

Utjecaj modifikacije površine na kvalitetu lakiranja

Janeš, Toni

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:543195>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-23**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK
ZAVOD ZA NAMJEŠTAJ I DRVO U GRADITELJSTVU
DIPLOMSKI STUDIJ
DRVNOTEHNOLOŠKI PROCESI

TONI JANEŠ

UTJECAJ MODIFIKACIJE POVRŠINE NA KVALITETU
LAKIRANJA

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK



UTJECAJ MODIFIKACIJE POVRŠINE NA KVALITETU LAKIRANJA

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij:	Drvnotehnološki procesi
Predmet:	Tehnološki procesi površinske obrade drva
Ispitno povjerenstvo:	1. (mentor) doc. dr. sc. Josip Miklečić 2. (član) prof. dr. sc. Vlatka Jirouš-Rajković 3. (član) Tomislav Gržan, mag. ing. techn. lign.
Student:	Toni Janeš
JMBAG:	0068229845
Datum odobrenja teme:	22. 3. 2022.
Datum predaje rada:	10. 09. 2022.
Datum obrane rada:	16. 9. 2022.

ZAGREB, rujan 2022.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov	Utjecaj modifikacije površine na kvalitetu lakiranja
Title	Influence of surface modification on quality of finishing
Autor	Toni Janeš
Adresa autora	Matanovci 29, 51314, Ravna Gora, Hrvatska
Mjesto izrade	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	doc. dr. sc. Josip Miklečić
Izradu rada pomogali	Tomislav Gržan, mag. ing. techn. lign.
Godina objave	2022.
Obujam	V + 30 str., 26 slika, 2 tablice i 14 navoda literature
Ključne riječi	UV zračenje, kvašenje, adhezija, debljina filma
Sažetak	<p>U ovom diplomskom radu istražen je utjecaj UV zračenja na kvašenje površine bukovine vodom i vodenim lakom te adheziju i debljinu vodenog laka. Uzorci bukovine ozračeni su različitim intenzitetom zračenja u kontroliranim uvjetima s živinom lampom. Intenzitet zračenja određen je brojem prolaza ispod UV lampe pri minimalnom pomaku uzorka i maksimalnom jačinom zračenja. Kvašenje podloge ispitivano je mjerenjem kontaktnog kuta vode i vodenog premaza u određenom vremenu od aplikacije kapi na površinu. Adhezija je mjerena otkidanjem valjčića, a debljina suhog filma premaza je mjerena na mikroskopu na poprečnom presjeku uzorka. Dobivenim rezultatima došlo se do saznanja da ovisno o intenzitetu zračenja uzoraka, kvašenje podloge se smanjuje, dok adhezivna čvrstoća raste, kao i debljina suhog filma premaza.</p>

BASIC DOCUMENTATION CARD

Title	Influence of surface modification on quality of finishing
Author	Toni Janeš
Address of author	Matanovci 29, 51314, Ravna Gora, Croatia
Thesis Performed at:	Faculty of Forestry and Wood Technology, University of Zagreb
Publication Type:	Master's thesis
Supervisor:	Assistant Professor Josip Miklečić, PhD
Preparation Assistant:	Tomislav Gržan, mag. ing. techn. lign.
Publication year:	2022.
Volume:	V + 30 pages, 26 pictures, 2 tables and 14 references
Key words:	UV radiation, Wettability, Adhezion, Coating thickness
Abstract:	<p>In this thesis, the influence of UV radiation on the wetting of the surface of beech wood with water and water-based varnish, as well as the adhesion and thickness of the water-based varnish, was investigated. Beechwood samples were irradiated with different radiation intensities under controlled conditions with a mercury lamp. The intensity of the radiation is determined by the number of passes under the UV lamp at the minimum movement of the sample and the maximum strength of the radiation. The wetting of the substrate was examined by measuring the contact angle of water and the water coating in a certain time from the application of a drop to the surface. Adhesion was measured by tearing off the roller, and the thickness of the dry film of the coating was measured under a microscope on the cross-section of the sample. The obtained results showed that depending on the radiation intensity of the samples, the wetting of the substrate decreases, while the adhesive strength increases, as well as the thickness of the dry film of the coating.</p>

	IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI	OB FŠDT 05 07
		Revizija: 2
		Datum: 29.04.2021.

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Zagrebu, 10. 9. 2022. godine

vlastoručni potpis

Toni Janeš

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	I
POPIS SLIKA.....	II
POPIS TABLICA	III
PREDGOVOR	IV
1. UVOD	1
2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA.....	2
2.1. ELEKTROMAGNETSKO ZRAČENJE	2
2.1.1. <i>Ultraljubičasto (UV) zračenje</i>	2
2.2. UTJECAJ UV ZRAČENJA NA DRVO (OPĆENITO).....	3
2.3. UTJECAJ UV ZRAČENJA NA SVOJSTVA POVRŠINE DRVA	4
2.3.1. <i>Površinska energija drva</i>	4
2.3.2. <i>Kut kvašenja drva</i>	5
2.3.3. <i>Utjecaj UV zračenja na kvašenje površine drva</i>	5
2.3.4. <i>Adhezija premaza</i>	5
2.3.5. <i>Utjecaj UV zračenja na adhezivnu čvrstoću premaza</i>	8
2.4. UV LAMPE	8
3. CILJEVI ISTRAŽIVANJA	9
4. MATERIJALI I METODE	10
4.1. PRIPREMA UZORAKA.....	10
4.2. OZRAČIVANJE UZORAKA.....	10
4.2.1. <i>Princip rada UV uređaja</i>	10
4.2.2. <i>Određivanje doze zračenja</i>	12
4.3. MJERENJE KUTA KVAŠENJA	13
4.4. ISPITIVANJE ADHEZIJE VODENOG LAKA	16
4.5. MJERENJE SUHE DEBLJINE FILMA.....	20
5. REZULTATI I RASPRAVA.....	22
5.1. KUT KVAŠENJA	22
5.2. ADHEZIJSKA ČVRSTOĆA VODENOG LAKA	26
5.3. SUHA DEBLJINA VODENOG LAKA.....	27
5.4. PROMJENA BOJE OZRAČENIH UZORAKA	28
6. ZAKLJUČAK.....	29
7. LITERATURA.....	30

POPIS SLIKA

SLIKA 1. SPEKTAR ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA	2
SLIKA 2. SPEKTAR ULTRALJUBIČASTOG ZRAČENJA.....	3
SLIKA 3. ZRAČNI PROSTOR IZMEĐU ADHEZIVA I PODLOGE.....	6
SLIKA 4. LJUŠTENJE PREMAZA	6
SLIKA 5. MJEHURENJE PREMAZA.....	7
SLIKA 6. UREĐAJ ZA UV SUŠENJE I OTVRDNJAVANJE LAKOVA	11
SLIKA 7. SHEMATSKI PRIKAZ UV UREĐAJA.....	11
SLIKA 8. SPEKTAR ZRAČENJA ŽIVINIH UV LAMPI.....	12
SLIKA 9. OPREMA ZA MJERENJE KUTA KVAŠENJA.....	14
SLIKA 10. FOTOGRAFIJA KAPI SNIMLJENA U PROGRAMU „VLC MEDIA“	15
SLIKA 11. MJERENJE KUTA U PROGRAMU „IMAGE.JS“	15
SLIKA 12. KVADRANTNI PROFIL ZA RAVNOMJERNO NANOŠENJE LAKA	16
SLIKA 13. A I B KOMPONENTA EPOKSIDNOG LJEPILO	17
SLIKA 14. UREĐAJ ZA KIDANJE VALJČIĆA „PATTI“	17
SLIKA 15. BOCA SA STALČENIM KISIKOM.....	18
SLIKA 16. PRIPREMA VALJČIĆA ZA LIJEPLJENJE	18
SLIKA 17. LIJEPLJENJE VALJČIĆA NA PROBE.....	19
SLIKA 18. SVJETLOSNI MIKROSKOP.....	20
SLIKA 19. DEBLJINA FILMA MJERENA SVJETLOSNI MIKROSKOPOM.....	21
SLIKA 20. GRAFIČKI PRIKAZ OVISNOSTI KUTA KVAŠENJA VODE O VREMENU MJERENJA KOD SUHIH UZORAKA	22
SLIKA 21. GRAFIČKI PRIKAZ OVISNOSTI KUTA KVAŠENJA VODE O VREMENU KOD NAVLAŽENIH UZORAKA ...	23
SLIKA 22. GRAFIČKI PRIKAZ OVISNOSTI KUTA KVAŠENJA LAKA O VREMENU MJERENJA KOD SUHIH UZORAKA	24
SLIKA 23. GRAFIČKI PRIKAZ OVISNOSTI KUTA KVAŠENJA VODENOG LAKA U VREMENU MJERENJA KOD NAVLAŽENIH UZORAKA.....	25
SLIKA 24. GRAFIČKI PRIKAZ ADHEZIJSKE ČVRSTOĆE VODENOG LAKA (BROJ OZNAČAVA BROJ PROLAZA ISPOD UV LAMPE, OZNAKA V OZNAČAVA NAVLAŽENE UZORKE; U JEDNOM PROLAZU DOZA ZRAČENJA IZNOSI 2,36 J/cm ²).....	26
SLIKA 25. GRAFIČKI PRIKAZ SUHE DEBLJINE FILMA VODENOG LAKA (BROJ OZNAČAVA BROJ PROLAZA ISPOD UV LAMPE, OZNAKA V OZNAČAVA NAVLAŽENE UZORKE; U JEDNOM PROLAZU DOZA ZRAČENJA IZNOSI 2,36 J/cm ²).....	27
SLIKA 26. PROMJENA BOJE UZORAKA PRILIKOM OZRAČIVANJA (BROJEVI OZNAČAVAJU BROJ PROLAZA ISPOD UV LAMPE).....	28

POPIS TABLICA

TABLICA 1. UKUPNA JAČINA ZRAČENJA U J/CM ²	12
TABLICA 2. PROSJEČNE VRIJEDNOSTI UDJELA ADHEZIJSKOG I KOHEZIJSKOG LOMA (K-D: KOHEZIJSKI LOM PODRVU, A-L-D: ADHEZIJSKI LOM IZMEĐU LAKA I DRVA, A-LJ-V: ADHEZIJSKI LOM IZMEĐU LJEPILO I VALJIĆA)	26

PREDGOVOR

Drvo je kao građevni materijal lako obradiv te ima vrlo dobra fizikalna i mehanička svojstva. Time drvo ima široku primjenu kako u opremanju unutarnjih objekata i izradi namještaja (ormari, stolovi, stolice, podovi...), tako i u izradi proizvoda za vanjsku primjenu, npr. terase, ograde, fasade...

Ovim putem bih se zahvalio Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije sveučilišta u Zagrebu na danoj mogućnosti da nesmetano odrađujem mjerenja i vršim ispitivanja na laboratorijskim uređajima i opremi.

Posebno se zahvaljujem svom mentoru doc. dr. sc. Josipu Miklečiću na pruženoj prilici da mi bude mentor, a ponajviše na njegovom strpljenju, podršci i pomoći prilikom izrade rada. Tom prilikom bih se zahvalio i kolegi Tomislavu Gržanu što mi je pomogao u praktičnom dijelu izrade diplomskog rada, tj. pri odrađivanju mjerenja na fakultetu.

Za kraj se zahvaljujem svojoj obitelji i djevojci koji su uvijek uz mene tu kao najveća podrška.

1. UVOD

Drvo i drvni proizvodi imaju višestruku funkciju u graditeljstvu, drvnoj industriji, avio industriji i u ostalim granama te su se kao takvi koristili tisućama godina u konstruiranju i izgradnji nastambi, oruđa, kola, pa kasnije i u izgradnji željeznica itd. Time je drvo konstantno bilo izloženo raznim vremenskim uvjetima i zbog toga ga je bilo neophodno zaštititi od ubrzanog starenja i razgradnje.

Drvo je prirodan, higroskopan, anizotropan te nehomogen materijal koji u svakom pojedinom smjeru (presjeku) ima različita fizikalna, mehanička, pa i estetska svojstva. Zbog svojih različitosti u smjerovima, pa i nepravilnosti unutar svakog pojedinog presjeka, drvo će se na različite načine ponašati kod utjecaja bioloških i abioloških čimbenika. Svojstva drva se razlikuju ovisno o vrsti drva, ali i unutar iste vrste drva, kao što su primjerice klima, područje rasta, sastav tla (udio mineralnih tvari) i dr. Ako se govori o istoj vrsti drva, zanimljiva je činjenica da sastav i njegova svojstva se također mogu razlikovati unutar iste sastojne (područje rasta) pa čak i unutar istog stabla, što zapravo čini svako pojedino stablo posebno i jedinstveno u odnosu na druga stabla iste vrste. S obzirom da se u ovom radu istražuje utjecaj UV zračenja na površinu bukovine, bitno je znati činjenicu da unutar iste vrste drva i istog presjeka dolazi do većih ili manjih odstupanja prilikom obrade rezultata.

Najbitniji biološki čimbenik razgradnje i kemijske promjene na površini drva jest Sunce. Kada je površina drva dulje vrijeme izložena sunčevom svjetlu, drvo će u sebe apsorbirati ultra-ljubičaste (UV) zrake iz nevidljivog spektra zračenja. Te zrake su manjih valnih duljina od vidljivog spektra zračenja i one u najvećoj mjeri utječu na kemijske promjene drva, tj. njegovih komponenti.

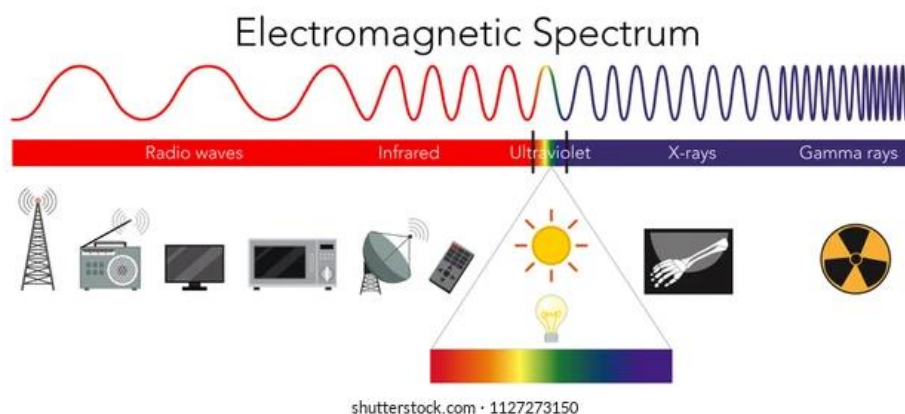
Prilikom izrade ovog diplomskog rada, cilj istraživanja je bio utvrditi kako modifikacija površine UV zračenjem utječe na svojstva površine drva. Ozračivanje uzoraka bukovine vršilo se umjetnim putem u kontroliranim uvjetima na UV uređaju za sušenje i otvrdnjavanje lakova pomoću živine UV lampe. Modificiranje drva UV zračenjem dovelo je do promjene svojstava površine drva, prvenstveno do povećanja površinske energije, što posljedično utječe na kvašenje podloge te adhezijsku čvrstoću između drva i vodenog laka. Također se ispitala debljina suhog filma vodenog laka na poprečnom presjeku uzoraka kako bi se utvrdile eventualne razlike u prodiranju laka u drvo između neozračenih i ozračenih uzoraka različitog inteziteta zračenja. Nadalje, ozračivale su se dvije skupine uzoraka: suhi uzorci te uzorci sa predhodno navlaženom površinom.

Nakon dobivenih rezultata, bilo je potrebno prokomentirati i uvidjeti ima li modifikacija drva UV zračenjem pozitivne ili negativne učinke na površinsku obradu drva.

2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

2.1. Elektromagnetsko zračenje

Elektromagnetsko zračenje po definiciji predstavlja elektromagnetske valove koji nastaju kod svih zagrijanih tijela kojima sa porastom temperature raste električni naboj (elektroni brže titraju) te se oslobađa više energije u obliku fotona i nastaje magnetsko polje, a time se povećava i njihova frekvencija. Elektromagnetski valovi imaju različite frekvencije i valne duljine te kao takvi prodiru kroz zrak i ostale medije. U svemiru postoji nekoliko vrsti zračenja koja ovise o brzini širenja kroz medij, valnoj duljini i frekvenciji (slika 1). Duljine elektromagnetskih valova se kreću u rasponu od manje od 0,02 nm (Gama zrake) pa do više od 100 km (Radiovalovi) (Heald i Marion, 2012).



Slika 1. Spektar elektromagnetskog zračenja (Izvor:

<https://www.shutterstock.com/image-vector/science-electromagnetic-spectrum-diagram-illustration-1127273150>

2.1.1. Ultraljubičasto (UV) zračenje

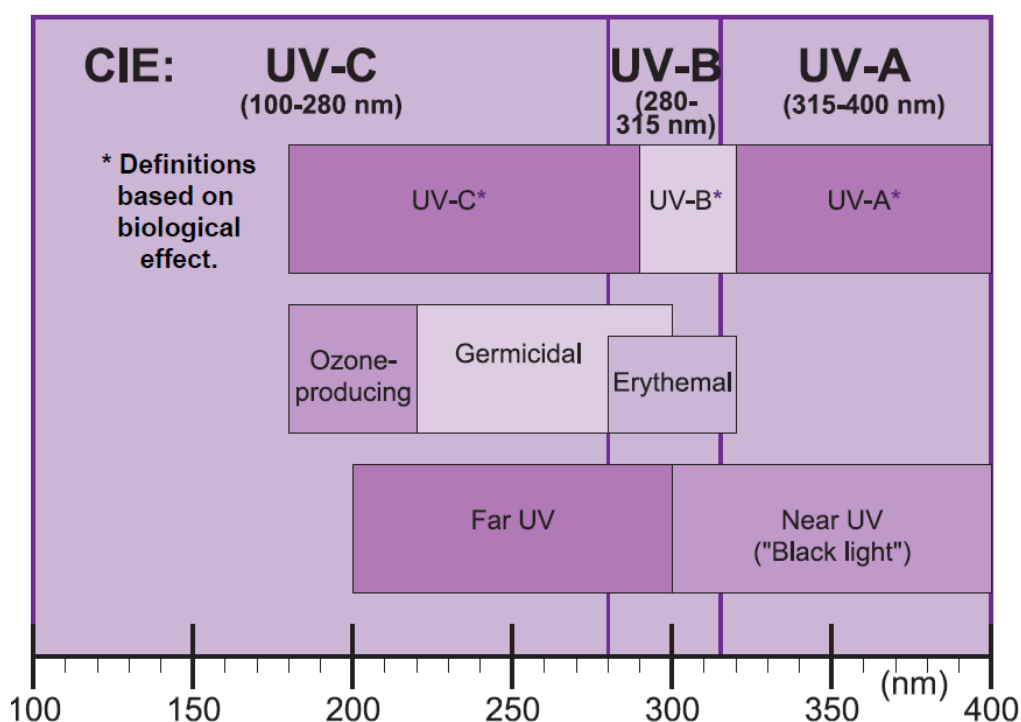
Ultraljubičasto zračenje spada u područje manjih valnih duljina od vidljive svjetlosti u rasponu od 100 do 400 nm. S postupnim smanjivanjem valnih duljina raste njegova frekvencija titranja, a time se povećava i energija. Ultraljubičasto zračenje se može podijeliti na tri podskupine koje se razlikuju po svojim valnim duljinama: UV-A, UV-B i UV-C zračenje (slika 2) (Ryer, 1997).

UV-A zračenje je uobičajeno zračenje koje najvećim dijelom dopire do Zemlje, ali zato ima najmanju energiju. Valna duljina ovog područja se kreće od 315 do 400 nm. UV-A se često naziva i crno svjetlo, tj. fluorescentna svjetiljka koja se nalazi na granici s vidljivom svjetlošću (oko 360 nm) te se koristi za pronalaženje određenih fluorescentnih tvari ili materijala u mraku. Takva se lampa često koristi u forenzici i kriminalistici kako bi se eventualno našli tragovi ljudske krvi ili ostalih izlučevina. UV-A lampe te također koriste u fototerapiji za liječenje raznih kožnih bolesti ili za obično tamljenje kože (Ryer, 1997).

UV-B zračenje je obično najopasnije po ljude jer ima dovoljno energije da uzrokuje oštećenje tkiva, a opet ne dovoljno da u potpunosti proдре kroz atmosferu. UV-B zračenje je

poznato po tome što uzrokuje rak kože. S obzirom da je većina UV-B zraka izvan Zemlje zaustavljena u atmosferi, čak i najmanja promjena u ozonskom sloju (ozonske rupe) može uzrokovati rak na koži. Valne duljine ovih zraka kreću se od 280 do 315 nm (Ryer, 1997).

Kratkovalno UV-C zračenje je gotovo 99 % absorbirano u atmosferi te ono ima važnu ulogu kod nastanka ozonskog omotača. UV-C fotoni se na visinama od 20 do 30 km od tla sudaraju sa atomima kisika (O_2) pri čemu nastaje ozon (O_3) (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000). Zbog brze absorpcije u ozonskom sloju, UV-C zrake ne dopjevaju do Zemljinog tla. UV-C lampe se koriste za sterilizaciju vode i zraka te između ostalog i medicinskog pribora zbog svoje sposobnosti da ubijaju bakterije. Njihove valne duljine se kreću od 100 do 280 nm (Ryer, 1997).



Slika 2. Spektar ultraljubičastog zračenja (Izvor: Ryer, 1997)

2.2. Utjecaj UV zračenja na drvo (općenito)

Na promjenu svojstava drva prvenstveno utječu UV-B i manjim dijelom UV-A zrake iz spektra ultraljubičastog zračenja. Utjecaj sunčeve svjetlosti prvenstveno se očituje u promjeni boje drva, čime se to prihvaća kao površinski fenomen. S obzirom na malu dubinu prodiranja UV zraka u drvo, ipak one su odgovorne za primarnu fotooksidativnu razgradnju. Višestrukim mjerenjima došlo se do zaključka da UV zrake ne mogu prodrijeti više od cca. 75 μm , dok su za vidljivi dio spektra svjetlosti dubine prodiranja puno veće, ali zato te zrake nemaju dovoljno energije da raskinu kemijske veze unutar drvnih komponenti. Dakle, prodiranje UV zraka u dublje slojeve drva moguće je isključivo lančanim reakcijama, tj. formiranjem i stabilizacijom slobodnih radikala (ionske molekule velike reaktivnosti) (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

UV-B zrake su najvećim dijelom zaslužne za fotodegradaciju drva, iako tek 1 % tih zraka prođe kroz atmosferu. UV zračenjem dolazi do promjene kemijskih komponenata u drvu, prvenstveno lignina. Absorbirana energija nakon zračenja izaziva raskidanje, tj. disocijaciju veza u molekulama drvnih komponenata. Tim se homolitičkim procesom oslobađaju slobodni radikali u drvu, što dalje neovisno o prisutnosti ili bez kisika i vode, dovodi do depolimerizacije i formiranja kromofornih skupina sa karboksilnim, karbolilnim, peroksidnim i konjugiranim dvostrukim vezama koje uzrokuju obojenje organskih spojeva. (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

Drvo odlično absorbira svjetlost prije no što počne fotokemijska reakcija, što je bitno zbog određivanja koncentracije i prirode samog kromofora čime se također određuje i stupanj fotooksidacije drva. Celuloza, iako se ne degradira, najviše absorbira valne duljine ispod 200 nm, u manjoj mjeri valne duljine od 200 do 300 nm i djelomično one zrake do 400 nm. S obzirom na strukturnu sličnost, hemiceluloza absorbira UV zračenje slično kao i celuloza. Lignin i ostali fenolni spojevi snažno absorbiraju valne duljine ispod 200 nm, zatim povećano absorbiraju zrake od 280 nm valne duljine te aporpcija postepeno pada u području vidljive svjetlosti. Ekstraktivne tvari absorbiraju valne duljine u bliskom ultraljubičastom području od 300 do 400 nm. Time se lako može zaključiti kako većina drvnih komponenti absorbira UV zrake pojedinog spektra što posljedično dovodi do promjene boje drva i konačno fotodegradacije (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

2.3. Utjecaj UV zračenja na svojstva površine drva

2.3.1. Površinska energija drva

Slobodna površinska energija definirana je kao energija čestica ili molekula na površini neke krute tvari koja se razlikuje od energije molekula u unutrašnjosti te iste tvari. Energija na površini tvari bit će veća od one u unutrašnjosti (Mittal, 1993).

Mjerna jedinica za energiju površine neke tvari određena je kao džul po metru kvadratnom (J/m^2) ili njutn po metru (N/m).

Površinska energija se razlikuje ovisno o vrsti drva, a razlike su vidljive čak unutar iste vrste s obzirom na anatomski svojstva (ovisi o presjeku), stanište rasta, sadržaj vode u drvu, temperaturu površine drva i dr.

Novija istraživanja pokazuju kako će slobodna energija drva biti veća kod tek obrađenog (ispiljenog) drva za razliku od drva koje je dulje vrijeme netaknuto. Time se došlo do zaključka da drvu prilikom mehaničke obrade i izlaganju normalnim prirodnim uvjetima već nakon nekoliko dana drastično pada slobodna energija. Uzrok tome je jednim dijelom hrapavost površine koja odmah nakon mehaničke obrade povećava slobodnu enegriju, a drugim dijelom izlučivanje niskomolekularnih ekstraktivnih tvari koje s vremenom smanjuju slobodnu površinsku energiju drva (Gindl i sur., 2006).

Kod drva energija površine se kreće oko 40-55 mN/m. Ukoliko je površinska energija drva veća od površinske napetosti tekućeg sredstva (ljepila ili premaza) može se reći da tekuće

sredstvo dobro kvasi podlogu. Površinska energija drva je vrlo bitan čimbenik kod stvaranja adhezivnih veza između drva i premaza (Borger i sur., 2003).

2.3.2. Kut kvašenja drva

Kut kvašenja ili kontaktni kut određuje u kojoj mjeri će neka tekuća tvar kvasiti podlogu. Kvašenje podloge prvenstveno ovisi o viskoznosti tekuće tvari (premaza), slobodnoj površinskoj energiji i higroskopnosti krute tvari te hrapavosti površine. Kontaktni kut (φ) se mjeri u stupnjevima na način da se povuče tangenta na rub kapi, a kvašenje podloge se određuje kao kosinus (\cos) od tog kuta. Ukoliko je izmjereni kut $\varphi=0^\circ$ i $\cos\varphi=1$ kvašenje je potpuno, a ukoliko je izmjereni kut $\varphi=180^\circ$ i $\cos\varphi=-1$, tada nema kvašenja. Može se reći kada je kontaktni kut manji od 90° ($\cos=0$), kvašenje se smatra dobrim (Borger i sur., 2003).

Kemijski sastav drva također utječe na kvašenje podloge. Vrste drva koje imaju više ekstraktivnih tvari i lignina slabije će kvasiti podlogu, odnosno imati će veći kontaktni kut. Različiti udio ekstrakтива u drvu može uzrokovati i do 40 % promjene u kvašenju. Dakle, na razinu kvašenja podloge još utječe i vrsta drva, način skladištenja (utjecaj bioloških i abioloških čimbenika), sušenje drva, smjer piljenja, sadržaj vode i dr. (Papp i sur., 2020).

2.3.3. Utjecaj UV zračenja na kvašenje površine drva

Dosadašnjim istraživanjima došlo se do zaključka da se nakon umjetnog ozračivanja mijenja kemijski sastav drva, odnosno dolazi do kemijskih promjena koje utječu na površinsku energiju i kvašenje površine. Lignin i ostali polifenoli u drvu prvi absorbiraju UV zračenje i time prirodnim putem zaštićuju ostale komponente od ubrzane razgradnje drvnih stanica. Nadalje, kod umjerenog ozračivanja na površini se izlučuju hidrofobni ekstraktivi koji smanjuju upojnost i kvašenje i time onemogućuju zadržavanje vode u drvu te smanjuju mogućnost napada bioloških štetnika. Kod vrsta drva s manjim udjelom ekstrakтива, upojnost, kvašenje i slobodna energija podloge se povećavaju sukladno s jačinom zračenja i duljinom izlaganja tim uvjetima (Papp i sur., 2020).

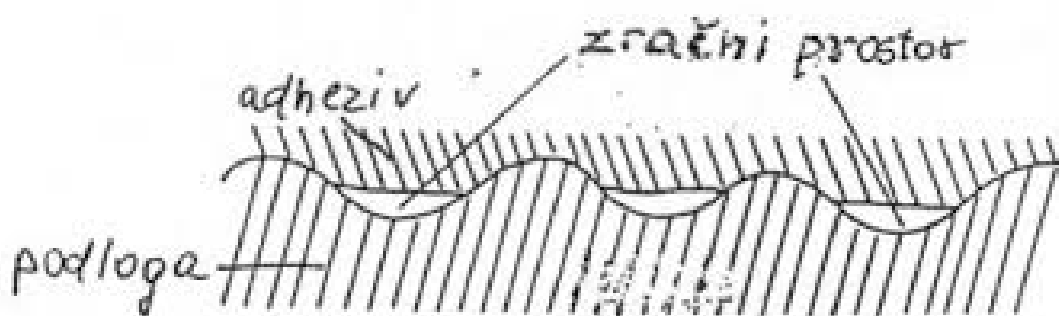
Zaključno se iz dosadašnjih istraživanja može tvrditi da se prilikom umjetnog ozračivanja na površini drva izlučuju ekstraktivne tvari koje posljedično smanjuju kvašenje površine, no nakon duljeg vremenskog izlaganja jačim umjetnim ozračivanjem dolazi do postupne razgradnje celuloze i hemiceluloze čime se povećava kvašenje podloge (Papp i sur., 2020).

2.3.4. Adhezija premaza

Adhezija kao pojava predstavlja međusobno privlačenje sila između dvaju tijela različitog kemijskog sastava i strukture zbog interakcije molekula atoma ili iona. Njena jačina ponajprije ovisi o površinskoj energiji krutina ili površinskoj napetosti tekućina. Adhezija se u praksi najčešće javlja kao međusobno povezivanje krutog i tekućeg tijela koje će s vremenom

ili pod utjecajem temperature otvrdnuti, odnosno nastati će polimerizacija tekuće tvari kao posljedica stvaranja kohezijskih sila unutar nje. Kada se govori o tekućoj tvari kao adhezivu, najčešće se misli na ljepilo ili premazni materijal. Cilj stvaranja dobre adhezije je ostvarivanje što većeg kontakta između adheziva i podloge te suzbijanje zračnog prostora između njih (slika 3) (Bujanić i Magdalenić Bujanić, 2011).

Adhezija premaza na drvu će biti dobra ukoliko je površinska energija drva veća od površinske napetosti premaza i tada se može reći da premaz dobro kvasi podlogu. Uz to, na adheziju drva i premaza utječu i ostali čimbenici poput sadržaja vode u drvu, čistoće površine, temperature i relativne vlaga zraka te hrapavosti površine drva. U slučaju previsokog sadržaja vode ili previsoke temperature mogu se javiti greške kao što su ljuštenje (slika 4) ili mjehurenje (slika 5) premaza.



Slika 3. Zračni prostor između adheziva i podloge (Izvor: http://physics.mef.hr/Predavanja/stom_pov_tek/main5.html)



Slika 4. Ljuštenje premaza (Izvor: <https://www.helios-deco.com/hr/savjeti-i-trikovi/zasto-je-drvo-potrebno-zastititi-i-kako-to-ispravno-uciniti/>)



Slika 5. Mjehurenje premaza (Izvor: <https://www.house-painting-info.com/articles/blistering/>)

2.3.5. Utjecaj UV zračenja na adhezivnu čvrstoću premaza

Adhezivna čvrstoća nekog spoja od velike je važnosti jer to posebno utječe na kvalitetu proizvoda. Adhezivna čvrstoća se ispituje mehaničkim putem na više načina. Najpoznatiji način je metoda kidanja valjčića kojom se ispituje kolika je adhezija premaza na drvenoj površini. Slobodna površinska energija drva ključna je za dobro kvašenje premaza te stvaranje dobre adhezije između premaza i drva. Što je slobodna energija podloge veća, to će premaz bolje kvasiti podlogu i time se ostvaruje bolji adhezijski spoj. Prilikom UV ozračivanja drvenih uzoraka, na površini se povećava energija. Dakle, što je uzorak dulje vrijeme izložen UV zrakama, to će biti jače ozračen, a time će rasti slobodna energija i posljedično će se ostvariti bolja adhezivna čvrstoća (Gindl i Sinn, 2006).

Ultraljubičasto zračenje se sve više primjenjuje pri otvrdnjavanju temeljnih premaza, s povećanjem primjene za završne lakove. Pogodnost UV zračenja ogleda se u malom utrošku energije, velikoj brzini otvrdnjavanja te stvaranju kvalitetnog adhezijskog spoja (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

2.4. UV lampe

UV lampe ili sijalice po svojoj jačini dijele se na:

- Niskotlačne (male snage) 0,28-7 W/cm
- Srednjetačne (srednje snage) 7-50 W/cm
- Visokotlačne (velike snage) 50-200 W/cm

UV lampe prvenstveno služe za otvrdnjavanje UV lakova. Niskotlačne lampe koriste se u početnoj fazi za pripremu srednjetačnog ozračivanja laka. Za ubrzanje želiranja i završetak početne faze koriste se lampe srednje snage, dok se lampe velike snage koriste za završno umrežavanje. Mogu biti živine (karakterističan spektar zračenja od oko 366 nm) ili galijeve (spektar zračenja od 412 do 440 nm) (Jirouš Rajković, 2021).

Mogu emitirati različite spektre ovisno o tipu. Najviše se koriste živine lampe za transparentne sustave. Galijeve lampe se koriste za pigmentirane premaze (Jirouš Rajković, 2021).

3. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

U ovom diplomskom radu istraživao se utjecaj UV zračenja na kvašenje podloge drva i adheziju premaza te se mjerila debljina premaza. Cilj je bio odrediti kako UV zračenje kao modifikacija drva utječe na kvalitetu lakiranja, odnosno na kvašenje podloge i adheziju vodenog laka. Dodatno su se usporedili rezultati ozračenih suhих i mokrih uzoraka s obzirom da je poznato kako navlaživanjem površine drva dolazi do izdizanja vlaknaca, što vrlo lako može utjecati na konačan rezultat.

4. MATERIJALI I METODE

4.1. Priprema uzoraka

Uzorci za ozračivanje pripremljeni su iz bukovine teksture bočnice u dimenzijama od 20 mm × 100 mm × 150 mm (debljina × širina × dužina) za mjerenje adhezije i u dimenzijama od 20 mm × 100 mm × 70 mm (debljina × širina × dužina) za mjerenje kuta kvašenja. Svi su uzorci bili kondicionirani pri (20±3) °C i (50±5) % relativne vlage zraka. Uzorci su podijeljeni u šest grupa s obzirom na broj prolazaka ispod UV lampe. Prije samog ozračivanja površina uzoraka ručno je pobrušena brusnim papirom granulacije P150. Nakon brušenja čistom i suhom krpom obrisana je drvena prašina i površina nije više dirana prstima kako nebi došlo do inaktivacije površine. Polovici uzorka je netom prije ozračivanja površina navlažena vodom korištenjem spužve.

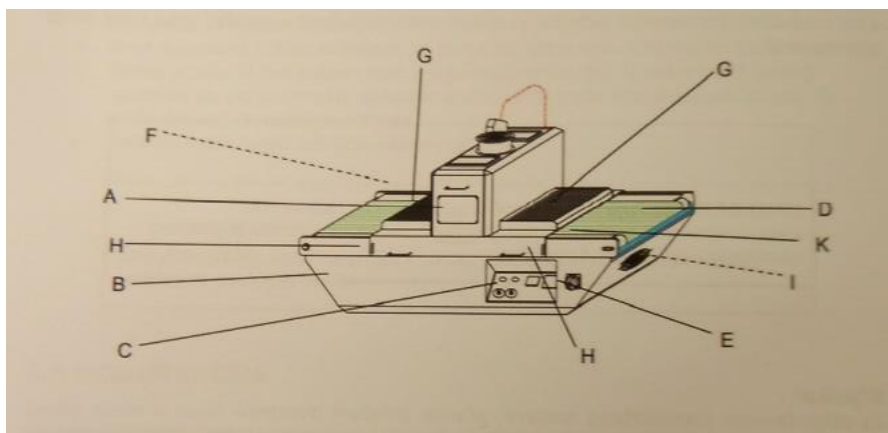
4.2. Ozračivanje uzoraka

4.2.1. Princip rada UV uređaja

Ozračivanje površine uzoraka vršilo se na uređaju za UV sušenje i otvrdnjavanje lakova marke „Trivec“ (slika 6). Uređaj se sastoji od horizontalnog, pogonjenog ulaznog i izlaznog stola, električne preklopne ploče (integrirane u donji dio kućišta), jedinice za izlaganje UV zračenju, ispušnog ventilatora i motora za transport. Dijelovi UV uređaja prikazani su na slici 7. Uređaj funkcionira na principu prolaska uzorka ispod UV lampi gdje se mijenjanjem udaljenosti od lampi, brzine trake (%) i jakosti lampi (W/cm) ostvaruje određena doza zračenja (J/cm²). U uređaju se nalaze živina (Hg) i galijeva (Ga) lampa, a za ovo istraživanje koristila se samo živina lampa čiji je spektar prikazan na slici 8.

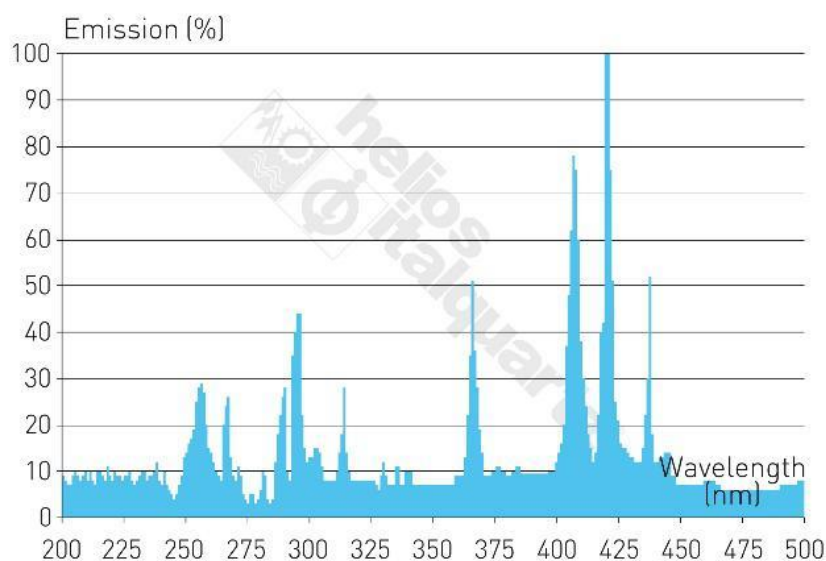


Slika 6. Uređaj za UV sušenje i otvrdnjavanje lakova



A	UV modul
B	Kučište ili baza jedinice
C	Upravljačka ploča
D	Transportni sustav (pomična traka)
E	Glavni prekidač
F	Priključak za odzračivanje ispušnog zraka na stražnjoj strani
G	Zaštitni lim protiv odsjaja- ulaz/izlaz
H	Vijci za podešavanje visine UV lampi od površine uzoraka
I	Priključak za napajanje (stražnja strana)
K	Mehanizam za otključavanje transportne trake

Slika 7. Shematski prikaz UV uređaja



Slika 8. Spektar zračenja živinih UV lampi (Izvor:

<https://www.heliosquartz.com/prodotti/mercury-medium-pressure-uv-lamps/?lang=en>)

4.2.2. Određivanje doze zračenja

Prilikom ozračivanja površine, uzorci su prolazili ispod UV lampe na udaljenosti od 120 mm, pri najmanjoj brzini transportne trake i najvećoj jakosti lampe. U tim uvjetima radiometrom je izmjereno da pri jednom prolasku uzorka ispod lampe doza zračenja iznosi 2,36 J/cm². Ozračivanja su se vršila u 1, 5, 10, 50 i 100 prolaza kod suhih uzoraka, a kod navlaženih uzoraka u 1, 5, 10 i 50 prolaza. Ukupna jačina zračenja određena je umnoškom doze zračenja pri jednom prolazu (2,36 J/cm²) i broja prolaza uzorka ispod lampe (tablica 1). Za svaku skupinu uzoraka za mjerenje kuta kvašenja ozračivale su se tri probe, a za mjerenje adhezije četiri probe. Istodobno su se ozračivali uzorci za mjerenje kuta kvašenja i za adheziju vodenog laka.

Tablica 1. Ukupna jačina zračenja u J/cm²

Jačina zračenja pri jednom prolazu, J/cm ²	Broj prolaza	Ukupna jačina zračenja, J/cm ²
2,36	1	2,36
2,36	5	11,8
2,36	10	23,6
2,36	50	118
2,36	100	236

4.3. Mjerenje kuta kvašenja

Odmah nakon ozračivanja uzorci su se odnosili u laboratorij kako bi se snimili kutevi kvašenja vodom i vodenim premazom. Na svakoj probi uzoraka snimilo se po šest kapi, tri za vodu i tri za lak. Volumen svake kapi bio je 0.01 ml. Uređaj za mjerenje kuta kvašenja sastojao se od digitalne kamere Dinolite 2.0, osvijetljena, stalka za uzorak i iglu te uređaja za reguliranje volumena i doziranje kapi (slika 9). Snimka se prikazivala na računalu u programu Dinolite 2.0 capture. Duljine snimki su ovisile o tome snima li se voda ili premaz. Duljina svake pojedine snimke za vodu trajala je oko 2 minute, a za premaz oko 3 minute. Prvo su se snimili svi uzorci za vodu, a zatim svi za premaz.

Postupak je bio sljedeći:

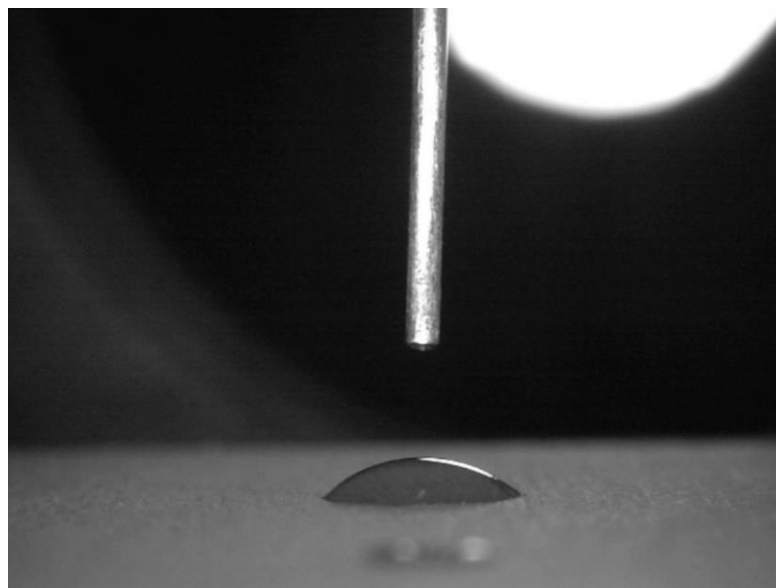
- Punjenje šprice vodom
- Namještanje šprice na stalak
- Namještanje uređaja za potiskivanje kapljice vode i premaza iz šprice
- Potiskivanje kapi na vrh igle
- Približavanje kapi ka površini uzorka
- Netom prije dodira kapi s uzorkom i razlijevanja iste počinje snimanje
- Nakon dodira i razlijevanja kapi po površini uzorka podiže se igla
- Mjeri se vrijeme snimanja
- Snimka se zaustavlja te se spremala na računalo pod svojim imenom i rednim brojem probe

Postupak za premaz je bio isti, osim što je vrh igle bilo potrebno brisati i čistiti nakon podizanja, kako ne bi došlo do sušenja premaza i začepljenja igle.

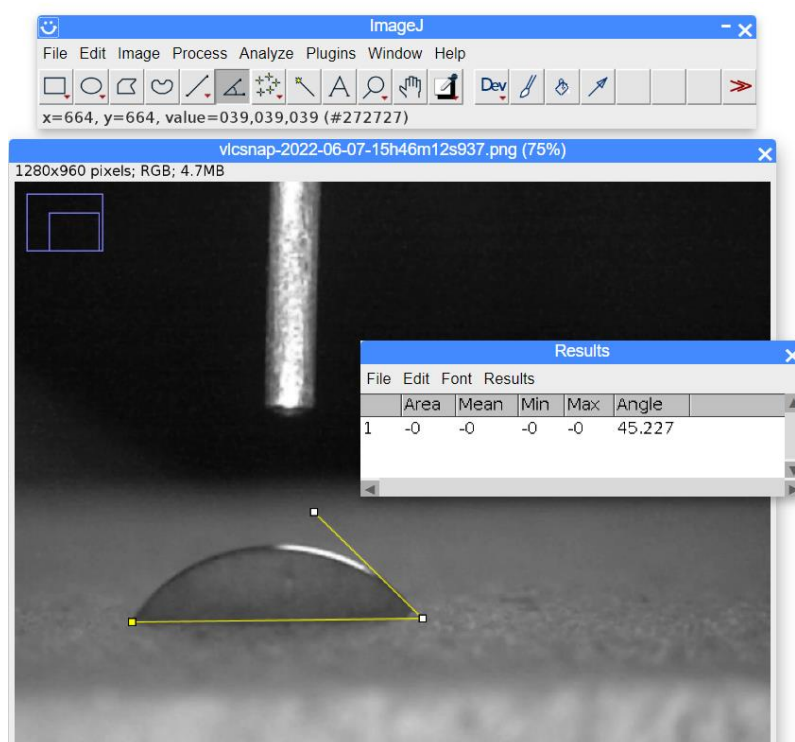


Slika 9. Oprema za mjerenje kuta kvašenja

Na svaki uzorak aplicirane su tri kapi vode i tri kapi premaza. Nakon završetka snimanja suhих i mokrih uzoraka na svakoj snimci izmjereno je deset kutova u određenom vremenskom intervalu te je izračunata srednja vrijednost. Kut kvašenja kod vode mjeren je 0, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 40, 60 i 90 sekundi nakon dodira i razlijevanja kapi po površini uzorka. S obzirom na veću viskoznost i manju upojnost vodenog premaza u odnosu na vodu, kod premaza je kut kvašenja mjeren 0, 2, 5, 10, 20, 40, 60, 90, 120 i 150 sekundi nakon dodira kapi s površinom. Fotografije iz snimaka u pojedinom vremenskom intervalu dobivene su pomoću programa VLC Media (slika 10), a mjerenje kuta vršilo se u programu „Image.JS“ (slika 11).



Slika 10. Fotografija kapi snimljena u programu „VLC Media“



Slika 11. Mjerenje kuta u programu „Image.JS“

4.4. Ispitivanje adhezije vodenog laka

Nanošenje vodenog laka na uzorke vršilo se odmah nakon ozračivanja. Lak se nanosio aplikatorom (slika 12) u mokroj deblji od $90\ \mu\text{m}$ u smjeru vlakanaca drva. Ukupno su nanosena dva sloja laka s intervalom sušenjem od 24 h između dva sloja. Nakon toga uzorci su kondicionirani tri dana pri $(20\pm 3)\ ^\circ\text{C}$ i $(50\pm 5)\ \%$ relativne vlage zraka kako bi lak potpuno otvrdnuo.



Slika 12. Kvadrantni profil za ravnomjerno nanošenje laka

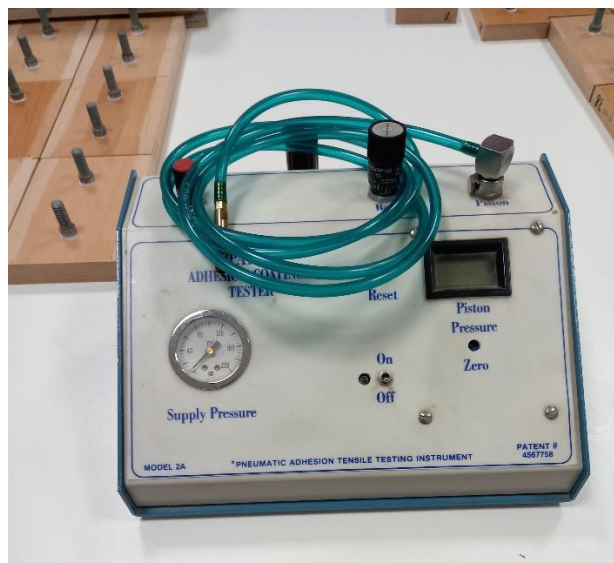
Za mjerenje adhezije korištena je metoda otkidanja valjčića za koju je potrebno dvokomponentno epoksidno ljepilo (slika 13), uređaj za okidanje valjčića PATTI (slika 14), valjčići te boca sa stlačenim zrakom (slika 15). Za pripremu i čišćenje površine valjčića bio je potreban nožić, brusni papir granulacije 120 i otapalo za skidanje nečistoća i ostataka ljepila s valjčića. Valjčići su prvotno bili uranjani u otapalo za čišćenje te su nakon određenog vremena očišćeni nožićem i lagano pobrušeni brusnim papirom (slika 16). Ispitivanje adhezije laka vršilo se na suhim i navlaženim uzorcima, a na svakoj probi lijepila su se po dva valjčića (slika 17). Sveukupno je bilo potrebno 88 valjčića.

Postupak metode okidanja valjčića je bio sljedeći:

- Priprema i čišćenje valjčića
- Miješanje A i B komponente epoksidnog ljepila
- Nanošenje ljepila plastičnom žličicom na površinu valjčića i uzorka
- Ostvarivanje pritiska valjčića prstom na drvenu površinu i istiskivanje viška ljepila
- Držanje pod pritiskom 30 sekundi
- Sušenje i otvrdnjivanje ljepila 48 sati
- Otkidanje valjčića pomoću uređaja i boce s kisikom
- Zapisivanje adhezivne čvrstoće (kPa)
- Određivanje postotnog udjela kohezijskog loma po drvu (K-D), adhezijskog loma između laka i drva (A-L-D) i adhezijskog loma između ljepila i valjčića (A-LJ-V)



Slika 13. A i B komponenta epoksidnog ljepila



Slika 14. Uređaj za kidanje valjčića „PATTI“



Slika 15. Boca sa stalčnim kisikom



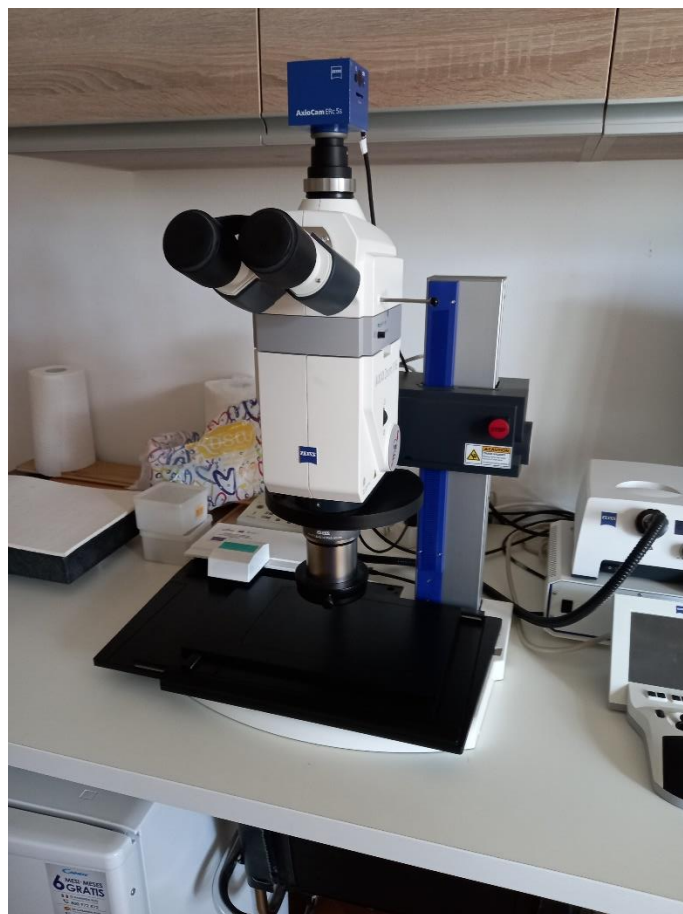
Slika 16. Priprema valjića za lijepljenje



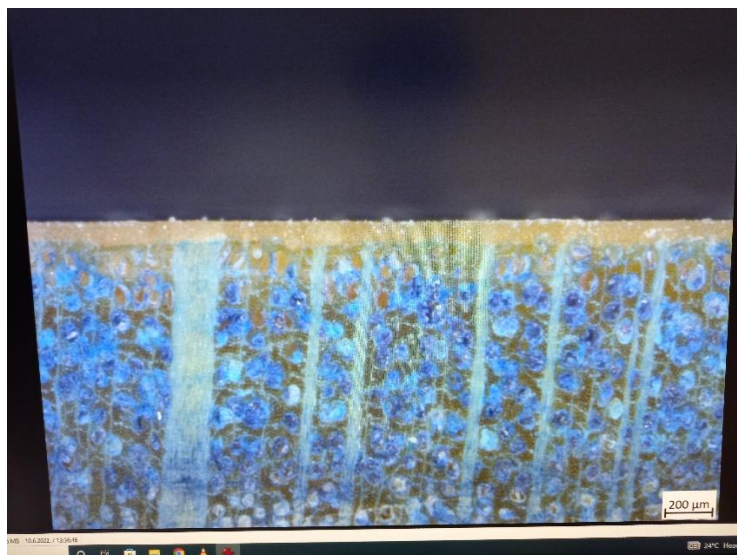
Slika 17. Lijepljenje valjčića na probe

4.5. Mjerenje suhe debljine filma

Suha debljina filma laka mjerila se mikroskopom (slika 18) povezanim na računalo na poprečnom presjeku (slika 19). Iz uzoraka na kojima je izmjerena adhezija laka ispiljeni su uzorci manjih dimenzija 20 mm × 100 mm × 10 mm (debljina × širina × dužina). Kako bi se vidjela što jasnija granica između drva i laka, poprečni presjek uzoraka postepeno je brušen brusnim papirima granulacija P150, P800, P1200, P2000 i P3000. Nakon brušenja, površina se očistila od drvene prašine zaostale u porama drva te je sljedilo mjerenje debljine filma. Mjerenjem debljine filma pokušalo se utvrditi utječe li doza zračenja na dubinu prodiranja laka u drvo.



Slika 18. Svjetlosni mikroskop

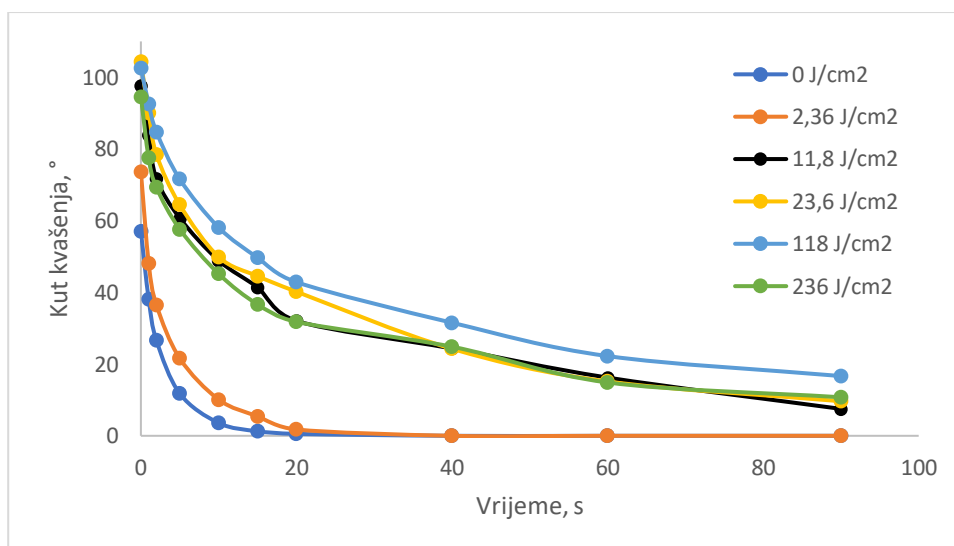


Slika 19. Debljina filma mjerena svjetlosnim mikroskopom

5. REZULTATI I RASPRAVA

5.1. Kut kvašenja

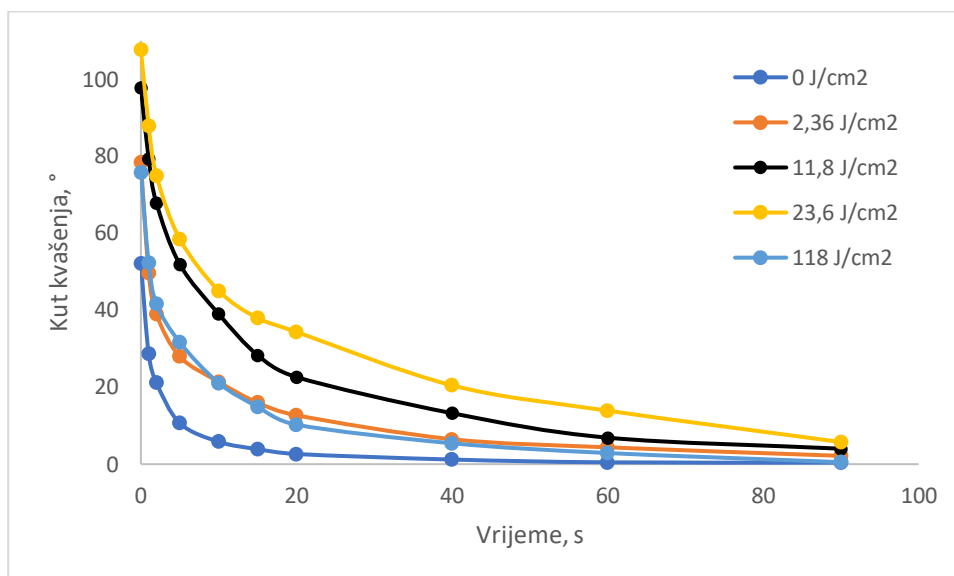
Na slici 20 prikazani su rezultati kuta kvašenja površine drva vodom koji pokazuju da se s produljenjem vremena stajanja kapi vode na površini drva kut kvašenja smanjuje bez obzira na dozu zračenja. Nadalje, vidljivo je povećanje kuta kvašenja vode kod doze zračenja iznad $11,8 \text{ J/cm}^2$, gdje na početku mjerenja voda uopće ne kvasi površinu drva (kut je oko 100°). Na neozračenju površini i na površini ozračenju s najmanjom dozom zračenja ($2,36 \text{ J/cm}^2$) kapljica vode je nestala nakon 20 s, dok se kod većih doza zračenja kapljica vode zadržala na površini i nakon 90 s. Još se može primijetiti da se kod većih doza zračenja kut kvašenja sporije smanjuje u odnosu na neozračenu površini i površini ozračenu s najmanjom dozom zračenja. Zanimljivo je primijetiti da između doza zračenja od $11,8$; $23,6$; 118 i 236 J/cm^2 nema izraženih razlika u kutovima kvašenja iako je razlika u dozama zračenja jako velika. Vidljiva je tendencija rasta kuta kvašenja vode s povećanjem doze zračenja do 118 J/cm^2 .



Slika 20. Grafički prikaz ovisnosti kuta kvašenja vode o vremenu mjerenja kod suhih uzoraka

Na slici 21 prikazan je grafički prikaz kuta kvašenja površine drva vodom kod uzoraka s navlaženom površinom. Rezultati pokazuju da se, isto kao i kod suhih uzoraka, kut kvašenja smanjuje s produljenjem vremena bez obzira na dozu zračenja. Kod doze zračenja iznad $11,8 \text{ J/cm}^2$ također je vidljivo povećanje kuta kvašenja u odnosu na doze zračenja od $2,36$ i 118 J/cm^2 (najmanja i najveća doza) i bez zračenja s početnim kutom od oko 100° . Doze zračenja od $2,36$ i 118 J/cm^2 ujedno prikazuju slične rezultate pri produljenom vremenu stajanja kapi na površini. Na neozračenju površini kapljica vode je u potpunosti nestala nakon 40 s, dok je kod najveće doze (118 J/cm^2) kapljica na površini nestala tek nakon 90 s. Kod ostalih doza zračenja kapljica

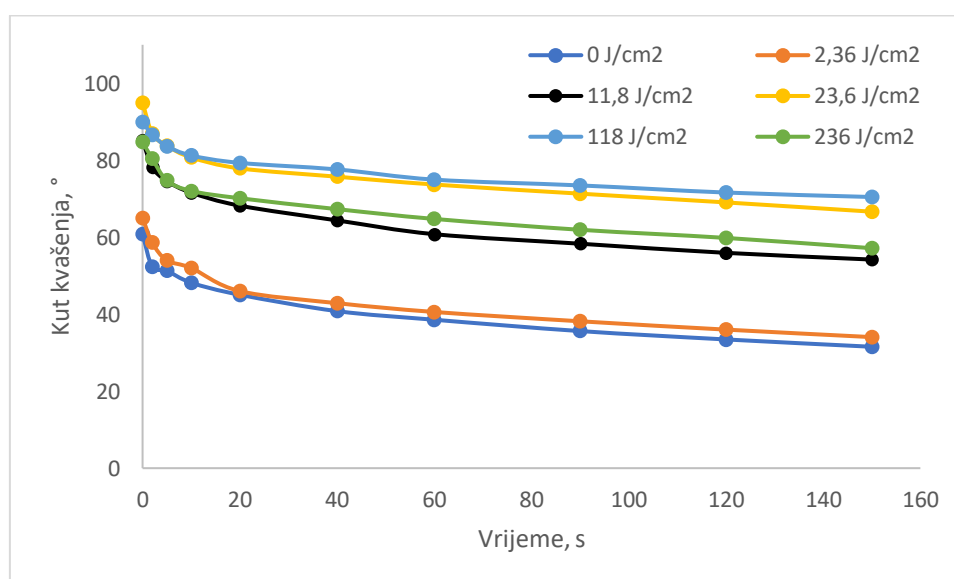
se zadržala na površini svih 90 s, iako je vidljivo brže nestajanje kapljice u odnosu na suhe uzorke. Doza zračenja od $23,6 \text{ J/cm}^2$ imala je najveći kut kvašenja (iznad 100°), kut kvašenja najsporije smanjivao u odnosu na ostale doze te je do te doze vidljivo povećanje kuta kvašenja.



Slika 21. Grafički prikaz ovisnosti kuta kvašenja vode o vremenu kod navlaženih uzoraka

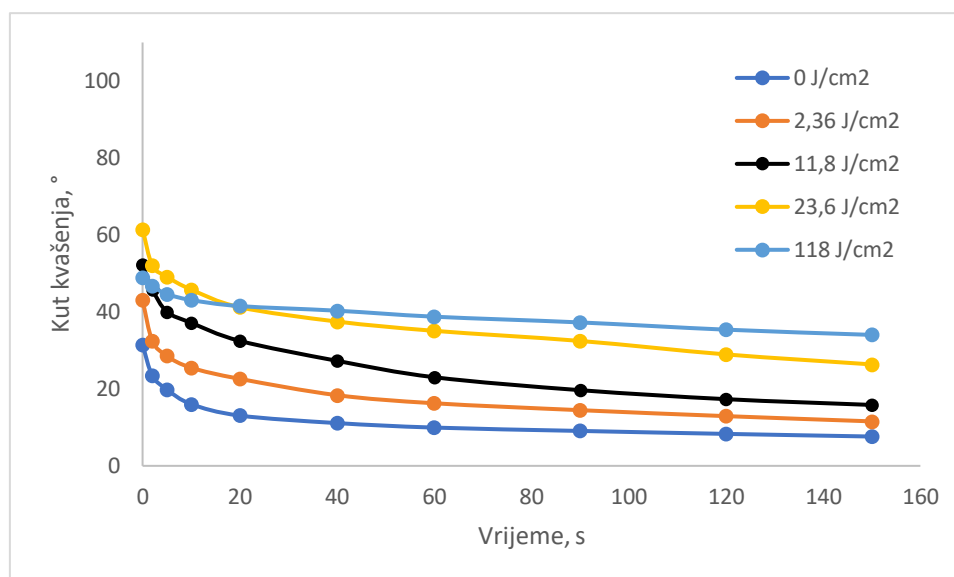
Uspoređujući kutove kvašenja vode na suhim i navlaženim uzorcima može se uočiti da je kod suhih uzoraka kapljica nestala već nakon 20 s, dok je kod navlaženih uzoraka bez zračenja to vrijeme bilo duplo duže (40 s), a kod doze zračenja od $2,36 \text{ J/cm}^2$ kapljica nije nestala i nakon 90 s. Nadalje, kod uzoraka sa suhom površinom vidljiva je tendencija rasta kuta kvašenja vode s povećanjem doze zračenja do 118 J/cm^2 , dok je kod uzoraka s navlaženom površinom tendencija rasta kuta kvašenja vidljiva do doze zračenja od $23,6 \text{ J/cm}^2$, čime se može zaključiti da suhi uzorci mogu primiti i do 5 puta veću količinu zračenja, a da pritom ne dođe do smanjenja kuteva kvašenja. Ipak, zanimljivo je uočiti da se kod doza zračenja od 11,8; 23,6; 118 i 236 J/cm^2 kut kvašenja sporije smanjuje na suhim uzorcima u odnosu na prethodno navlažene uzorke..

Slika 22 prikazuje rezultate kuta kvašenja površine drva lakom koji pokazuju da se s produljenjem vremena stajanja kapi laka na površini drva kut kvašenja smanjuje bez obzira na dozu zračenja. Kod svih doza zračenja, zajedno s neozračenim uzorcima, kapljica laka zadržala se na površini i nakon 150 s. Neozračena površina i površina zračena s najmanjom dozom ($2,36 \text{ J/cm}^2$) imale su najmanje kutove kvašenja te je početni kut kvašenja iznosio oko 60° , dok je nakon 150 s kut kvašenja pao za samo 20° . Vidljivo je povećanje kuta kvašenja laka kod doze zračenja iznad $11,8 \text{ J/cm}^2$. Najveći kutovi kvašenja laka bili su kod površina ozračenih s dozama od $23,6$ i 118 J/cm^2 i kod njih nema izraženih razlika u kutovima kvašenja, iako je razlika u dozama oko pet puta veća. Ozračene površine s dozama od $11,8$ i 236 J/cm^2 prikazale su slične rezultate kutova kvašenja, iako su razlike u dozama zračenja između njih 10 puta veće. Može se primijetiti da se s produljenjem vremena stajanja kapi laka na površini drva kut kvašenja smanjuje istim intenzitetom kod svih doza zračenja, kao i kod neozračenih uzoraka.



Slika 22. Grafički prikaz ovisnosti kuta kvašenja laka o vremenu mjerenja kod suhih uzoraka

Slika 23 prikazuje grafički prikaz kutova kvašenja površine drva lakom kod navlaženih uzoraka koji pokazuju da se s vremenom stajanja kapi laka na površini drva, kut kvašenja smanjuje bez obzira na dozu zračenja. Kod svih doza zračenja, zajedno s neozračenim uzorcima, kapljica laka zadržala se na površini i nakon 150 s. Neozračena površina uzoraka imala je najmanje kutove kvašenja te je početni kut kvašenja iznosio oko 30° . U prvih 10 s kut kvašenja na neozračenju površini pao je ispod 20° , nakon čega je vidljivo vrlo spora promjena kuta kvašenja u sljedećih 140 s. Vidljivo je postepeno povećanje kuta kvašenja laka kod svih doza zračenja. Također se može uočiti da se s produljenjem vremena stajanja kapi laka na površini drva kut kvašenja smanjuje istim intenzitetom kod svih doza zračenja, kao i kod neozračenih uzoraka, osim kod doze zračenja od 118 J/cm^2 čije je smanjenje kuta kvašenja još sporije.



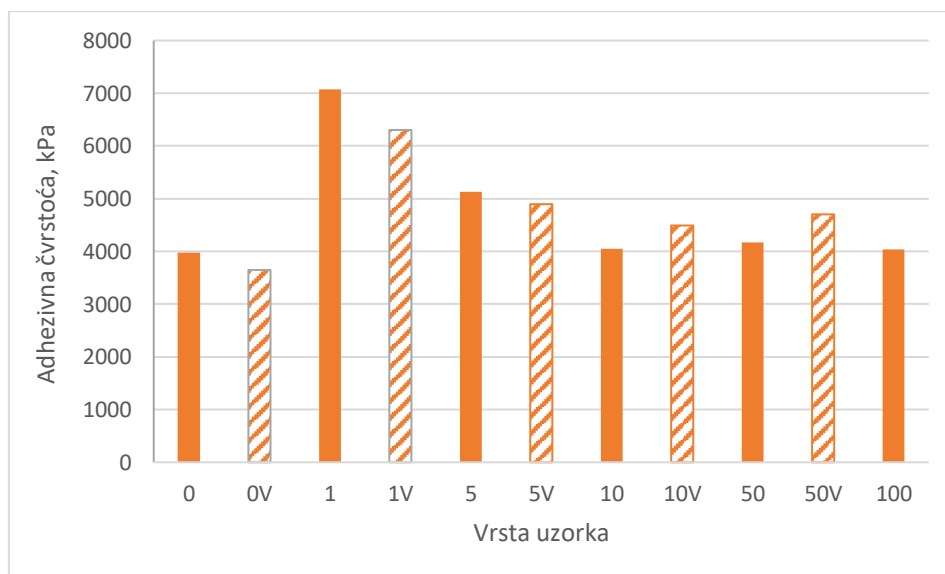
Slika 23. Grafički prikaz ovisnosti kuta kvašenja vodenog laka u vremenu mjerenja kod navlaženih uzoraka

Usporedbom dobivenih rezultata između kuta kvašenja laka suhih uzoraka i uzoraka s navlaženom površinom, može se reći da su kutevi kvašenja laka suhih uzoraka prosječno veći od kuteva kvašenja navlaženih uzoraka.

Uspoređujući sve skupine uzoraka može se zaključiti da su kutovi kvašenja laka manji pri dodiru kapi s površinom drva, ali se sporije smanjuju u odnosu na kutove kvašenja vode. Mogući razlog tome je manja upojnost i veća viskoznost laka u odnosu na vodu što utječe na dulje zadržavanje kapi na površini. Uz to, kutovi kvašenja laka i vode kod uzoraka s prethodno navlaženom površinom su ukupno manji od uzoraka sa suhom površinom. Kao posljedica navlaživanja površine, javlja se izdizanje vlaknaca, što posljedično utječe na veću hrapavost i energiju površine drva čime se također povećava i kvašenje drva lakom i vodom.

5.2. Adhezijska čvrstoća vodenog laka

Rezultati adhezijske čvrstoće vodenog laka prikazani su na slici 24. Za razliku od kuta kvašenja, najveće promjene vidljive su na uzorcima koji su ozračeni s najmanjom dozom zračenja od $2,36 \text{ J/cm}^2$. Na suhim i prethodno navlaženim uzorcima ozračenima s $2,36 \text{ J/cm}^2$ (uzorci 1 i 1V) izmjerena je najveća adhezivna čvrstoća, zatim slijede uzorci ozračeni s $11,8 \text{ J/cm}^2$ (uzorci 5 i 5V). Kod uzoraka s većim dozama zračenja nisu zabilježene veće razlike u odnosu na neozračene uzorke. Prethodno navlaživanje površine nije jednako utjecalo na sve uzorke. Na neozračenim i uzorcima ozračenima s $2,36 \text{ J/cm}^2$ i $11,8 \text{ J/cm}^2$ adhezivna čvrstoća je manja na navlaženim u odnosu na suhe uzorke, dok je na uzorcima ozračenima s $23,6$ i 118 J/cm^2 adhezivna čvrstoća veća na navlaženim u odnosu na suhe uzorke.



Slika 24. Grafički prikaz adhezijske čvrstoće vodenog laka (broj označava broj prolaza ispod UV lampe, oznaka V označava navlažene uzorke; u jednom prolazu doza zračenja iznosi $2,36 \text{ J/cm}^2$)

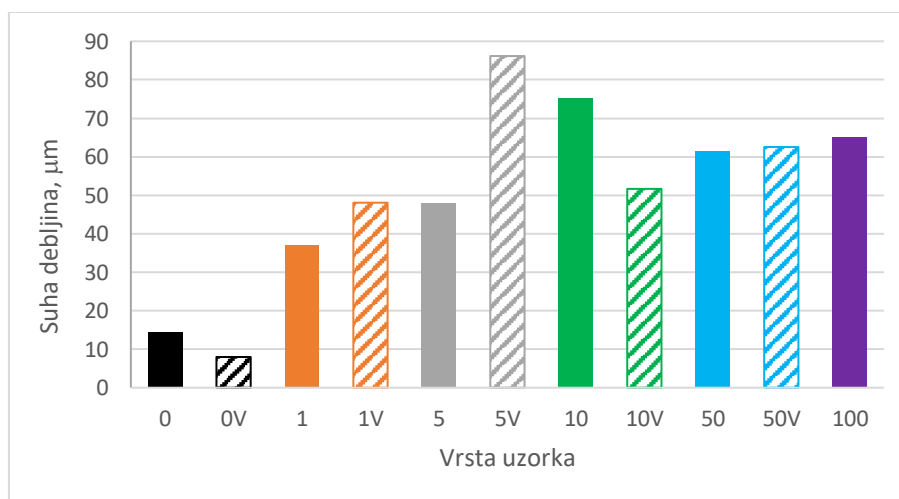
Tablica 2. Prosječne vrijednosti udjela adhezijskog i kohezijskog loma (K-D: kohezijski lom podrvu, A-L-D: adhezijski lom između laka i drva, A-LJ-V: adhezijski lom između ljepila i valjčića)

Broj prolaza	Udio pojedinog loma, %					
	Bez vlaženja površine			Uz vlaženje površine		
	K-D	A-L-D	A-LJ-V	K-D	A-L-D	A-LJ-V
0	0	70	30	15	50	35
1	20	55	25	20	65	15
5	5	75	20	25	35	40
10	5	75	20	20	60	20
50	0	95	5	20	70	10
100	5	80	15			

U tablici 2 prikazane su vrijednosti postotnog udjela pojedinog loma. Vidljivo je da je na svim uzorcima prevladavao adhezijski lom između laka i drva. Na navlaženim uzorcima povećao se udio kohezijskog loma po drvu, a smanjio udio adhezijskog loma između laka i drva.

5.3. Suha debljina vodenog laka

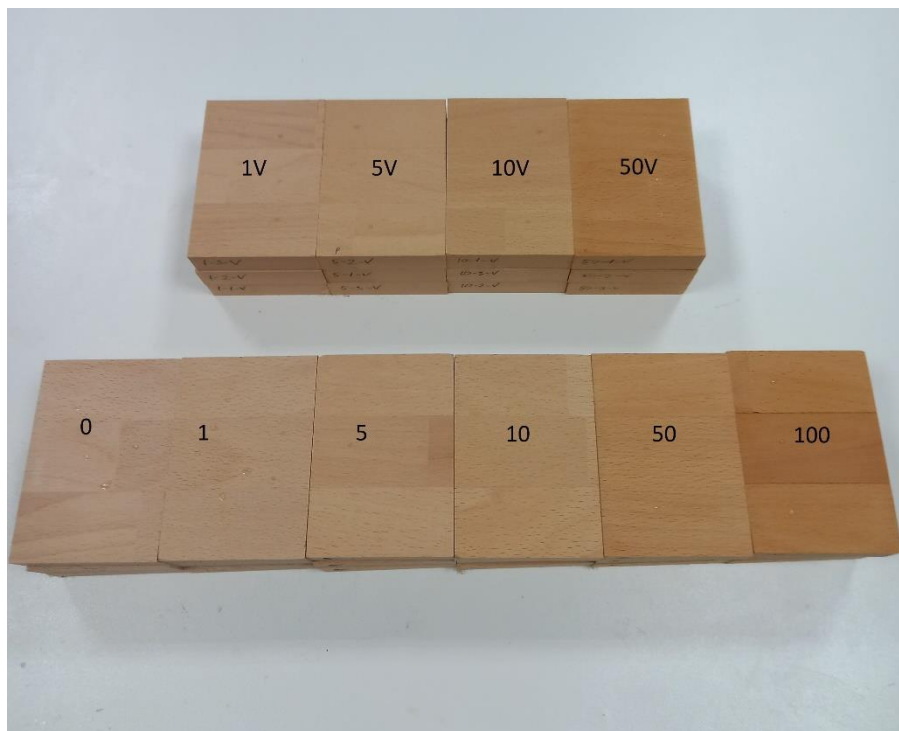
Na slici 25 prikazani su rezultati srednje suhe debljine filma vodenog laka. Može se vidjeti da se suha debljina laka povećala na ozračenim uzorcima u odnosu na neozračene uzorke. Isto tako, vidljiv je trend povećanja debljine laka s povećanjem doze zračenja. Jedino odskake uzork s 5 prolazaka (doza zračenja $11,8 \text{ J/cm}^2$) kod kojeg je izmjerena najveća suha debljina. Veća suha debljina laka na ozračenim uzorcima u odnosu na neozračene uzorke može se povezati s lošijim kvašenjem površine drva lakom i time vjerojatno slabijom penetracijom laka u drvo. Vrijednosti suhe debljine laka na navlaženim uzorcima variraju u odnosu na nenavlažene uzorke te se ne može utvrditi utjecaj navlaživanja na debljinu filma.



Slika 25. Grafički prikaz suhe debljine filma vodenog laka (broj označava broj prolaza ispod UV lampe, oznaka V označava navlažene uzorke; u jednom prolazu doza zračenja iznosi $2,36 \text{ J/cm}^2$)

5.4. Promjena boje ozračenih uzoraka

Na slici 26 vidljive su postepene promjene boje prilikom ozračivanja uzoraka. Sa sve većim brojem prolaska ispod UV lampi, boja uzorka postaje sve tamnija te poprima prvo žutu, zatim zlatno smeđu i naposljetku posve smeđu boju.



Slika 26. Promjena boje uzoraka prilikom ozračivanja (brojevi označavaju broj prolaza ispod UV lampe)

6. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu ispitivao se utjecaj modifikacije površine drva UV zračenjem na kvašenje, adhezivnu čvrstoću te debljinu filma laka.

Zaključno se može reći da se na površini uzoraka bukovine prilikom UV zračenja u prosjeku smanjuje kvašenje podloge sukladno sa povećanjem doze zračenja. Kutovi kvašenja laka su manji pri dodiru kapi s površinom drva od kutova kvašenja vode, ali se kapljica laka puno dulje zadržavanje na površini od kapljice vode. Prethodno navlaženi uzorci imaju općenito manje kutove kvašenja od suhih uzoraka, a uzrok tome mogu biti izdignuta vlakanca koja se javljaju kao posljedica navlaživanja površine, čime se povećava hrapavost površine i poboljšava kvašenje podloge.

Prilikom ispitivanja adhezivne čvrstoće vodenog laka može se zaključiti da je umjereno ozračivanje uzorka UV zračenjem prije premazivanja poželjno jer ozračeni uzorci imaju veću adhezivnu čvrstoću od neozračenih. Time se može postići dulji vijek trajanja laka jer će teže doći do mogućih grešaka uzrokovanih lošom adhezijom između laka i drva.

Za debljinu vodenog laka može se zaključiti da se ozračivanjem površine drva UV zračenjem povećava suha debljina laka. Mogući razlog za veću suhu debljinu laka na ozračenim uzorcima u odnosu na neozračene uzorke može biti lošije kvašenje površine drva lakom i time vjerojatno slabija penetracijom laka u drvo. Vrijednosti suhe debljine laka na prethodno navlaženim uzorcima variraju u odnosu na suhe uzorke te se ne može utvrditi utjecaj navlaživanja na suhu debljinu laka.

Konačan zaključak jest da umjereno i kontrolirano UV zračenje pozitivno utječe na pojedina svojstva drva gledajući s aspekta površinske obrade. Time bi se UV zračenje kao površinska modifikacija mogla koristiti u praksi kako bi se izbjegli neki od problema nastalih kod nanošenja ili kasnije ljuštenja laka. Jedino preostaje pitanje koliko bi to bilo ekonomski i financijski isplativo.

7. LITERATURA

1. Borger, A.; Grbac, I.; Risović, S., 2003: Kvantifikacija sposobnosti drva za lijepljenje. *Drvena industrija*, 54 (3): 147-153.
2. Bujanić, B.; Bujanić Magdalenić, J., 2011: Mehanizmi stvaranja lijepljenog spoja. // *Tehnički glasnik*, 5 (2): 89-93.
3. Gindl, M.; Sinn, G.; Stanzl-Tschegg, S. E., 2006: The effect of ultraviolet exposure on the wetting properties of wood. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 20 (8): 817-828. <https://doi.org/10.1163/156856106777638653>
4. Heald, M. A.; Marion, J. B., 2012: *Classical elektromagnetic radiation (Third edition)*. Saunders College Publishing, Orlando.
5. Jaić, M.; Živanović-Trbojević J., 2000: *Površinska obrada drveta*. Zavod za grafičku tehniku TMF, Beograd.
6. Jirouš Rajković V.; Lakiranje UV lakovima. Predavanje iz predmeta Tehnološki procesi površinske obrade drva, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb. https://moodle.srce.hr/2021-2022/pluginfile.php/5675898/mod_resource/content/2/uv%20lakiranje-2019.pdf (Pristupljeno 14.09.2022.)
7. Mittal, . K. L., 1993: *Contact angle, Wettability and adhesion*. CRC Press, London.
8. Papp, E. A.; Csiha, C.; Makk, A. N.; Hofman, T.; Csoha, L., 2020: Wettability of wood surface layer examined from chemical change perspective. *Coatings*, 10 (83): 257. <https://doi.org/10.3390/coatings10030257>
9. Ryer A.: 1997: *The light measurement handbook*, International Light Technologist. Peabody, USA.
10. ***<https://www.shutterstock.com/image-vector/science-electromagnetic-spectrum-diagram-illustration-1127273150> (Pristupljeno 19.09.2022.)
11. ***http://physics.mef.hr/Predavanja/stom_pov_tek/main5.html (Pristupljeno 07.08.2022.)
12. ***<https://www.helios-deco.com/hr/savjeti-i-trikovi/zasto-je-drvo-potrebno-zastititi-i-kako-to-ispavno-uciniti/> (Pristupljeno 20.07.2022.)
13. ***<https://www.house-painting-info.com/articles/blistering/> (Pristupljeno 20.07.2022.)
14. ***<https://www.heliosquartz.com/prodotti/mercury-medium-pressure-uv-lamps/?lang=en> (Pristupljeno 08.09.2022.)