

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Tilen Podpečan

**PRIMERJAVA RAZLIČNIH METOD
ZA DOLOČANJE OPRIJEMNOSTI UTRJENIH
PREMAZOV NA LES**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2014

Popravki:

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Tilen PODPEČAN

**PRIMERJAVA RAZLIČNIH METOD
ZA DOLOČANJE OPRIJEMNOSTI UTRJENIH
PREMAZOV NA LES**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

**A COMPARISON OF DIFFERENT METHODS
FOR THE DETERMINATION OF ADHESION OF CURED
COATINGS ON WOOD**

GRADUATION THESIS

Higher professional studies

Ljubljana, 2014

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Eksperimentalno delo je bilo izvedeno v Laboratoriju za obdelavo površin Katedre za lepljenje, lesene kompozite in obdelavo površin Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja visokošolske diplomske naloge imenoval prof. dr. Marka Petriča, za somentorja asist. dr. Matjaža Pavliča in za recenzenta doc. dr. Dominiko Gornik Bučar

Mentor: prof. dr. Marko Petrič

Somentor: asist. dr. Matjaž Pavlič

Recenzent: doc. dr. Dominika Gornik Bučar

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomska naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Tilen Podpečan

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 674.07
KG	bukovina/vodni lak/UV lak/poliuretanski lak/oprijemnost/križni rez/odtrgovanje pečatov
AV	PODPEČAN, Tilen
SA	PETRIČ, Marko (mentor)/PAVLIČ, Matjaž (somentor)/GORNIK BUČAR, Dominika (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2014
IN	PRIMERJAVA RAZLIČNIH METOD ZA DOLOČANJE OPRIJEMNOSTI UTRJENIH PREMAZOV NA LES
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	X, 44 str., 13 pregl., 9 sl., 12 vir., 9 pril.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Ugotavljali smo povezave med rezultati določanja oprijemnosti premaznih sistemov, ki jih dobimo z različnimi metodami. Na bukove vzorce smo nanесли različne premazne sisteme: vodni, UV utrjujoči vodni in poliuretanski lak. Za določanje oprijemnosti smo uporabili različne metode, in sicer test s križnim rezom (SIST EN ISO 2409) ter 3 različice metode z odtrgovanjem pečatov (SIST EN 4624). Tako dobljene rezultate smo med seboj primerjali in statistično obdelali z računalniškim programom Statgraphics Centurion XVI. Izvedli smo test variance in nato z Duncanovim testom pri 95 % stopnji zaupanja dobljene rezultate razvrstili v homogene skupine. Rezultate, ki jih dobimo z metodo križnega reza, je nesmiselno primerjati s tistimi, ki jih dobimo s postopkom odtrgovanja pečatov. Možna pa je primerjava rezultatov, dobljenih s 3 različicami metode odtrgovanja pečatov. Najboljšo oprijemnost smo dosegli z UV-lakom, sledil je poliuretanski lak, najslabše rezultate pa smo dobili pri vodnem sistemu.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Vs
DC	UDC 630*829.1
CX	beech wood/UV curing finish/polyurethane coating/water borne lacquer/ adhesion/pull-off test/cross-cut test
AU	PODPEČAN, Tilen
AA	PETRIČ, Marko (supervisor)/PAVLIČ, Matjaž (co-supervisor)/GORNIK BUČAR, Dominika (reviewer)
PP	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, C. VIII/34
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY	2014
TI	A COMPARISON OF DIFFERENT METHODS FOR THE DETERMINATION OF ADHESION OF CURED COATINGS ON WOOD
DT	Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO	X,44 p., 13 tab., 9 fig., 12 ref., 9 ann.
LA	sl
AL	sl/en
AB	We were establishing the link between the results of determining the adhesion of coating systems obtained by various methods. We applied different coating systems on beech wood samples: water-borne, UV-curing water-borne and polyurethane finishes. To determine the adhesion we used different methods, namely the cross-cut test (SIST EN ISO 2409), and three versions of the pull-off test method (SIST EN 4624). The results were compared and statistically analyzed with a computer program Statgraphics Centurion XVI. We conducted a test of variance, after which the results were sorted into homogeneous groups with Duncan's test at the 95-percent level of confidence. Comparison of the results obtained by the method of cross-cutting with those obtained by the pull-off test method does not make any sense. However, it is possible to compare the results obtained by the three versions of the pull-off test method. The best adhesion strength was

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	IX
1 UVOD IN OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
1.1 CILJI NALOGE	1
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	1
2 SPLOŠNI DEL.....	2
2.1 PREMAZNA SREDSTVA.....	2
2.2 SPLOŠNE ZNAČILNOSTI LAKOV	2
2.3 SESTAVINE LAKOV IN NJIHOVE FIZIKALNO-KEMIJSKE LASTNOSTI.....	3
2.3.1 Veziva.....	3
2.3.2 Topila in redčila.....	3
2.3.3 Pigmenti in polnila.....	4
2.3.4 Pomožna sredstva v lakih	4
2.4 POLIURETANSKI LAKI (PU)	6
2.5 VODNI LAKI (V)	9
2.6 BUKEV, <i>FAGUS SYLVATICA L.</i>	12
2.6.1 Opis lesa.....	12
2.6.2 Lastnosti lesa	12
2.6.3 Uporaba:.....	13
2.7. OPRIJEMNOST	15
2.7.1 Kohezija	15
2.7.2 Adhezija	15
3 MATERIALI IN METODE	17
3.1 MATERIALI	17
3.1.1 Vzorci lesa, bukev	17

3.2 METODE.....	18
3.2.1 Merjenje debeline filma utrjenega laka	18
3.2.1.1 Mikroskopska metoda.....	18
3.2.2 Oprijemnost	19
3.2.2.1 Metoda s križnim rezom	19
3.2.2.2 Metoda z odtrgovanjem pečatov.....	21
3.2.2.3 Metoda z odtrgovanjem pečatov (modificirano ročno).....	21
3.2.2.4 Metoda z odtrgovanjem pečatov (modificirano strojno).....	22
3.3 STATISTIČNA ANALIZA.....	24
4 REZULTATI.....	26
4.1 DEBELINA UTRJENEGA FILMA.....	26
4.2 OPRIJEMNOST PREMAZNEGA SREDSTVA NA PODLAGO, DOLOČENA S KRIŽNIM REZOM	26
4.3 OPRIJEMNOST PREMAZNEGA SREDSTVA NA PODLAGO, DOLOČENA Z ODTRGOVANJEM PEČATOV	27
4.4 STATISTIČNA ANALIZA REZULTATOV	30
5 RAZPRAVA.....	32
6 SKLEPI	34
7 POVZETEK.....	35
8 VIRI	36
ZAHVALA	
PRILOGE: Dobljeni rezultati	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Debelina suhega premaznega filma različnih sistemov (PU, UV in vodni lak) na bukovini	26
Preglednica 2: Rezultati oprijemnosti vseh treh sistemov (vodni, PU, in UV-lak) na bukovi podlagi (križni rez).....	27
Preglednica 3: Oprijemnost poliuretanskega, UV- in vodnega laka na bukovi podlagi	28
Preglednica 4: Povprečne vrednosti oprijemnosti, dobljene z različnimi metodami, s statistično analizo podatkov (Duncanov test s 95-odstotno stopnjo zaupanja - homogene skupine so prikazane z x v istem stolpcu).....	30
Preglednica 5: Oprijemnosti poliuretanskega laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov	39
Preglednica 6: Oprijemnosti poliuretanskega laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov	39
Preglednica 7: Oprijemnosti poliuretanskega laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov	40
Preglednica 8: Oprijemnosti UV-laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov	40
Preglednica 9: Oprijemnosti UV-laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov	41
Preglednica 10: Oprijemnosti UV-laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov	41
Preglednica 11: Oprijemnosti vodnega laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov	42
Preglednica 12: Oprijemnosti vodnega laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov	42
Preglednica 13: Oprijemnosti vodnega laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov	43

KAZALO SLIK

Slika 1: Merjenje debeline filma z mikroskopom (foto: M. Pavlič).....	18
Slika 2: Rezilo za izvajanje križnega reza	20
Slika 3: Slika tabele za ocenjevanje oprijemnosti po standardu SIST EN ISO 2409.....	20
Slika 4: Naprava za merjenje oprijemnosti po SIST EN ISO 4624	21
Slika 5: Naprava za merjenje oprijemnosti (foto: M. Pavlič).....	22
Slika 6: Prikaz rezultata testa s križnim rezom na primeru preskušanca, ki je bil premazan s poliuretanskim lakom.....	27
Slika 7: Vzorci s pečati premera 10 mm.....	29
Slika 8: Vzorci s pečati premera 20 mm.....	29
Slika 9: Oprijemnost različnih premaznih sistemov na bukovino	31

KAZALO PRILOG

Priloge 1.....	39
----------------	----

1 UVOD IN OPREDELITEV PROBLEMA

Površinska obdelava lesa je zadnja v fazi obdelave oziroma izdelave nekega izdelka. S kvalitetno površinsko obdelavo lahko izdelku izdatno povečamo vrednost, zato jo štejemo med najpomembnejše faze izdelave. Površinska obdelava se prične z brušenjem, konča pa z nanašanjem različnih premaznih sredstev na les ali lesno tvorivo (lazur, lakov, voskov ...). S premazi lesu oziroma lesnim tvorivom izboljšamo nekatere lastnosti, kot so odpornost proti udarcem, odpornost proti različnim vplivom med izpostavitvijo, odpornost proti obrabi, kemikalijam ...

Oprijemnost (pravilneje oprijemna trdnost, v nalogi je zaradi krajšega zapisa uporabljen izraz oprijemnost) utrjenega premaza je ena najpomembnejših lastnosti, ki je pokazatelj kvalitete površinske obdelave lesa. Za oceno oprijemnosti imamo na voljo različne metode, ki so v lesarstvu večinoma prevzete s področja kovinskih premazov (test s križnim rezom – več variant – ter odtrgovanje pečatov z ročnim ali avtomatskim trgalnim strojem z različnimi velikostmi pečatov). Pri tem se pojavi vprašanje, kakšne so korelacije med rezultati, dobljenimi z različnimi metodami.

1.1 CILJI NALOGE

Na različne lesne podlage bomo nanegli premazne sisteme in oprijemnost utrjenih filmov določali po različnih metodah (križni rez, odtrgovanje pečatov). Med dobljenimi rezultati bomo poskusili poiskati značilne povezave in ugotoviti, ali na korelacije vpliva tudi vrsta premaza.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Predvidevamo, da bomo razlike med rezultati oprijemnosti, dobljenimi z ročnim in avtomatiziranim odtrgovanjem pečatov, lahko statistično ovrednotili, vprašanje pa je, ali bo mogoče poiskati korelacije med rezultati preizkusa s križnim rezom in odtrgovanjem pečatov. Pričakujemo, da na eksperimentalno oceno oprijemnosti vplivajo tudi fizikalne lastnosti premaza.

2 SPLOŠNI DEL

2.1 PREMAZNA SREDSTVA

Pojem premazna sredstva obsega široko paleto tekočih, bolj ali manj viskoznih ali pastoznih, brezbarvnih, transparentno obarvanih ali prekrivnih izdelkov kemijske industrije, ki so namenjeni površinski obdelavi. Osnovne vrste premaznih sredstev so:

- lužila,
- temeljne barve,
- kiti in polnilci por,
- brezbarvni temeljni in končni laki,
- barvni ter lazurni temeljni in končni laki.

2.2 SPLOŠNE ZNAČILNOSTI LAKOV

Laki, ki jih danes uporabljamo v površinski obdelavi lesa in lesnih tvoriv, so tekoča filmogena premazna sredstva, ki jih po svojem osnovnem dekorativnem učinku – barvi, ki jo izkazuje suh film laka na obdelani površini, – lahko razdelimo v osnovne skupine, ki so:

- brezbarvni laki,
- transparentni ali lazurni laki,
- pokrivni laki.

Po vrsti veziva, ki prevladujejo vpliva na potek sušenja ali kemijske reakcije utrjevanja, uvrščamo lake za površinsko obdelavo pohištva v različne skupine, od katerih so najpomembnejše:

- celulozno nitratni (nitrocelulozni) (CN oz. NC),
- polikondenzacijski s kislim utrjevanjem,
- poliuretanski (PU),
- poliestrski (PE),
- poliakrilatni (PA),
- vodni.

2.3 SESTAVINE LAKOV IN NJIHOVE FIZIKALNO-KEMIJSKE LASTNOSTI

2.3.1 Veziva

Vezivo je nehlapna sestavina sredstva za površinsko obdelavo lesa, ki po osušitvi tvori utrjen film in poveže trdne delce pigmenta in dodatkov ter poskrbi za vezavo površinskega sistema na podlago (Petrič in sod., 2002).

V preteklosti so kot vezivo uporabljali predvsem recentne in fosilne naravne smole (kopal, sandarak, kolofonija, šelak), voske (čebelji in karnauba) in nenasičena olja (laneno, dehidrogenirano ricinovo, sojino).

Lastnosti lakov so v veliki meri odvisne od vrste veziva, zato jih največkrat razvrščamo v skupine glede na prevladujočo vrsto polimera, ki ga vsebuje lak, ali pa nastane z reakcijo med utrjevanjem filma na površini obdelovanca.

Danes v izdelavi lakov za površinsko obdelavo lesa uporabljajo številne sintetične polimerne snovi. Lastnosti polimera so odvisne od strukture in velikosti makromolekule.

2.3.2 Topila in redčila

Topilo je tekoča komponenta sredstva za površinsko obdelavo lesa; v splošnem je topilo tekočina ali zmes tekočin, namenjena za raztapljanje ali dispergiranje suhe snovi; pravo topilo pa je tekočina, v kateri se suha snov popolnoma raztopi (Petrič in Pavlič, 2003).

Redčila so hlapne organske tekočine spojin ene vrste ali zmesi, ki same polimera ne raztapljajo (ali pa le slabo), so pa primerne za redčenje raztopin, pri čemer se pogosto pokažejo tudi ugodni učinki pri sušenju, ker pogosto hitreje izparijo od pravih topil. Pri visoki stopnji redčenja pa lahko postane vezivo netopno in se izloči iz raztopine, kar moramo pri redčenju premaza upoštevati. Različne vrste veziva (oz. lakov) seveda vsebujejo različne zmesi topil in redčil. V pohištenih lakih so najpogostejše komponente tekoče faze:

- acetatni estri,
- ketoni,
- alkoholi,
- aromatski ogljikovodiki,

- alifatski ogljikovodiki,
- voda.

2.3.3 Pigmenti in polnila

Pigment je snov, običajno v obliki drobnih delcev, praktično netopna v uporabljenem mediju; uporablja se zaradi svojih optičnih, zaščitnih ali dekorativnih lastnosti (Petrič in Pavlič, 2002).

Anorganski pigmenti so lahko mineralnega izvora (kreda, dolomit, železovi oksidi), vendar pa so danes najpomembnejši sintetični (titanov dioksid, litopon, železovi oksidi, cinkovo belilo, kromrumena). Med te spadajo tudi kovinski pigmenti (fini 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 čedalje pomembnejši za doseganje čistih živih barvnih tonov. Saje so najpomembnejši črn pigment organskega izvora.

2.3.4 Pomožna sredstva v lakih

Različna pomožna sredstva se dodajajo barvnim in brezbarvnim lakom za izboljšanje lastnosti med izdelavo, med hranjenjem pred uporabo in med nanašanjem pa tudi za izboljšanje poteka sušenja in lastnosti suhega filma laka:

- za boljše dispergiranje pigmentov in polnil med mletjem,
- za preprečevanje ali zmanjšanje hitrosti sedimentacije ali izplavanja pigmentov v posodah med skladiščenjem lakov,
- za boljše omočenje podlage,
- za boljše razlivanje filma,
- za povečanje površinske trdote,
- za stabilizacijo reaktivnega veziva,
- za pospeševanje reakcije utrjevanja,
- za mehčanje preveč krhkih veziv (npr. nitroceluloze),
- za izboljšanje brusnosti filma,

- za motenje površine filma (silicijev dioksid, razni voski),
- za povečanje svetlobne obstojnosti (UV-absorberji),
- za povečanje sijajnosti in površinske trdote (posebna veziva, silikonska olja).

2.4 POLIURETANSKI LAKI (PU)

PU-laki so zelo pomembna skupina dvo- in enokomponentnih lakov s srednje visoko vsebnostjo filmotvorne snovi (30-60 %). Tak sistem je prva razvila nemška firma Bayer in ga poimenovala po začetnicah komercialnih nazivov obeh svojih reakcijskih komponent (Desmophen za polioliol in Desmodur za izocianat) z nazivom laki "DD". PU-laki se na površini izkazujejo z zelo dobro oprijemnostjo na podlago, trajno elastičnostjo in tvorijo polne filme. Laki se zelo dobro brusijo in dosegajo zelo visok sijaj. Enokomponentne lake se zaradi enostavnosti priprave uporablja za lakiranje vratnih kril iz masivnega lesa in parketa. Dvokomponentne lake pa uporabljamo pri kakovostnejšem pohištvu, na primer furniranem (kuhinjske fronte, mizne plošče, kopalniško pohištvo, stoli, laboratorijsko pohištvo, športna orodja).

Osnovne sestavine:

Vezivo je pri dvokomponentnih PU-lakih, ki so pri površinski obdelavi lesa in plošč pomembnejša skupina, sestavljeno iz dveh reakcijskih komponent. Prva komponenta so nizkoviskozne raztopine pustih alkidnih ali akrilnih smol z zadostnim številom prostih hidroksilnih skupin (R_1-OH), druga komponenta pa so raztopine različnih nizko in srednje molekularnih izocianatov z določenim številom prostih reakcijskih izocianatnih skupin ($R_2-N=CO$). Komponenti veziva po mešanju v ustreznem razmerju s kemijsko reakcijo adicije tvorita reakcijski produkt poliuretan, to je prosto zamrežen polimer odličnih lastnosti za filme laka.

Reakcija $(R_1)-OH + OC = N-(R_2) = (R_1)-O-CO-NH-(R_2)$ poteka po mešanju komponent že v posodi. Čas želiranja zmesi je odvisen od reaktivnosti laka, običajno pa znaša od 4 do 24 ur. Hitrost reakcije se poveča v alkalnem mediju in zmanjša v kislem. Hlajenje reakcijo upočasni.

Sušenje in utrjevanje nanesenega filma poteka pri normalnih pogojih od 2 do 24 ur, pri povišani temperaturi (od 60 do največ 80 °C) pa od 15 do 60 min. Pri manjšem dodatku izocianata reakcija poteka počasneje, film ostane bolj elastičen in manj trd. Pri prebitku izocianata preostale proste "izocianatne" skupine reagirajo z zračno vlago med podaljšanim

utrjevanjem in tako nastane še trši, vendar nekoliko manj elastičen film, ki je tudi kemijsko odpornejši. (Kričej,2006)

Sestava veziva v PU-lakih omogoča sprejem visokih količin pigmentov in polnil. Uporabljamo večino običajnih pomožnih sredstev za dispergiranje in razlivanje, proti usedanju, za povečanje brusnosti, za motnenje in pospeševanje reakcije utrjevanja.

Za povečanje brusnosti pri brezbarvnih temeljnih lakih dodamo cinkov stearat, ki mora biti ustrezne kakovosti, sicer povzroča nastajanje močnejše pene pri mešanju laka (npr. v polivalnem stroju).

Za motnenje brezbarvnih in barvnih končnih lakov običajno uporabljamo kombinacijo fino mletega silicijevega dioksida in trdih voskov.

Za dobro razlivanje PU-lakov so pomembni dodatki, brez katerih se ti slabše razlivajo, zato v ta namen uporabljamo silikonske smole, silikonska olja ter nekatere celulozne estre (celulozni acetobutirat, polivinilacetat ter celulozni nitrat, ki povzroča poslabšanje svetlobne obstojnosti).

Za pospeševanje reakcije utrjevanja uporabljamo različne pospeševalce. Pri tem so nekateri manj aktivni in pospešujejo selektivno le reakcije med -OH skupinami smole in izocianatnimi skupinami (npr. kobaltov naftenat in kositrov dibutildilaurat), drugi pa so bolj aktivni in pospešujejo tudi stranske reakcije, vključno tiste z vodo, ki jo vsebujejo topila oz. jo film vsrka iz okoliškega zraka (npr. aaminski pospeševalci). Pri zadnjih zaradi stranskih reakcij nastane tudi nekoliko rumenkasto ali rdeče obarvan film. Vsi pospeševalci so nekoliko alkalni, saj kisline zavirajo reakcijo utrjevanja.

Topila so mešanica estrov, ketonov in aromatskih ogljikovodikov. Pomembno je, da tekoča faza vsebuje čim manj vode. Za izdelavo raztopine izocianatnih utrjevalcev vodo iz topil predhodno odstranjujemo s primernimi adsorbenti (npr. kalcijev klorid).

Utrjevalci so raztopine različnih nizko molekularnih izocianatnih polimerov aromatskega ali alifatskega tipa. Po navodilu izdelovalca laka utrjevalec kratek čas pred uporabo vmešamo v lak v ustreznem razmerju (običajno od 10 do 100 delov utrjevalca na 100 delov laka). Z rahlim zmanjšanjem dodatka podaljšamo obstojnost mešanice, nekoliko upočasnimo utrjevanje in povečamo elastičnost filma. Povečanje dodatka utrjevalca ima nasprotni učinek. Aromatski utrjevalci so reaktivnejši, vendar tvorijo rumenkasto obarvane

filme. Alifatski in kombinirani utrjevalci so počasnejši, vendar dajo neobarvane in svetlobno obstojne filme.

Značilnosti PU-lakov so:

- tvorijo srednje debele trde ter kemijsko in mehansko najodpornejše filme,
- slabše so obstojni na svetlobi,
- imajo dobro oprijemnost,
- so elastični in žilavi,
- mogoče jih je uspešno polirati,
- omogočajo visokokakovostno obdelavo,
- ne zahtevajo posebne opreme za sušenje,
- so najprimernejša vrsta laka za elektrostatični nanos,
- hitro se sušijo,
- so problematični glede gubanja in nabrekanja filma,
- vsebujejo visok delež snovi, ki tvorijo film in
- ekološko so med primernejšimi ugodnejšimi sistemi.

2.5 VODNI LAKI (V)

Vodni laki so skupina z vodo razredčljivih lakov (okoljsko sprejemljivi laki), pri katerih uporabljamo najrazličnejše vrste veziv z manjšo vsebnostjo organskih topil (ali celo brez njih), ki so dispergirana v razredčilu – vodi. Disperzijske lake redčimo z vodo. Stopnja razredčenja je ponekod omejena na določeno razmerje, drugod pa neomejena. Vsi ti laki vsebujejo od 2 do 10 % težje hlapnih organskih topil, od 30 do 70 % snovi, ki tvorijo film, preostanek pa je poceni in okolju neškodljivo redčilo – voda.

Glede na velikost delcev veziva vodne pripravke delimo na:

- raztopinske z delci velikosti 1×10^{-9} m,
- koloidne disperzijske z delci velikosti manj kot 1×10^{-4} m,
- emulzijske z delci velikosti več kot 1×10^{-4} m.

V vodnih lakih za površinsko obdelavo lesnih tvoriv, papirja in umetnih mas najpogosteje uporabljajo naslednje vrste veziv oz. disperzij:

- poliakrilatne (akrilne),
- poliuretanske akril-stiren kopolimerne,
- nenasičene poliestrske,
- vinil-propionat-akrilne,
- akril-poliuretan kopolimerne,
- polikondenzacijske s kislim utrjevalcem.

Glede na način sušenja in/ali utrjevanja so vodni laki fizikalno se sušeci z morebitnim nadaljnjim kemijskim ali sevalnim (UV, IR) utrjevanjem. Pri fizikalno se sušecih lakih v prvi fazi sušenja izpareva voda, v drugi fazi pa organska topila. Ob koncu prve in v začetku druge faze sušenja poteka poleg izparevanja še zelo pomemben proces zlivanja vedno bolj koncentriranih kapljic dispergirane polimernega veziva v homogen film.

Za pravilen potek tega procesa je potrebna določena minimalna temperatura zraka in obdelovanca – v večini vodnih lakov ta poteka pri 18 °C ali višji temperaturi. Pri nižji temperaturi lakov ostanejo v filmu laka vključki vode, kar povzroči sivo motnost filma

oziroma belkavost. Zaradi tega dejstva in zaradi znatnega pospeševalnega učinka je zelo primerno utrjevanje pri povišani temperaturi, v končni fazi pa še z IR-sevanjem.

Najprimernejša količina nanosa znaša od 80 do 100 g/m². Sušenje pri normalnih pogojih traja od dve do tri ure za posamezni nanos. Pri povečani relativni zračni vlažnosti se hitrost sušenja še zmanjša. Hitrost sušenja se pri normalni in povišani temperaturi znatno poveča, če je površina obdelovanca predhodno segreta na temperaturo od 40 do 50 °C. Zelo zaželeno je predgrevanje lesnih obdelovancev, saj ima to zelo ugoden učinek na zmanjševanje hrapavosti temeljnega filma, ker se zaradi hitrosti sušenja laka lesna vlakna manj dvigujejo na površino. Izboljša pa se tudi razlivanje V-laka. (Černe 2008)

Vrste vodnih sistemov:

- enokomponentni laki,
- dvokomponentni laki in
- UV-utrjujoči laki.

Prednosti vodnih lakov so:

- požarno varnejši,
- čiščenje in redčenje z vodo,
- blag vonj,
- ekološko sprejemljivi,
- skoraj pH-nevtralni,
- vsebujejo majhen delež hlapnih organskih spojin (HOS),
- omogočajo ponovno uporabo overspraya,
- ne mehčajo spojev, zlepljenih s talilnimi in PVA-lepili.

Slabosti vodnih lakov:

- dvig lesnih vlaken,
- delež suhe snovi,
- površinska napetost,
- korozija opreme,

- težje doseganje visokega sijaja,
- višja cena v primerjavi z ostalimi vrstami lakov,
- pri transportu in skladiščenju mora biti temperatura nad 0 °C,
- slabše razlivanje zaradi velike površinske napetosti.

UV-utrjujoči vodni laki

Vodni UV-utrjujoči laki so se začeli pojavljati v zadnjih letih in so se zaradi svojih dobrih lastnosti dokaj hitro uveljavili. Lastnosti njihovih filmov se lahko primerjajo z lastnostmi akrilnih UV-lakov, zaradi nižje viskoznosti pa so primerni tudi za brizganje in polivanje.

Razvili so jih zato, ker so klasični UV-utrjujoči laki prilagojeni brizganju in polivanju in ker so problematični zaradi prevelike vsebnosti topil. Izdelani so iz vodnih disperzij nenasičenih poliestrskih (PE) smol, raztopljenih v stirenu, ali iz akrilno in akrilkopolimernih sistemov. Slednji so zaradi škodljivosti stirena bolj razširjeni. Ena slabših lastnosti UV vodnih lakov je potreba po odstranitvi vode pred UV-utrjevanjem. Zato je potrebno od 10 do 15 minut sušenja v sušilnem tunelu pri temperaturi od 40 do 60 °C ali od dveh do treh minut pri temperaturi od 60 do 80 °C, če to izdelek dopušča. Za skrajšanje časa sušenja se v praksi veliko uporablja IR-, mikrovalovne in šobne sušilnike, s tem se čas sušenja skrajša na pet ali deset minut. Velika prednost teh lakov pa je možnost zlaganja obdelanih elementov takoj po UV-utrjevanju (Bajde, 2008).

Uporaba vodnih lakov:

- za lakiranje lesenih igrač in druge lesne galanterije,
- premazovanje parketa, lesenih stenskih oblog, stopnic itd.,
- za valjčno zaščitno lakiranje dekorativnih folij na pohištvenih ploščah,
- barvne in brezbarvne impregnacije za umakanje in oblikovanje lesnih izdelkov.

2.6 BUKEV, *FAGUS SYLVATICA* L.

Bukev je naš najbolj razširjen listavec in naša najpomembnejša lesna vrsta. Do sredine 19. stoletja so jo uporabljali skoraj izključno za kurjavo. Bukev je razširjena po dolinah in sredogorjih zahodne, srednje in južne Evrope do Kavkaza (med 40 in 60° zemljepisne širine).

Dosega višine do 30 m, ponekod tudi do 40 m, in premere od 100 do 150 cm. V sestojih rastejo drevesa s polnolesnimi ravnimi debli. Dolžina debla brez vej znaša 15 m in več. Skorja je gladka, v starosti ima bisernat lesk in je srebrnosive barve. Pogosto so na deblu vidne brazgotine odpadlih vej, imenovane »kitajski brki«.

2.6.1 Opis lesa

Les je rdečkastobel, običajno brez obarvane jedrovine (beljava in jedrovina se barvno ne ločita). Pri starejših drevesih se na prečnem prerezu navadno pojavlja nepravilno oblikovan rdečerjav diskoloriran les, imenovan »rdeče srce«. Za rdeče srce je značilno močno otiljenje trahej, ki med drugim otežuje impregnacijo lesa. Branike so razločne. Kasni les z manj trahejami je nekoliko temnejši od ranega. Difuzno razporejene traheje velikostnega reda okoli 100 µm so na prečnem prerezu vidne z lupo. Zelo značilni so številni široki trakovi, ki so na tangencialni površini vidni kot rdečkasta vretenca, na radialni pa kot očitna do več milimetrov visoka zrcalca, ki zelo vplivajo na videz lesa. Plamenast (tangencialna površina) in progast (radialna površina) videz nista tako izrazita kot pri iglavcih. Bukovina nima specifičnega vonja in okusa.

2.6.2 Lastnosti lesa

Les bukve ima visoko gostoto, je trd in se zelo krči in nabreka. Stabilnost je neugodna, trdnostne lastnosti so glede na gostoto nadpovprečno visoke (npr. dobra upogibna trdnost),

elastičnost je nizka. Les je zelo žilav, malo elastičen in zelo trden. Dobro se cepi in predvsem po parjenju se dobro upogiba. Nezaščiten bukovina je podvržena okužbam z glivami in insekti in je zmerno trajna, zato je potrebna hitra in pravilna manipulacija po poseku. Z izjemo rdečega srca se dobro impregnira. S kreozotnimi olji impregnirana bukovina ima posebno dolgo življenjsko dobo. Impregnirani bukovi železniški pragovi dosegajo življenjsko dobo najmanj 40 let. Delež juvenilnega lesa je zanemarljiv. Možen je obilnejši pojav tenzijskega lesa. Notranje napetosti so lahko znatne, kar ima za posledico zvijanje in pokaanje lesa.

Zaradi visoke gostote in nagnjenosti k distorcijam, zvijanju, pokaanju in nastanku rjavordečih, rdečemu srcu podobnih obarvanj, se za sušenje priporoča blag režim sušenja.

Bukovino parijo zaradi zmanjšanja notranjih napetosti in izenačevanja barve. Tako se po parjenju zmanjša nevarnost pokaanja in zvijanja, les pa dobi enakomerno rdečkasto barvo. Les mora biti pred parjenjem vlažen, sicer obstaja nevarnost pojava madežev.

Ročno in strojno je bukovino mogoče lepo obdelati, vendar sta zaradi visoke gostote lesa krhanje orodij in poraba energije nekoliko večja. Lepo se lušči in reže v furnirje. Dobro se struži in polira. Z lahkoto se žeblija, vijachi in lepi. Za žebljanje in vijachenje priporočajo uvajalno luknjo. Bukovina dobro drži vijake. Površinsko se brez težav obdeluje z vsemi komercialnimi laki. Bukovino je mogoče izjemno dobro kriviti.(Čufar, 2006)

2.6.3 Uporaba:

- furnir,
- vezane, furnirske in mizarske plošče,
- krivljen vezan les,
- pohištvo,
- stopnice,
- parket,
- ročaji pri orodju,
- športne naprave,

- igrače,
- embalaža,
- iverne in vlaknene plošče,
- celuloza,
- papir,
- kurjava (drva in oglje).

2.7. OPRIJEMNOST

Pri vseh premaznih sredstvih si želimo dobro oprijemno trdnost oz. oprijemnost premaznega sistema na podlago, saj je to najpomembnejša lastnost premaznega sredstva. Za oprijemnost je pomembno razmerje med dvema vrstama sil, in sicer med kohezijskimi in adhezijskimi silami. Adhezijske sile se pojavijo med dvema površinama, ki ponavadi nista iz enakega materiala. Kohezijske sile pa se pojavijo znotraj materiala oziroma snovi.

2.7.1 Kohezija

Vsako molekulo ali atom oz. gradnik snovi privlačijo sosednji osnovni gradniki. Sile med molekulami ali atomi so močne, imajo pa kratek doseg. Vse sile se v povprečju izničijo. Rezultanta sil ima vrednost 0, če je molekula/atom globoko v notranjosti homogene tekočine ali trdne snovi.

Drugače je pri molekulah ali atomih na površini. Nanje delujejo močne sile notranjih molekul oz. atomov, ki jih zelo razredčene molekule/atomii v plinski fazi ne morejo kompenzirati. Zato gradniki snovi na površini stalno prehajajo s površine tekočine ali trdne snovi v njeno notranjost.

Posledica takšnega gibanja površinskih molekul v notranjost tekočine ali trdne snovi je, da tekočina zavzame najmanjšo možno površino oz. da ima trdna snov najmanjšo možno prosto površinsko energijo. Navzven se to kaže kot sila, ki vleče površino skupaj (Debeljak, 1999).

2.7.2 Adhezija

Fizikalno-kemijski pojav medsebojnega oprijema različnih snovi imenujemo adhezija. Nastaja zaradi medmolekularnega privlačevanja ob medsebojnem dotiku različnih teles.

Adhezijo razlagamo z različnimi mehanizmi: z mehanskim sidranjem, interdizufijo, različnimi kemijskimi vezmi in elektronskim privlakom. Pri premazih za les je najpomembnejše mehansko sidranje.

Mehansko sidranje nastane, ko premaz še v tekočem stanju zalije različne neravnine in porozne anatomske elemente lesa, se tam utrdi in tako usidra na površini lesa.

Dobra oprijemnost je najpomembnejša lastnost premaznega sredstva, saj če je oprijemnost oz. oprijemna trdnost premaza slaba, se pojavljajo različne napake oziroma težave (luščenje, lupljenje ...).

Na dobro oprijemnost vpliva več dejavnikov:

- tehnika nanašanja,
- klimatski pogoji,
- material podlage,
- debelina filma,
- vrste premaznega sredstva,
- čistost lesne podlage.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Vzorci lesa, bukev

Iz bukove deske smo izrezali devet vzorcev, ki smo jih najprej poskobljali in nato skrojili na dimenzije 500 mm × 70 mm × 10 mm. Vsi testiranci so bili po skobljanju najprej grobo brušeni z brusnim papirjem granulacije 150. Po grobem brušenju je sledilo brušenje z brusnim papirjem granulacije 180. Sledili so nanosi temelja z zračnim brizganjem. Tako smo na tri vzorce nanесли poliuretanski, na tri vodni in na ostale tri vzorce UV-lak. Količina nanosa temelja je bila različna:

- Vodni lak (120 g/m²)
- PU lak (130 g/m²)
- UV lak (115 g/m²)

Sušenje je trajalo 24 ur pri normalni zračni temperaturi, razen pri UV-laku, kjer so bili filmi na preskušancu utrjeni z obsevanjem z UV-svetlobo. Po sušenju je sledilo vmesno brušenje z brusnim papirjem granulacije 220, naslednji dan pa končni nanosi premaznih sredstev:

- Vodni lak (110 g/m²)
- PU lak (100 g/m²)
- UV lak (110 g/m²)

Ko smo imeli vzorce pripravljene, smo po tednu dni na vsak pripravljen vzorec prilepili po trideset pečatov ter jih ustrezno označili, da ne bi prišlo do zamenjave podatkov.

3.2 METODE

3.2.1 MERJENJE DEBELINE FILMA UTRJENEGA LAKA

Lastnosti utrjenih filmov so zelo odvisne od debeline filma. Zato moramo pri navajanju rezultatov različnih lastnosti poznati tudi debelino filma laka, saj je ta poleg vrste materialov – laka in podlage – zelo pomemben podatek. Pomembno je tudi to, da smo dosegli čim bolj enakomeren nanos filma po celotni površini obdelovanca, saj le tako lahko dobimo verodostojne podatke.

Debelino smo izmerili z mikroskopsko metodo po standardu SIST EN ISO 2808.

3.2.1.1 Mikroskopska metoda

Iz preskušancev smo izrezali prečno na potek vlaken po 5 cm dolge in 1 cm široke manjše vzorce. S stereo-lupo (slika 1) smo izvedli meritve. Na vsakem vzorcu smo izvedli po več meritev in podali vrednost debeline filma v μm .



Slika 1: Merjenje debeline filma z mikroskopom (foto: M. Pavlič)

3.2.2 OPRIJEMNOST

Oprijemnost smo merili po različnih metodah:

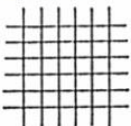
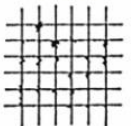
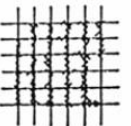
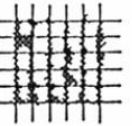
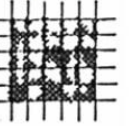
- Po metodi s križnim rezom (SIST EN ISO 2409)
- Po metodi z odtrgovanjem pečatov (SIST EN 4624)
- Po metodi z odtrgovanjem pečatov (modificirano ročno)
- Po metodi odtrgovanjem pečatov (modificirano strojno)

3.2.2.1 Metoda s križnim rezom

S posebnim nožem (slika 2), kateri je bilo vgrajenih šest rezil, smo zarezali v pripravljen vzorec. Zareze so potekale pod kotom 45° glede na potek lesnih vlaken. Nato smo naredili še eno zarezo pravokotno na prvi rez. Tako smo dobili mrežo, ki smo jo po zarezu še skrtačili in nato ocenili stopnjo oprijemnosti glede na s priloženo tabelo (slika 3). Ocene oprijemnosti po tem standardu so od 0 do 5.



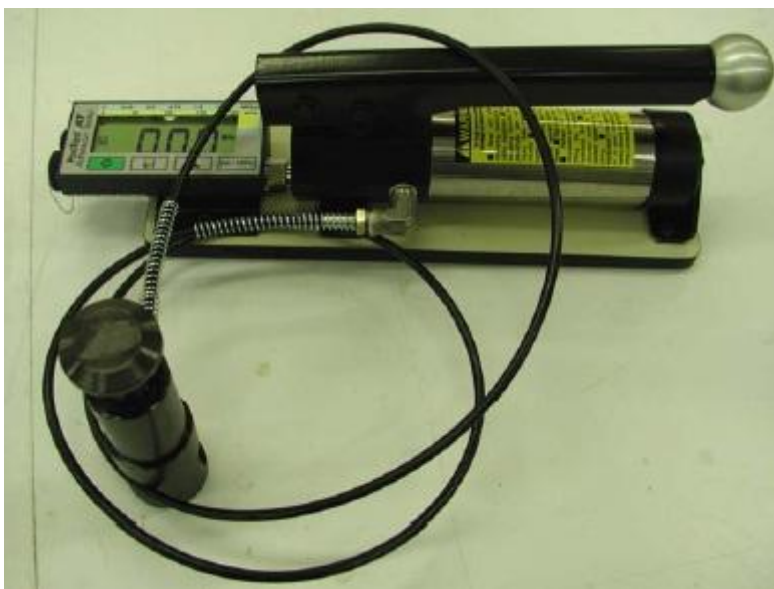
Slika 2: Rezilo za izvajanje križnega reza

Ocena:	0	1	2	3	4	5
Odluščenost:	0 %	5 %	15 %	35 %	65 %	> 65 %
						

Slika 3: Slika tabele za ocenjevanje oprijemnosti po standardu SIST EN ISO 2409

3.2.2.2 Metoda z odtrgovanjem pečatov

Najprej smo pečate na spodnji ploskvi očistili (lepila, ostalih madežev) ter nanje nanесли dvokomponentno epoksidno lepilo, ki smo ga enakomerno nanесли po celotni ploskvi pečata. Nato smo na vsak vzorec naključno prilepili po 10 pečatov. Ko se je lepilo utrdilo, smo s posebnim rezilom okoli pečata zarezali v film laka do podlage. Potem smo posamezne pečate vstavili v instrument za trganje pečatov (DeFelsco PosiTest AT Adhesion Tester, slika 4). Ko je bil pečat vstavljen, smo odtrgali pečat s podlage ter odčitali razslojno trdnost, ki je bila potrebna za razslojitev površinskega sistema.



Slika 4: Naprava za merjenje oprijemnosti po SIST EN ISO 4624

3.2.2.3 Metoda z odtrgovanjem pečatov (modificirano ročno)

Na vsak vzorec smo z dvokomponentnim epoksidnim lepilom nalepili po 10 kovinskih pečatov s spodnjo ploskvijo velikosti 10 mm². Ko se je lepilo strdilo, smo s posebnim kovinskim rezilom okoli pečata zarezali v film laka do podlage. Pripravljene pečate smo vstavili v trgalni stroj (slika 5) in z natezno silo odtrgali pečat. Istočasno smo odčitali

skrček vzeti in iz predloge instrumenta določili razslojno trdnost, ki je bila potrebna za razslojitev površinskega sistema.



Slika 5: Naprava za merjenje oprijemnosti (foto: M. Pavlič)

3.2.2.4 Metoda z odtrgovanjem pečatov (modificirano strojno)

Na pripravljene vzorce smo prilepili pečate, ki so bili predhodno dobro očiščeni. Ko se je lepilo strdilo, smo s posebnim rezilom okoli pečatov zarezali do podlage filma. Nato smo testiranece vstavili v posebej za to pripravljeno čeljust, ki smo jo nato vstavili v trgalni stroj,

ki je vzdrževal hitrost naraščanja napetosti pri 0,21 MPa/s. Ko se je pečat odtrgal, smo odčitali vrednost, pri kateri se je to zgodilo.

3.3 STATISTIČNA ANALIZA

Rezultate, dobljene pri meritvah, smo prikazali v preglednicah in grafih. Zaradi velikega števila meritev smo pri primerjavi uporabili povprečne vrednosti. Prav tako nas je zanimala njihova variabilnost, zato smo poleg povprečne vrednosti izračunali tudi koeficient variacije. Pri grafičnem prikazu smo uporabili diagram »okvir z ročaji« (slika 9).

Zelo nazoren grafičen prikaz podatkov številske spremenljivke je okvir z ročaji (angl. *box and whiskers plot*). Ta slika prikazuje pogojni minimum in pogojni maksimum, kvartile ter osamelec.

Osamelec je vrednost, ki bistveno odstopa od večine ostalih vrednosti. Kot osamelec opredelimo vrednost, ki je izven intervala $(Q_1 - 1,5 \times Q, Q_3 + 1,5 \times Q)$, pri čemer je Q kvartalni razmik. Ekstremni osamelec je osamelec, ki je izven intervala $(Q_1 - 3 \times Q, Q_3 + 3 \times Q)$.

Pogojni minimum \min^* je najmanjša vrednost, ki ni spodnji osamelec. Pogojni maksimum \max^* je največja vrednost, ki ni zgornji osamelec. Če v podatkih osamelcev ni, je pogojni minimum oz. pogojni maksimum najmanjša oz. največja vrednost.

Okvir z ročaji določa 5 točk: \min , Q_1 , Q_2 , Q_3 ter maks. Spodnji ročaj določata vrednost \min in Q_1 , zgornji ročaj vrednost Q_3 in maks. Okvir določata kvartila Q_1 ter Q_3 , njegovo prečko pa Q_2 . Dolžina okvira je enaka kvartilnem razmiku, širina okvira nima pomena. Na sliki dodamo zgornje in spodnje osamelce ter zgornje in spodnje ekstremne osamelce, ki jih predstavimo s posebnimi znaki. Običajno osamelec prikažemo s krožcem ($^{\circ}$), ekstremni osamelec pa z zvezdico (*) (Košmelj, 2007).

S koeficientom variacije merimo, kolikšen odstotek aritmetične sredine predstavlja standardni odklon. Koeficient variacije je relativna mera variabilnosti in omogoča primerjavo variabilnosti različnih spremenljivk (Košmelj, 2007).

Za primerjavo rezultatov smo si pomagali z računalniškim programom STATGRAPHICS Centurion XVI. Z njim smo izvedli statistično analizo podatkov, s katero smo ugotavljali, ali med posameznimi dobljenimi rezultati obstajajo statistične razlike. Najprej smo izvedli test analize variance (ANOVA), če pa je test potrdil, da med posameznimi obravnavami obstajajo razlike, smo te nato določili z Duncanovim testom pri 95-odstotni stopnji zaupanja. Tako smo podatke lahko razvrstili v skupine.

4 REZULTATI

4.1 DEBELINA UTRJENEGA FILMA

Kot je razvidno iz preglednice 1, smo največjo debelino filma dosegli pri UV-laku, pri katerem je najmanjša debelina znašala 51 μm , največja pa 60 μm . Pri vzorcih, premazanih s PU-sistemom, pa so se debeline gibale od 42 do 51 μm . Najtanjšo debelino nanosa smo namerili pri vodnem laku, in sicer od 33 do 42 μm . Različne debeline smo dosegli zaradi različnih premaznih sistemov, saj imajo ti različne lastnosti.

Preglednica 1: Debelina suhega premaznega filma različnih sistemov (PU, UV in vodni lak) na bukovini

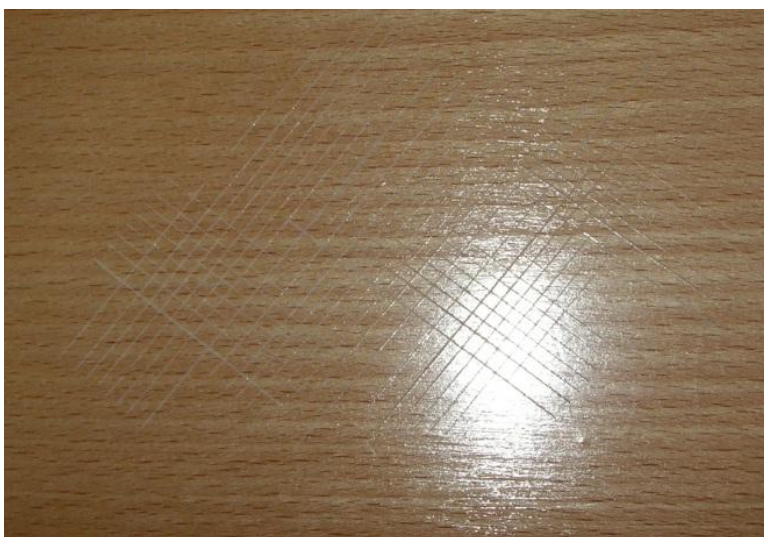
Vzorec	Debelina filma	
	od μm	do μm
PU	42	51
UV	51	60
VODNI	33	42

4.2 OPRIJEMNOST PREMAZNEGA SREDSTVA NA PODLAGO, DOLOČENA S KRIŽNIM REZOM

Na vzorcih, premazanih s poliuretanskim in UV-lakom, smo rezultate testa s križnim rezom pri obeh premaznih sistemih ovrednotili z oceno 1, pri vodnem laku pa z oceno 2. Iz tega je razvidno, da po tej metodi ne moremo določiti, kateri premaz ima boljšo oprijemnost, poliuretanski ali UV-utrjujoč. Razberemo lahko samo, da je slabše ocenjen vodni lak. Tako po tej metodi ne moremo najbolje ovrednotiti oziroma primerjati rezultatov med seboj, ker so preveč »površni« oziroma niso dovolj natančno podani. Ocena 0 pomeni najboljšo oceno, 5 pa najslabšo.

Preglednica 2: Rezultati oprijemnosti vseh treh sistemov (vodni, PU, in UV-lak) na bukovi podlagi (križni rez)

Metoda s križnim rezom SIST EN ISO 2409	
	ocena
vzorec PU1	1
vzorec PU2	1
vzorec PU3	1
vzorec vodni1	2
vzorec vodni2	2
vzorec vodni3	2
vzorec UV1	1
vzorec UV2	1
vzorec UV3	1



Slika 6: Prikaz rezultata testa s križnim rezom na primeru preskušanca, ki je bil premazan s poliuretanskim lakom

4.3 OPRIJEMNOST PREMAZNEGA SREDSTVA NA PODLAGO, DOLOČENA Z ODTRGOVANJEM PEČATOV

Ker je pri vseh meritvah prišlo do adhezijskega loma med filmom in podlago, smo lahko primerjali rezultate (slika 7 in 8). Iz rezultatov v preglednici 3 je razvidno, da smo

najboljšo oprijemnost dosegali pri UV-lakih, saj so izmerjene vrednosti segale od 5,3 MPa vse do 10,07 MPa. Najmanjše vrednosti pa so bile izmerjene pri vodnih lakih, in sicer od 2,15 do 6,22 MPa. Poliuretanski laki so dosegali srednje vrednosti, od 3,56 do 7,74 MPa.

Preglednica 3: Oprijemnost poliuretanskega, UV- in vodnega laka na bukovi podlagi

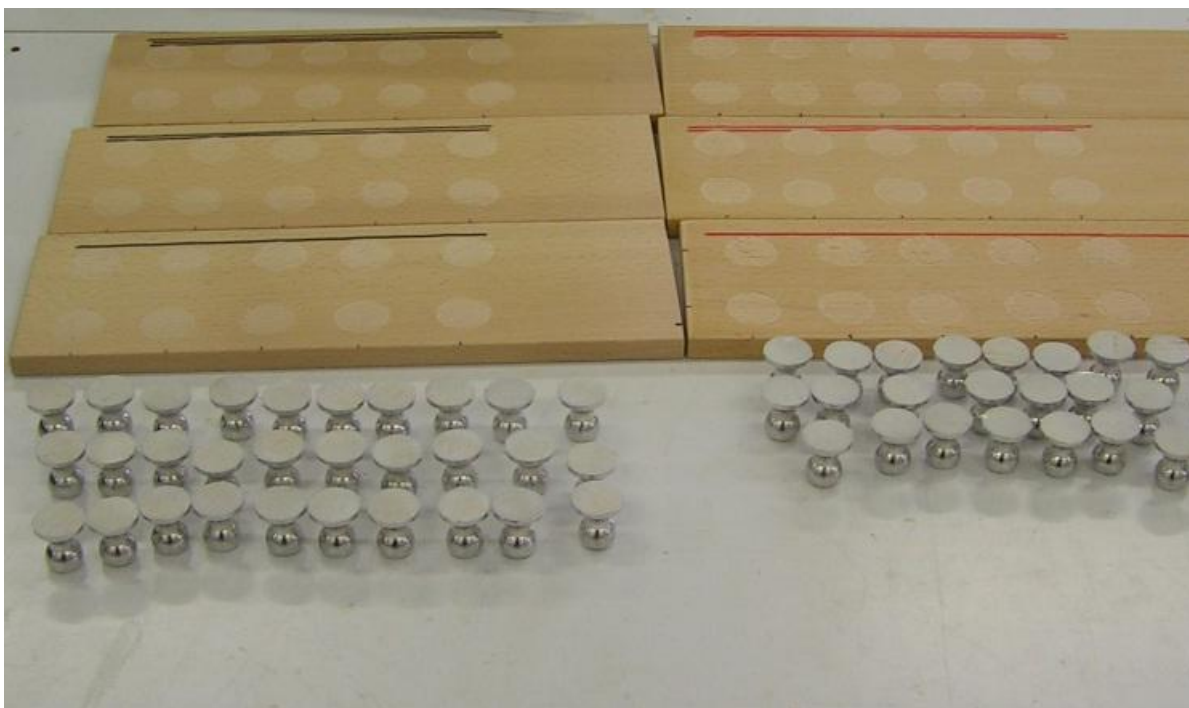
Premaz	Metoda	Min. (MPa)	Maks. (MPa)	Povp. (MPa)	Lom
PU	SIST EN ISO 4624	4,05	5,16	4,75	A
	Modificirano (ročno)	3,88	7,74	5,42	A
	Modificirano (strojno)	3,56	7,06	5,63	A
UV	SIST EN ISO 4624	5,41	7,2	6,12	A
	Modificirano (ročno)	6,77	10,07	8,41	A
	Modificirano (strojno)	5,3	8,72	7,08	A
VODNI	SIST EN ISO 4624	2,82	4,12	3,52	A
	Modificirano (ročno)	3,18	6,22	4,21	A
	Modificirano (strojno)	2,15	5,99	4,1	A

V povprečju smo najboljšo oprijemnost premaznih sredstev na vzorcih izmerili pri preizkusu s pečati premera 10 mm, pri katerih je bila meritev izpeljana po standardu SIST EN 4626 (modificirana ročno). Najmanjše izmerjene vrednosti smo dobili pri pečatih premera 20 mm po meritvi SIST EN ISO 4624.

Če pogledamo med seboj najbolj podobne rezultate meritev, smo te dosegali pri meritvah po standardu SIST EN ISO 4624, saj je pri teh meritvah koeficient variacije v povprečju najmanjši pri vseh testiranih sistemih (preglednica 4). Do največjega koeficienta variacije je prišlo pri pečatih, ki smo jih odtrgali po modificirani metodi – strojno (preglednica 4).



Slika 7: Vzorci s pečati premera 10 mm



Slika 8: Vzorci s pečati premera 20 mm

4.4 STATISTIČNA ANALIZA REZULTATOV

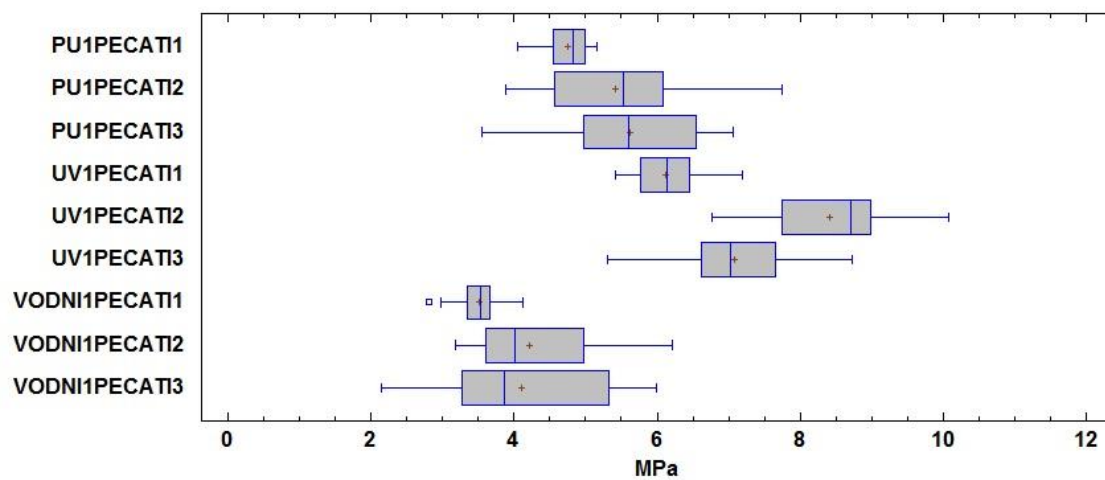
S statistično analizo podatkov (preglednica 4) smo ugotovili, da je najmanjši koeficient variacije (KV) pri metodi po standardu SIST EN ISO 4624 pri vseh treh premaznih sistemih, saj je ta znašal od 6,19 do 8,48 %, največji pa je bil pri strojno modificirani metodi, kjer je znašal od 11,52 do 27,38 %, čeprav smo pri tej metodi pričakovali najnatančnejše rezultate, saj je bil stroj gnan kontinuirano. Pri modificiranem (ročnem) testu lahko na rezultate vpliva vrtenje kolesa naprave (hitro-počasi), pri testu po standardu SIST EN ISO 4624 pa hitrost pritiska oz. sile na vzvod merilne naprave.

Prav tako lahko razberemo, da sta modificirani metodi statistično značilni pri vseh treh premaznih sistemih, saj jih je Duncanov test s 95-odstotno stopnjo zaupanja razvrstil v iste skupine.

Prav tako so v grafičnem prikazu (slika 9, okvir z ročajji) razvidni pridobljeni podatki, iz katerih lepo sledi, da največje vrednosti dosegamo pri UV-laku, najmanjše pa pri vodnem laku.

Preglednica 4: Povprečne vrednosti oprijemnosti, dobljene z različnimi metodami, s statistično analizo podatkov (Duncanov test s 95-odstotno stopnjo zaupanja - homogene skupine so prikazane z x v istem stolpcu)

Premaz	Metoda	Oprijemnost povp. (MPa)	KV (%)	Homogenost skupin					
PU	SIST EN ISO 4624	4,75	6,19			X			
	Modificirano (ročno)	5,42	18,92				X		
	Modificirano (strojno)	5,63	17,9				X		
UV	SIST EN ISO 4624	6,12	7,90					X	
	Modificirano (ročno)	8,41	10,37						X
	Modificirano (strojno)	7,08	11,52						X
VODNI	SIST EN ISO 4624	3,52	8,48	X					
	Modificirano (ročno)	4,21	17,64		X				
	Modificirano (strojno)	4,1	27,38		X				



Slika 9: Oprijemnost različnih premaznih sistemov na bukovino

5 RAZPRAVA

Med najzahtevnejšimi funkcijami oziroma deli v pohištveni industriji je prav gotovo površinska obdelava pohištva. S površinsko obdelavo izdelku povečamo vrednost in ga zaščitimo pred različnimi dejavniki, ki jim je izpostavljen med uporabo. Zaradi zahtevnosti površinske obdelave potrebujemo tudi dober premazni sistem, naj bo to olje, lazura, lak, voski ... Zato so se v površinski obdelavi uveljavile različne metode, s katerimi preizkušamo različne lastnosti utrjenih premaznih sistemov.

V nalogi smo se osredotočili na določanje oprijemnosti premaza na les oziroma smo primerjali različne metode, s katerimi določamo oprijemnost. Primerjali smo jih po dveh različnih standardih. Prva metoda je bila test s križnim rezom. S to metodo smo dobili dokaj nepopolne rezultate, saj jo ocenjujejo po razredih, ki temeljijo na deležu (v %) odluščene površine med zarezi. Problem te metode je prehod med razredi. Med ocenama 0 in 2 je zelo majhna razlika v poškodbah površinskega sistema. Obenem pa je v višjih razredih, med ocenama 2 in 5, zelo velik razpon poškodovanosti površine. Vprašljiva je tudi ocena poškodbe, saj ocenjujemo s prostim očesom, subjektivno, in se lahko kaj hitro zmotimo pri dodelitvi ocene.

Oprijemost premazov z metodo odtrgovanja pečatov smo izvedli na tri različne načine. Pri prvem načinu smo test izvedli natančno po standardu SIST EN 4624, pri drugem načinu smo ga izvedli v modificirani obliki (»ročno«), pri tretjem pa prav tako po modificiranem postopku, ampak »strojno«. Iz rezultatov smo razbrali, da smo najvišje izmerjene vrednosti dobili pri obeh modificiranih metodah, in to pri vseh treh premaznih sistemih. Kot enega od pglavitnih razlogov za take rezultate bi lahko navedli razlike v velikosti površine pečata. Pri vseh meritvah smo namreč uporabljali enake vzorce in enako lepilo za pritrditev pečatov na vzorce, le velikost pečatov je bila pri modificiranih metodah manjša kot pri metodi po standardu SIST EN 4624. Pri modificiranih metodah smo test izvedli s pečati, katerih velikost površine je bila 10 mm^2 , pri metodi po standardu SIST EN 4624 pa je bila velikost površine 20 mm^2 .

Statistična obdelava podatkov je pokazala, da je bil koeficient variacije najmanjši pri metodi po standardu SIST EN 4624, največji pa pri modificirani metodi s strojnim odtrgovanjem pečatov. Na koncu smo naredili še Duncanov test s 95-odstotno stopnjo zaupanja. Test je pokazal nekatere korelacije, in sicer da lahko v isto homogeno skupino uvrstimo modificirani metodi (ročno in strojno).

6 SKLEPI

- Največjo debelino utrjenega premaznega sistema smo izmerili pri UV-utrjujočem laku, najmanjšo pa pri vodnem premazu.
- Metoda s križnim rezom za določanje oprijemnosti ne da natančnih rezultatov, saj lahko med ocenami kaj hitro pride do odstopanj (človeški faktor). Seveda pa ta test lahko uporabimo za hitro oceno oprijemnosti.
- Metoda z odtrgovanjem pečatov rezultate poda v številskih vrednostih. Do razlik med vrednostmi posameznih meritev znotraj istega površinskega sistema najverjetneje pride zaradi različnih debelin filma na posameznih vzorcih.
- Najnižje vrednosti razslojne trdnosti pri oceni oprijemnosti z metodo odtrgovanja pečatov smo izmerili pri vodnem sistemu, najvišje pa pri UV-utrjujočem premazu.
- Statistična analiza rezultatov je pokazala, da lahko vsak površinski sistem razvrstimo v svojo homogeno skupino, ne moremo pa v isto skupino razvrstiti rezultatov, ki smo jih dobili z isto metodo, a pri različnih površinskih sistemih. Pri vseh površinskih sistemih je bila vrednost koeficienta variacije (KV) najvišja pri modificirani metodi s strojnim odtrgovanjem pečatov.
- Primerjava rezultatov, dobljenih po metodah s križnim rezom in z odtrgovanjem pečatov, je nesmiselna, saj so dobljeni rezultati popolnoma drugačne vrste. Kljub vsemu pa lahko najdemo kvalitativne povezave med rezultati, ki jih z različnimi metodami dobimo pri različnih površinskih sistemih. Tako s križnim rezom kot z vsemi tremi izvedenimi oblikami metode za odtrgovanje pečatov smo namreč najslabše rezultate izmerili pri istem, to je vodnem premazu, in najboljše pri UV-utrjujočem premazu.

7 POVZETEK

V nalogi smo med seboj primerjali rezultate, ki smo jih za oceno oprijema premazov na les dobili z različnimi metodami. Ugotavljali smo, ali obstajajo povezave med rezultati določanja oprijemnosti, ki jih dobimo z različnimi postopki.

Za primerjavo smo uporabili metodo z odtrgovanjem pečatov po standardu SIST EN 4624, po istem standardu modificiran postopek (drugačna velikost pečatov), s strojnim kontinuiranim odtrgovanjem pečatov, prav tako modificiran SIST EN 4624 postopek z ročnim odtrgovanjem, ter test s križnim rezom po standardu SIST EN ISO 2409. Vse teste smo izvedli na vzorcih, izdelanih iz bukovine, na katere smo nanесли tri različne premaze (vodni, UV-utrjujoči in poliuretanski lak).

Teste smo izvedli v laboratoriju za površinsko obdelavo lesa na Oddelku za lesarstvo na Biotehniški fakulteti. Vrednosti razslojne trdnosti sistemov med testom z odtrgovanjem pečatov, za oceno oprijemnosti, so bile relativno visoke, od 7,02 MPa (UV-lak) do 3,94 MPa (vodni lak)

Povezave med rezultati, dobljenimi po različnih metodah za določanje oprijemnosti smo ugotavljali s statistično analizo z računalniškim programom STATGRAPHICS Centurion XVI. Najprej smo izvedli test variance (ANOVA), nato pa smo rezultate z Duncanovim testom pri 95-odstotni stopnji zaupanja razvrstili v homogene skupine. Statistična analiza je pokazala, da lahko vsak površinski sistem razvrstimo v svojo homogeno skupino, ne moremo pa v isto skupino razvrstiti rezultatov, ki smo jih dobili z isto metodo, a pri različnih površinskih sistemih. Pri vseh površinskih sistemih je bila vrednost koeficienta variacije (KV v odstotkih) najvišja pri modificirani metodi s strojnim odtrgovanjem pečatov.

8 VIRI

- Bajde, M. 2008. Uvajanje vodnih premazov v proizvodnjo pohištva iz hrastovine. Diplomsko delo Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za lesarstvo: 56 str
- Černe, M. 2008. Uvajanje vodnih površinskih premazov v proizvodnji kuhinjskih elementov iz masivnega lesa. Diplomsko delo Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za lesarstvo,; 42 str
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Odd. za lesarstvo: 185 str
- Debeljak T. 1999. Vpliv kitanja podlage na adhezijo akrilnega laka. Visokošolska diplomska naloga. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 48 str
- Erčulj, J. 2007, Vpliv brušenja podlage na lastnosti različnih površinskih sistemov. Diplomsko delo Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za lesarstvo: 34 str
- Košmelj K. 2007, Uporabna statistika 2007: 239 str
- Kričej, B. 2006, Spreminjanje barve prosojnih površinskih sistemov v interieru. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za lesarstvo:76 str
- Petrič M., Pavlič M. 2002. Gradivo za tehniški slovar lesarstva. Področje: Površinska obdelava (delna, skrajšana objava - 3. del). Les 54, 12:448
- Petrič M., Pavlič M. 2003. Gradivo za tehniški slovar lesarstva. Področje: Površinska obdelava (delna, skrajšana objava - 4. del). Les 55, 3:87

Petrič M., Pavlič M., Kričej B. 2002. Gradivo za tehniški slovar lesarstva. Področje:
Površinska obdelava (delna, skrajšana objava - 2. del). Les 54, 11:404

SIST EN ISO 2409:1997 - Barve in laki - Preskus oprijema z zarezovanjem rešetke (ISO
2409:1992) Paints and varnishes – Cross-cut test (ISO 2409:2007)

SIST EN ISO 2808:1999 - Barve in laki - Ugotavljanje debeline plasti (ISO 2808:1997)
Paints and varnishes – Determination of film thickness (ISO 2808:2007)

SIST EN ISO 4624:2014 - Barve in laki - Preskušanje oprijema z odtrganjem filma
(ISO/DIS 4624:2014) Paints and varnishes – Pull-off test for adhesion (ISO
4624:2002)

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Marku Petriču za pomoč pri izdelavi diplomskega dela. Prav tako se zahvaljujem asistentu dr. Matjažu Pavliču in tehniškemu sodelavcu strok. sv. Borutu Kričejju za vso pomoč pri izvedbi testiranj v laboratoriju. Zahvaljujem pa se tudi doc. dr. Dominiki Gornik Bučar za opravljeno recenzentsko delo.

Hvala gre tudi družini, ki me je podpirala in spodbujala med študijem.

PRILOGE: Dobljeni rezultati

Priloge 1

Preglednica 5: Oprijemnosti poliuretanskega laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov

	Poliuretanski lak, vzorec 1			Vrsta loma
	SIST EN ISO 4624	Modificirana ročno	Modificirana strojno	
meritev št. 1	4,83	6,50	6,29	A
meritev št. 2	4,92	6,77	5,11	A
meritev št. 3	4,96	6,08	5,09	A
meritev št. 4	4,72	7,74	6,12	A
meritev št. 5	4,95	6,08	4,26	A
meritev št. 6	4,67	6,63	7,00	A
meritev št. 7	4,55	6,95	4,97	A
meritev št. 8	4,72	5,73	5,46	A
meritev št. 9	5,04	5,95	4,95	A
meritev št. 10	4,05	3,88	5,14	A
Povprečje	4,74	6,29	5,44	

Preglednica 6: Oprijemnosti poliuretanskega laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov

	Poliuretanski lak, vzorec 2			Vrsta loma
	SIST EN ISO 4624	Modificirana ročno	Modificirana strojno	
Meritev št. 1	5,16	4,01	6,95	A
Meritev št. 2	4,22	4,29	6,54	A
Meritev št. 3	4,84	5,95	7,06	A
Meritev št. 4	4,68	5,53	3,9	A
Meritev št. 5	4,61	4,84	5,61	A
Meritev št. 6	4,37	5,53	4,78	A
Meritev št. 7	4,35	4,98	4,61	A
Meritev št. 8	4,95	4,15	6,68	A
Meritev št. 9	4,53	3,88	6,75	A
Meritev št. 10	4,24	4,57	5,87	A
Povprečje	4,60	4,77	5,88	

Preglednica 7: Oprijemnosti poliuretanskega laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov

	Poliuretanski lak, vzorec 3			Vrsta loma
	SIST EN ISO 4624	Modificirana ročno	Modificirana strojno	
Meritev št. 1	5,04	4,29	5,58	A
Meritev št. 2	4,99	6,22	5,67	A
Meritev št. 3	5,02	5,39	3,56	A
Meritev št. 4	4,47	4,98	3,72	A
Meritev št. 5	5,02	5,95	6,46	A
Meritev št. 6	4,83	6,22	6,7	A
Meritev št. 7	5,04	4,98	5,43	A
Meritev št. 8	5,09	5,81	6,66	A
Meritev št. 9	4,64	4,70	6,43	A
Meritev št. 10	4,96	4,01	5,55	A
Povprečje	4,91	5,26	5,58	

Preglednica 8: Oprijemnosti UV-laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov

	UV 1			Vrsta loma
	SIST EN ISO 4624	Modificirana ročno	Modificirana strojno	
Meritev št. 1	6,87	7,32	5,96	A
Meritev št. 2	5,84	7,18	6,23	A
Meritev št. 3	6,23	8,84	8,72	A
Meritev št. 4	5,57	8,01	5,95	A
Meritev št. 5	6,67	8,84	7,66	A
Meritev št. 6	5,43	7,74	6,72	A
Meritev št. 7	7,20	6,77	8,23	A
Meritev št. 8	6,86	8,01	6,73	A
Meritev št. 9	5,74	8,56	5,30	A
Meritev št. 10	6,06	8,84	7,22	A
Povprečje	6,25	8,01	6,87	

Preglednica 9: Oprijemnosti UV-laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov

	UV 2			Vrsta loma
	SIST EN ISO 4624	Modificirana ročno	Modificirana strojno	
Meritev št. 1	6,58	7,98	6,77	A
Meritev št. 2	6,49	9,12	7,05	A
Meritev št. 3	6,85	8,98	8,23	A
Meritev št. 4	6,37	7,74	6,28	A
Meritev št. 5	5,81	7,18	6,65	A
Meritev št. 6	6,24	8,84	7,65	A
Meritev št. 7	6,21	8,84	7,56	A
Meritev št. 8	6,46	8,98	8,35	A
Meritev št. 9	6,01	9,25	6,13	A
Meritev št. 10	6,12	9,12	7,75	A
Povprečje	6,31	8,60	7,24	

Preglednica 10: Oprijemnosti UV-laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov

	UV 3			Vrsta loma
	SIST EN ISO 4624	Modificirana ročno	Modificirana strojno	
Meritev št. 1	6,22	8,98	7,97	A
Meritev št. 2	6,17	7,05	7,51	A
Meritev št. 3	6,26	7,96	6,80	A
Meritev št. 4	5,92	9,25	7,77	A
Meritev št. 5	5,57	9,81	7,35	A
Meritev št. 6	5,83	10,07	6,97	A
Meritev št. 7	5,47	8,02	6,28	A
Meritev št. 8	5,41	9,39	7,04	A
Meritev št. 9	5,43	8,56	6,61	A
Meritev št. 10	5,76	7,18	7,01	A
Povprečje	5,80	8,62	7,13	

Preglednica 11: Oprijemnosti vodnega laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov

	Vodni lak 1			Vrsta loma
	SIST EN ISO 4624	Modificirana ročno	Modificirana strojno	
Meritev št. 1	3,76	5,18	3,91	A
Meritev št. 2	4,01	4,98	4,05	A
Meritev št. 3	3,59	3,74	3,68	A
Meritev št. 4	3,72	6,22	3,18	A
Meritev št. 5	3,65	4,98	5,99	A
Meritev št. 6	3,29	5,12	2,15	A
Meritev št. 7	3,55	4,98	5,67	A
Meritev št. 8	4,10	4,01	3,68	A
Meritev št. 9	3,48	4,57	5,32	A
Meritev št. 10	4,12	4,43	5,45	A
Povprečje	3,73	4,82	4,31	

Preglednica 12: Oprijemnosti vodnega laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov

	Vodni lak 2			Vrsta loma
	SIST EN ISO 4624	Modificirana ročno	Modificirana strojno	
Meritev št. 1	3,77	4,84	5,93	A
Meritev št. 2	3,41	3,74	3,45	A
Meritev št. 3	3,61	3,60	5,21	A
Meritev št. 4	2,82	3,32	5,55	A
Meritev št. 5	3,64	4,15	4,38	A
Meritev št. 6	3,22	3,60	3,06	A
Meritev št. 7	3,66	4,98	2,37	A
Meritev št. 8	3,14	3,18	3,82	A
Meritev št. 9	3,34	4,15	4,30	A
Meritev št. 10	3,44	3,60	3,53	A
Povprečje	3,41	3,97	4,16	

Preglednica 13: Oprijemnosti vodnega laka, določene po treh različnih postopkih z odtrgovanjem pečatov

	Vodni lak 3			Vrsta loma
	SIST EN ISO 4624	Modificirana ročno	Modificirana strojno	
Meritev št. 1	2,97	3,18	4,31	A
Meritev št. 2	3,64	4,01	4,23	A
Meritev št. 3	3,23	4,98	5,40	A
Meritev št. 4	3,50	3,88	2,98	A
Meritev št. 5	3,22	4,01	3,49	A
Meritev št. 6	3,66	4,70	3,28	A
Meritev št. 7	3,43	3,46	3,22	A
Meritev št. 8	3,46	3,46	5,65	A
Meritev št. 9	3,49	3,60	2,41	A
Meritev št. 10	3,80	3,74	3,45	A
Povprečje	3,44	3,90	3,84	