.
- Jirouš-Rajković V., Ljuljka B. 1999. Boja drva i njezine promjene prilikom izlaganja atmosferskim utjecajima. Drvna industrija, 50, 1: 31-39
- Jirouš-Rajković V., Turkulin H., Dolušić Ž., Štivičić Š. 2003. Svjetlootpornost drva u interijeru. V: Drvo u graditeljstvu - suvremena kretanja. Jambrečković V. (ur.). Šumarski fakultet, Zagreb: 65-74 str.
- Kaiser P. K. 2005. The Joy of Visual Perception: A Web Book. York University.
[http://www.yorku.ca/eye/\(6.apr.2006\)](http://www.yorku.ca/eye/(6.apr.2006))
- Kladnik R. 1977. Osnove fizike. II. del. Ljubljana, DZS: 342 str.
- Klanjšek Gunde M. 1999. Svetloba in barve. V: Strokovni seminar. V: Numerično vrednotenje barve. Jeler S., Kumar M. (ur.). Ljubljana, 15. oktober 1999. DKS: 10 str.
- Klanjšek Gunde M. 2001. Svetloba in barve - fizikalni vidik. V: Interdisciplinarnost barve. 1. del. V znanosti. Jeler S., Kumar M. (ur.). Maribor, DKS: 15-55
- Kolb H., Fernandez E., Nelson R. 2001. Webvision. The Organization of the Retina and Visual System. (Feb. 2001).
<http://webvision.med.utah.edu/index.html> . (3. apr. 2006)
- Kotnik D. 2003. Površinska obdelava v izdelavi pohištva. 2. dop. izdaja. Brezovica, Finitura d.o.o.: 184 str.
- Kumar M. 2001. Barvometrične metode in aparature. V: Interdisciplinarnost barve. 1. del. V znanosti. Jeler S., Kumar M. (ur.). Maribor, DKS: 233-266
- Lavey B. 2004. Color Lessons. What are tolerances? ColorVision. Datacolor SG., Lawrenceville.
<http://www.colorvision.ch/learnmore/colorlessons/lesson07.php> (4. apr 2006)
- Les espaces de couler. 2006. <http://www.profil-couleur.com/ec/106-espace-couleur-cie-rgb.php> (3. apr. 2006)
- Liang C. Y., Bassett K. H., McGinnes E. A., Marchessault R. H. 1960. Infrared spectra of crystalline polysaccharides. VII Thin wood sections. Tappi, 43, 13: 1017-1024
- Luostarinen K., Möttönen V., Asikainen A., Luostarinen J. 2002. Birch (*Betula pendula*) Wood Discolouration during Drying Effect of Environmental Factor and Wood Location in the Trunk. Holzforschung, 56, 4: 348-354

- MacEvoy B. 2005. Watercolors. (jan. 2005)
<http://www.handprint.com/HP/WCL/wmap.html> (10. maj 2006)
- Michell A. J., Wetson A. J., Higgins H. G. 1965. An infrared spectroscopic study of delignification of *Eucalyptus regnans*. Tappi, 48, 6:520-532
- Michell A. J. 1989. Second derivate FTIR spectra of woods. V: Wood and Cellulosic Chemistry. Hon D. N. S., Shiraishi N. (eds.). New York, Marcel Dekker inc.: 3-395
- Mononen K., Alvila L., Pakkanen T. T. 2002. CIEL*a*b* Measurement to Determine the Role of Felling Season, Log Storage and Kiln Drying on Coloratin of Silver Birch Wood. Scand. J. For. Res. 17: 179-191
- Oblak L., Kričej B.: 2005. Vrednotenje površinskih sistemov in izbira premaznega sistema z večkriterijskim odločitvenim modelom = Evaluating surface systems and choosing coating system with the multi-criteria decision-making model. Zb. gozd. lesar., 76: 147-166
- Pandey K.K. 2005. A note on the influence of extractives on the photo-discoloration and photo-degradation of wood. Polymer Degradation and Stability, 87: 375-379
- Pandeyj K. K. 2005b. Study of the effect of photo-irradiation on the surface chemistry of wood. Polymer Degradation and Stability, 90, 1: 9-20
- Petrič M. 2002. Površinska obdelava lesenih talnih oblog z naravnimi olji. Korak, 3, 5:41-42
- Rogez D., Hayoz P., Wolfgang P. 2002. Improved Photoprotection of Wood and Durability Improvement of Wood Coatings. Ciba Specialty Chemicals Inc.:19 str.
- Rowell R. M. 2005. Hanbook of wood chemistry and wood composites. New York, Taylor & Francis: 487 str.
- Ryer A. D., 1997. Light Measurement Handbook. International Light, Newburyport: 64 str.
- Sandermann W., Schlumbom F. 1962. Über die Wirkung gefilterten ultravioletten Lichtes auf Holz - Zweite Mittelung: Änderung von Farbwert und Farbempfindung an Holzoberflächen. Holz als Roh- und Werkstof, 20: 285-291
- Sarkanen K. V., Cheang H. M., Ericsson B. 1967. Species variation in lignins. I. infrared spectra of Guaiacyl and Syringyl models. Tappi, 50, 6: 572-575
- Scott E., Bewley H. 1997. Spectral Selectivity. Luminal Path, Inc., Carlisle.(2006)
<http://www.photo.net/learn/optics/edscott/spectsel.htm> (10. 5. 2006)
- Sears F. W., Zemansky M. W. 1964. University Physics. 3nd edition. Reading, Messachusetts, Addison-Wesley publishing company: 1028 str.
- Soklič F. 2003. Preprečevanje temnenja mahagonijevega lesa pri proizvodnji plovil. Diplomsko delo. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za lesarstvo: 52 str.
- Specialchem. 2006. What is Color? The Illuminant. Special Chem.
<http://www.specialchem4coatings.com/tc/color/index.aspx?id=illuminant> (28. apr. 2006)
- Sundell P., De Meijer M., Militz H. 2000. Wood coatings. Challenges and solutions in the 21th Century. Paper 22: 17 str.

Sundqvist B., Morén T. 2002. The influence of wood polymers and extractives on wood colour induced by hydrothermal treatment. Holz als Roh- und Werkstoff, 60: 375-376

Svetila.com. 2005.

http://www.svetila.com/product_info.php/cPath/66_99/products_id/219 (20. dec. 2005)

Svetila.com. 2006.

http://www.svetila.com/Menas/Leksikon/svetloba_in_valovanje.htm (9. jan. 2006)

Tišler V. 1986. Kemija lesa. Za interno uporabo. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 194 str.

Vončina B., Majcen le Marechal A. 2001. Zgradba molekul in barva. V: Interdisciplinarnost barve. 1. del. V znanosti. Jeler S., Kumar M. (ur.). Maribor, DKS: 59-75

Wagenführ R., Scheiber C. 1985. Holzatlas. VEB Leipzig Fachbucheherlag: 720 str.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč pri izdelavi in oblikovanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Marku PETRIČU, recenzentki prof. dr. Vesni TIŠLER, prof. dr. Katarini KOŠMELJ, Darji VRANJEK, doc. dr. Mihi HUMARJU in vsem, ki so neposredno ali posredno sodelovali v procesu mojega visokošolskega strokovnega izobraževanja.

Opravičujem pa se vsem mojim domačim, ker so bili štiri leta in pol prikrajšani za moje sproščeno življenje z njimi.

PRILOGE

Priloge od A do F (vse izmerjene in izračunane vrednosti) se nahajajo pri avtorju in v knjižnici Oddelka za lesarstvo BF.