

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jani LIPEJ

**PRIPRAVA IN KARAKTERIZACIJA PREMAZA ZA LES Z
LUMINESCENTNIM EFEKTOM**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**PREPARATION AND CHARACTERISATION OF A WOOD
COATING WITH A LUMINESCENT EFFECT**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva. Eksperimentalno delo je bilo v celoti izvedeno v Laboratoriju za obdelavo površin Katedre za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin, Oddelka za lesarstvo na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja imenoval prof. dr. Marka Petriča, za somentorja asist. dr. Matjaža Pavliča ter za recenzentko doc. dr. Ido Poljanšek.

Mentor: prof. dr. Marko Petrič

Somentor: asist. dr. Matjaž Pavlič

Recenzentka: doc. dr. Ida Poljanšek

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je naloga rezultat lastnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Jani Lipej

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 630*829.1
KG	premazi za les/luminiscentni pigmenti/luminiscentni filmi
AV	LIPEJ, Jani
SA	PETRIČ, Marko (mentor)/PAVLIČ, Matjaž (somentor)/POLJANŠEK, Ida (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2016
IN	PRIPRAVA IN KARAKTERIZACIJA PREMAZA ZA LES Z LUMINISCENTNIM EFEKTOM
TD	Diplomsko delo
OP	IX, 58 str., 10 pregl., 35 sl., 37 vir.
IJ	sl
JI	Sl/en
AI	Ugotavljali smo, ali je v premaze za les možno vmešati pigmente z luminiscentnim učinkom. Uporabljali smo luminiscentne delce velikosti 10 μm in 4 μm. Pigment nam je uspelo vmešati v premazne sisteme, tako da smo pripravili paleto vzorcev z različnimi koncentracijami pigmenta v premazu, in z različnimi debelinami filmov. Med mešanjem so se zmesi precej segregirale. Pripravili smo premaze s 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 30 %, 40 % in 50 % vmešanega pigmenta. Nanose smo izvedli na bukov furnir na iverni plošči ter na masivni hrastov les. Nanašali smo filme nazivnih debelin 40 μm, 120 μm in 240 μm. Utrjevanje filmov je potekalo bodisi na zraku ali z UV svetlobo. Ugotovili smo, da dodani pigment ne vpliva negativno na utrjevanje filma. Vzorce smo nato analizirali v temnici, kjer je luminiscentni efekt prišel najbolj do izraza. S slik, posnetih z digitalnim fotoaparatom ter s pomočjo nekaj računalniških programov smo za vsak vzorec izračunali svetlost L. Ugotovili smo, da večja koncentracija pigmenta v premazu poveča intenziteto in trajanje luminiscenčnega efekta. Prav tako na luminiscenco filmov vplivajo tudi debelina filma, prisotnost omakal, vrsta podlage, vmesno brušenje vmesnih plasti premaznega sistema, število nanosov ter vir svetlobe, ki mu izpostavimo luminiscentni film.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 630*829.1
CX wood coatings/luminescent pigments/luminescent films
AU LIPEJ, Jani
AA PETRIČ, Marko (supervisor)/PAVLIČ, Matjaž (co-supervisor)/POLJANŠEK, Ida (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2016
TI PREPARATION AND CHARACTERISATION OF A WOOD COATING WITH A LUMINESCENT EFFECT
DT Graduation Thesis (University studies)
NO IX, 58 p., 10 tab., 35 fig., 37 ref.
LA sl
AL sl/en
AB We analysed the possibilities of mixing the pigments with a luminescent effect into different wood coatings. We used luminescent particles in sizes of 10 µm and 4 µm. For stirring the pigment into coating systems, we prepared samples with different concentrations of the pigment in the coatings and with different film thicknesses. During the stirring, the mixtures heated significantly. We prepared coatings with 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 30 %, 40 % and 50 % of the pigment. As a substrate we used beech veneered chipboard and oak solid wood. We applied films with the nominal thicknesses of 40 µm, 120 µm and 240 µm. Curing of films was performed in air or with UV light. We found out that the added pigment does not have a negative effect on curing of a film. We analysed the samples in a dark room, where a luminescent effect was the most prominent. From the photos taken with a digital camera and with the help of computer programmes we estimated the brightness (L) of each sample. We ascertained that the intensity and duration of the luminescent effect increase with higher concentration of the pigment in the coating. Luminescence of a film is also influenced by the following factors: film thickness, the presence of a surfactant, substrate type, intermediate sanding of intermediate coating layers, number of coating layers, as well as the source of light to which the luminescent film is exposed to.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI).....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD).....	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VI
KAZALO SLIK.....	VII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	2
1.2 CILJI NALOGE	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE.....	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 POVRŠINSKA OBDELAVA LESA.....	3
2.2 SESTAVA POVRŠINSKIH PREMAZOV	4
2.2.1 Hlapne sestavine	5
2.2.2 Nehlapne sestavine.....	6
2.3 NANOTEHNOLOGIJA	7
2.4 KAJ JE LUMINISCENCA	9
2.5 VRSTE LUMINISCENCE	9
2.5.1 Elektroluminiscenca	11
2.5.2 Fotoluminiscenca	11
2.5.3 Kemiluminiscenca.....	13
2.5.4 Mehanoluminiscenca	15
2.5.5 Radioluminiscenca.....	15
2.5.6 Termoluminiscenca	16
2.6 LUMINISCENTNI FILMI	16
2.7 FLUORESCENČNA SPEKTROSKOPIJA.....	17
2.7.1 Diagram Jablonskega	18
2.7.2 Spektrofluorometri.....	19
2.8 VREDNOTENJE BARVE.....	21
2.8.1 CIE – barvni prostor	21
2.8.2 CIE 1976 L*a*b* sistem vrednotenja barv.....	23
2.9 ZGODOVINA LUMINISCENCE	24
3 MATERIALI IN METODE	26
3.1 MATERIALI	26
3.2 METODE.....	28
3.2.1 Mletje pigmenta	28
3.2.2 Mešanje pigmenta v premaz	29
3.2.3 Nanašanje premaza	30
3.2.4 Utrjevanje filma.....	31

3.2.5 Izpostavitve in analiziranje vzorcev.....	31
3.2.6 SEM-EDS analiza	33
4 REZULTATI IN RAZPRAVA.....	34
4.1 SEM-EDS ANALIZA LUMINISCENTNEGA PIGMENTA	34
4.2 VMEŠAVANJE PIGMENTA (10 MM) V TEMELJNI IN KONČNI UV LAK.....	35
4.2.1 Opis lastnosti filmov, dobljenih z vmešavanjem pigmenta velikosti 10 µm v temeljni in končni lak	36
4.3 VMEŠAVANJE PIGMENTA (4 MM) V KONČNI UV LAK.....	37
4.3.1 Opis lastnosti filmov, dobljenih z vmešavanjem pigmenta velikosti 4 µm v končni lak	39
4.4 VMEŠAVANJE PIGMENTA (4 MM) V TEMELJNI LAK.....	40
4.4.1 Opis lastnosti filmov z vmešavanjem pigmenta velikosti 4 µm v temeljni lak.....	42
4.5 VMEŠAVANJE PIGMENTA (4MM) V LAK NA VODNI OSNOVI	43
4.5.1 Opis lastnosti filmov, dobljenih z vmešavanjem pigmenta velikosti 4 µm v lak na vodni osnovi	44
4.6 VMEŠAVANJE PIGMENTA (4MM) V DVOKOMPONENTNI LAK.....	44
4.6.1 Opis lastnosti filmov, dobljenih z vmešavanjem pigmenta velikosti 4 µm v dvokomponentni lak	45
4.7 IZPOSTAVITEV VZORCEV SVETLOBNIM VIROM TER OPAZOVANJE LUMINISCENTNEGA EFEKTA	46
4.7.1 RGB ter L vrednosti premaznih sistemov	46
4.7.2 Vpliv vrste svetlobe na intenzivnost luminiscentnega efekta	48
4.7.3 Trajanje učinka luminiscentnega premaza.....	49
4.7.4 Vpliv vrste podlage na luminiscentni učinek	51
5 SKLEPI	52
6 POVZETEK.....	54
7 VIRI	56
ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Klasifikacija luminiscence (Newton, 1957)	10
Preglednica 2: Površinski sistemi	26
Preglednica 3: Sistemi s pigmentom velikosti 10 µm v temeljnem in končnem laku	35
Preglednica 4: Sistemi s pigmentom velikosti 4 µm v končnem laku	38
Preglednica 5: Sistemi s pigmentom velikosti 4 µm v temeljnem laku	40
Preglednica 6: Sistemi s pigmentom velikosti 4 µm v laku na vodni osnovi	43
Preglednica 7: Sistemi s pigmentom velikosti 4 µm v dvokomponentnem laku	45
Preglednica 8: RGB ter L vrednosti vseh pripravljenih sistemov	47
Preglednica 9: Vrednosti R, G, B in L po izpostavitvi filma z luminiscentnim pigmentom svetlobi iz različnih virov	48
Preglednica 10: Padanje vrednosti L s časom od izpostavitve svetlobi	49

KAZALO SLIK

Slika 1: Številčnica in kazalci na uri svetita zaradi luminiscenčnega barvila (Flinch, 2008)	9
Slika 2: Uporaba katodne luminiscence za projiciranje slike na TV zaslon (Richter, 2006).....	11
Slika 3: Zbirka različnih mineralov, ki so pod vplivom osvetlitve z UV-A, UV-B in UV-C žarki fluorescirali (Grobe, 2005).....	12
Slika 4: Bioluminiscenca pri kresnici (Art, 2006).....	14
Slika 5: Bioluminiscenca planktona v obalnem pasu morja (Catalano, 2008).....	14
Slika 6: Shematski prikaz absorpcije in fluorescence (Lakowicz, 2008).....	17
Slika 7: Primer diagrama Jablonskega (Lakowicz, 2008).....	19
Slika 8: Shema monokromatorja (Lakowicz, 2008).....	20
Slika 9: CIE barvni prostor (Golob in Golob, 2001).....	21
Slika 10: CIE barvni diagram (HyperPhysics, 1996).....	22
Slika 11: Barvni prostor po CIE1976 L*a*b* sistemu vrednotenja barve (Blathur, 2013)	23
Slika 12: Geometrijski pomen vrednosti L*, a*, b*, C* in h v CIEL*a*b* sistemu (Golob in Golob, 2001).....	24
Slika 13: Delovanje krogličnega mlina (Paul O. Abbe, 2013).....	28
Slika 14: IKA ULTRA TURRAX T 25 digital (IKA, 2015).....	29
Slika 15: Nastavek S 25 N - 25 F (IKA, 2015).....	29
Slika 16: Ročni slojnik z nanosom 100 µm in 150 µm (IGT, 2012).....	30
Slika 17: Primer 120 µm debelega nanosa laka na vodni osnovi, s koncentracijami pigmenta od 0 % do 50 %.....	30
Slika 18: Naprava za UV utrjevanje (Intercet, 2016).....	31
Slika 19: Primer analiziranja fotografije s pomočjo programa Image J (Lipej, 2012).....	32
Slika 20: Barvni pretvornik (Lipej, 2012).....	32
Slika 21: Vrstični elektronski mikroskop EOL 5500 LV z EDS analizatorjem OXFORD	33
Slika 22: Delci pigmenta premera 10 µm, posneti z vrstičnim elektronskim mikroskopom.....	34
Slika 23: EDS analiza pigmenta.....	34
Slika 24: Temeljni lak, 5 % pigmenta, nanos 40 µm, brušenje, končni lak, nanos 40 µm..	36
Slika 25: Temeljni lak, 5 % pigmenta, nanos 40 µm, nebrušen, končni lak, nanos 40 µm.	36
Slika 26: Končni lak, 5 % pigmenta, nanos 40 µm in 240 µm, 5 % omakala.....	38
Slika 27: Končni lak, 5 % pigmenta, nanos 40 µm in 240 µm, 10 % omakala.....	38
Slika 28: Temeljni lak, 10 % pigmenta, nanos 40 µm, končni lak, nanos 40 µm.....	41
Slika 29: Temeljni lak, 10 % pigmenta, nanos 40 µm, brušenje, končni lak, nanos 40 µm	42
Slika 30: Lak na vodni osnovi, nanos od 0 % do 50 % pigmenta, nanos 120 µm; na desni sliki je prikazan luminiscentni efekt v temi.....	44
Slika 31: Dvokomponentni lak, 0 % do 50 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 µm; na desni sliki je prikazan luminiscentni efekt v temi pri premazu s 50 % pigmenta.....	45
Slika 32: prikaz luminiscenčnega efekta v odvisnosti od obsevanja s svetlobo iz različnih virov.....	48

Slika 33: Vrednosti L v odvisnosti od časa od konca enourne izpostavitve svetlobi 150 W žarnice, za film H50-120 (vodni lak s koncentracijo pigmenta 50 % in debelino nanosa 120 μm).....	50
Slika 34: Upad luminiscentnega efekta po desetih minutah od enourne izpostavitve filma H50-120 svetlobi 150 W žarnice	50
Slika 35: Luminiscentni efekt na bukovem furnirju H50-120 (levo) in na masivnem hrastovem lesu D50-120 (desno)	51

1 UVOD

Les je organska surovina, ki nam ga iz dneva v dan, skozi stoletja in tisočletja nudi narava. Zaradi izredno lahke dostopnosti ga človeštvo že od začetkov svojega obstoja uporablja v različne namene. Skozi stoletja se je izkazalo, kako zelo je človek postal navezan na različne načine uporabe lesa.

Pozitivne lastnosti lesa so npr. naravno čiščenje zraka s strani dreves, v katerih les nastaja, električna izolativnost, kakovost in obstojnost, ali pa npr. prijetnost lesa na dotik. Vse to je razlog, da se les še dandanes uporablja na skoraj vseh področjih človekovega delovanja.

Človek je uporabljal in obdeloval les skozi vso svojo zgodovino. Drevo je enkratna pojavna oblika lesne konstitucije, ki je in bo navdih za mnoga izražanja človekovega udejstvovanja. Človek svoje znanje in izkušnje o obdelavi lesa prenaša iz roda v rod in ga vedno dopolnjuje. Da lahko preučujemo in razumemo vse lastnosti lesa, moramo poznati njegovo rast, razvoj, zgradbo, kemične in fizikalne lastnosti, spremembe zaradi zunanjih vplivov, sušenje, skratka njegovo anatomijo in tehnologijo predelave.

Ena od tehnologij predelave lesa je tudi površinska obdelava in zaščita lesa. Po mehanski obdelavi lesa sledi vrsta operacij, ki se skupno imenujejo površinska obdelava. Razvila se je zaradi oplemenitenja površine, povečanja odpornostnih lastnosti, istočasno pa določene lastnosti lesa poudarimo, druge pa lahko prekrijemo. Pri izdelkih, izpostavljenih zunanji klimi, je obdelava površin v funkciji zaščite lesa, predvsem pred abiotskimi, a tudi pred biotskimi dejavniki razkroja. Lesu z uporabo kemičnih sredstev podaljšamo naravno trajnost.

Po drugi svetovni vojni sta se področji površinske obdelave in zaščita lesa, skupaj s proizvajalci premaznih in zaščitnih sredstev za les, zelo hitro razvijali in se še vedno razvijata. S sodobnimi premaznimi sredstvi za les in lesna tvoriva so se spremenili tehnološki postopki obdelave, s tem pa so se izboljšale mehanske in fizikalne lastnosti obdelanih površin. Hiter razvoj visoko produktivne tehnologije in uporaba vse več sintetičnih materialov, pa predstavlja za okolje in ljudi zelo obremenjujoč dejavnik. Šele v zadnjih letih je področje negativnih vplivov površinske obdelave lesa na okolje pričela urejati tudi zakonodaja. Sodoben razvoj površinske obdelave in zaščite lesa teži k uporabi materialov in tehnologij, ki bodo imeli čim manjši negativen vpliv na okolje, istočasno pa bo lahko kvaliteta izdelkov konkurirala na zahtevnih svetovnih trgih.

Velik pomen kvalitete lesnih izdelkov pa predstavlja tudi estetska dovršenost, katero lahko dosežemo z različnimi dekorativnimi premazi. Te lahko ustvarimo tudi z vmešavanjem različnih nano delcev v obstoječ premaz. Mednje sodijo tudi delci z luminiscentnim efektom.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Slovensko podjetje, ki se ukvarja s proizvodnjo pohištva in notranje opreme, želi vpeljati v svojo proizvodnjo premaze z luminiscentnim (fosforescentnim) učinkom. Tak premaz bi uporabljali na frontah ter robovih pohištva otroških sob. Potrebno je poiskati primeren luminiscentni pigment, ga pripraviti za vmešavanje v premaze, ki jih v podjetjih že uporabljajo, nanesti na realne podlage in preveriti nekatere lastnosti utrjenih filmov z luminiscentnim učinkom.

1.2 CILJI NALOGE

Ugotoviti je potrebno primerno frakcijo luminescentnega pigmenta za optimalno vmešavanje v izbrani obstoječi komercialni premaz tako, da ta ne vpliva negativno na formiranje filma in utrjevanje. Potrebno je tudi ugotoviti primerno koncentracijo pigmenta in količino nanosa premaza, da dosežemo optimalni luminiscentni efekt in trajanje le-tega.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Menimo, da je vmešavanje pigmenta z luminiscentnim učinkom v obstoječe premaze možno in da velikost in koncentracija delcev luminiscentnega pigmenta vplivata na efekt luminiscence in na trajanje efekta. Na to vpliva tudi količina nanosa premaza. Predvidevamo, da na luminiscentni efekt in njegovo trajanje vplivajo tudi različne vrste svetlobe (sobna, dnevna, UV), ki jim je izpostavljen luminiscentni premaz.

2 PREGLED OBJAV

2.1 POVRŠINSKA OBDELAVA LESA

Površinska obdelava lesa je ena izmed pomembnejših operacij v procesu izdelave in obdelave lesenih izdelkov. Za doseganje želenega učinka je potrebno dobro poznavanje lastnosti lesa. Poznavanje anatomske zgradbe lesa, fizikalnih, fizikalno-kemičnih in mehanskih lastnosti lesa in tudi drugih nosilnih materialov je potrebno za uspešno in usklajeno načrtovanje in izvajanje površinske obdelave.

Po Kotniku (2003) obsega pojem »površinska obdelava lesa« vse faze tehnološkega procesa, v katerem po določenem sistemu površino izdelka oplemenitimo z brušenjem in glajenjem, nanašanjem različnih tekočih ali pastoznih, barvnih ali brezbarvnih premaznih sredstev, s sušenjem oziroma utrjevanjem in dodelavo končno lakirane površine.

Namen površinske obdelave lesa je:

- estetski – poudarimo teksturo lesa, spremenimo naravno barvo lesa in njegov videz, dosežemo lahko različne stopnje sijaja ipd.;
- zaščitni – les zaščitimo pred delovanjem visokih temperatur, pred različnimi agresivnimi snovmi, pred delovanjem UV žarkov, pred mehanskimi in kemijskimi vplivi okolja. S površinskimi premazi uravnavamo vlažnost lesa in s tem vplivamo na dimenzijsko stabilnost izdelka. Pri lesu, ki je izpostavljen zunanji klimi (padavinam), preprečimo prodiranje vlage v les, s tem pa zmanjšamo možnost okužb z glivami in propadanje lesa zaradi izpiranja;
- omogočimo lažje čiščenje in vzdrževanje lesnih površin;
- izdelku povečamo njegovo tržno vrednost.

Danes je površinska obdelava postala ne le tehnološki, temveč tudi ekonomski izziv, saj se na vse bolj zahtevnih tržiščih pojavlja huda konkurenca. Sodobni trendi pohištvene industrije zahtevajo izvirnost izdelkov (majhne serije, prilagojene željam kupcev) in uvajanje novih oblik in posebnih dekorativnih učinkov (odlične odpornostne lastnosti površine, zelo široka barvna paleta, mehak otip, posebni efekti). Uporabniki so tudi vse bolj ekološko osveščeni in zahtevajo uporabo materialov in tehnologij, ki čim manj obremenjujejo okolje. Proizvajalci se vse pogosteje soočajo z vrsto različnih problemov, ki jih morajo hitro in učinkovito reševati.

Pri odločanju o izbiri ustreznega sistema površinske obdelave moramo:

- upoštevati lastnosti nosilnega materiala oz. podlage (les, lesne plošče, kovina itd.);
- upoštevati dejstvo, da je kakovost površinske obdelave neposredno odvisna od predhodne obdelave in priprave površine (skobljanje, brušenje, glajenje);
- poznati sestavo in lastnosti ter uporabo sredstev (sistemov) za površinsko obdelavo;

- obvladati nanašalne tehnike in nato v okviru lastnih tehnoloških ter ekonomskih zmožnosti, ob upoštevanju zahtev kupca, okoljevarstvenih predpisov in razvojnih trendov, izbrati optimalen sistem površinske obdelave.

Pri delu se moramo nenehno zavedati, da med nosilnim materialom – lesom – in premaznim sredstvom obstaja tesna medsebojna odvisnost (večinoma fizikalne in kemijske narave). Kakovostno bomo les obdelali le, če bomo poznali njegovo zgradbo in obnašanje v času uporabe, če bomo znali predvideti napake in poškodbe, ki se bodo pojavile pozneje, hkrati pa bomo poznali tudi vse lastnosti premazov (kemijsko sestavo, pokrivnost itd.). S pravilno izbranimi materiali in pravilnimi postopki površinske obdelave lahko tudi relativno slabi podlagi močno izboljšamo njene lastnosti in videz, enako pa lahko z neustrezno površinsko obdelavo kvaliteto površine poslabšamo.

Vlažnost lesa je eden najpomembnejših dejavnikov pri končnem učinku površinske obdelave. V preteklosti so bile ravnovesne vlažnosti nekoliko višje (za notranje pohištvo od 10 % do 12 %, za izdelke, izpostavljene zunanji klimi, pa od 12 % do 16 %). Danes velja, da je najprimernejša ravnovesna vlažnost lesa, namenjenega notranjim prostorom, za površinsko obdelavo od 6 % do 8 %. Zahtevane vrednosti lahko zagotovimo s klimatizacijo proizvodnega procesa in s stalno kontrolo vlažnosti. Posebej je pomembno, da imajo vsaj približno enako ravnovesno vlažnost tisti obdelovanci, ki sestavljajo izdelek; le tako se lahko izognemo neželenim učinkom in napakam v površinski obdelavi.

V zadnjem času se tudi zunaj ozko specializirane strokovne javnosti vse pogosteje pojavljata izraza nano materiali in nanotehnologija, izdelki na osnovi nano materialov pa prodirajo in se že uporabljajo v komercialne namene. Snovi, ki vsebujejo nano delce, imajo lahko popolnoma drugačne, nove lastnosti ali pa z nanotehnologijo močno izboljšamo oziroma popravimo pomanjkljivosti materialov, ki že obstajajo. Tako lahko izboljšamo mehanske lastnosti, gostota in toplotna prevodnost pa se sočasno znižata. Nano delci so se komercialno najprej pojavili prav v površinskih premazih, tudi v premazih za les (Petrič, 2007).

2.2 SESTAVA POVRŠINSKIH PREMAZOV

Premaz oziroma premazno sredstvo je splošen izraz za snov, ki jo v tanki plasti nanesemo na površino lesa in po postopku utrjevanja tvori na površini tanek utrjen film. Lastnosti utrjenega lak filma so odvisne od lastnosti osnovnih sestavin premaza.

Kotnik (2003) opredeljuje, da so premazna sredstva sestavljena iz:

- hlapnih sestavin, ki po nanosu izhlapijo,
- nehlapnih sestavin, ki ostanejo na površini lesa in tvorijo film z določenimi lastnostmi.

2.2.1 Hlapne sestavine

K hlapnim sestavinam prištevamo topila, redčila ter različne produkte, ki nastanejo med utrjevanjem premazov (produkti polikondenzacije, najpogosteje je to voda ali različni amini).

Topila so hlapne organske tekoče spojine (polarne ali nepolarne), v katerih se polimerna veziva fizikalno raztapljajo. Čim močnejše je topilo, tem nižjo viskoznost ima raztopina polimera enake koncentracije. Sestava topil v premazu določa njegove aplikacijske lastnosti in potek sušenja oz. utrjevanja. Topnost organskih topil v vodi je pomemben podatek pri čiščenju tehnoloških odpadnih vod iz brizgalnih kabin z vodnim izpiranjem aerosola laka. Topnost v vodi je zelo različna, saj se močno polarna topila popolnoma topijo v vseh razmerjih mešanja, nepolarna pa se ne topijo ali pa se topijo zelo slabo.

Redčila so hlapne organske tekoče spojine ene vrste ali zmesi, ki same polimera ne topijo (ali pa le slabo), so pa primerne za redčenje raztopin. Navadno izparijo hitreje od pravih topil, kar je ugodno za sušenje. Pri visokem razredčenju pa lahko postane vezivo netopno in se izloči iz raztopine. To je treba upoštevati pri redčenju in čiščenju opreme. Redčila raztopin določenih veziv so lahko topila za druga veziva. Redčila so namenjena uravnavanju delovne viskoznosti premaza, ki je potrebna za optimalno nanašanje na površino. Pri vodnih sistemih je redčilo voda.

V pohištenih vrstah lakov se kot topilo in redčilo najpogosteje uporabljajo:

- acetatni estri (etilacetat, butilacetat, metilglikolacetat, etilglikolacetat),
- ketoni (aceton, metilietil- in metilizobutylketon, cikloheksanon),
- alkoholi (etanol, butanol, propanol),
- aromatski ogljikovodiki (toluen, ksilen),
- alifatski ogljikovodiki (lak-bencin),
- zaradi varovanja okolja pa se vedno pogosteje uporablja tudi voda.

Poleg sintetičnih poznamo tudi naravna topila:

- etanol – etilalkohol [C_2H_5OH], je brezbarvna nevtralna tekočina, ki so ga pridobivali izključno z alkoholnim vrenjem. Danes je osnovna surovina v kemični industriji, pridobivajo pa ga sintetično.
- terpentinsko olje [$C_{10}H_{16}$] – terpentini so pridobivali z destilacijo balzama (borovega, macesnovega, smrekovega). Sestava terpentina je odvisna od drevesne vrste, predvsem pa vsebuje monoterpene in limonen. Terpentinska olja imajo močan in prijeten vonj, ki se razlikuje glede na sestavo hlapnih sestavin. Terpentinska olja so tekočine, čeprav so nekatere njihove sestavine pri normalni temperaturi trdne. Terpentinsko olje na zraku oksidira, zato ga dodajamo premazom, ker pospešuje utrjevanje premazov in povečuje oprijemnost na podlago. Uporabljamo ga kot topilo in razredčilo za pripravo emulzij naravnih smol (Božičko, 2003).

Najpomembnejše lastnosti topil so njihove topnostne lastnosti, viskoznost, hlapnost, temperatura vrelišča in vnetišča, toksičnost, vonj in cena.

2.2.2 Nehlapne sestavine

Po utrjevanju premaza tvorijo na površini film premaza z določenimi lastnostmi. Skupno množino nehlapnih komponent imenujemo tudi »suha snov« ali »telesnina«.

Veziva so snovi z zaščitnimi lastnostmi, ki so odvisne od vrste in lastnosti veziva, ki po osušitvi tekočega premaza povežejo vse nehlapne sestavine v sloj.

V starejših premazih so kot vezivo uporabljali:

- recentne in fosilne naravne smole (kolofonija, kopal, sandarak),
- nenasičena olja (laneno, ricinovo, sojino) in
- voske (šelak, čebelji vosek).

Po prvi svetovni vojni so naravne smole izpodrinile novejša sintetična smole (nitroceluloza in alkidne smole).

Danes se pri izdelavi lakov za površinsko obdelavo uporabljajo predvsem polimerizacijski in polikondenzacijski produkti, ki jih še vedno izpopolnjujejo.

Pigmenti so trdne, praškaste, sintetične ali naravne barvne spojine, ki so netopne v sestavinah premazov, dajejo pa jim barvo in krhkost.

Uporabljajo se:

- anorganski pigmenti, ki so lahko mineralnega izvora (kreda, železov oksid), pogosteje pa sintetičnega (titanov oksid, litopon, železovi oksidi, cinkovo belilo itd.). K sintetičnim spadajo tudi kovinski pigmenti (ploščati delci aluminija, bakra in bakrovih zlitin) za filme s kovinskim in bisernim oz. »perla« videzom.
- organski pigmenti so trdne barvne organske spojine, ki so vedno pomembnejši za doseganje čistih, živih barvnih tonov. Saje se najpomembnejši črn pigment organskega izvora.

V premazih se običajno uporabljajo kombinacije obeh vrst pigmentov. Pigmenti ne smejo poslabšati lastnosti filmov premazov, imeti morajo svetlobno odpornost, ne smejo izplavljati na površino ali se usedati ter ne smejo vsebovati težkih kovin. Pri pigmentih je pomembna lastnost pokrivnost ali tudi kritnost, ki je sposobnost prekrivanja podlage. Z drobljenjem pigmentov v manjše delce pokrivnost narašča, dokler ne dosežemo največje vrednosti, ko je velikost večine delcev v smeri vpadne svetlobe približno enaka njeni valovni dolžini. Pri nadaljnjem drobljenju v dimenzijo, enako ali manjšo od polovice valovne dolžine svetlobe, pa postajajo delci pigmenta prosojni in pokrivnost se zmanjša. Tako fino drobljeni pigmenti se uporabljajo za izdelavo transparentnih ali lazurnih premazov. Oblika in velikost delcev vplivata tudi na viskoznost – z zmanjšanjem delcev viskoznost narašča.

Polnila ali ekstenderji so pigmentom podobne snovi, ki pa nimajo skoraj nikakršne sposobnosti pokrivanja, izboljšajo pa učinek pokrivanja pigmentov, preprečujejo usedanje

in izplavljanje pigmentov, povečajo sposobnost zapolnjevanja površine, povečajo viskoznost, omogočajo hitrejše sušenje, izboljšajo brusnost itd. Najbolj znana polnila so naravni in sintetični alumosilikati, dolomit, kreda itd.

Dodatki ali aditivi so različne snovi z različnimi vlogami v premazih:

- mehčala ali plastifikatorji vplivajo na končno trdoto premaza,
- sikativi pospešujejo utrjevanje,
- anti-flokulanti preprečujejo prehitro usedanje trdnih delcev v premazu,
- UV-absorberji in lovilci radikalov povečujejo odpornost premazov proti razkroju zaradi delovanja UV-žarkov,
- biocidi povečujejo odpornost premaza proti biološkemu razkroju in ščitijo les pred škodljivci itd.

2.3 NANOTEHNOLOGIJA

Nanotehnologijo bi gotovo lahko poimenovali tehnologija 21. stoletja. Čeprav začetki razvoja nanotehnologije segajo v zadnji desetletji prejšnjega stoletja, prav v zadnjih letih razvoj nanotehnologije in nanomaterialov dosega silovit razmah. Rezultati tega razvoja preko komercialnih aplikacij že posegajo v naša vsakdanja življenja. Prav področje lesarstva je eno izmed področij, kjer so se nanotehnologije in nanomateriali že kar dobro uveljavili.

Nanotehnologija je interdisciplinarna veja temeljnih in aplikativnih znanosti, s katero lahko nadzorujemo in kontroliramo snov na submikroskopskem, atomarnem in molekularnem dimenzijskem nivoju. Od tod tudi ime. Predpona nano prihaja iz mednarodnega sistema enot in pomeni 10^{-9} . To je značilen dimenzijski nivo v svetu atomov in molekul. Gre torej za manipulacijo, sintezo in kontrolo snovi na ravni posameznih molekul oz. nanometrskih dimenzij. Nanotehnologija se pojavlja na vseh področjih industrije od kemijske in tekstilne industrije, računalništva in informatike, do transporta, energetike in avtomobilske industrije, še posebej na področju farmacevtske in obrambne dejavnosti. Omogoča izdelavo materialov ali naprav, ki so lažje, hitrejše, močnejše, ki imajo popolnoma nove ali dodatne, specifične lastnosti. Nanoznanost pojasnjuje nove pojave in lastnosti (fizikalne, kemijske in biološke) na nanometrskem dimenzijskem nivoju.

Nanomaterial je snov, ki vsebuje nanostrukture dimenzij med 1 nm in 100 nm. Natančneje, velikost vsaj ene izmed dimenzij nanostrukture mora biti manjša od 100 nm. 100 nm je dimenzijska meja, pri katerih se lastnosti nanomateriala bistveno razlikujejo od lastnosti masivnega materiala. Zaradi svojih izredno majhnih dimenzij imajo namreč nanomateriali drugačne lastnosti od običajnih materialov. Nanostrukture so lahko plastovitih oblik, v obliki nanocevk in nanovlaken ter kot tridimenzionalni nanodelci. Za plastovite nanostrukture je značilno, da je debelina plasti manjša od 100 nm. V to skupino sodijo npr. nanofilmi ali nano površinski premazi. Slednjih ne smemo mešati z »nano premazi«, ki to niso glede na debelino plasti temveč jih tako imenujemo zaradi vsebnosti nanodelcev v filmu premaza. Snovi, ki imajo nanovelikostni nivo v dveh dimenzijah, so nanocevice in nanovlakna. Nanocevice so drobne, votle cevaste strukture, katerih premer ima dimenzijo reda velikosti 1 nm. Nanocevice bi lahko smatrali kot v svitke zvite nanoplasti, ki so zgrajene

iz atomov Najbolj poznane so nanocevkke, ki so zgrajene iz ogljikovih atomov. Materiali, ki so zgrajeni iz cevastih nanostruktur se odlikujejo po svoji nizki gostoti, ki je šest krat nižja od gostote jekla ter po izjemni trdnosti, ki je v primerjavi s trdnostjo jekla kar 200-krat višja. Tako bodo nanocevkke verjetno nadomestile polprevodniške materiale na osnovi silicija.

Dva glavna dejavnika, katerih posledica so bistveno drugačne lastnosti nanomaterialov v primerjavi z lastnostmi klasičnih materialov sta: zelo velika relativna velikost površine nanoobjektov v primerjavi z njihovim volumnom ter različni kvantni pojavi, ki v makro svetu ne pridejo do izraza. Ko se velikost delca manjša, se delež atomov na površini večja. Tako ima npr. nanodelec velikosti 30 nm na svoji površini 5 % vseh atomov nanodelca, pri 10 nm je takih atomov 20 %, pri 3 nm kar 50 %. Ker različne katalitske reakcije potekajo na površini, bodo snovi z nanodelci mnogo bolj reaktivne od klasičnih materialov. Različni kvantnomehanski učinki se npr. močno odražajo na elektronskih lastnostih nanomaterialov.

Nanotehnologija in nanodelci izkazujejo tudi številne možnosti v povezavi z optičnimi fenomeni, tako tudi z barvo površinskih premazov za les. Pigmentni delci v premazih lahko absorbirajo in odbijajo svetlobo določene valovne dolžine, kar je povezano z barvo premaza.

Tako imenovani kromogeni materiali na osnovi nanodelcev spreminjajo svoje optične lastnosti, tudi barvo, če se kakorkoli spremeni energija, ki jo dovajamo na material oz. premaz. Razlike v optičnih lastnostih in barvi lahko povzročijo spremembe intenzitete vpadne svetlobe, električno polje oz. naboj, ki ga dovedemo na premazni material, temperatura, mehanske obremenitve ter spremembe v kemijskem okolju, v katerem se nahaja premazni material. S tem v zvezi govorimo o fotokromnih, elektrokromnih, termokromnih, mehanokromnih in kemokromnih premazih.

Nanomateriali v premazih lahko izvršujejo dikroizem, antirefleksne, UV absorpcijske in druge optične funkcije. S tem v zvezi naj še posebej opozorimo na pojav, ki ga omogočajo nanodelci v premazih, da je barva površine premaza odvisna od kota opazovanja (dikroizem). Fotokromni premazi pa pasivno spreminjajo barvo v odvisnosti od izpostavljenosti različno intenzivni svetlobi iz različnih naravnih in umetnih virov.

Drug pojav, ki je pomemben, je luminiscenca. Fluorescenca je oblika luminiscence, pri kateri premaz izseva svetlobo praktično v istem trenutku, ko ga obsevamo s svetlobo iz zunanjega vira. Pri fosforescenci pa premaz svetlobo po obsevanju iz zunanjega vira, seva počasneje in dalj časa. V obeh primerih, tako pri fluorescenci kakor tudi pri fosforescenci, material absorbira energijo (npr. iz zunanjega svetlobnega vira) in jo nato reemitira v obliki svetlobe. Glede na zunanji vir energije ločimo kemiluminiscenco, elektroluminiscenco, fotoluminiscenco, ipd. Za nas je seveda zanimiva fotoluminiscenca. Tako npr. lahko fosforescenčne premaze, ki »se svetijo v temi«, izdelamo z dodajanjem nanofosforjevih delcev v premazno formulacijo (Petrič in sod., 2009).

2.4 KAJ JE LUMINISCENCA

Termin luminiscenca (slika 1) je leta 1888 uvedel nemški fizik Eilhard Wiedemann.



Slika 1: Številčnica in kazalci na uri svetita zaradi luminiscenčnega barvila (Flinch, 2008)

Luminiscenca je fizikalni pojav, pri katerem snov, ki ni močno segreta, seva svetlobo. V zvezi s tem se luminiscenci reče tudi hladna svetloba. Natančneje povedano se del prejete energije (preden se porazgubi po snovi v obliki toplote) preoblikuje v obliki svetlobe, ki jo snov oddaja. To omogočajo t. i. luminiscentni (lahko tudi luminiscenčni) oz. optični centri (aktivatorji), ki povzročajo dodatna, izrazito ločena energijska stanja (izolacijski nivoji), ki se vzbudijo z absorpcijo energije in se nato z emisijo svetlobe ponovno vrnejo v osnovna energijska stanja. Ti aktivatorji so lahko kemične snovi, električno polje, fotoni, točkasti defekti, dislokacije v kristalih ali mehansko obdelovanje. Dolga leta je bila radioaktivnost mišljena kot ena vrsta radioluminiscence, vendar sta ta pojma danes ločena, saj radioaktivnost ne zajema le elektromagnetnega valovanja. Dandanes se luminiscenco izrablja predvsem za namene osvetljevanja (FMS, 2013).

2.5 VRSTE LUMINISCENCE

Vrste luminiscence razdelimo med seboj glede na vrsto dovedene energije. Po Newtonu (1957) poznamo 5 glavnih skupin, in sicer luminiscence, inducirane s toploto, sevanjem, električnimi pojavi, strukturnimi prerazporeditvami v trdninah ali s kemijskimi reakcijami (preglednica 1). Tiste, ki so inducirane s toploto, moramo strogo ločiti od pojava inkandescence, tj. belega žarenja, ki nastane pri visokih temperaturah, kot npr. pri kovinski nitki v žarnici. Glavne vrste luminiscence so torej:

- Elektroluminiscenca
 - Katodna luminiscenca
- Fotoluminiscenca
 - Fluorescenca
 - Fosforescenca
- Kemiluminiscenca (oksiluminiscenca)
 - Bioluminiscenca (organoluminiscenca)
 - Elektrokemiluminiscenca
- Mehanoluminiscenca
 - Fraktoluminiscenca
 - Piezoluminiscenca
 - Sonoluminiscenca
 - Triboluminiscenca
- Radioluminiscenca
- Termoluminiscenca

Obstaja še več manj znanih vrst, kot sta kristaloluminiscenca in lioluminiscenca, ki se nanašata na oddajanje svetlobe med kristalizacijo ali razkrojem kristala.

Preglednica 1: Klasifikacija luminiscence (Newton, 1957)

Tip	Osnova svetlobnega oddajanja	Primer
A. Povezano s segrevanjem (drugače od belega žarčenja)		
1. Kandoluminiscenca	luminiscenca žarilnih trdnin, ki oddajajo svetlobo pri krajših valovnih dolžinah kot pričakovano	segret ZnO
2. Piroluminiscenca	luminiscenca kovinskih atomov v plamenu	rumeni Na plamen
3. Termoluminiscenca	luminiscenca, pri kateri je absorbirana svetloba oddana zaradi segrevanja	segreti diamant
B. Povezano s sevanjem (fluorescenca – kratkotrajni učinek; fosforescenca – dolgotrajni učinek)		
1. Fotoluminiscenca	obsevanje z UV žarki ali vidno svetlobo	bolonjski kamen (BaSO_4)
2. Katodoluminiscenca	obsevanje z elektroni	televizijski zaslon
3. Anodoluminiscenca	obsevanje z nevtroni	cinkov sulfid, fosfor
4. Radioluminiscenca	obsevanje z gama ali rentgenskimi žarki	lumino barva
C. Povezano z električnimi pojavi		
1. Elektroluminiscenca	luminiscenca, povezana z električnim poljem	LED svetilke
2. Galvanoluminiscenca	luminiscenca med elektrolizo	elektroliza NaBr
3. Sonoluminiscenca	luminiscenca pri krčenju mehurčkov v tekočini zaradi vzbujanja z zvokom	ultrazvočna sonda v čistem glicerolu
D. Povezano s strukturnimi prerazporeditvami v trdninah		
1. Triboluminiscenca	luminiscenca pri tresenju, drgnjenju ali drobljenju	rahlo tresenje uranilovega nitrata, $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
2. Kristalo(= tribo-) luminiscenca	luminiscenca s kristalizacijo	HCl ali dodajanje etanola k NaCl, KCl
3. Frakto(= tribo-) luminiscenca	luminiscenca pri razbitju kristalov	LiCl ali KCl, obarvana pri obsevanju z katodnimi žarki
E. Povezano s kemijskimi reakcijami		
1. Kemiluminiscenca (oksiluminiscenca)	kemijska reakcija	luminol + H_2O_2 in katalizator
2. Bioluminiscenca (organoluminiscenca)	luminiscenčni organizmi	O_2 + luciferin morske kresničke (Vagula)

2.5.1 Elektroluminiscenca

Elektroluminiscenca je pojav, ki nastane pod vplivom močnega električnega polja ali električnega toka (npr. razelektrenja), pri katerem elektroni sproščajo svojo energijo v obliki fotonov.

Primeri elektroluminiscentnih materialov so:

- cinkov sulfid, ki s pomočjo bakra (Cu) in broma (Br) emitira modro svetlobo ($0,463\ \mu\text{m}$), z bakrom in klorom (Cl) zeleno svetlobo ($0,524\ \mu\text{m}$) ter rumeno svetlobo ($0,592\ \mu\text{m}$), če je dodan še mangan (Mn),
- polprevodniki od III.-V. skupine periodnega sistema elementov, kot so galijev(III) nitrid (GaN) ter galijev(III) arzenid (GaAs),
- naravni modri diamant.

Praktično se elektroluminiscenca uporablja za osvetlitev zaslonov LCD, npr. pri ročnih urah, žepnih računalnikih, termostatih in na nadzornih ploščah pri vozilih. Pogosta je tudi uporaba pri nočnih svetilkah, ki za razliko od neonskih in fluorescenčnih svetilk ne potrebujejo dodatne vezave ohmskega upornika zaradi možnosti kratkega stika. Poseben primer elektroluminiscence je katodna luminiscenca. Pri tem snov (katodo) obstreljujemo s pospešenimi elektroni ali drugimi električnimi delci: zaradi tega del snovi krajevno izpari in v močnem električnem polju se elektroni z močjo nekaj kV močno pospešijo in se gibljejo v premem curku, pravokotno stran od katode (katodni žarki), ne glede na lego in obliko anode. Najpogostejša uporaba tega je pri svetlobnih zaslonih katodne cevi, npr. TV ekrana (Kladnik, 1991).



Slika 2: Uporaba katodne luminiscence za projiciranje slike na TV zaslon (Richter, 2006)

2.5.2 Fotoluminiscenca

Fotoluminiscenca je posledica obsevanja snovi s kratkovalovno svetlobo, ultravijoličnimi (UV), rentgenskimi ali gama (γ) žarki, kjer snov zaradi obsevanja absorbira fotone, skoči v višje energijsko stanje in nato odda fotone, pri čemer se zopet vrne v osnovno energijsko stanje. Najpreprostejša vrsta je resonančna radiacija, pri kateri so fotoni določene valovne dolžine absorbirani in nato ekvivalentno emitirani, to se pravi izsevani z enako valovno dolžino. Proces ne zajema nobene notranje energijske pretvorbe in emisija poteka zelo hitro (približno 10 nanosekund) (Kladnik, 1991).

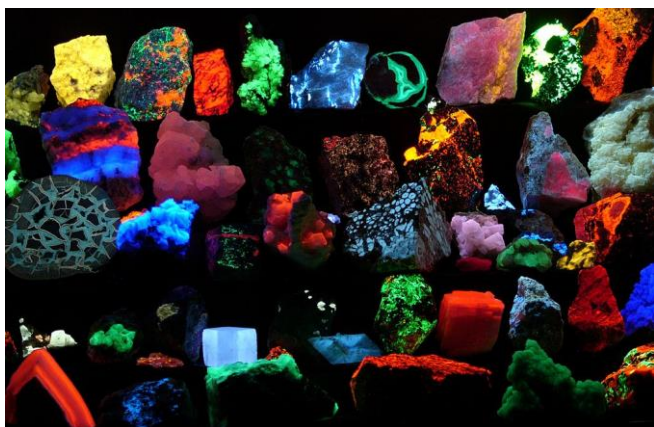
Naslednji dve vrsti pa zajemata notranjo energijsko pretvorbo in se po tem tudi ločita. To sta:

- fluorescenca
- fosforescenca

Fluorescenca je fizikalni pojav, pri katerem snov seva fotone z daljšo valovno dolžino, kot je valovna dolžina absorbiranega vzbujevalnega sevanja oz. pri katerem je energija izsevanih fotonov manjša od energije absorbiranih fotonov. Razlog za to je ta, da fotoni ne prehajajo direktno v osnovno stanje, pač pa preko dveh ali več vzbujenih stanj.

Načeloma lahko fluorescira vsaka snov, pogoj pa je le nekaj ostro definiranih in razmaknjenih energijskih stanj oz. odsotnost zveznega emisijskega spektra. V slednjem primeru lahko ločena energijska stanja ustvarimo z dodatkom aktivatorjev. Barva fluorescirane svetlobe je seveda odvisna od vrste snovi, od kemične narave in koncentracije aktivatorjev ter vrste vpadnega sevanja. Tako antracen fluorescira vijolično pri obsevanju z UV žarki, z dodatkom naftalina pa zeleno. Organske snovi, kot so npr. človeški lasje ali zobje, fluorescirajo blede modrikasto svetlobo. Povečini se vpadno sevanje pri vseh snoveh prenese s trki na molekule aktivatorjev, ki določajo sevano svetlobo.

Fluorescenca je praktično ena najuporabnejših vrst luminiscenc, saj je snov najlažje vzbuditi z obsevanjem. Zelo razširjena je uporaba navadnih fluorescenčnih svetilk, ki oddajajo belo svetlobo, kar je posledica primerne kombinacije različnih aktivatorjev. Na enak način delujejo moderne kompaktne fluorescenčne luči, ki pa vsebujejo živo srebro (Hg), vendar so energetsko zelo učinkovite. Slednji element vsebujejo tudi ulične svetilke, le da je element v plinastem stanju. Fluorescenco uporabljajo tudi v biokemiji in medicini (za fluorescenčne mikroskope, obarvanje in določanje celic, njihovih struktur in DNK) ter gemologiji, geologiji, mineralogiji in sodni medicini.



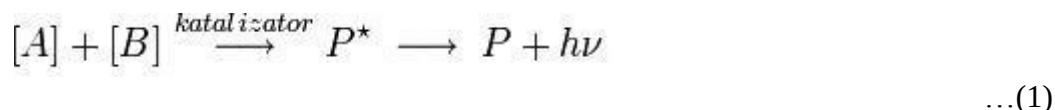
Slika 3: Zbirka različnih mineralov, ki so pod vplivom osvetlitve z UV-A, UV-B in UV-C žarki fluorescirali (Grobe, 2005)

Fosforescenca se od fluorescence razlikuje po tem, da absorbirane energije ne seva takoj. Počasnejše emitiranje fotonov je posledica zadrževanja elektronov v t. i. metastabilnih stanjih, ki pa jih vzbujeni elektroni sčasoma preskakujejo oz. prehajajo, da se absorbirana energija sprostí. Ime pojava izvira od belega fosforja, ki v temi medlo svetli, pri obsevanju z UV žarki pa intenzivno (Kladnik, 1991).

2.5.3 Kemiluminiscenca

Kemiluminiscenca je sevanje značilne svetlobe, kot posledica kemične reakcije v snovi. Navadno sta za pojav potrebna dva reaktanta, poleg tega pa je za potek reakcije potreben tudi ustrezen katalizator. Pri tem nastane vmesni vzbujeni produkt, ki po prehodu v osnovno stanje odda foton določene valovne dolžine.

To lahko zapišemo kot:



Pri čemer je:

- [A] reaktant A,
- [B] reaktant B,
- P^* vzbujeni produkt,
- P produkt v osnovnem stanju,
- $h\nu$ oddani foton.

Standardni primer kemiluminiscence v laboratorijskih pogojih je test z luminolom, ki se uporablja za dokazovanje krvi na dokaznem predmetu; pri tem je za reakcijo (aktivacijo) potreben vodikov peroksid (H_2O_2), kot katalizator pa deluje železov ion v hemoglobinu. Kemiluminiscenca v živih organizmih (npr. pri kresnicah) se imenuje bioluminiscenca. Praktična izraba pojava je značilna za kemične svetilke, ki se navadno uporabljajo kot vir svetlobe v nujnih primerih, na primer v naravnih katastrofah.

V določenih živih organizmih poteka kemiluminiscenca, ki jo imenujemo bioluminiscenca. V osnovi procesa nastopajo substrati, kolektivno imenovani luciferini, v katere se s pomočjo encima luciferaza vgradi kisik (O_2), kar povzroči nastanek vzbujenega produkta, ki pri prehodu v osnovno stanje odda foton. Pojav je izrabljen za privabljanje drugih organizmov za namene parjenja ali prehranjevanja, pa tudi za obrambo in komunikacijo.



Slika 4: Bioluminiscenca pri kresnici (Art, 2006)

Bioluminiscenca je v splošnem oddajanje svetlobe pri živih bitjih, ki nastane pri pretvorbi kemične energije v svetlobno. Pri tem je udeležen encim luciferaza, kemično energijo pa večinoma posreduje adenozin trifosfat (ATP). Bioluminiscenca vsakega organizma je edinstvena v valovni dolžini, trajanju, oddanih vzorcih in uravnavanju (regulaciji) procesa. Barvni spekter oddane svetlobe sega od rubinasto rdeče barve pri hrošču *Phrixothrix tiemanni* do modre pri dvokrilcu *Orfelia fultoni*. Pri mnogih organizmih je bioluminiscenca izrabljena za privabljanje drugih organizmov za namene parjenja ali prehranjevanja, pa tudi za obrambo in komunikacijo. Bioluminiscenčne organizme najdemo v vseh kraljestvih, torej pri živalih, rastlinah, glivah in bakterijah.



Slika 5: Bioluminiscenca planktona v obalnem pasu morja (Catalano, 2008)

Na mnogih področjih znanosti, še posebno v medicini in genskem inženirstvu, je bioluminiscenca izkoriščena za različne namene, kot na primer pri preučevanju patogenetskih mehanizmov povzročiteljev bolezni, odpornosti bakterij proti antibiotikom in učinkovitosti zdravil z delovanjem na novotvorbe pri zdravljenju rakastih obolenj (Lloyd in Gentry, 2003).

2.5.4 Mehanoluminiscenca

Triboluminiscenca je optični fenomen, pri katerem svetloba nastaja v primeru lomljenja, raztrganja, praskanja, zdrobljenja in drgnjenja določenega materiala. Na molekularnem nivoju pride do prekinitev kemijski vezi, zaradi česar se elektroni po tem zopet združijo, pri tem pa ionizirajo neposredno okolico, energija pa se sprosti v obliki fotonov. Znan primer triboluminiscence je drgnjenje kristala kamene strele, minerala silicijevega dioksida (SiO_2), pri katerem nastane značilna rumeno-oranžna svetloba. Triboluminiscenco se pogosto enači s fraktoluminiscenco, ki se v ožjem smislu nanaša na nastanek svetlobe pri razbitju kristalov. V nasprotju s tem se triboluminiscenca razlikuje od piezoluminiscence, saj gre pri slednji za nastanek svetlobe pri deformaciji materiala, tj. pri prerazporeditvi kemijskih vezi, in ne za mehansko obdelovanje, katerega posledica je pretrganje vezi. Omenjene tipe luminiscenc uvrščamo zaradi mehanizma vzbujanja svetlobe v mehanoluminiscence (Kricka in sod., 1999).

Primeri triboluminiscenčnih materialov:

- Pri zdrobljenju kristalčkov sladkorja v temnih pogojih nastane šibka modra svetloba, ki postane dobro vidna po dodatku metilsalicilata (npr. v ameriških trdih bombonih Wint-O-Green Life Savers)
- Kristali uranilovega nitrata(V) ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$) so obarvani citronsko rumeno, ki sicer po osvetlitvi z ultravijolično (UV) svetlobo ($\sim 366 \text{ nm}$) fluorescirajo zeleno, prav tako pa pride z drobljenjem do zelene triboluminiscence v temnih pogojih
- Kristali nikotinovega salicilata so obarvani rožnato in kažejo modro-belo triboluminiscenco pri drobljenju (Gil, 1978).

2.5.5 Radioluminiscenca

Radioluminiscenca je pojav, pri katerem snov oddaja svetlobo zaradi vpliva ionizirajočega sevanja. Ionizacijski delec trči z atomom ali molekulo in s tem povzroči prehod orbitalnega elektrona na vzbujeno stanje. Po prehodu na osnovno stanje sprosti odvečno energijo kot foton določene valovne dolžine.

Običajni radioluminiscenčni material so luminiscenčna barvila (luminofori), ki oddajajo svetlobo zaradi tritija, in se uporabljajo za osvetljevanje številčnice in kazalcev na uri ter merkov na orožju. Nekdaj se je pri urah uporabljala tudi mešanica cinkovega sulfida, radija in bakra.

Radioluminiscenca je tudi uporabna za merjenje submikroskopskih razdalj in transportov na molekularnem nivoju, ki jih ni mogoče analizirati z drugimi tehnikami. Tako se lahko analizira npr. kinetiko izmenjave lipidov med vezikli, mehanizem vezave ligandov in membranskega transporta ter razdaljo med glikokaliksom in lipidnim dvoslojem (Shahrokh in sod., 1992).

2.5.6 Termoluminiscenca

Termoluminiscenca je vrsta luminiscence, pri kateri je absorbirana svetloba oddana zaradi segrevanja. Pri nekaterih mineralih, kot je fluorit, so določene napake v kristalnem sistemu, ki motijo regulacijo električnega polja. Pri obsevanju z ionizirajočim sevanjem, naravno zaradi kozmičnih žarkov in naravno prisotnih radioaktivnih elementov, preidejo elektroni v vzbujeno stanje, kjer se lahko prosto premikajo (so torej prosti elektroni). Večina se jih rekombinira z ioni v kristalu, nekaj pa je ujetih v metastabilnem stanju zaradi napak v zgradbi kristala. Pri segrevanju elektroni prejmejo potrebno energijo za pobeg iz tega stanja in se rekombinirajo z ioni; tako preidejo v osnovno stanje, presežek energije pa je oddan v obliki fotona.

Termoluminiscenco se lahko uporabi pri t. i. termoluminiscenčnem datiranju, kjer radiokarbonsko datiranje ni možno, npr. pri sedimentih. Intenziteta oddane svetlobe je sorazmerna s prejetim sevanjem skozi čas. Tako se lahko določi starost predmetov, ki so bili v preteklosti segreti (npr. lončarski izdelki), saj od tistega trenutka naprej, ko je predmet segret, začne na novo prejemati sevanje iz okolja. Izsevane fotone in s tem količino sevanja se lahko zazna s termoluminiscenčnim dozimetrom (Aitken, 1985).

2.6 LUMINISCENTNI FILMI

Huang s sodelavci (2009) navaja, da močne luminiscenčne efekte v premazu zagotavlja prisotnost nanodelcev, ki vsebujejo Eu(III). Tudi Buisette in sod. (2005) so luminiscenčnost filmov zagotovili s prisotnostjo ionov evropija (Eu), poleg tega pa še drugih snovi, kot so npr. z lantanidi dopiranih vanadatov in fosfatov. Velikost dodanih nanodelcev je bila pod 10 nm.

O organsko-anorganskih hibridih, ki sproščajo svetlobo, poročajo v preglednem članku tudi Lin in Wang (2009). Pregled je osredotočen predvsem na Ln vsebujoče hibride na osnovi siloksanov.

V poštev za izdelavo luminiscenčnih premazov pride tudi ZnO v obliki nanodelcev (Nikitenko, 1992). Bünzli in sodelavci (2007) pišejo o osupljivih optičnih lastnostih lantanidnih ionov, ki jih lahko med drugim uporabimo tudi v luminiscenčnih premazih.

O pripravi in karakterizaciji luminiscenčnih materialov na akrilni osnovi poročajo Fang in sod. (2008). Premer dodanih nanoorganskih luminiscenčnih aditivov je znašal med 20 nm in 100 nm. O že omenjenih evropijevih dodatkih za luminiscenco pišejo še Qiu in sod. (2008). Sintetizirali so ternarni kompleks $\text{Eu(AM)}_2(\text{HDBA})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, katerega potencialna uporaba je v luminiscenčnih premazih.

Z meritvami na osnovi fotokromnega efekta pa sta se ukvarjala Kim in Kim (2006). Fotokromna barvila barvo spreminjajo reverzibilno, glede na izpostavitve svetlobi različnih valovnih dolžin. Fotokromno aktivacijo barvil bi bilo možno izrabiti v namene merjenja debeline premaza, seveda pa bi lahko rešitve iz članka lahko uporabili tudi za doseganje fotokromnega učinka premazov. Uporabili so komercialno dosegljiva fotokromna barvila iz serij Sigma–Aldrich Inc.: 32254-7 of SO (spironaftoksazin) in 32256-3 of SO-ANTH (spiroantraoksazin).

Z nanoraziskavami na področju tekstila in vlaken, ki pa bi jih lahko prenesli tudi na področje premazov za les, sta se ukvarjala Lin in Wang (2009). Poročata o fotokromnem tekstilu, kar so dosegli z nanodelci ZnO in SiO_2 .

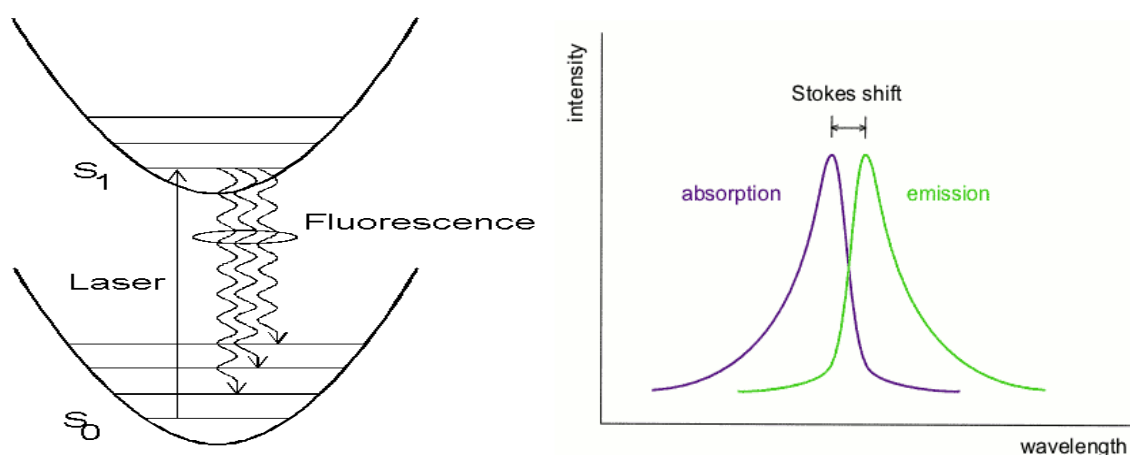
Tudi s področja tekstilstva, z možno aplikacijo v lesarstvu, je še članek Textorja in sod. (2003). Avtorji so s sol-gel tehniko na površine nanесли z nanodelci modificirane alkoksasilane. Možno je bilo vključiti tudi fotokromna barvila, tako da so naredili fotokromni tekstilni material.

2.7 FLUORESCENČNA SPEKTROSKOPIJA

Fluorescenčna spektroskopija je eno osnovnih raziskovalnih orodij v biokemiji in biofiziki. V zadnjih dvajsetih letih se je uporaba fluorescence v bioloških raziskavah znatno povečala in se kot glavna metoda uporablja še v biotehnologiji, medicinski diagnostiki, genski analizi, ipd. Dobra lastnost pri detektiranju fluorescence je visoka občutljivost, ker fluorescenčni signal načeloma nima ozadja (Lakowicz, 2008).

Molekule zasedajo različna energijska stanja, ki jim pravimo energijski nivoji. Večina jih v ravnovesnem stanju zaseda najnižja energijska oz. elektronska stanja, ko pa jih obsevamo s primernim elektromagnetnim valovanjem, preidejo v energijsko višja (npr. iz $n = 1$ na $n = 2$). Molekule imajo poleg elektronskih še vibracijska in rotacijska stanja, katerih energijski prehodi so veliko manjši. Ker molekule med seboj trkajo, izgubljajo vibracijsko energijo oz. preidejo v najnižje vibracijsko stanje vzbujenega elektronskega stanja. Molekula sčasoma preide v najnižje oz. osnovno elektronsko stanje, pri tem pa emitira foton (slika 6). Ker je v osnovnem energijskem stanju možnih več vibracijskih stanj, je energija fotonov in s tem njihova frekvenca lahko različna. Posledično lahko pri fluorescenčni spektroskopiji z analiziranjem frekvenc emitirane svetlobe in njihovih relativnih intenzitet določimo strukturo različnih vibracijskih nivojev.

Z analizo spektra lahko kvantitativno določimo količino fluorescenčnih delcev v vzorcu. Razmerje med fluorescenčno intenziteto in koncentracijo teh je: $F = kQP_0(1 - 10^{-Qbc})$ kjer F predstavlja izmerjeno fluorescenčno intenziteto, k geometrijski faktor, Q kvantni izkoristek (razmerje števila izsevanih in absorbiranih fotonov), P_0 (W) moč izvora svetlobe, Q (m^{-1}) absorpcijski koeficient, ki je odvisen od valovne dolžine, b (m) dolžino poti in c koncentracijo fluorescenčnih delcev.



Slika 6: Shematski prikaz absorpcije in fluorescence (Lakowicz, 2008)

Vodoravne črte nad osnovnim (S_0) in vzbujenim stanjem (S_1) predstavljajo vibracijska stanja molekul. Obstajajo še rotacijski nivoji, ki jih je mnogo več in niso prikazani (slika 6, levo). Pogosto ima emisijski spekter glede na absorpcijski spekter rdeči premik, imenovan Stokesov premik - gre za premik vrhov absorpcijskega in emisijskega spektra po valovni dolžini istega elektronskega prehoda (slika 6, desno).

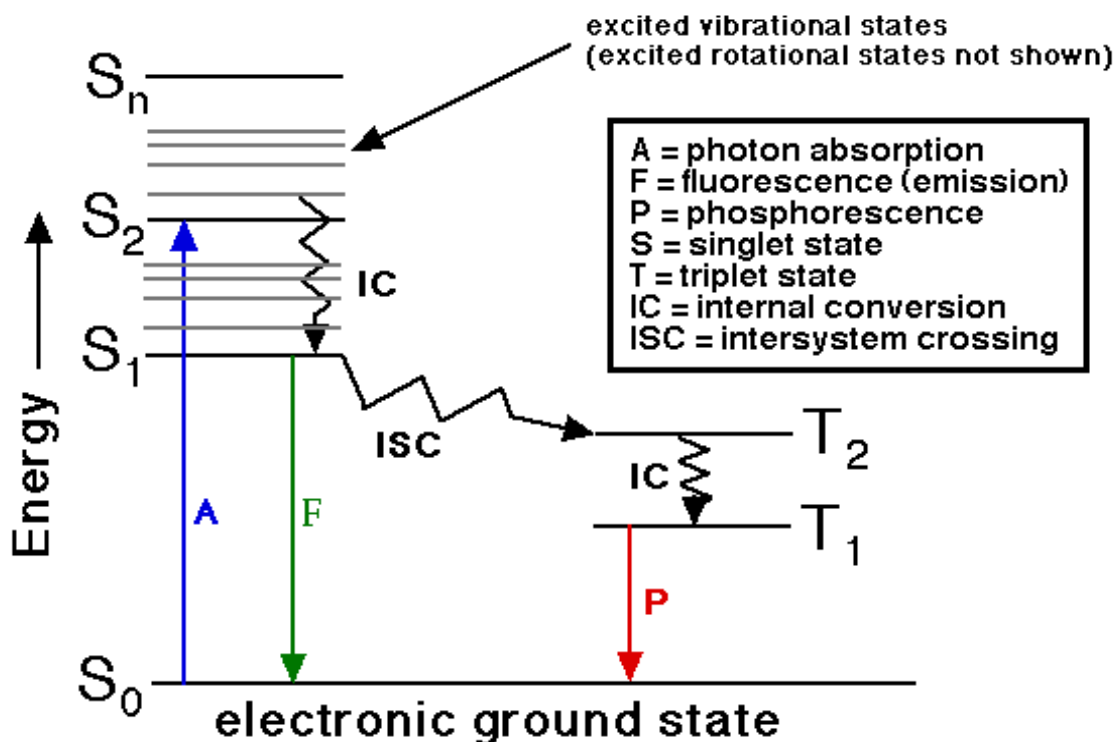
Načeloma lahko fluorescira vsaka snov, če le ima nekaj ostro definiranih in razmaknjenih energijskih stanj, kakršna imata npr. kalijeva in natrijeva para. Fluorescenca je značilna tudi za aromatske molekule. Če pa snov takšnih stanj nima, jih včasih lahko ustvarimo z dodatki aktivatorjev ali luminiscenčnih centrov. Ti omogočajo, da se del absorbirane energije predela v svetlobo z ozkim pasom valovnih dolžin. Fluorescenca se pogosto uporablja v raziskavah celice. Fluorescenčne označevalce pritrdimo na želeni del celice. Ti označevalci nato sevajo, kar lahko opazujemo z mikroskopom. Snovi, ki povzročajo fluorescenco, so kinin, klorofil, fluorescein, rodamin, zeleni fluorescenčni protein (GFP - Green Fluorescent Protein), itd. Pri raziskavah se vedno poskuša uporabiti najprimernejše fluorescenčne označevalce, ki ustrezajo eksperimentalnim zahtevam. Zelo pogost fluorescenčni označevalac je kinin, ki je vsebovan v toniku. Če opazujemo, kaj se z njim dogaja med izpostavljenostjo sončni svetlobi, na površini vidimo rahlo modro svetlobo. Efekt je najbolj opazen, ko gledamo kozarec s tonikom desno od smeri vpadne sončne svetlobe in ko mu dodamo še alkohol, ki zmanjša dielektrično konstanto. Kinin vzbudi ultravijolična svetloba, izseva pa modro svetlobo valovne dolžine približno 450 nm. Ta pojav je prvi opazoval Sir John Frederick William Herschel leta 1845. Še danes imamo kinin za najlepši zgled fluorescence (Lakowicz, 2008).

2.7.1 Diagram Jablonskega

Diagrami Jablonskega prikazujejo različne fizikalne procese, ki lahko potečejo v vzbujenih stanjih molekul. Poimenovani so po Alexandru Jablonskem, ki velja za očeta fluorescenčne spektroskopije. Tipičen diagram Jablonskega vidimo na sliki 7. Z oznakami S_0 , S_1 , S_2 in S_n so označeni enojno osnovno, prvo, drugo in n -to vzbujeno stanje. Na vsakem energijskem nivoju imajo fluorescenčni označevalci lahko več vibracijskih stanj (sive črte). Notranja konverzija je proces, pri katerem molekule hitro preidejo na najnižje vibracijsko stanje določenega energijskega nivoja (temu pravimo termalizacija, vzrok je prekrivanje stanj). Proces se zgodi znotraj 10^{-12} s, ker pa vemo, da je življenjski čas fluorescence tipično 10^{-8} s, izmenjava poteče še preden se izseva svetloba.

T1 in T2 predstavljata trojna vzbujena stanja, ki jih dobimo, ko se elektronom iz S_1 in S_2 zamenja smer spina. Prehodi teh stanj v osnovno stanje S_0 so prepovedani zaradi simetrije, zato jih je zelo malo. Na tem diagramu ni prikazanih interakcij in še drugih možnih učinkov med molekulami v raztopini, ki so ponavadi prisotni zaradi kompleksnosti sistema (Lakowicz, 2008).

Na levi strani (slika 7) so z oznakami S_0 , S_1 , S_2 in S_n označeni energijski nivoji, med katerimi sive vodoravne črte prikazujejo še vibracijske nivoje. Z IC je označena notranja konverzija, kjer molekule prehajajo v najnižje vibracijsko stanje in potem še v osnovno stanje, kjer se izseva foton (zelena puščica, F označuje fluorescenco). Možen je tudi prehod iz vzbujenega singletnega v tripletno stanje T_2 . Ko molekule prehajajo v osnovno stanje fosforescirajo (rdeča puščica).

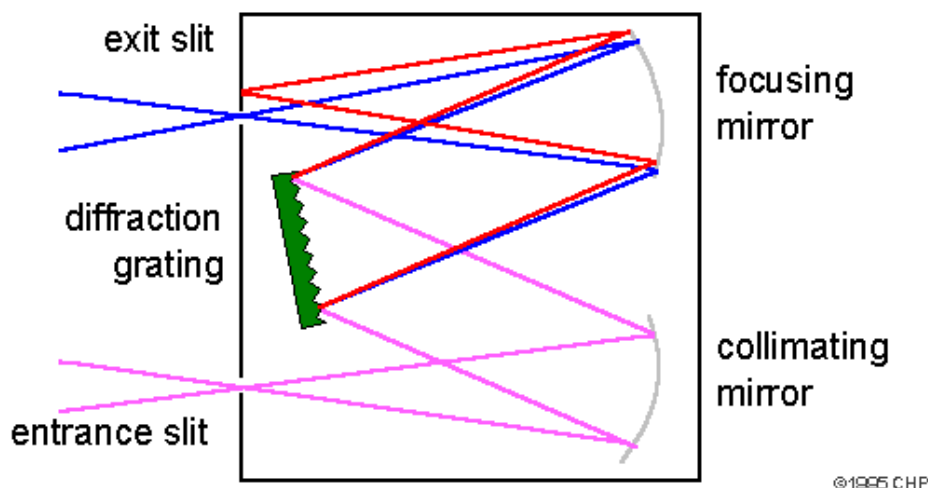


Slika 7: Primer diagrama Jablonskega (Lakowicz, 2008)

2.7.2 Spektrofluorometri

Z njimi lahko merimo tako ekscitacijski kot tudi emisijski spekter. Emisijski spekter je porazdelitev intenzitete po valovni dolžini pri dani valovni dolžini ekscitacijske svetlobe. Pri idealnem instrumentu emisijski spekter predstavlja izsevano moč po posameznih valovnih dolžinah v območju, določenem s širino rež in disperzijo monokromatorja. Naprava vsebuje dva filtra: primarni filter oz. filter vpadne svetlobe izolira valovno dolžino, ki na vzorcu povzroči fluorescenco, medtem ko sekundarni filter izolira želeno emitirano svetlobo. Zelo je pomembna primerna izbira filtrov. Primarni filter izberemo tako, da prepušča le tiste valovne dolžine, ki se pri emisijskem in ekscitacijskem spektru prekrivajo.

Na sliki 8 je spodaj levo prikazana vstopna reža, skozi katero žarek potuje na zrcalo, ki je usmerjeno tako, da svetlobo kolimira na uklonsko mrežico. Ta svetlobo odbije in razprši po valovnih dolžinah. Sekundarno zrcalo jo nato fokusira v različne točke glede na valovno dolžino. S spreminjanjem lege izstopne reže prepuščamo svetlobo želene valovne dolžine.



Slika 8: Shema monokromatorja (Lakowicz, 2008)

Svetloba iz izvora potuje skozi filter oz. monokromator na vzorec. Vzorec absorbira del vpadne svetlobe, v katerem posamezne molekule oddajo svetlobo pri prehajanju v nižja stanja. Razširja se v vse smeri. Del te svetlobe potuje skozi drugi monokromator, kjer nato doseže detektor. Ponavadi je postavljen pod kotom 90° glede na vpadni žarek, da minimizira tveganje detekcije prepuščene oz. odbite vpadne svetlobe. V napravah, ki merijo fluorescenco, so običajni izvori sevanja laserji, laserske diode, LED, ksenonske sijalke in živosrebrove sijalke. Laser emitira svetlobo visoke intenzitete v ozkem valovnem pasu širine tipično pod $0,01 \text{ nm}$, za kar ne potrebujemo monokromatorja oz. filtra. Slabost te metode je, da ne moremo zadosti prilagajati valovne dolžine laserske svetlobe. Noben monokromator ni idealen, zato prepušča tudi del svetlobe, ki ne pride direktno iz izvora, ampak iz drugih smeri (to si predstavljamo kot razmerje med signalom in šumom). Če imamo postavitev 90° , je ta svetloba lahko le sipana svetloba iz vzorca. Posledica tega je, da imamo boljše razmerje signal/šum, kar zniža detekcijsko mejo, v primerjavi z geometrijo 180° za približno 10000. Detektorji so lahko enokanalni ali večkanalni. Enokanalni detektorji lahko zaznajo intenziteto signala le pri eni valovni dolžini, medtem ko jo večkanalni detektira pri več valovnih dolžinah hkrati. Najbolj prilagodljivi spektrofotometri z dvojnimi monokromatorji lahko zabeležijo tako ekscitacijski spekter kot tudi fluorescenčni spekter. Pomembno je, da je valovna dolžina izvora pri meritvi fluorescenčnega spektra konstantna, kjer je absorpcija največja (Lakowicz, 2008).

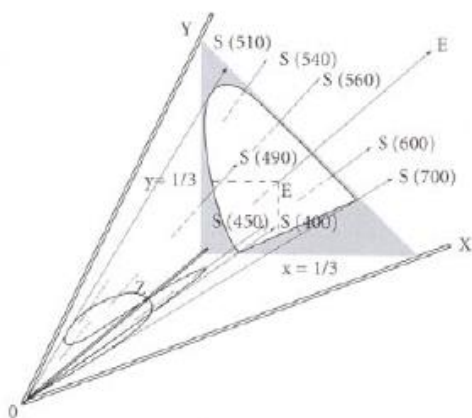
2.8 VREDNOTENJE BARVE

Za objektivno vrednotenje barve in barvnih razlik je pomembno dobro poznavanje teorije nastanka čutne zaznave barve, pri katerem sodelujejo svetloba, objekt in vidni organ. Sklop dogajanj pri vidni zaznavi in njihova identifikacija je osnova za preslikavo subjektivnega vtisa o barvi v objektivno numerično vrednotenje. 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).

2.8.1 CIE – barvni prostor

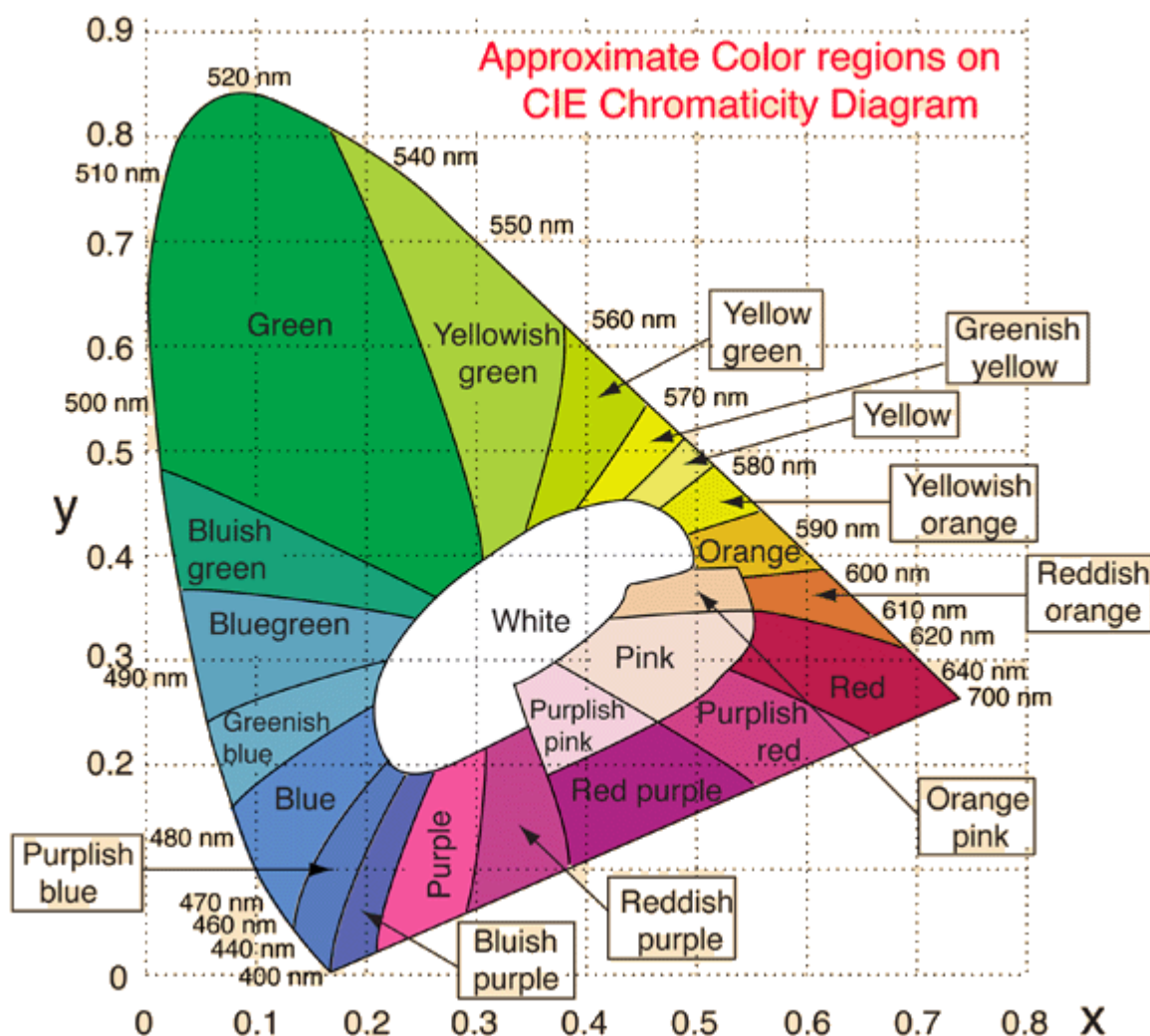
CIE – barvni prostor omejujejo vektorji X, Y, Z, ki izhajajo iz ničelne točke 0 oziroma črne (brez barve in svetlobe).

Določen je bil matematično, s pomočjo aditivnega mešanja spektralnih svetlob treh primarnih barv: R (rdeča – 700,0 nm), G (zelena 546,1 nm), B (modra – 435,8 nm). Vektorji X, Y, Z so v prostoru orientirani tako, da tvorijo v enaki oddaljenosti od izhodišča enakokrak pravokotni trikotnik z oglišči $X = 1$, $Y = 1$, $Z = 1$, s katetama x, y in s hipotenuzo z. Vektorji spektralnih barv sekajo ravnino trikotnika v točkah $S(\lambda)$, ki odlikujejo spektralno črto od 400 nm do 700 nm. Na spektralni črti ležijo čiste spektralne barve. Kratkovalovno in dolgovalovno področje povezuje črta šklata, na njej pa so 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 (Golob in Golob 2001).



Slika 9: CIE barvni prostor (Golob in Golob, 2001)

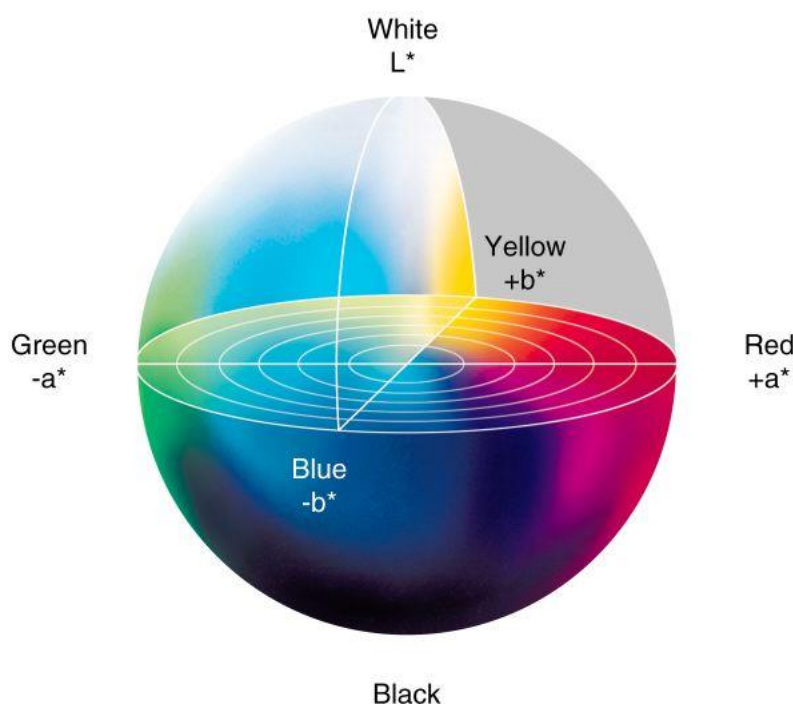
Položaj realnih barv znotraj barvnega diagrama določimo z izračunom standardnih barvnih deležev x , y , z po formulah: $x = X/(X+Y+Z)$, $y = Y/(X+Y+Z)$, $z = Z/(X+Y+Z)$, pri čemer so: X, Y, Z standardizirane barvne vrednosti. Težišče trikotnika oziroma podkve ($x = y = z = 1/3$) predstavlja točko nepestrosti in tu leži bela barva. Vrednost 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).



Slika 10: CIE barvni diagram (Hyper Physics, 1996)

2.8.2 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ sistem vrednotenja barv

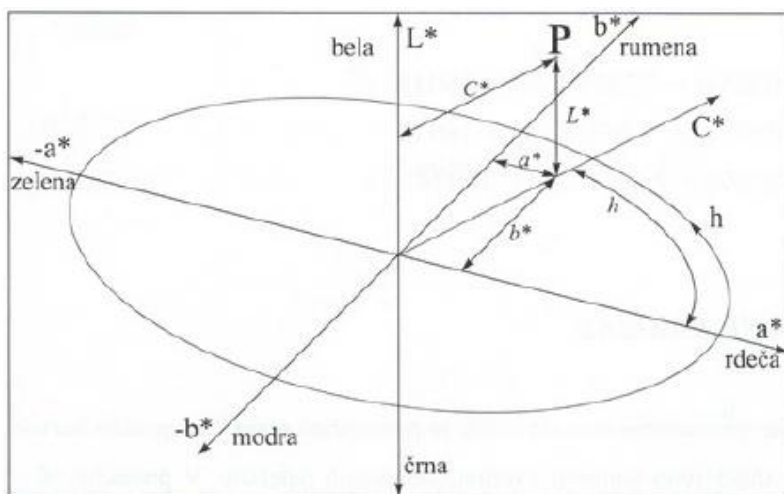
Najpogosteje uporabljen sistem za vrednotenje barve je CIELAB oziroma CIE 1976 $L^*a^*b^*$ sistem (v nadaljevanju CIEL $^*a^*b^*$), ki je bil zasnovan leta 1976 in predstavlja barvo kot vektorsko veličino v kombiniranem sistemu, ki je kombinacija kartezijskega in cilindričnega koordinatnega sistema (slika 11).



Slika 11: Barvni prostor po CIE1976 $L^*a^*b^*$ sistemu vrednotenja barve (CIE-LAB, 2013)

Vsaka barva je v sistemu CIEL $^*a^*b^*$ številčno ovrednotena z vrednostmi L^* , a^* , b^* , C in h od katerih L^* , a^* , b^* vrednosti predstavljajo barvo v kartezijskem koordinatnem sistemu, vrednosti C^* in h pa v cilindričnem koordinatnem sistemu. Omenjene vrednosti opredeljujejo barvo na naslednji način:

L^* - določa svetlost barve in zavzema vrednosti od 0 (absolutno črno) do 100 (absolutno belo),
 a^* - določa lega 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 (Golob in Golob, 2001).

Slika 12: Geometrijski pomen vrednosti L^* , a^* , b^* , C^* in h v $CIEL^*a^*b^*$ sistemu (Golob in Golob, 2001)

2.9 ZGODOVINA LUMINISCENCE

Najstarejša zapisana opazovanja bioluminiscenčnih pojavov v naravi pri kresnicah in kolobarnikih segajo v čas starodavne Kitajske, tj. med leti 1500 in 1000 pr. n. št., v času vladanja dinastije Shang. Kljub temu opazovanja niso bila usmerjena v raziskovanje in komercialno aplikacijo vse do razcveta alkimije v Evropi med 16. in 17. stoletjem. V tem času so bile filozofske in intelektualne metode, ki so omogočale razumski in materialistični pristop k raziskovanju naravnih pojavov opuščene, poleg tega pa je bilo raziskovanje usmerjeno v odkrivanje oz. izdelovanje t. i. kamna modrosti (latinsko lapis philosophorum), ki bi bil zmožen pretvoriti nižje, nežlahtne kovine v zlato.

Leta 1602 je Vincenzo Casciarolo, čevljar in ljubiteljski alkimist, odkril t. i. »Bolonjski fosfor« (tudi Bolonjski kamen ali liteofosfor), ki je tako postal prvi objekt raziskovanja luminiscenčnih pojavov. Najpopolnejši opis tega kamna je podal Fortunius Licetus v svojem delu Litheosphorus Sive De Lapide Bononiensi, v katerem je med drugim dejal:

“ Casciarolo je trdil, da je kamen najprimernejši za proizvodnjo zlata zaradi svoje opazne teže in vsebnosti žvepla. Po izpostavitvi kamna k mnogim procesom rezultat ni bil Aristofanovo Bogastvo, pač pa Svetleči kamen, ki absorbira zlato svetlobo Sonca, kot novi Prometej, ki krade Nebesni zaklad. ”

Casciarolovi alkimistični pristopi segrevanja in kalcinacije kamna (kemični razkroj do oksidov) so vodili do odkritja njegovih »skrivnostnih in magičnih« zmožnosti kopičenja svetlobe po izpostavitvi žarkom Sonca in oddajanju svetlobe v temi. Casciarolo je kazal »sončni kamen« (lat. lapis solaris) mnogim učenjakom, med drugim tudi Galileu in La Galli, ki je prvi opisal fenomen v delu De Phenomenis in Orbe Lunae leta 1612. Trdil je, da sam neobdelan kamen ne more oddajati svetlobe, pač pa pridobi to po kalcinaciji. Kamen mora torej sprejeti določeno mero ognja in svetlobe, v kateri ostaneta ujeta, in ju počasi začne oddajati, kar je primerljivo z vpijanjem vode v spužvo.

Ovidio Montalbani je po tem objavil kratko poročilo, De Illuminabili Lapide Bononiensi Epistola, v katerem je opisal nastanek različnih barv, ki se jih da pridobiti iz kamna.

Pomembna dela, ki so prispevala k razumevanju pojava, so še *Litheosphorus Sive De Lapide Bononiensi* (Licetus), *Magnes Sive De Arte Magnetica* in *Ars Magna Lucis Et Umbrae*, v katerih je Athanasius Kircher razlagal, da je zmožnost fosforja za privabljanje svetlobe podobna privlačnosti med magnetom in železom, ter *Optica Philosophia*, v katerem je Nicola Zucchi trdil, da sta intenziteta svetlobe, kateri je izpostavljen kamen, in intenziteta oddane svetlobe v premem sorazmerju in da je barva oddane svetlobe enaka ne glede na to, ali je bil kamen osvetljen z belo svetlobo ali pa je svetloba potovala skozi rdečo, rumeno ali zeleno steklo (Roda, 1998).

Dandanes je znano, da je bil ta Bolonjski kamen pravzaprav barit, mineral barijevega sulfata (BaSO_4) v obliki srebrne trdnine z žarkasto razporejenimi nitastimi formacijami. Fenomen, ki ga je odkril Casciarolo, je torej prvo dokumentirano opazovanje anorganske fosforescence.

Med najstarejšimi v Ljubljani objavljenimi zapisi o luminiscenci so licejske izpitne teze o toploti in svetlobi profesorja fizike Schoettla iz leta 1772. Teze so temeljile na Newtonovem nauku v priredbi Holandca Hermana Boerhaava (1668-1738), profesorja medicine, botanike in kemije v Leydenu od leta 1708 (Južnič, 1994).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

V našem eksperimentalnem delu smo za testiranje uporabili dve različni lesni vrsti, bukovino ter hrastovino. Tako smo imeli pripravljene različne površinske sisteme iz iverne plošče debeline 20 mm, furnirane z bukovim furnirjem, ter masiven les hrasta. Vzorce smo dobili od dveh priznanih slovenskih podjetij, ki se ukvarjata s proizvodnjo pohištva in za katere smo v okviru te diplomske naloge tudi opravljali raziskave in testiranja s področja vnašanja luminiscentnih pigmentov v obstoječe komercialno dosegljive premaze. Nekateri vzorci so bili predhodno lakirani s temeljnim lakom (v enem od podjetij, ki sta sofinancirali raziskavo), tako da smo imeli realne vzorce, kakršni gredo tudi na trg. Mi smo nanесли samo končni lak, oziroma tudi temeljni nanos, če ga na vzorcu še ni bilo.

Za raziskavo smo uporabili temeljni UV utrjujoči lak z oznako 17122, UV utrjujoči končni lak z oznako 1178-0005, lak na vodni osnovi z oznako H72421 ter dvokomponentni lak. Pri vmešavanju pigmenta v premaz smo v nekaterih primerih dodali tudi omakalo z oznako NBR-ARS-AM I.

Za doseganje luminiscentnega efekta smo uporabili pigment z oznako NK-AC2-00-001, katerega granulacija je znašala 10 μm in smo jo kasneje s pomlevanjem tudi zmanjšali na 4 μm zaradi zahtevane teksture in pričakovane estetike premaza. Gostota pigmenta s to oznako je znašala 3,6 g/cm³.

S kombiniranjem različnih površinskih sistemov, koncentracije pigmenta in količine nanosa, utrjevanjem premaza ter različnimi pogoji osvetljevanja smo tako dobili paleto različnih vzorcev, katere smo kasneje preučili in analizirali (preglednica 2). Nanašali smo premaze z delci pigmenta različnih velikosti in prav tako različnih koncentracij. Nekateri premaze smo nanесли dvakrat, med nanosi pa smo izvedli tudi brušenje. Film smo utrdili s pomočjo UV žarnic z močjo 80 W ali s sušenjem na zraku. Vzorce so bili izpostavljeni različnim virom svetlobe, da smo lahko določili njihov vpliv. Izpostavili smo jih sončni svetlobi, svetilkam z žarilno nitko različnih jakosti ter UV svetlobi. Vzorce smo po izpostavitvi na različnih svetlobah postavili v temnico in tam opazovali luminiscentni efekt ter njegovo upadanje s časom.

Preglednica 2: Površinski sistemi

Podlaga	Premer delcev pigmenta (μm)	Oznaka vzorca	Opis filma
bukov furnir	4	H10-120	lak na vodni osnovi, 10 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 μm
bukov furnir	4	H20-120	lak na vodni osnovi, 20 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 μm
bukov furnir	4	H30-120	lak na vodni osnovi, 30 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 μm
bukov furnir	4	H40-120	lak na vodni osnovi, 40 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 μm
bukov furnir	4	H50-120	lak na vodni osnovi, 50 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 μm

hrastov les	4	D10-120	dvokomponentni lak, 10 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 µm
hrastov les	4	D20-120	dvokomponentni lak, 20 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 µm
hrastov les	4	D30-120	dvokomponentni lak, 30 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 µm
hrastov les	4	D40-120	dvokomponentni lak, 40 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 µm
hrastov les	4	D50-120	dvokomponentni lak, 50 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 µm
bukov furnir	10	T5-40	temeljni lak, 5 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm
bukov furnir	10	T5-40+nebr.+K0-40	temeljni lak, 5 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm, brez brušenja, končni lak, 0% pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm
bukov furnir	10	T5-40+br.+K0-40	temeljni lak, 5 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm, brušenje, končni lak, 0% pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm
bukov furnir	10	K5-40	končni lak, 5 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm
bukov furnir	10	K5-240	končni lak, 5 % pigmenta, nanos plasti debeline 240 µm
bukov furnir	10	T5-240	temeljni lak, 5 % pigmenta, nanos plasti debeline 240 µm
bukov furnir	4	K5-40	končni lak, 5 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm
bukov furnir	4	K5-120	končni lak, 5 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 µm
bukov furnir	4	K5-240	končni lak, 5 % pigmenta, nanos plasti debeline 240 µm
bukov furnir	4	K10-40	končni lak, 10 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm
bukov furnir	4	K10-120	končni lak, 10 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 µm
bukov furnir	4	K15-40	končni lak, 15 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm
bukov furnir	4	K15-120	končni lak, 15 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 µm
bukov furnir	4	K5-40+5%omak.	končni lak, 5 % pigmenta, nanos plasti 40 µm, dodano 5% omakala
bukov furnir	4	K5-240+5%omak.	končni lak, 5 % pigmenta, nanos plasti 240 µm, dodano 5% omakala
bukov furnir	4	K5-40+10%omak.	končni lak, 5 % pigmenta, nanos plasti 40 µm, dodano 10% omakala
bukov furnir	4	K5-240+10%omak.	končni lak, 5 % pigmenta, nanos plasti debeline 240 µm, dodano 10% omakala
bukov furnir	4	T10-40	temeljni lak, 10 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm
bukov furnir	4	T10-40+K	temeljni lak, 10 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm, brez brušenja, končni lak
bukov furnir	4	T10-40+br.+K	temeljni lak, 10 % pigmenta, nanos plasti 40 µm, brušenje, končni lak
bukov furnir	4	T15-40	temeljni lak, 15 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm
bukov furnir	4	T15-40+K	temeljni lak, 15 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm, brez brušenja, končni lak
bukov furnir	4	T15-40+br.+K	temeljni lak, 15 % pigmenta, nanos plasti 40 µm, brušenje, končni lak
bukov furnir	4	T20-40	temeljni lak, 20 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm
bukov furnir	4	T20-40+K	temeljni lak, 20 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm, brez brušenja, končni lak
bukov furnir	4	T20-40+br.+K	temeljni lak, 20 % pigmenta, nanos plasti 40 µm, brušenje, končni lak
bukov furnir	4	T30-40	temeljni lak, 30 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm
bukov furnir	4	T30-40+K	temeljni lak, 30 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm, brez brušenja, končni lak
bukov furnir	4	T30-40+br.+K	temeljni lak, 30 % pigmenta, nanos plasti 40 µm, brušenje, končni lak

bukov furnir	4	T40-40	temeljni lak, 40 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm
bukov furnir	4	T40-40+K	temeljni lak, 40 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm, brez brušenja, končni lak
bukov furnir	4	T40-40+br.+K	temeljni lak, 40 % pigmenta, nanos plasti 40 µm, brušenje, končni lak
bukov furnir	4	T50-40	temeljni lak, 50 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm
bukov furnir	4	T50-40+K	temeljni lak, 50 % pigmenta, nanos plasti debeline 40 µm, brez brušenja, končni lak
bukov furnir	4	T50-40+br.+K	temeljni lak, 50 % pigmenta, nanos plasti 40 µm, brušenje, končni lak

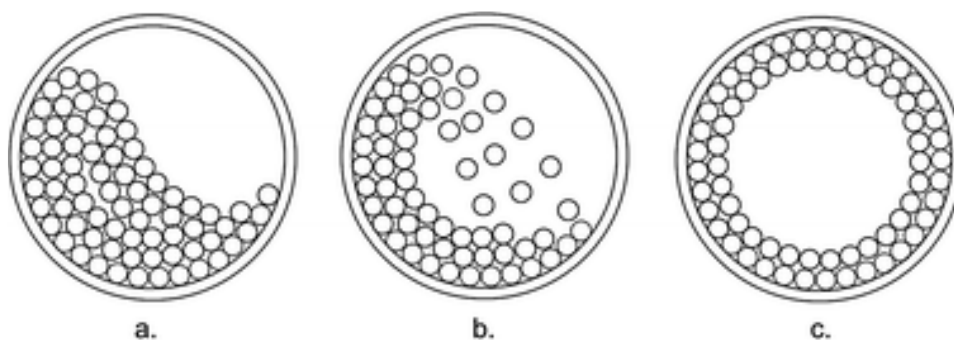
3.2 METODE

3.2.1 Mletje pigmenta

Pigment, ki smo ga prejeli, je vseboval prevelike delce za našo raziskavo, zato ga je bilo potrebno zmleti na manjše delce in sicer na 10 µm, kar pa se je kasneje izkazalo še vedno za preveč. Drugo mletje smo izvedli na velikost 4 µm. Ker na naši fakulteti takšnega mlina ne premoremo, smo pigment poslali na Kemijski inštitut v Ljubljani, kjer so izvedli potrebno mletje. Mletje se je izvajalo s krogličnim mlinom. Poznamo več vrst krogličnih mlinov. Kroglični mlin je boben, v katerem so različno velike kroglice ali kocke (porcelanske, kovinske) in snov, ki jo želimo drobiti. Z vrtenjem bobna se v notranjosti snov drobi. Drobi se z udarjanjem kroglic (višja hitrost) in s trenjem (počasnejše vrtenje).

Razlaga gibanja kroglic v mlinu (slika 13):

- gibanje delcev pri počasnem vrtenju (trenje),
- gibanje delcev pri optimalni hitrosti vrtenja,
- gibanje delcev pri prehitrem vrtenju bobna.



Slika 13: Delovanje krogličnega mlina (Abbe, 2013)

Mlin na zračni tok je primeren za zelo drobno mletje. Velikost delcev je 1 µm – 10 µm. Srednje drobno zmleto snov skupaj z zrakom pod tlakom (pribl. 7×10^5 Pa (7 atm)) vpihavamo v drobilno komoro. Ustvarijo se turbulentni tokovi, ki povzročijo, da delci z veliko hitrostjo (pribl. 300 m/s) udarjajo drug ob drugega ter se drobijo. Proces poteka pri nizkih temperaturah, zato je mlin na zračni tok primeren za drobljenje termično neobstoje snovi.

3.2.2 Mešanje pigmenta v premaz

Pri mešanju pigmenta v premaz smo uporabili dispergator IKA ULTRA-TURRAX T 25 (slika 14) digital z nastavkom S 25 N – 25 F (slika 15). Premer statorja je znašal 25 mm, rotorja pa 18 mm. Ultra turrax je zgrajen iz glavne naprave, kjer se nahaja elektromotor in je mogoče nastavljati število vrtljajev rotacijskega dela. Nanjo se preko gredi veže rotacijska glava, ki prenaša vrtljaje v vzorec in je prekrita z zaščitnim ohišjem, za podporo pa skrbi stojalo, na katerega se pritrdi celotno napravo. Nastavitve vrtljajev na ultra turraxu omogočajo do 24000 vrt/min, pri čemer znaša obodna hitrost 22,6 m/s. V našem primeru smo morali hitrost vrtenja rotorja prilagajati zaradi močnega segrevanja zmesi, saj je prihajalo do trenja med delci v sami zmesi, zaradi česar se je čas mešanja podaljšal. V obstoječi premaz smo vmešavali 5, 10, 15, 20, 30, 40 in 50 % pigmenta. Pripravke z želenimi koncentracijami pigmenta smo dobili tako, da smo stehali 100 ml premaza in od te teže določili zelen odstotek teže pigmenta. Nekaterim vzorcem smo dodali še omakalo, da smo ugotovili, kako le-to vpliva na efekt luminiscence.



Technical Data	
Motor rating input [W]	700
Motor rating output [W]	500
Volume range min. (H ₂ O) [l]	0.001
Volume range max. (H ₂ O) [l]	2
Viscosity max. [mPas]	5000
Speed range [rpm]	3000 - 25000
Speed deviation [%]	1
Speed display	LED
Speed control	stepless
Noise without element [dB(A)]	75
Extension arm diameter [mm]	13
Extension arm length [mm]	160
Process type	batch
Timer	no
Permissible ON time [%]	100
Dimensions (W x H x D) [mm]	87 x 271 x 106
Weight [kg]	2.5
Permissible ambient temperature [°C]	5 - 40
Permissible relative humidity [%]	80
Protection class according to DIN EN 60529	IP 20
RS 232 interface	no
USB interface	no
Analog output	no
Voltage [V]	220 - 240 / 100 - 120
Frequency [Hz]	50/60
Power input [W]	700
Ident. No.	0003725000

Slika 14: IKA ULTRA TURRAX T 25 digital (IKA, 2015)



Slika 15: Nastavek S 25 N - 25 F (IKA, 2015)

3.2.3 Nanašanje premaza

Zmes pigmenta in obstoječega premaza smo nanašali na vzorce s pomočjo ročnega slojnika in sicer z nanosi debelin 40, 120, 240 ter 480 μm . Okvirček smo namestili na podlago, vanj dodali zmes pigmenta in premaza ter okvirček previdno potegnili po celotni dolžini vzorca. Na isto podlago smo nanесли pripravke različnih koncentracij pigmentov, za primerjavo. Na vsak vzorec smo nanесли tudi premazni sistem brez pigmenta, da nam je služil kot kontrolni vzorec pri nadaljnjih analizah.



Slika 16: Ročni slojnik z nanosom 100 μm in 150 μm (IGT, 2012)



Slika 17: Primer 120 μm debelega nanosa laka na vodni osnovi, s koncentracijami pigmenta od 0 % do 50 %

3.2.4 Utrjevanje filma

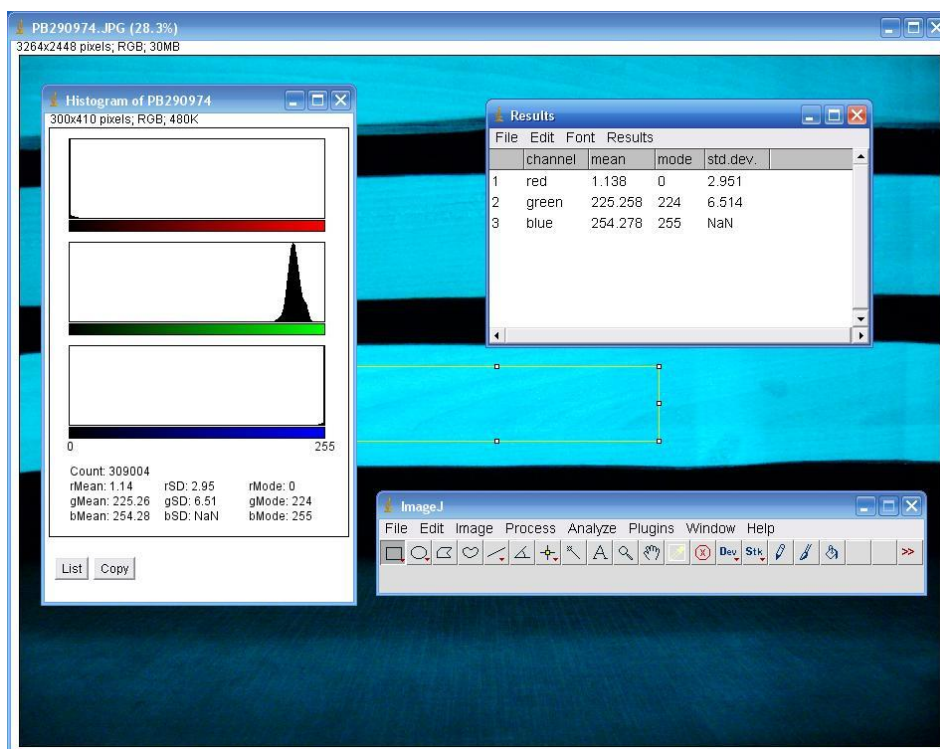
Utrjevanje filma smo izvedli na zraku in s pomočjo UV svetlobe, pri čemer smo uporabili sijalke z močjo 80 W. Utrjevanje smo vršili trikrat in več. Lak na vodni osnovi ter dvokomponentni lak smo utrjevali s sušenjem na zraku. Prednost UV utrjevanja je predvsem v hitrosti, saj se je film utrdil že po treh ponovitvah, medtem ko smo do utrditve preostalih premazov, ki smo jih utrjevali na zraku, morali čakati veliko dlje.



Slika 18: Naprava za UV utrjevanje

3.2.5 Izpostavitve in analiziranje vzorcev

Vzorci smo izpostavili različnim svetlobnim virom, da smo lahko primerjali, kako se luminiscentni učinek med njimi razlikuje. Izpostavili smo jih sončni svetlobi, navadni žarnici (svetilki z žarilno nitjo) ter UV svetlobi. Izpostavljene vzorce smo po izpostavitvi določenim virom svetlobe namestili v temnico, kjer smo opazovali intenzivnost luminiscentnega učinka in njegov časovni pojemek. Vzorce smo fotografirali z digitalnim fotoaparatom Olympus Fe-350 Wide, na oddaljenosti 33 cm. Kasneje smo posnetke analizirali s pomočjo računalniškega programa Image J. Na vsaki fotografiji smo označili isto površino vzorca, na kateri je bil luminiscentni učinek najbolj izrazit, da smo dobili RGB vrednosti (red, green, blue), ki smo jih kasneje s pomočjo barvnega pretvornika pretvorili v vrednost L, ki predstavlja svetlost. Barvni pretvornik smo poiskali na spletu in sicer na strani Easy RGB, 2014. Pridobljene vrednosti smo uporabili za končne izsledke.



Slika 19: Primer analiziranja fotografije s pomočjo programa Image J

Color calculator

Converts color data to different color standards (RGB, CMYK, L*a*b, L*u*v, Hunter, XYZ etc.).
 Looking for color math or specific conversion formulas? Check our [math page](#) for some practical examples.

Select your data color space... **RGB 0-255**

Insert your color data here... Data #1 **1.138** #2 **225.258** #3 **254.278** **C**

Only for CMYK data... **K**

Select the illuminant... **Daylight**

Select the observer... **2° (1931)**

Start →

RGB 0+255	RGB 0+FF	RGB 0+1	XYZ	CMY 0+1	CMYK %
1.14 R	01 R	0.00446 R	44.943 X	0.99554 C	99.552 C
225.26 G	E1 G	0.88336 G	61.171 Y	0.11664 M	11.413 M
254.28 B	FE B	0.99717 B	103.438 Z	0.00283 Y	0.000 Y
					0.283 K

CIE-L*a*b	CIE-L*u*v	Yxy (Y=LRV)	Hunter-Lab
82.471 L*	82.471 L*	61.171 Y	78.212 L
-34.908 a*	-60.682 u*	0.21447 x	-34.299 a
-26.832 b*	-38.384 v*	0.29191 y	-23.665 b

HTML **#01E1FE**

Web-Safe **#00CCFF**

→ Get commercial tints

→ Get color harmonies

Slika 20: Barvni pretvornik

3.2.6 SEM-EDS analiza

Na vseh področjih raziskave materialov nam informacije o mikrostrukturi in mikro sestavi pomagajo pri razumevanju in ocenjevanju makroskopskih lastnosti materialov ter razložijo in celo napovejo potek različnih procesov. Na podlagi teh poznavanj lahko materialom kontrolirano spreminjamo njihove lastnosti. Najbolj učinkovita metoda za preiskovanje mikrostrukturnih lastnosti materialov je vrstična elektronska mikroskopija (SEM – Scanning Electron Microscopy) z energijsko disperzijsko spektroskopijo rentgenskih žarkov (EDS – Energy Dispersive Spectroscopy). SEM omogoča opazovanje površine trdnih vzorcev z ločljivostjo pod $0,01\ \mu\text{m}$, EDS pa elementno kvalitativno in kvantitativno analizo posameznih faz oziroma izbranega področja vzorca. Poleg tega lahko določimo še porazdelitev izbranega elementa vzdolž določene črte (linijska analiza) ali celo po celotni izbrani površini ('mapping' analiza. Naš vzorec smo tako posredovali na ZAG Ljubljana (Zavod za gradbeništvo Slovenije), da so izvedli preiskavo z vrstično elektronsko mikroskopijo s pomočjo grobovakuumskega vrstičnega elektronskega mikroskopa LV SEM (JEOL 5500 LV, slika 21).

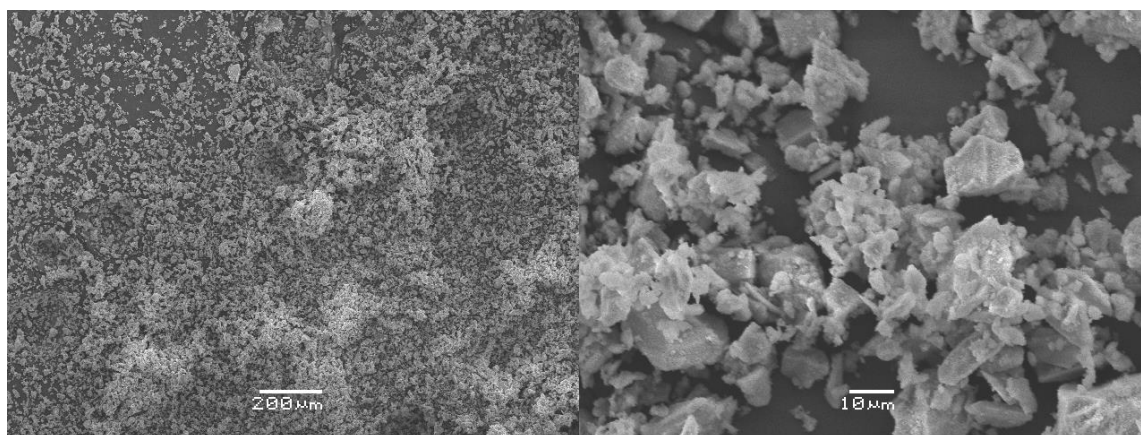


Slika 21: Vrstični elektronski mikroskop EOL 5500 LV z EDS analizatorjem OXFORD

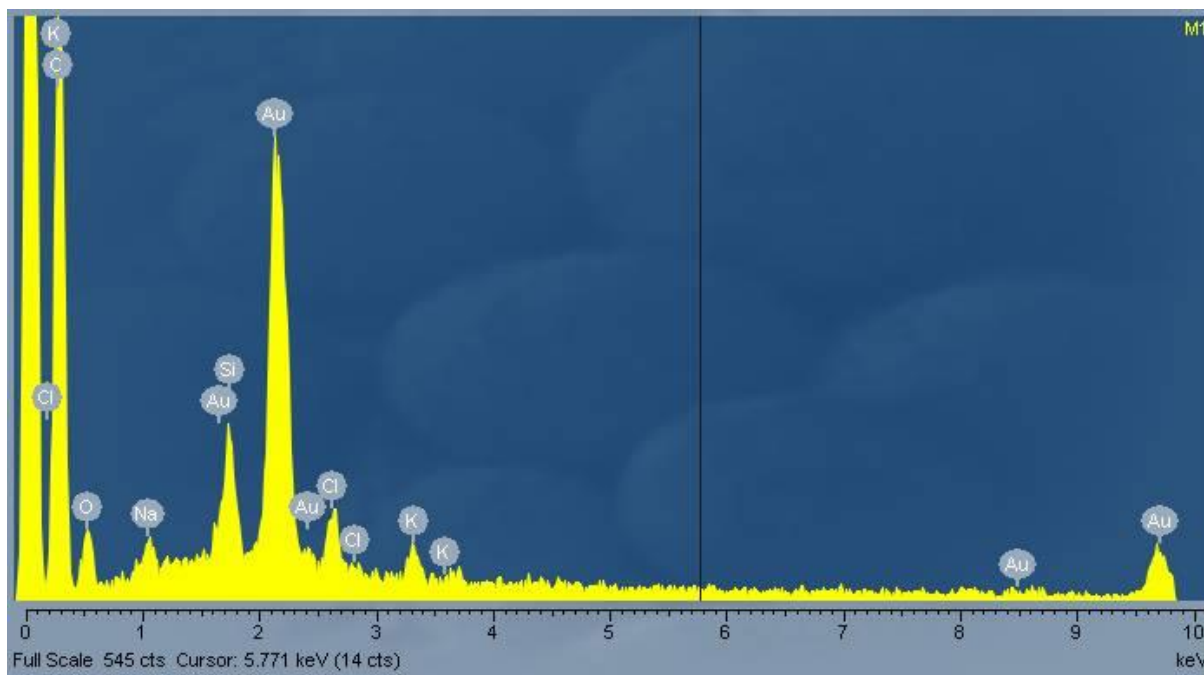
4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 SEM-EDS ANALIZA LUMINISCENTNEGA PIGMENTA

Obliko in velikost luminiscentnega pigmenta so z vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM) analizirali na Zavodu za gradbeništvo Slovenije v Ljubljani (sliki 22 in 23).



Slika 22: Delci pigmenta premera 10 µm, posneti z vrstičnim elektronskim mikroskopom



Slika 23: EDS analiza pigmenta

Na zgornjih slikah se vidi pigment pod elektronskim mikroskopom ter njegova struktura oziroma oblika, medtem ko na drugi sliki vidimo vsebnost elementov v pigmentu.

4.2 VMEŠAVANJE PIGMENTA (10 µm) V TEMELJNI IN KONČNI UV LAK

Po začetnih preliminarnih raziskavah možnosti vmešavanja luminiscentnega pigmenta v proizvodilčno osnovo, smo z delom nadaljevali. Namen nadaljnjega dela je bil preučiti možnosti vmešavanja luminiscenčnega pigmenta v obstoječe proizvodilčne UV premaze in vpliv vmešanih pigmentov na tvorbo utrjenega filma.

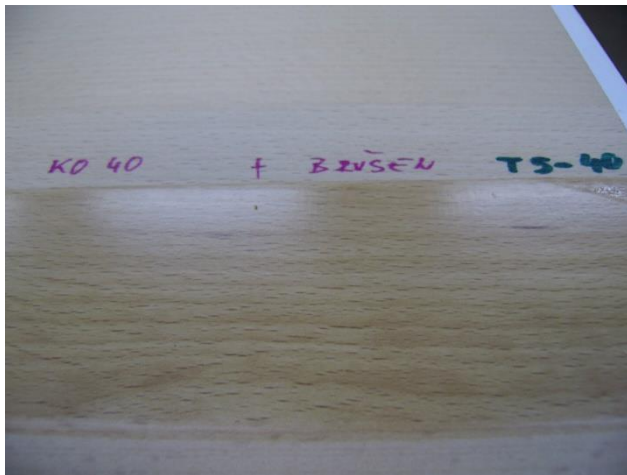
Pigment z velikostjo delcev do 10 µm smo vmešali v temeljni in končni UV premaz. V obeh primerih smo premazu dodali 5 % (m/m) pigmenta, ki smo ga vmešali s pomočjo dispergatorja IKA ULTRA-TURRAX T 25 digital z nastavkom S 25 N – 25 F. Pigment se je vmešaval počasneje od pričakovanj, vendar se je po določenem času lepo porazdelil in prav tako aglomeratov ni bilo moč opaziti. Pri vmešavanju pa smo opazili, da sta se premaza močno segrela. Temeljni premaz še nekoliko bolj od končnega, verjetno zaradi večjih delcev v samem premazu, ki so povzročali večje trenje.

Da bi lahko opazili eventualne razlike v utrjenem filmu, smo na podlage nanašali dve različni količini osnovnih premazov in premazov z dodanimi pigmenti. Prav tako smo pripravili različne sisteme, ki so opisani v nadaljevanju.

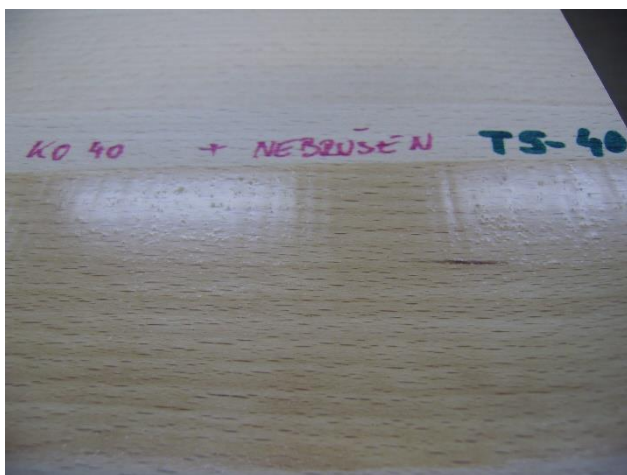
Preglednica 3: Sistemi s pigmentom velikosti 10 µm v temeljnem in končnem laku

Št. sistema	Podlaga	1. nanos	2. nanos	Vmesno brušenje
1	Iverna plošča, furnirana z bukovim furnirjem	Temeljni lak, nazivni nanos 40 µm	-	-
2		Temeljni lak + 5 % pigmenta, nazivni nanos 40 µm	-	-
3		Temeljni lak, nazivni nanos 240 µm	-	-
4		Temeljni lak + 5 % pigmenta, nazivni nanos 240 µm	-	-
5		Temeljni lak + 5 % pigmenta, nazivni nanos 40 µm	Končni lak, nazivni nanos 40 µm	Ne
6		Temeljni lak + 5 % pigmenta, nazivni nanos 40 µm	Končni lak, nazivni nanos 40 µm	Da
7	S temeljni m lakom obdelana iverna plošča, furnirana z bukovim furnirjem	Končni lak, nazivni nanos 40 µm	-	-
8		Končni lak + 5 % pigmenta, nazivni nanos 40 µm	-	-
9		Končni lak, nazivni nanos 240 µm	-	-
10		Končni lak + 5 % pigmenta, nazivni nanos 240 µm	-	-

Na slikah 24 in 25 se lepo vidi razlika med sistemom, ki je bil pred nanosom končnega laka brušen in slednjim, ki ga pred nanosom končnega laka nismo brusili. Na nebrušenem se vidi, kako je površina pomarančasta, polna majhnih izboklinic, ki so se lepo čutile na dotik.



Slika 24: Temeljni lak, 5 % pigmenta, nanos 40 µm, brušenje, končni lak, nanos 40 µm



Slika 25: Temeljni lak, 5 % pigmenta, nanos 40 µm, nebrušen, končni lak, nanos 40 µm

4.2.1 Opis lastnosti filmov, dobljenih z vmešavanjem pigmenta velikosti 10 µm v temeljni in končni lak

Zanimiva ugotovitev je prav gotovo ta, da vmešan pigment ne moti procesa UV utrjevanja, saj je bila trdota utrjenih filmov z dodanimi pigmenti in brez njih enaka. Prav tako smo opazili, da dodajanje luminiscentnega pigmenta v manjših količinah kot pri predhodnih raziskavah še vedno ohranja luminiscenčni efekt utrjenega filma, ki pa je seveda po pričakovanju manj intenziven.

Med določenimi sistemi pa smo opazili razlike v izgledu utrjenega filma. Te in ostale ugotovitve so naslednje:

- 5 % dodatek pigmenta v temeljni lak pri nazivnem nanosu 40 μm ne vpliva na utrjevanje in končni izgled utrjenega filma (sistema 1 in 2).
- 5 % dodatek pigmenta v temeljni lak pri nazivnem nanosu 240 μm vpliva na izgled utrjenega filma, saj je prisotnih nekoliko več ujetih zračnih mehurčkov kot v filmu brez dodanega pigmenta (sistema 3 in 4).
- Če utrjen film temeljnega laka s 5 % dodatkom pigmenta obrusimo pred nanosom končnega laka, je površina končno utrjenega premaznega sistema bolj gladka in brez vidnih aglomeratov, na videz pa se za malenkost zmanjša luminiscentni efekt (sistema 5 in 6).
- 5 % dodatek pigmenta v končni lak pri nazivnem nanosu 40 μm malenkost vpliva na izgled utrjenega filma, saj so prisotni aglomerati (majhne pikice) v manjši meri (sistema 7 in 8).
- 5 % dodatek pigmenta v končni lak pri nazivnem nanosu 240 μm močnejše vpliva na izgled utrjenega filma, saj so prisotni aglomerati (majhne pikice) v večji meri in prav tako se na videz zmanjša sijaj (sistema 9 in 10).

4.3 VMEŠAVANJE PIGMENTA (4 μm) V KONČNI UV LAK

Nadaljevali smo z vmešavanjem pigmenta v končni lak (1178-0005), pri čemer smo uporabili pomlete delce povprečne velikosti 4 μm . Vmešali smo različne koncentracije pigmenta in sicer 5 %, 10 % in 15 %. Spreminjali smo tudi nazivno debelino nanosa (40 μm , 120 μm in 240 μm), da smo lahko primerjali, kako se premaz obnaša pri utrjevanju. Pri 5% koncentraciji pigmenta smo premazu dodali še 5 % in 10 % omakala na maso pigmenta, oznake NBR – ARS – AM I. Omakalo smo vmešali s pomočjo dispergatorja IKA ULTRA-TURRAX T 25 digital z nastavkom S 25 N – 25 F.

Ker smo tokrat uporabili bolj pomlete delce (4 μm), se je pigment vmešal nekoliko hitreje od tistega velikosti 10 μm . Sam premaz se je tudi nekoliko manj segreval, saj ni bilo toliko trenja med delci in premazom, vendar še vedno toliko, da smo to zaznali. S segrevanjem pa je vidno padla tudi viskoznost, kar se je občutilo pri mešanju s stekleno palčko. Z večjimi koncentracijami pigmenta se je tudi postopoma spreminjala barva premaza, z večjim deležem pigmenta je postajala vse bolj sivo-zelenkasta. Za primerjavo utrjenih filmov smo nanašali premaze s 5 %, 10 % in 15% koncentracijo vmešanega pigmenta, z nanosi nazivnih debelin 40 μm , 120 μm in 240 μm . Premaze smo nanašali na iverne plošče, furnirane z bukovim furnirjem in obdelane s temeljnim lakom. Po nanosu smo premaze utrdili pod UV svetlobo, pri čemer smo uporabili sijalke z močjo 80 W. Utrjevali smo trikrat.

Preglednica 4: Sistemi s pigmentom velikosti 4 μm v končnem laku

Sistem	Podlaga	Nanos
1.	iverna plošča, furnirana z bukovim furnirjem, ki je bil obdelan s temeljnim lakom	Končni lak, nazivni nanos 240 μm
2.		Končni lak + 5 % pigmenta, nazivni nanos 40 μm
3.		Končni lak + 5 % pigmenta, nazivni nanos 120 μm
4.		Končni lak + 5 % pigmenta, nazivni nanos 240 μm
5.		Končni lak + 5 % pigmenta + 5 % omakala, nazivni nanos 40 μm
6.		Končni lak + 5 % pigmenta + 5 % omakala, nazivni nanos 240 μm
7.		Končni lak + 5 % pigmenta + 10 % omakala, nazivni nanos 40 μm
8.		Končni lak + 5 % pigmenta + 10 % omakala, nazivni nanos 240 μm
9.		Končni lak + 10 % pigmenta, nazivni nanos 40 μm
10.		Končni lak + 10 % pigmenta, nazivni nanos 120 μm
11.		Končni lak + 15 % pigmenta, nazivni nanos 40 μm
12.		Končni lak + 15 % pigmenta, nazivni nanos 120 μm



Slika 26: Končni lak, 5 % pigmenta, nanos 40 μm in 240 μm , 5 % omakala



Slika 27: Končni lak, 5 % pigmenta, nanos 40 μm in 240 μm , 10 % omakala

4.3.1 Opis lastnosti filmov, dobljenih z vmešavanjem pigmenta velikosti 4 µm v končni lak

Pri prejšnjem delu smo že ugotovili, da vmešan pigment ne moti procesa UV utrjevanja, saj se trdote filmov med seboj ne razlikujejo. Razlike med utrjenimi filmi pa so seveda bile razvidne pri različnih koncentracijah vmešanega pigmenta in debeline nanosa premaza, kar se je odražalo tudi v sami luminiscenci.

Opažanja so sledeča:

- Pri nanosu 240 µm smo opazili debelejši utrjen film pri 5 % koncentraciji pigmenta kot pri končnem laku brez pigmenta. Možni vzrok za to bi lahko bil v tem, da pigment povzroči manjše penetriranje premaza v podlago. Medtem je bila debelina utrjenega filma v primeru, ko smo dodali omakalo, nekoliko manjša, na otip in na videz. Razlika pa ni bila toliko očitna med premazoma s 5 % in 10 % omakala. Kvečjemu smo opazili, da je pri 10 % omakala utrjen film postal pomarančast, kar pomeni, da prevelika vsebnost pigmentnih delcev tudi ni najboljša. Pri tem tipu filma je bil luminiscentni efekt po pričakovanjih najvišji.
- Pri nanosu debeline 120 µm smo uporabili 5 %, 10 % in 15 % koncentracijo vmešanega pigmenta in tudi tu se je luminiscenčni efekt z višanjem koncentracije vmešanega pigmenta zviševal. Debelina utrjenega filma se med filmi različnih koncentracij pigmentov ni razlikovala, vendar smo opazili, da se z višanjem koncentracije vmešanega pigmenta, s prostim očesom vidi delce na površini, največ pri 15 %, kar seveda ni v redu.
- Tudi pri nanosu filma debeline 40 µm smo uporabili 5 %, 10 % in 15% koncentracijo vmešanega pigmenta, pri čemer smo pri 5 % koncentraciji dodali še 5 % in 10 % omakala na maso pigmenta. Pri tem nanosu je bila površina utrjenega filma po videzu najboljša med vsemi nanosi, med filmi z različnimi koncentracijami pigmentov pa se ni toliko razlikovala, predvsem se je to odražalo v luminiscenčnem efektu. Pri filmu z dodanim omakalom smo opazili nekoliko večji sijaj, ampak spet samo pri 5 % dodanega omakala na maso pigmenta. Vendar te razlike v sijaju niso bile toliko očitne.
- Luminiscenčni efekt se seveda najbolj opazi pri nanosu filma debeline 240 µm, najmanj pa pri 40 µm. Ugotovili smo, da se luminiscentni efekt ne razlikuje toliko med samimi koncentracijami vmešanega pigmenta (5 %, 10 % in 15%), ampak med samimi debelinami nanosa. Ker pa smo bili omejeni glede končne debeline nanosa, smo morali poiskati drugo rešitev, ki je bila mogoča z vmešavanjem pigmenta v temeljni in končni lak. Filmi z različnimi koncentracijami vmešanega pigmenta se predvsem razlikujejo po izgledu površine utrjenega laka, saj so se pri večjih koncentracijah že na oko videli delci na površini.

4.4 VMEŠAVANJE PIGMENTA (4 μm) V TEMELJNI LAK

V tem segmentu raziskave smo uporabili temeljni lak z oznako 17122, v katerega smo vmešali 10 %, 15 %, 20 %, 30 %, 40 % in 50 % koncentracijo pigmenta. Vmešavali smo s pomočjo dispergatorja IKA ULTRA-TURRAX T 25 digital z nastavkom S 25 N – 25 F.

Med vmešavanjem smo opazili, da se pri večjih koncentracijah pigmenta premaz hitreje segreva, saj prihaja do večjega trenja med delci pigmenta in premaza. Rešitev tega je bilo zmanjšanje obratov dispergatorja, ter daljše časovno obdobje vmešavanja. Prihajalo je tudi do očitnih razlik v barvi premaza. Barva je z večanjem koncentracije pigmenta postajala vse bolj sivo-zelenkasta. Razlika se je pojavila tudi v gostoti in viskoznosti premazov. Največjo viskoznost je dosegel premaz s 50 % koncentracijo pigmenta.

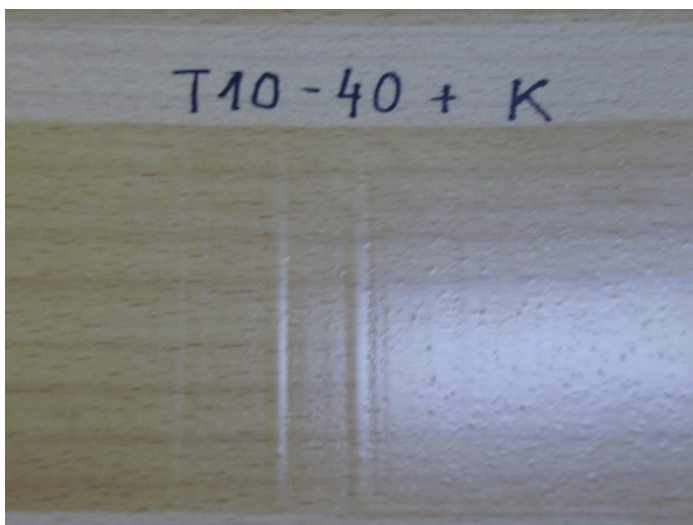
Za boljšo primerjavo rezultatov smo na podlago nanесли po tri filme z vsemi različnimi koncentracijami vmešanega pigmenta. Premaze smo nanašali na iverne plošče, furnirane z bukovim furnirjem. Naredili smo tudi testni vzorec s filmom brez dodanega pigmenta. Ko smo nanесли tri filme ene koncentracije, smo premaze utrjevali s pomočjo UV svetlobe. Utrjevali smo pod sijalkami z močjo 80 W. Nato smo na dva od treh vzorcev nanесли še končni lak oznake 1178-0005. Pri tem smo en vzorec predhodno še pobrusili, da smo lahko kasneje primerjali površine. Tako pripravljene vzorce smo še štirikrat utrjevali po že opisanem postopku.

Preglednica 5: Sistemi s pigmentom velikosti 4 μm v temeljnem laku

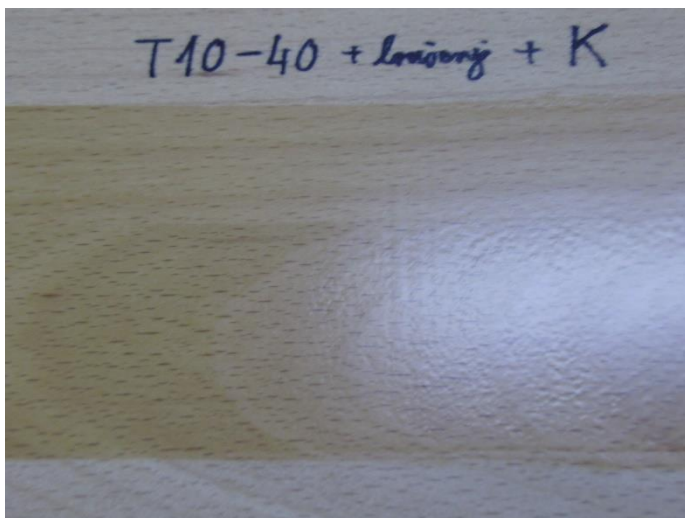
Sistem	Podlaga	1. nanos	2. nanos	Vmesno brušenje
1.	iverna plošča, furnirana z bukovim furnirjem	Temeljni lak, nanos 40 μm	-	-
2.		Temeljni lak, nanos 40 μm	Končni lak, nanos 40 μm	ne
3.		Temeljni lak, nanos 40 μm	Končni lak, nanos 40 μm	da
4.		Temeljni lak + 10 % pigmenta, nanos 40 μm	-	-
5.		Temeljni lak + 10 % pigmenta, nanos 40 μm	Končni lak, nazivni nanos 40 μm	ne
6.		Temeljni lak + 10 % pigmenta, nanos 40 μm	Končni lak, nazivni nanos 40 μm	da
7.		Temeljni lak + 15 % pigmenta, nanos 40 μm	-	-
8.		Temeljni lak + 15 % pigmenta, nanos 40 μm	Končni lak, nazivni nanos 40 μm	ne
9.		Temeljni lak + 15 % pigmenta, nanos 40 μm	Končni lak, nazivni nanos 40 μm	da
10.		Temeljni lak + 20 % pigmenta, nanos 40 μm	-	-
11.		Temeljni lak + 20 % pigmenta, nanos 40 μm	Končni lak, nazivni nanos 40 μm	ne
12.		Temeljni lak + 20 % pigmenta, nanos 40 μm	Končni lak, nazivni nanos 40 μm	da

13.		Temeljni lak + 30 % pigmenta, nanos 40 μm	-	-
14.		Temeljni lak + 30 % pigmenta, nanos 40 μm	Končni lak, nazivni nanos 40 μm	ne
15.		Temeljni lak + 30 % pigmenta, nanos 40 μm	Končni lak, nazivni nanos 40 μm	da
16.		Temeljni lak + 40 % pigmenta, nanos 40 μm	-	-
17.		Temeljni lak + 40% pigmenta, nanos 40 μm	Končni lak, nazivni nanos 40 μm	ne
18.		Temeljni lak + 40 % pigmenta, nanos 40 μm	Končni lak, nazivni nanos 40 μm	da
19.		Temeljni lak + 50 % pigmenta, nanos 40 μm	-	-
20.		Temeljni lak + 50 % pigmenta, nanos 40 μm	Končni lak, nazivni nanos 40 μm	ne
21.		Temeljni lak + 50 % pigmenta, nanos 40 μm	Končni lak, nazivni nanos 40 μm	da

Na slikah 28 in 29 je očitna razlika med videzom površinskih sistemov, za kar je vzrok v vmesnem brušenju med nanosi.



Slika 28: Temeljni lak, 10 % pigmenta, nanos 40 μm , končni lak, nanos 40 μm



Slika 29: Temeljni lak, 10 % pigmenta, nanos 40 μm , brušenje, končni lak, nanos 40 μm

4.4.1 Opis lastnosti filmov z vmešavanjem pigmenta velikosti 4 μm v temeljni lak

Izgled in lastnosti površin utrjenih filmov niso bile izrazito odvisne od deleža dodanega pigmenta. Na to je bistveno bolj vplivala vrsta premaznega sistema. Filmi z različnimi deleži pigmentov so se med seboj razlikovali predvsem v barvi in v intenzivnosti luminiscentnega efekta v temi. Po drugi strani pa so se že na oko, po videzu, med seboj močno razlikovali filmi različnih premaznih sistemov. Po videzu sodeč smo najbolj kvalitetno površino uspeli zagotoviti pri sistemu, ki smo ga pripravili tako, da smo nanесли temeljni lak, ki smo mu dodali luminiscentni pigment, temelj nato zbrusili, in nato nanесли končni premaz. Končni premaz pripomore k zadovoljivemu sijaju filma, na kar je z zagotovitvijo gladkosti površine prispevalo tudi vmesno brušenje temelja. V nasprotju s tem je pri sistemu brez vmesnega brušenja prihajalo do težav že pri nanosu končnega premaza. V tem primeru se je namreč ročni slojnik vseskozi zatikal ob izbokline na površini utrjenega filma temeljnega premaza. Takšna hrapava površina je ostala tudi po nanosu končnega premaza in po vnovičnem utrjevanju. Sijaj obeh sistemov, z vmesnim brušenjem ali brez, pa se v obeh primerih med seboj ni bistveno razlikoval.

Po videzu sodeč je bila najslabša površina, če smo na podlago nanесли le temeljni premaz, v katerega je bil vmešan pigment. Pričakovali smo, da bo intenzivnost luminiscentnega efekta največja pri sistemih z najvišjim deležem pigmenta, kar smo tudi potrdili. Brušenje pa na intenzivnost luminiscentnega efekta ni vplivalo.

4.5 VMEŠAVANJE PIGMENTA (4 μ m) V LAK NA VODNI OSNOVI

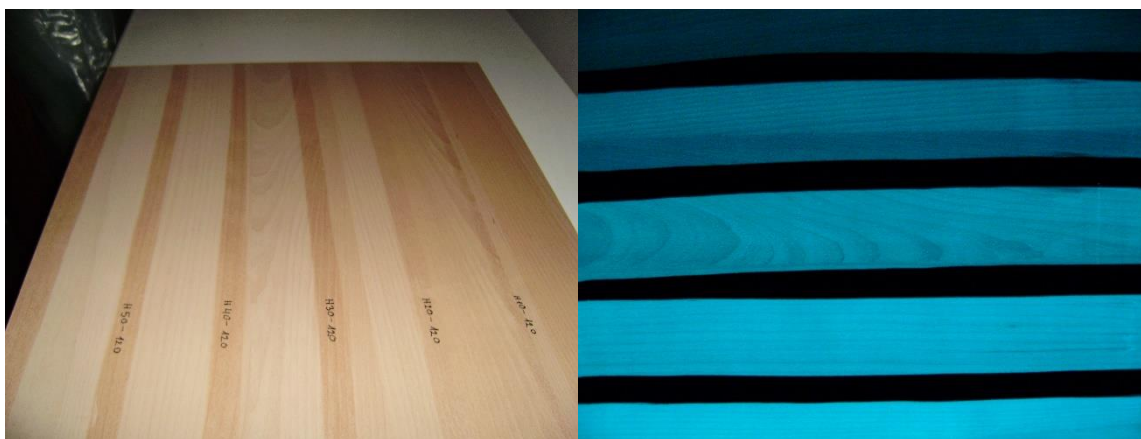
V tem delu raziskave smo uporabili lak na vodni osnovi z oznako H 72421, v katerega smo vmešali pigment tako, da so njegove koncentracije znašale 10 %, 20 %, 30 %, 40 % ali 50 %. Vmešavali smo s pomočjo dispergatorja IKA ULTRA-TURRAX T 25 digital, z nastavkom S 25 N – 25 F. Med vmešavanjem se je premaz zelo penil in vmešavanje je bilo veliko bolj težavno in dolgotrajno kot pri prejšnjih premazih. Težavnost vmešavanja se je stopnjevala z naraščajočo koncentracijo pigmenta. Zanimivo pa je, da se premaz ni toliko segreval kot v prej opisanih primerih.

Premaze s pigmenti velikosti 4 μ m smo nanašali na iverno ploščo, furnirano z bukovim furnirjem. Za lažjo primerjavo smo na vsako podlago nanesli po dva filma istega premaznega sistema. Nanesli smo tudi testni vzorec brez pigmenta. Premaze smo nanesli na dve plošči, v zaporedju od najmanjše koncentracije pigmenta do največje. Tako smo na vsaki plošči dobili po šest filmov z različnimi koncentracijami pigmenta. Plošči smo pustili na stojalu, da so se filmi utrdili na zraku.

Preglednica 6: Sistemi s pigmentom velikosti 4 μ m v laku na vodni osnovi

Sistem	Podlaga	1. nanos	2. nanos	Vmesno brušenje
1.	iverna plošča, furnirana z bukovim furnirjem	Lak na vodni osnovi, nanos 120 μ m	-	-
2.		Lak na vodni osnovi, nanos 120 μ m	Lak na vodni osnovi, nanos 120 μ m	da
3.		Lak na vodni osnovi + 10 % pigmenta, nanos 120 μ m	-	-
4.		Lak na vodni osnovi + 10 % pigmenta, nanos 120 μ m	Lak na vodni osnovi, nanos 120 μ m	da
5.		Lak na vodni osnovi + 20 % pigmenta, nanos 120 μ m	-	-
6.		Lak na vodni osnovi + 20 % pigmenta, nanos 120 μ m	Lak na vodni osnovi, nanos 120 μ m	da
7.		Lak na vodni osnovi + 30 % pigmenta, nanos 120 μ m	-	-
8.		Lak na vodni osnovi + 30 % pigmenta, nanos 120 μ m	Lak na vodni osnovi, nanos 120 μ m	da
9.		Lak na vodni osnovi + 40 % pigmenta, nanos 120 μ m	-	-

10.		Lak na vodni osnovi + 40 % pigmenta, nanos 120 μm	Lak na vodni osnovi, nanos 120 μm	da
11.		Lak na vodni osnovi + 50 % pigmenta, nanos 120 μm	-	-
12.		Lak na vodni osnovi + 50 % pigmenta, nanos 120 μm	Lak na vodni osnovi, nanos 120 μm	da



Slika 30: Lak na vodni osnovi, nanos od 0 % do 50 % pigmenta, nanos 120 μm ; na desni sliki je prikazan luminiscentni efekt v temi

4.5.1 Opis lastnosti filmov, dobljenih z vmešavanjem pigmenta velikosti 4 μm v lak na vodni osnovi

Ugotovili smo, da koncentracija pigmenta na izgled površine ni vplivala. Barve filmov z različnim deležem pigmentov so se med seboj razlikovale. Glede na to, da nismo opazili bistvenih razlik med sistemom z enkratnim nanosom in sistemom z dvakratnim nanosom premaza, smo za nadaljnje raziskave uporabili sistem z dvakratnim nanosom premaza.

4.6 VMEŠAVANJE PIGMENTA (4 μm) V DVOKOMPONENTNI LAK

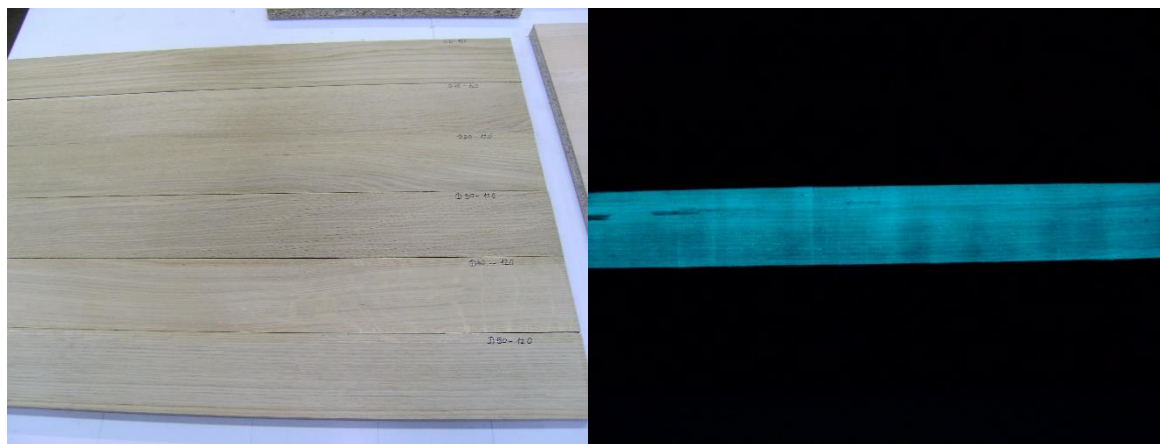
V tem delu raziskave smo uporabili dvokomponentni lak, v katerega smo vmešali toliko pigmenta, da je njegova koncentracija znašala 10 %, 20 %, 30 %, 40 % ali 50 %. Vmešavali smo s pomočjo dispergatorja IKA ULTRA-TURRAX T 25 digital z nastavkom S 25 N – 25 F.

Pigment se je vmešaval nekoliko hitreje kot pri laku na vodni osnovi. Tudi tu je prihajalo do segrevanja, vendar manj kot pri temeljnem laku, vendar smo vseeno morali paziti na število obratov med mešanjem. Po potrebi smo mešanje tudi ustavili, da ne bi s povišano temperaturo povzročili morebitnih nezaželenih dodatnih učinkov. Dogajanje med vmešavanjem pigmenta je bilo podobno kot pri vmešavanju v temeljni lak. Vendar se je dvokomponentni lak nekoliko manj segreval, saj je bilo trenja med delci pigmenta in lakom manj.

Premaze na osnovi dvokomponentne formulacije smo nanašali na hrastove deske. Premaze smo nanесли na 6 desk primerne dolžine, tako da smo lahko pripravili zadostno število vzorcev. Pri nanašanju laka nismo opazili posebnosti. Les s testnimi vzorci smo pustili na stojalu, da se je film utrdil z zračnim sušenjem.

Preglednica 7: Sistemi s pigmentom velikosti 4 μm v dvokomponentnem laku

Sistem	Podlaga	Nanos
1.	Hrastov les	Dvokomponentni lak, nanos 120 μm
2.		Dvokomponentni lak + 10 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 μm
3.		Dvokomponentni lak + 20 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 μm
4.		Dvokomponentni lak + 30 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 μm
5.		Dvokomponentni lak + 40 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 μm
6.		Dvokomponentni lak + 50 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 μm



Slika 31: Dvokomponentni lak, 0 % do 50 % pigmenta, nanos plasti debeline 120 μm ; na desni sliki je prikazan luminiscentni efekt v temi pri premazu s 50 % pigmenta

4.6.1 Opis lastnosti filmov, dobljenih z vmešavanjem pigmenta velikosti 4 μm v dvokomponentni lak

Nazivna debelina mokrega nanosa je pri vseh premaznih sistemih (preglednica 6) znašala 120 μm . Sistemi so se med seboj razlikovali po koncentraciji pigmenta, od 0 % do 50 %. Tukaj se komaj opazi razlika med vsemi sistemi, še najbolj prav med prvim in zadnjim. Temu bi pripisali vpliv površine, saj smo tu uporabili za podlago hrastov les. Seveda se efekt luminescence stopnjuje s koncentracijo vmešanega pigmenta, prav tako njegovo trajanje na časovno enoto.

4.7 IZPOSTAVITEV VZORCEV SVETLOBNIM VIROM TER OPAZOVANJE LUMINISCENTNEGA EFEKTA

4.7.1 RGB ter L vrednosti premaznih sistemov

Delo z luminiscentnimi premazi smo nadaljevali tako, da smo pripravljene vzorce (filmi premazov na različnih podlagah) izpostavili svetlobi in jih nato opazovali v temi. Vsakega posebej smo tudi fotografirali, da smo lahko kasneje vsako fotografijo obdelali z računalniškim programom za obdelavo slik ImageJ. S tem smo dobili vrednosti R, G in B (red, green, blue), iz katerih smo s programom Easy RGB (Easy RGB, 2014) izračunali še vrednost L, ki podaja svetlost. Tako smo lahko primerjali vplive različnih premaznih sistemov z različnimi koncentracijami pigmentov na svetlost vzorca v temi.

Razlaga simbolov:

H - lak na vodni osnovi,
D - dvokomponentni lak,
T - temeljni lak,
K - končni lak

Številka zraven črkovne oznake pomeni odstotni delež pigmenta glede na skupno maso premaza, številka za pomišljajem pa nazivno debelino nanosa premaza v μm .

V preglednici 8 so navedeni vsi testirani vzorci in izmerjene / izračunane vrednosti R, G, B in L. Predvsem nas je zanimala svetlost. Pričakovali smo, da bodo vzorci z višjimi koncentracijami pigmenta, ter z večjimi debelinami nanosa izkazovali višje vrednosti L. Tako se je tudi izkazalo: očitno je, da se svetlost vzorca v temi večja z dvigom koncentracije pigmenta v premazu in s količino nanosa premaza. Vsi filmi niso bili izpostavljeni običajni sobni svetlobi enako dolgo, kar bi verjetno lahko vplivalo na izračunane vrednosti L, vseeno pa smo med posameznimi vrstami premazov zaznali značilne razlike. Na svetlost je vplivala vrsta premaza, saj smo opazili razlike v svetlosti pri različnih premazih z istim deležem pigmenta in z isto nazivno debelino filma. Prav tako je na svetlost vplivalo tudi vmesno brušenje temeljnega premaza. Tudi prisotnost končnega sloja laka povečuje vrednost svetlosti, kar se je še zlasti pokazalo pri vzorcih, v katerih je bil delež pigmenta višji od 20 %. Prav tako smo zaznali vpliv prisotnosti omakala na luminiscentni efekt, saj le-to znižuje svetlost luminiscentnega premaza (preglednica 8). Sicer pa je najvišjo vrednost L dosegel lak na vodni osnovi s 50 % deležem pigmenta in 120 μm debelino nanosa, ter z velikostjo delcev 4 μm . Najnižjo vrednost smo opazili pri končnem laku s 5 % deležem pigmenta in 40 μm debelim nanosom, pri čemer so bili delci pigmenta veliki 10 μm . Tudi velikost delcev zelo vpliva na intenzivnost luminiscentnega efekta, saj so filmi z delci velikosti 10 μm dosegali zelo nizke svetilne vrednosti luminiscentnega efekta. Za doseganje optimalnega luminiscentnega učinka je prav tako potrebno izbrati pravo površino, v našem primeru, je bil to bukov furnir. Velikost delcev samega pigmenta naj bi bila pod 10 μm , saj se je velikost delcev 4 μm izkazala z veliko bolj izrazitim luminiscentnim učinkom. Z višanjem koncentracije pigmenta in debelino nanosa se luminiscentni efekt sicer večja, vendar se je izkazalo, da je bil efekt najbolj učinkovit pri 50 % koncentraciji vmešanega pigmenta, z debelinami nanosa 120 μm ter vmesnim brušenjem.

Preglednica 8: RGB ter L vrednosti vseh pripravljenih sistemov

Vrsta podlage, velikost pigmentnih delcev v filmu	Oznaka vzorca	R	G	B	L
bukov furnir, delci 4 µm	H10-120	0,00	69,92	99,02	27,495
	H20-120	0,00	95,74	124,03	37,434
	H30-120	0,00	132,89	160,30	51,029
	H40-120	0,00	153,79	186,69	58,618
	H50-120	0,00	172,60	208,71	65,218
hrast, delci 4 µm	D10-120	0,00	39,28	53,55	14,011
	D20-120	0,00	40,62	55,29	14,615
	D30-120	0,00	49,10	68,91	18,512
	D40-120	0,00	92,02	117,35	35,889
	D50-120	0,00	126,14	152,20	48,550
bukov furnir, delci 10 µm	T5-40	0,28	1,16	3,36	0,310
	T5-40+nebr.+K0-40	0,28	1,05	4,11	0,304
	T5-40+br.+K0-40	0,27	1,22	4,10	0,336
	K5-40	0,65	0,28	2,77	0,148
	K5-240	0,21	4,70	7,93	1,091
	T5-240	0,01	8,25	11,87	1,855
bukov furnir, delci 4 µm	K5-40	0,36	1,02	2,32	0,267
	K5-120	0,00	10,13	14,44	2,284
	K5-240	0,00	32,53	41,54	10,746
	K10-40	0,42	2,65	4,85	0,640
	K10-120	0,00	16,98	22,19	4,146
	K15-40	0,00	15,22	19,48	3,582
	K15-120	0,00	26,27	34,66	7,860
	K5-40+5 % omakala	0,40	0,41	2,96	0,162
	K5-240+5 % omakala	0,00	15,94	20,99	3,820
	K5-40+10 % omakala	0,66	0,22	2,78	0,370
	K5-240+10 % omakala	0,11	9,16	12,26	2,048
bukov furnir, delci 4 µm	T10-40	0,02	5,66	8,99	1,289
	T10-40+K	0,02	6,82	9,35	1,523
	T10-40+br.+K	0,01	7,25	11,17	1,644
	T15-40	0,01	18,49	23,37	4,625
	T15-40+K	0,05	8,47	12,06	1,902
	T15-40+br.+K	0,02	12,43	16,84	2,832
	T20-40	0,04	16,46	20,54	3,946
	T20-40+K	0,01	9,12	11,88	2,026
	T20-40+br.+K	0,00	17,97	22,33	4,434
	T30-40	0,00	20,49	25,16	5,317
	T30-40+K	0,00	37,64	47,69	13,072
	T30-40+br.+K	0,00	24,09	30,41	6,800
	T40-40	0,03	65,68	80,94	25,114
	T40-40+K	0,01	80,89	98,28	31,240
	T40-40+br.+K	0,01	95,77	113,41	36,977
	T50-40	7,76	123,49	143,95	47,430
	T50-40+K	4,56	16,09	145,82	48,315
	T50-40+br.+K	1,36	129,47	149,77	49,530

4.7.2 Vpliv vrste svetlobe na intenzivnost luminiscentnega efekta

Izbrani vzorec smo osvetlili s svetlobo iz različnih virov, da bi ugotovili, kako na intenzivnost luminiscentnega efekta (svetlost, L) vpliva vrsta svetlobe. Izbrali smo vzorec z vodnim lakom, s 50 % koncentracijo luminiscentnega pigmenta, z nanosom filma debeline 120 μm (H50-120). Premaz smo nanесли na bukov furnir, povprečna velikost delcev pigmenta pa je znašala 4 μm . Vzorec smo najprej izpostavili UV svetlobi, nato soncu in na koncu še 150 W žarnici. Vsaki vrsti svetlobe smo film izpostavili za 15 minut. Vzorec smo drugi vrsti svetlobe izpostavili šele po enem dnevu, da bi luminiscentni efekt od prejšnje izpostavitve svetlobe popolnoma izginil.



Slika 32: prikaz luminiscentnega efekta v odvisnosti od obsevanja s svetlobo iz različnih virov

Preglednica 9: Vrednosti R, G, B in L po izpostavitvi filma z luminiscentnim pigmentom svetlobi iz različnih virov

UV

R	G	B	L
7,48	228,34	254,59	83,398

SONCE

R	G	B	L
0,108	205,41	239,15	76,131

ŽARNICA

R	G	B	L
0,55	215,89	247,17	79,491

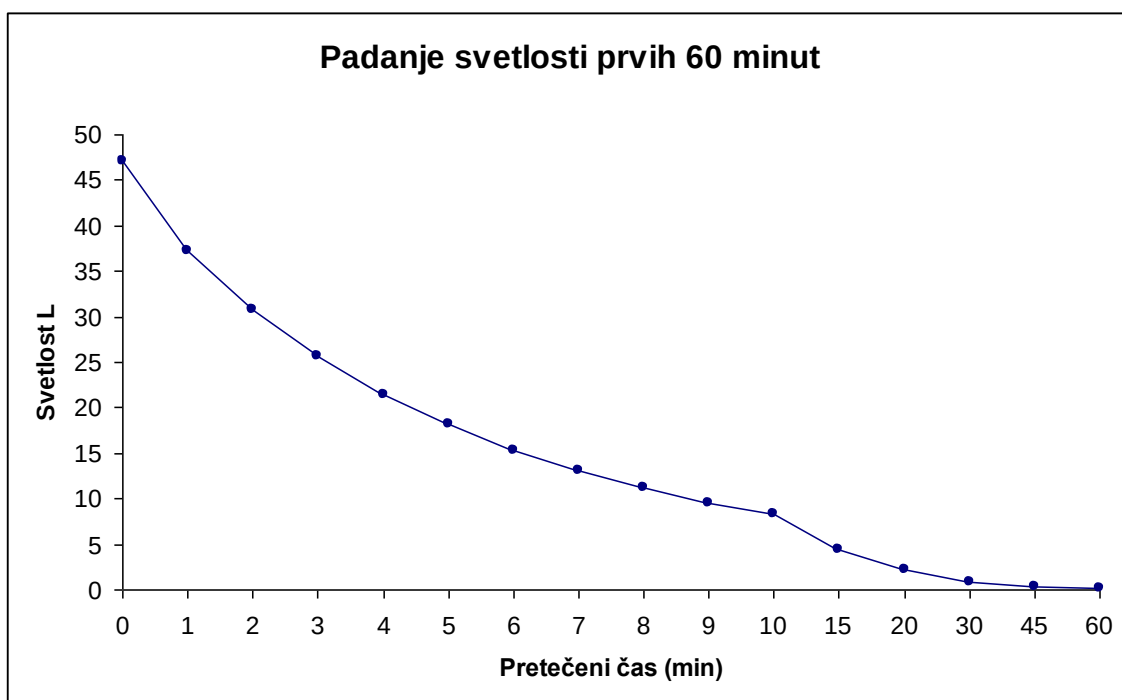
Svetlost najvišje vrednosti je oddal vzorec takrat, ko smo ga izpostavili UV svetlobi, sledil je vzorec, ki je bil izpostavljen svetlobi žarnice, najnižjo vrednost L pa smo zaznali pri filmu, ki je bil izpostavljen sončni svetlobi. Pričakovali smo, da bo luminiscentni efekt najbolj izrazit v primeru izpostavitve UV svetlobi. Glede na to so nas nekoliko presenetili rezultati po izpostavitvi sončni svetlobi. Dobljene rezultate si razlagamo s tem, da smo vzorec izpostavili soncu novembra, ko le-to ni imelo take moči, kot bi jo imelo poleti.

4.7.3 Trajanje učinka luminiscentnega premaza

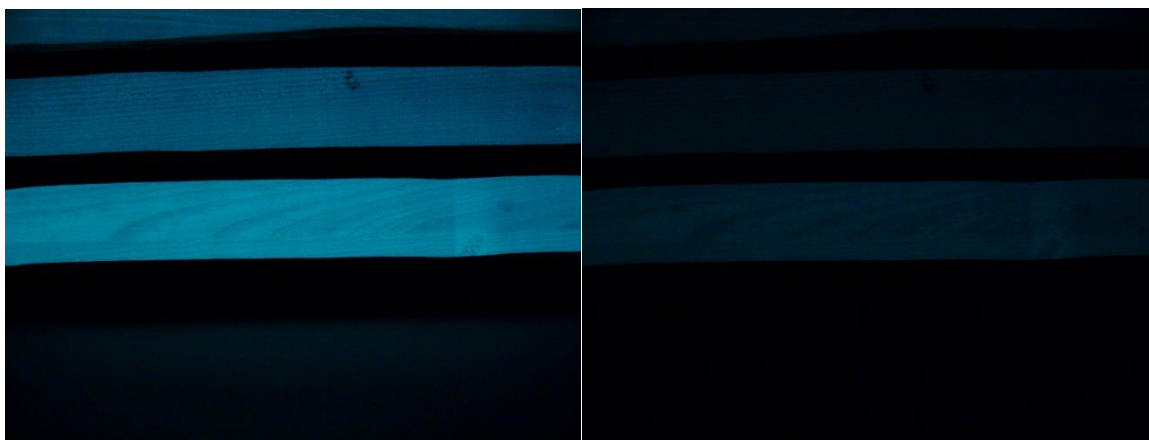
Zanimalo nas je tudi trajanje luminiscentnega učinka. Izbrali smo vzorec H50-120 in ga za eno uro izpostavili sobni svetlobi (150 W žarnica na razdalji 170 cm). Nato smo ga postavili v temnico in ga fotografirali v časovnih intervalih, ki so navedeni v preglednici 10. Luminiscentni efekt smo spremljali 8 ur. Dobljene fotografije smo obdelali s programom ImageJ, da smo dobili vrednosti R, B in G, iz katerih smo nato izračunali vrednost svetlosti L.

Preglednica 10: Padanje vrednosti L s časom od izpostavitve svetlobi

Št. vzorca	Čas (min)	R	G	B	L
1	0	1,12	121,68	151,33	47,096
2	1	1,82	94,95	126,03	37,288
3	2	2,79	77,87	109,53	30,793
4	3	5,94	64,81	96,63	25,723
5	4	9,06	54,33	82,05	21,348
6	5	9,56	46,91	71,16	18,119
7	6	4,34	41,27	61,65	15,365
8	7	4,04	36,6	53,98	13,173
9	8	3,47	32,47	47,83	11,225
10	9	5,32	28,61	42,21	9,504
11	10	6,16	25,96	38,67	8,316
12	15	7,08	15,92	24,82	4,366
13	20	0,002	9,63	16,25	2,233
14	30	0,01	3,24	8,55	0,805
15	45	0,05	0,98	5,05	0,295
16	60	0,14	0,47	4,16	0,183
17	90	0,43	0,2	3,49	0,133
18	120	0,64	0,13	3,43	0,131
19	150	0,76	0,10	3,03	0,129
20	180	0,89	0,08	2,99	0,128
21	210	0,98	0,07	2,8	0,127
22	240	1,00	0,06	2,78	0,126
23	300	1,02	0,05	2,49	0,125
24	360	1,05	0,048	2,45	0,124
25	420	1,06	0,046	2,35	0,122
26	480	1,08	0,042	2,33	0,120



Slika 33: Vrednosti L v odvisnosti od časa od konca enourne izpostavitve svetlobi 150 W žarnice, za film H50-120 (vodni lak s koncentracijo pigmenta 50 % in debelino nanosa 120 μm)

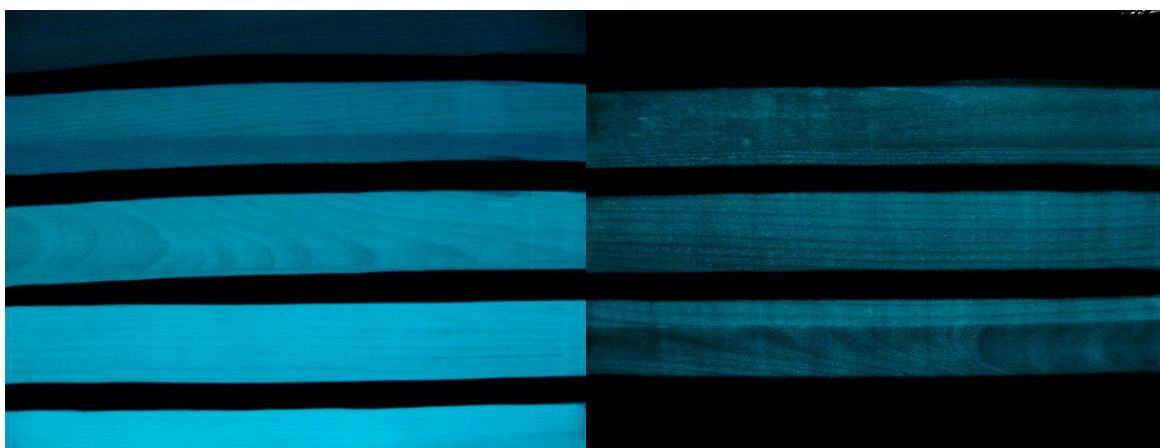


Slika 34: Upad luminiscentnega efekta po desetih minutah od enourne izpostavitve filma H50-120 svetlobi 150 W žarnice

Rezultati, ki so prikazani v preglednici 10 in za prvih 60 minut po izpostavitvi svetlobi tudi na sliki 31 so zanimivi, saj kažejo na to, da intenziteta luminiscentnega efekta močno upade že po eni uri. Presenetljivo je, da se luminiscentni učinek izrazito zmanjša že prvo minuto in to za največjo vrednost in potem enakomerno pada vse do neke ene ure, ali ure in pol od konca izpostavitve svetlobi 150 W žarnice, kjer se ustali. Sicer pa je bil luminiscentni učinek v temnici viden s prostim očesom tudi še po osmih urah od izpostavitve svetlobi, vendar zelo šibko.

4.7.4 Vpliv vrste podlage na luminiscentni učinek

Premaze s pigmenti smo nanесли na dve vrsti podlag in sicer na površino masivne hrastovine in na bukov furnir, ki je bil nalepljen na iverno ploščo. Pri opazovanju pri dnevni svetlobi razlik v luminiscentnem učinku skorajda ni bilo možno opaziti, v temi pa se je lepo pokazalo, da ima na intenziteto luminiscentnega efekta močan vpliv tudi vrsta podlage. Menimo, da je glavni vzrok za ta pojav različno globoka penetracija premaza z luminiscentnim pigmentom v različne vrste podlag. Tako se je pri ivernih ploščah, oblepljenih z bukovim furnirjem v temi lepo pokazal spoj različnih furnirnih listov. Prišlo je do občutnih razlik v svetlosti, to pa zato, ker je bil en list furnirja usmerjen bolj tangencialno, drugi pa radialno. Opazili smo vsako malenkost na površini, ki je izstopala od celotne povprečne teksture površine. Tako smo lepo opazili tudi razlike med ranim in kasnim lesom: na delu, kjer je prevladoval rani les, smo opazili večjo svetlost, saj je rani les redkejši in je zmožen večjega vpijanja premaza in s tem večje količine luminiscentnega pigmenta. Opazni so bili tudi skupki pigmentov na posameznih mestih, kar je posledica por, v katere je penetriral premaz s pigmentom. Tudi med hrastovino in bukovim furnirjem je bila v intenziteti luminiscentnega efekta velika razlika in sicer je bil vpliv pigmenta v temi večji pri bukovem furnirju kot pri hrastovini. Zato bi lahko rekli, da se vpliv pigmenta nekoliko bolj izraža pri difuzno poroznih listavcih, kot pa pri venčasto poroznih listavcih.



Slika 35: Luminiscentni efekt na bukovem furnirju H50-120 (levo) in na masivnem hrastovem lesu D50-120 (desno)

5 SKLEPI

Ugotavljali smo možnost vmešavanja pigmenta z luminiscentnim učinkom v izbrane komercialno dosegljive premaze, ki so v redni industrijski uporabi v proizvodnji pohištva. Pigment z luminiscentnim učinkom smo vmešavali v temeljni UV utrjujoči lak, končni UV utrjujoči lak, v lak na vodni osnovi ter v dvokomponentni lak na topilni osnovi. Najprej smo želeli ugotoviti, kako pigment vpliva na utrjevanje izbranih premazov.

V izbrane premazne sisteme smo vmešavali luminiscentne pigmentne delce dveh različnih povprečnih velikosti (4 μm in 10 μm) v različnih količinah, tako da so koncentracije pigmenta znašale 10 %, 20 %, 30 %, 40 % in 50 %. Med vmešavanjem so se zmesi močno segrevale, zato smo morali prilagoditi hitrost vrtenja mešala s 24000 obratov na minuto na 10000 obratov na minuto, kar je vplivalo na potrebni čas mešanja, ki je znašal 10 minut. Potrebno je bilo tudi ugotoviti, kolikšna je optimalna velikost delcev pigmenta, da le-ta ne vpliva na premazni sistem. Premaze z dodanim pigmentom smo nanесли na bukov furnir na iverni plošči in na površino masivne hrastovine.

Ugotovili smo, da koncentracija pigmenta v premazu močno vpliva na intenziteto luminiscentnega učka. Prav tako pomembno vlogo ima pri luminiscentnem učinku tudi debelina nanosa, saj se z večanjem le-te intenziteta luminiscentnega učka povečuje. Prav tako na luminiscentni uček vpliva število nanosov ter vmesno brušenje med njimi. Izkazalo se je, da vmesno brušenje znatno pripomore k bolj izrazitemu luminiscentnemu učinku.

Razlike v intenziteti luminiscentnega učka so se pokazale tudi v odvisnosti od vrste premaznega sistema, pri čemer so bili ostali pogoji enaki (koncentracija pigmenta, količina nanosa), Svetlost je bila odvisna tudi od tega, ali smo izvedli vmesno brušenje ali ne. Tudi prisotnost končnega laka povečuje vrednost svetlosti, kar se zlasti kaže pri premaznih sistemih s koncentracijo pigmenta, ki je bila večja od 20 %. Prisotnost omakala v premazu znižuje intenziteto luminiscentnega učka. Najbolj izrazit luminiscentni uček smo opazili pri laku na vodni osnovi, s 50 % deležem pigmenta in s 120 μm debelino nanosa, velikost delcev pa je znašala 4 μm . Najslabši luminiscentni uček je izkazoval končni lak s 5 % deležem pigmenta in s 40 μm debelim nanosom, pri čemer so bili delci pigmenta v povprečju veliki 10 μm .

Tudi velikost delcev zelo vpliva na luminiscentni uček. Pri delcih velikosti 10 μm je bil ta uček zelo slabo izražen. Velikost delcev samega pigmenta naj bi bila pod 10 μm , saj se je velikost 4 μm veliko bolj izkazala kot večji delci. Z večanjem koncentracije in debelino nanosa se luminiscentni uček sicer večja, vendar se je izkazalo, da je srednja koncentracija s srednjimi debelinami nanosa ter vmesnim brušenjem najbolj učinkovita.

Ugotovili smo tudi, da izpostavitve različnim virom svetlobe tudi vpliva na luminiscentni uček. Najintenzivnejši je bil ta uček pri filmu, ko smo ga izpostavili UV svetlobi, manj pri filmu, ki smo ga za eno uro izpostavili svetlobi 150 W žarnice in najslabši pri izpostavitvi naravni sončni svetlobi. Slednje pojasnujemo s tem, da smo vzorec izpostavili soncu novembra, ko le-to ni imelo take moči, kot bi jo imelo poleti.

V eni uri od izpostavitve svetlobi je luminiscentni efekt povsem izginil. Učinek se je precej zmanjšal že prvo minuto po izpostavitvi, potem enakomerno padal, po eni uri ali uri in pol pa ga skoraj ni bilo več možno zaznati. V temnici pa smo s prostim očesom luminiscentni učinek lahko opazovali tudi še po osmih urah od izpostavitve svetlobi, vendar je bil efekt zelo šibek.

Premaze z luminiscentnimi pigmenti smo nanесли na masivni hrastov les in na bukov furnir na iverni plošči. V temi se lepo vidi, da je intenziteta luminiscentnega efekta odvisna od vrste podlage, zaradi različno globoke penetracije v podlago: v hrastovino je premaz bolj penetriral, kot v bukov furnir. Pri sobni svetlobi je bil ta pojav manj opazen. Prav tako so bili v temi zaradi fosforescence zelo lepo opazni spoji listov furnirja oz. usmerjenost furnirja, razlike med ranim in kasnim lesom (na ranem lesu je luminiscenca bolj izrazita), ter pore, v katerih je bila vsebnost luminiscentnih delcev pigmenta.,

Sklenemo lahko, da je pigmente z luminiscentnim učinkom možno vmešati v površinske premaze za les tako, da ti ostanejo še vedno funkcionalni. Na luminiscentni efekt vpliva veliko dejavnikov: velikost delcev pigmenta, koncentracija le-tega v premazu, debelina nanosa, prisotnost omakal, vmesno brušenje med posameznimi nanosi, vrsta podlage, na katero naneseemo luminiscentni premaz ter tudi vrsta svetlobe, ki ji izpostavimo luminiscentni film.

6 POVZETEK

Slovensko podjetje, ki se ukvarja s proizvodnjo pohištva in notranje opreme, je želelo vpeljati v svojo proizvodnjo premaze z luminiscentnim (fosforescentnim) učinkom. Tak premaz bi uporabljali na frontah ter robovih pohištva otroških sob. Potrebno je bilo poiskati primeren luminiscentni pigment, ga pripraviti za vmešavanje v premaze, ki jih v podjetjih že uporabljajo, nanesti na realne podlage in preveriti nekatere lastnosti utrjenih filmov z luminiscentnim učinkom.

Ugotoviti je bilo potrebno primerno frakcijo luminescentnega pigmenta za optimalno vmešavanje v izbrani obstoječi komercialni premaz tako, da ta ne vpliva negativno na formiranje filma in utrjevanje. Potrebno je bilo tudi ugotoviti primerno koncentracijo pigmenta in količino nanosa premaza, da dosežemo optimalni luminiscentni efekt in trajanje le-tega.

V diplomskem delu smo v izbrane komercialno dosegljive premaze, ki so v redni industrijski uporabi v proizvodnji pohištva, vmešavali pigmente z luminiscentnim učinkom. To smo izvedli s štirimi različnimi premazi in sicer s temeljnim UV utrjujočim lakom, končnim UV utrjujočim lakom, lakom na vodni osnovi ter dvokomponentnim lakom na osnovi organskih topil. Te premaze smo potem nanесли na bukov furnir na ivernih ploščah in na površine masivnega hrastovega lesa ter analizirali dosežene luminiscentne učinke.

Najprej smo delce pigmenta zmleti do optimalne velikosti zrn. Pigment, ki smo ga prejeli, je vseboval prevelike delce za našo raziskavo, zato ga je bilo potrebno zmleti na manjše delce in sicer na 10 μm , kar pa se je kasneje izkazalo še vedno za preveč. Drugo mletje smo izvedli na velikost 5 μm oziroma 4 μm . Ker na naši fakulteti takšnega mlina ne premoremo, smo pigment poslali na Kemijski inštitut v Ljubljani, kjer so izvedli potrebno mletje. Mletje se je izvajalo s krogličnim mlinom. Delce smo pomlevali tako dolgo, da smo dobili želeno frakcijo. Ugotovili smo, da je primerna velikost delcev 4 μm saj smo s pigmentnimi delci velikosti 10 μm dosegli slabe rezultate.

Te delce smo potem z dispergatorjem vmešavali v izbrane premaze. Vmešavali smo različne količine pigmenta z luminiscenčnim učinkom, tako da je njegova koncentracija v premazih znašala od 5 % do 50 % pigmenta. Ugotovili smo, da se zmes med mešanjem precej segreva, zaradi trenja, ki so ga povzročali delci pigmenta. Prav zaradi tega smo morali prilagoditi hitrost mešanja s 24000 obratov na minuto na 10000 obratov na minuto, kar je vplivalo na čas mešanja. Mešanje smo izvajali 10 minut. Mešanje so izvajali z dispergatorjem IKA ULTRA-TURRAX T 25 digital in z nastavkom S 25 N – 25 F.

Premaze z različnimi koncentracijami luminiscenčnega pigmenta smo nato v različnih debelinah nanosa nanесли na bukov furnir na iverni plošči ter na masivni hrastov les. Nekatere iverne plošče z bukovim furnirjem so bile predhodno že obdelane s temeljnim lakom. Debelina nanosa se je gibala od 40 μm do 240 μm . Koncentracije vmešanega pigmenta so znašale od 5 % do 50 %. V nekaterih primerih smo na podlago nanесли več zaporednih nanosov in med posameznimi nanosi izvedli tudi vmesno brušenje.

Tako pripravljene premazne sisteme smo nato utrjevali s pomočjo UV svetlobe in na zraku, odvisno od vrste premaza in opazovali ali pigment vpliva na utrjevanje filma. Skupaj smo tako pripravili 45 vzorcev z različnimi premaznimi sistemi. Ugotovili smo, da pigment ne vpliva na utrjevanje filma.

Vzorci smo izpostavili različnim svetlobnim virom in jih postavili v temnico, kjer smo analizirali luminiscentni efekt. Tako smo ugotovili, kako velikost delcev, koncentracija pigmenta, debelina nanosa, prisotnost omakal, brušenje, različne podlage in različni svetlobni viri vplivajo na intenzivnost ter trajanje luminiscenčnega efekta.

Pričakovali smo, da bodo vzorci z višjimi koncentracijami pigmenta, ter z večjimi debelinami nanosa izkazovali višje vrednosti svetlosti L . Tako se je tudi izkazalo: očitno je, da se svetlost vzorca v temi večja z dvigom koncentracije pigmenta v premazu in s količino nanosa premaza. Vsi filmi niso bili izpostavljeni običajni sobni svetlobi enako dolgo, kar bi verjetno lahko vplivalo na izračunane vrednosti L , vseeno pa smo med posameznimi vrstami premazov zaznali značilne razlike. Na svetlost je vplivala vrsta premaza, saj smo opazili razlike v svetlosti pri različnih premazih z istim deležem pigmenta in z isto nazivno debelino filma. Prav tako je na svetlost vplivalo tudi vmesno brušenje temeljnega premaza. Pri 50 % koncentraciji pigmenta in 40 μm debelini nanosa smo pri vzorcu brez brušenja dobili vrednost L 48,31, pri 50 % koncentraciji pigmenta in 40 μm debelini nanosa z vmesnim brušenjem pa 49,53. Tudi prisotnost končnega sloja laka povečuje vrednost svetlosti, kar se je še zlasti pokazalo pri vzorcih, v katerih je bil delež pigmenta višji od 20 %. Prav tako smo na luminiscentni efekt zaznali vpliv prisotnosti omakala, saj le-to znižuje svetlost luminiscentnega premaza. Pri premazu s 5 % omakala je svetlost znašala 3,82, pri 10 % omakala v premazu pa 2,05. Sicer pa je najvišjo vrednost L dosegel lak na vodni osnovi s 50 % deležem pigmenta in 120 μm debelino nanosa, ter z velikostjo delcev 4 μm in sicer 65,22. Najnižjo vrednost smo opazili pri končnem laku s 5 % deležem pigmenta in 40 μm debelim nanosom, pri čemer so bili delci pigmenta veliki 10 μm in sicer 0,15. Tudi velikost delcev zelo vpliva na intenzivnost luminiscenčnega efekta, saj so filmi z delci velikosti 10 μm dosegali zelo nizke svetilne vrednosti luminiscenčnega efekta. Za doseganje optimalnega luminiscenčnega učinka je prav tako potrebno izbrati pravo površino, v našem primeru, je bil to bukov furnir. Velikost delcev samega pigmenta naj bi bila pod 10 μm , saj se je velikost delcev 4 μm izkazala z veliko bolj izrazitim luminiscentnim učinkom. Z višanjem koncentracije pigmenta in debelino nanosa se luminiscenčni efekt sicer večja, vendar se je izkazalo, da je bil efekt najbolj učinkovit pri 50 % koncentraciji vmešanega pigmenta, z debelinami nanosa 120 μm ter vmesnim brušenjem.

Sklenemo lahko, da je vmešanje pigmentov z luminiscenčnim učinkom v premaze za les možno, vendar je potrebno pri tem paziti, da premazni sistem ostane funkcionalen. To pa dosežemo s pravo količino pigmentnih delcev, da le ti ne vplivajo na nanašanje premaza ter na utrjevanje filma. Pomembno je tudi vmešati pravo koncentracijo pigmenta v obstoječi premaz ter izbrati ustrezno debelino nanosa.

7 VIRI

Abbe P. O. 2013. Mill speed – Critical speed
<http://www.pauloabbe.com/size-reduction/resources/mill-speed-critical-speed> (10. avg. 2016)

Aitken M. J. 1985. Thermoluminescence Dating. London, Academic Press: 49 str.

Art F. 2006. Photinus pyralis Firefly glowing.jpg. 3.7.2006.
[https://sl.wikipedia.org/wiki/Luminiscenca#/media/File:Photinus pyralis Firefly glowing.jpg](https://sl.wikipedia.org/wiki/Luminiscenca#/media/File:Photinus_pyralis_Firefly_glowing.jpg) (17. jul. 2016)

Božičko I. 2003. Površinska obdelava in zaščita lesa. Maribor, A. Marksl: 46 str.

Buisette V., Moreau M., Gacoin T., LE Mercier T., Boilot J.-P. 2005. Highly luminescent composite films from core-shell oxide nanocrystals. V: Organic and Nanocomposite Optical Materials. Symposium, Materials Research Society Symposium Proceedings, 846: 171-176

Bünzli J.-C.G., Comby S., Chauvin A.-S., Vandevyver C.D.B. 2007. New Opportunities for Lanthanide Luminescence. Journal of Rare Earths, 25, 3: 257-274

Catalano 2008. Bioluminescent dinoflagellates 2.jpg, 15.10.2008.
https://sl.wikipedia.org/wiki/Bioluminiscenca#/media/File:Bioluminescent_dinoflagellates_2.jpg (17. jul. 2016)

CIE-LAB color space. 2013.
<http://sheriffblathur.blogspot.si/2013/07/cie-lab-color-space.html> (17. avg. 2016)

Easy RGB 2014. EasyRGB color search engine.
<http://www.easyrgb.com/index.php?X=CALC> (6. sep. 2016)

Fang Z., Wang S., Zhao L., Xu Z., Ren J., Yang Q., Wang X. 2008. Preparation and characterization of acrylic-based luminescent nanomaterials by in-situ emulsifier-free emulsion copolymerization. Materials Letters, 62: 1085–1088

Flinch. F. 2008. Luminescent paint pigment applied on a diver's watch to make it readable in low light conditions.jpg, 26.4.2008.
[https://sl.wikipedia.org/wiki/Luminiscenca#/media/File:Luminescent paint pigment applied on a diver%E2%80%99s_watch_to_make_it_readable_in_low_light_conditions..jpg](https://sl.wikipedia.org/wiki/Luminiscenca#/media/File:Luminescent_paint_pigment_applied_on_a_diver%E2%80%99s_watch_to_make_it_readable_in_low_light_conditions..jpg) (15. jul. 2016)

FMS - The Fluorescent Mineral Society. "Luminescence and Fluorescence"
<http://uvminerals.org/fms/luminescence> (15. jul. 2016)

Gil J. M., Gil F. J. 1978. "Triboluminescence of new uranyl salts". Journal of Chemical Education, 55, 5: 340 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

Grobe H. 2005. Fluorescent minerals hg.jpg, 7.4.2005.
https://sl.wikipedia.org/wiki/Fotoluminiscenca#/media/File:Fluorescent_minerals_hg.jpg
(17. jul. 2016)

Huang Z., Zhang H., Guo J., Wang J., Chen Y. 2009. Facile Fabrication of Novel Eu-Containing Copolymer and Luminescent Properties. Polymer Engineering and Science, 49, 7.: 1273

Hyper Physics. Light and Vision. 1996.
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vision/cie.html> (17. avg. 2016)

IGT 2012. Testing Systems Pte Ltd.
<http://www.igt.com.sg/products/details/zaf-2010-4-sided-applicator-frame> (5. avg. 2016)

IKA 2015. IKA laboratory technology, 28.10.2015.
http://www.ika.com/owa/ika/catalog.technical_data?iProduct=3725000&iProductgroup=&iSubgroup=&iCS=1 (15. avg. 2016)

Intercet 2016. UV enota za utrjevanje Bürkle TRUV
http://intercet.si/stroji_za_susenje/77/uv_enota_za_utrjevanje_burkle_truv/ (6. sep. 2016)

Južnič S. 1994. Zgodovina vakuumске tehnike (III. del). Vakuumist, 14,1: 27-31

Kim J., Kim M.H. 2006. A photochromic dye activation method for measuring the thickness of liquid films. Measurement, 39: 497–504

Kladnik R. 1991. Visokošolska fizika, 2. del: Električna in atomika. Ljubljana, DZS: 271 str.

Kotnik D. 2003. Površinska obdelava v izdelavi pohištva. 2 dopolnjena izdaja Brezovica, Finitura d.o.o.: 184 str.

Kricka L. J., Stroebel J. in Stanley P.E. 1999. "Triboluminescence: 1968-1998". Journal of Bioluminescence and Chemiluminescence, 14, 4: 215–220

Lakowicz J. R. 2008. Principles of Fluorescence Spectroscopy, 3rd edition. Berlin, Springer: 954 str.

Lin T., Wang X. 2009. Nano related research in fibres and textiles. International Journal of Nanotechnology, 6, 5-6: 579-598

Lloyd J. E., Gentry E. C. 2003. "Bioluminescence". V: Encyclopedia of Insects. Resh V.H. in Cardé R. T. Academic Press: 115-120

Newton H. E. 1957. A history of luminescence from the earliest times until 1900 V: Luminescence, Phosphorescence, Fluorescence. Philadelphia, American Philosophical Society: 601-669

Nikitenko V.A. 1992. Luminescence and EPR of zinc oxide.. Journal of Applied Spectroscopy, 57, 5-6: 783-798

Petrič M. 2007. Premazi za površinsko obdelavo lesenih talnih oblog. 1. del. Korak, 3: 35-40.

Petrič M., Pohleven F., Kričej B., Pavlič M., Rep G. 2009. Vsebinsko poročilo o opravljenem delu do mejnika M2. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.

Qiu F., Shi C., Da Z., Yang D. 2008. Preparation and properties of a rare earth europium polyurethane luminescence material. Journal of Beijing University of Chemical Technology, 35, 4: 65-68

Richter T. 2006. This shows a dv working place of the local German TV station "TV Meissen", 17.3.2006.
https://sl.wikipedia.org/wiki/Elektroluminiscenca#/media/File:Dv_schnittplatz.JPG (15. jul. 2016)

Roda A. 1998. The Discovery of Luminescence: V: The Bolognian Stone. International symposium 10th Bioluminescence and chemiluminescence. Bologna, Italy: 10 str.

Shahrokh Z., Bicknese S., Shohet S.B. in Verkman A.S. 1992. "Single photon radioluminescence: II. Signal detection and biological applications". Biophysical Journal 63, 5: 1267-1279

Textor T., Knittel D., Bahners T., Schollmeyer E. 2003. Inorganic-organic hybrid polymers for coating textile materials. Current Trends in Polymer Science, 8: 127-133

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojemu mentorju prof. dr. Marku Petriču in somentorju asist. dr. Matjažu Pavliču za pomoč pri izvedbi diplomske naloge ter pri iskanju ustreznega gradiva. Zahvala gre tudi strok. svet. Borutu Kričanju za pomoč pri eksperimentalnem delu naloge. Za recenzijo se zahvaljujem doc. dr. Idi Poljanšek.

Zahvalil bi se tudi gospe Maji Valič za pomoč pri pregledu strukture in oblikovanju diplomske naloge.

Zahvala gre tudi moji družini, ki me je vzpodbujala in priganjala k dejanski izvedbi. Še prav posebej bi se zahvalil moji prisrčni Darji, ki je vseskozi budno nadzorovala moj napredek in me nič kolikokrat opomnila, naj se spravim k delu ;)

Luminiscenca

Norost se zbira
in meni je prav,
za hip zraste, se razliva, zasije,
kot zvezda,
ki je ravnokar padla z neba.

Potovanje se je začelo.
Vzamem ga v naročje.

Divjam, kričim, vrtim se!

In sedaj....poslušam.

Ups!
Spet sem šla skozi napačna vrata.

Saša Strnad