

# Analiza otpornosti Compact ploča na djelovanje kemikalija

---

Raič, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:612917>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-03**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE**  
**DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**  
**DIPLOMSKI STUDIJ**  
**DRVNOTEHNOLOŠKI PROCESI**

**LUKA RAIČ**

**ANALIZA OTPORNOSTI COMPACT PLOČA NA DJELOVANJE  
KEMIČALIJA**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, rujan 2023**

**FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠTA U ZAGREBU  
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**ANALIZA OTPORNOSTI COMPACT PLOČA NA DJELOVANJE  
KEMIKALIJA**

**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij: Drvnotehnološki procesi

Predmet: Tehnologija ploča od usitnjenog drva

Ispitno povjerenstvo: 1. izv. prof. dr. sc. Nikola Španić

2. prof. dr. sc. Vladimir Jambreko

3. prof. dr. sc. Alan Antonović

Student: Luka Raič

JMBAG: 0068233075

Broj indeksa: /

Datum odobrenja teme: 05.05.2023.

Datum predaje rada: 17.09.2023.

Datum obrane rada: 27.09.2023.

**Zagreb, rujan 2023.**

## Dokumentacijska kartica

Naslov	Analiza otpornosti Compact ploča na djelovanje kemikalija
Title	Analysis of Compact board resistance against chemicals
Autor	Luka Raič
Adresa autora	Prigorska 20, Sveti Ivan Zelina
Rad izrađen	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Izv. prof. dr. sc. Nikola Španić
Izradu rada pomogao	-
Godina objave	2023.
Obujam	40 stranica, 36 slika, 2 tablice, 16 navoda literature
Ključne riječi	HPL, Compact ploča, otpornost površine, fizikalna svojstva, tvrdoća površine, kemikalije, dekorativni sloj, promjena boje površine
Key words	HPL, Compact board, surface resistance, physical properties, surface hardness, chemicals, decorative layer, surface colour change
Sažetak	<p>U ovom diplomskom radu ispitana je otpornost površine Compact ploča na djelovanje kemikalija. Troslojna konstrukcija i velik broj listova impregniranog papira čine Compact ploče vrlo izdržljivim materijalom za kojeg mnogi smatraju da je gotovo idealan u pogledu obrade i primjene u uvjetima gdje većina drugih kompozita gubi svoja fizikalno-mehanička i uporabna svojstva. Kao takav se materijal Compact ploče i reklamiraju, no možda superiorne drugim materijalima u pogledu uporabnih svojstava, ove ploče svakako imaju i svoje mane. Neke od njih su i ograničena otpornost površine djelovanju raznih kemikalija koje s njima mogu doći u kontakt pri ugradnji i korištenju. Prikazom pojedine faze, od pripreme uzoraka, tretiranja kemikalijama, mjerenje promjene njihove gustoće, promjene boje površine, analizom stanja površine sve do mjerenja promjene tvrdoće prikazane su njihove prednosti i mane.</p>

	<b>IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI</b>	<b>OB FŠDT 05 07</b>
		Revizija: 2
		Datum: 29.04.2023.

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

U Zagrebu, 27.09.2023. godine

---

*vlastoručni potpis*

Luka Raič

## **PREDGOVOR**

*Ovaj diplomski rad posvećujem svojim roditeljima. Hvala vam na svemu što ste mi pružili tijekom mog studija.*

*Zahvaljujem svim profesorima i kolegama koji su me pratili kroz moje vrijeme studiranja, a posebno mom mentoru doc. dr. sc. Nikoli Španiću, koji mi je pomogao pri izradi ovog rada svojim savjetima, preporukama i ostalim ne tako beznačajnim sitnicama.*

Luka Raič

# SADRŽAJ

DOKUMENTACIJSKA KARTICA.....	I
IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI .....	II
SADRŽAJ .....	III
POPIS SLIKA.....	VII
POPIS TABLICA.....	VIII
1. UVOD.....	1
2. PREGLED LITERATURE.....	3
2.1. Tvornička svojstva HPL-a .....	3
2.1.1. Kraft papir .....	3
2.1.2. Fenol formaldehidna smola (FF) .....	4
2.1.3. Melamin formaldehidna smola (MF).....	4
2.1.4. Tehničke karakteristike i fizikalna svojstva HPL-a.....	5
2.2. Adhezijska čvrstoća ploča i dekorativnih materijala .....	7
2.2.1. Ispitivanje čvrstoće sljubnice ploča oplemenjenih HPL laminatom.....	8
2.2.1.1. Utjecaj različitih vrsta ljepila na adhezijsku čvrstoću .....	9
2.3. Svojstva građevinskih brtvila u kombinaciji s HPL .....	11
2.3.1. Određivanje svojstava građevinskih brtvila u kombinaciji s HPL.....	11
2.3.1.1. Analiza svojstava građevinskih brtvila .....	12
2.4. Antimikrobna svojstva HPL laminata .....	14
2.4.1. Obilježja HPL koji sadrže poliheksametilen bigvanid (PHMB).....	15
2.4.1.1. Utjecaj PHMB na antimikrobnu aktivnost HPL .....	17
3. CILJEVI RADA .....	19
4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA .....	20
4.1. Materijali .....	20
4.2. Metode istraživanja.....	21
4.2.1. Tretiranje uzoraka kemikalijama.....	21
4.2.2. Mjerenje promjene boje.....	23
4.2.3. Određivanje tvrdoće površine.....	23
5. REZULTATI .....	25
5.1. Fizikalna svojstva ispitanih Compact ploča.....	25
5.2. Promjena boje ispitanih Compact ploča.....	27
5.3. Izgled površine Compact ploča prije i nakon izlaganja djelovanju kemikalijama	30

5.4. Tvrdoća površine Compact ploča .....	34
6. RASPRAVA .....	36
7. ZAKLJUČAK.....	38
8. LITERATURA .....	39



# POPIS SLIKA

<b>Slika 1.</b> HPL (High-pressure laminates) .....	1
<b>Slika 2.</b> Tipičan prikaz rasporeda slojeva HPL.....	1
<b>Slika 3.</b> Proces impregnacije melamin formaldehidnom smolom dekorativnih listova HPL-a .....	3
<b>Slika 4.</b> Mehanička svojstva HPL-a debljine 10 mm .....	7
<b>Slika 5.</b> Adhezijska čvrstoća lijepljenih spojeva ploče iverice i HPL .....	9
<b>Slika 6.</b> Adhezijska čvrstoća lijepljenih spojeva MDF ploča i HPL .....	10
<b>Slika 7.</b> Ispitni uzorak .....	12
<b>Slika 8.</b> Vlačna svojstva ispitanih uzoraka ( $23 \pm 2$ °C) .....	13
<b>Slika 9.</b> Vlačna svojstva ispitanih uzoraka ( $-20 \pm 2$ °C).....	13
<b>Slika 10.</b> Uzorak Lukopren UNI N nakon ispitivanja .....	14
<b>Slika 11.</b> Uzorak SOUDASEAL 215LM nakon ispitivanja .....	14
<b>Slika 12.</b> Kemijska struktura PHMB-a .....	15
<b>Slika 13.</b> a) Shematski prikaz impregnacije HPL-a koji sadrži PHMB i b) prikaz slaganja papira koji sadrži PHMB (AS i SAS) te papira koji ne sadrži PHMB (SS i SSS).....	16
<b>Slika 14.</b> Fizikalna i površinska svojstva AS i SAS uzoraka od 2,4% PHMB (IN).....	16
<b>Slika 15.</b> Antimikrobna aktivnost PHMB-a ispitana na bakterijama L. innocua i E. coli odmah nakon nanošenja bakterija te nakon 24 sata od nanošenja bakterija .....	17
<b>Slika 16.</b> Antimikrobna svojstva PHMB-HPL proizvedenih dvjema različitim metodama, testiranim protiv E. coli i L. innocua tijekom razdoblja od 30 dana simulirajući dnevnu upotrebu .....	18
<b>Slika 17.</b> Dvije vrste uzoraka korištene za analizu otpornosti Compact ploča na djelovanje kemikalija.....	20
<b>Slika 18.</b> Uzorci postavljeni u petrijeve zdjelice (tretiranje kemikalijama kroz 2 sata).....	21
<b>Slika 19.</b> Uzorci postavljeni u petrijeve zdjelice (tretiranje kemikalijama kroz 24 sata).....	22
<b>Slika 20.</b> Mjerenje promjene boje kolorimetrom.....	23
<b>Slika 21.</b> 10-minutni test tvrdoće površine otopinom klorovodične kiseline (4N).....	24
<b>Slika 22.</b> Razlika u gustoći nakon 2 sata tretiranja kemikalijama (dekor hrasta).....	25
<b>Slika 23.</b> Razlika u gustoći nakon 2 sata tretiranja kemikalijama (crni dekor).....	26
<b>Slika 24.</b> Razlika u gustoći nakon 24 sata tretiranja kemikalijama (dekor hrasta).....	27
<b>Slika 25.</b> Razlika u gustoći nakon 24 sata tretiranja kemikalijama (crni dekor).....	27
<b>Slika 26.</b> Izgled površine Compact ploča nakon tretiranja 2 sata kemikalijama. ....	28
<b>Slika 27.</b> Utjecaj nitratne kiseline nakon 2 sata tretiranja Compact ploča. ....	28
<b>Slika 28.</b> Izgled površine Compact ploča (dekor hrasta) tretiranog nitratnom kiselinom kroz 2 sata....	31
<b>Slika 29.</b> Usporedba površine ne tretiranog i uzorka tretiranog nitratnom kiselinom pod mikroskopom.....	31
<b>Slika 30.</b> Usporedba površine tretiranih uzoraka Compact ploče kiselinom kroz 2 sata.....	32
<b>Slika 31.</b> Usporedba površine tretiranih uzoraka Compact ploče kiselinom kroz 24 sata.....	32
<b>Slika 32.</b> Usporedba površine ne tretiranog i uzorka tretiranog čajem.....	33
<b>Slika 33.</b> Usporedba površine ne tretiranog i uzorka tretiranog vodikovim peroksidom.....	33

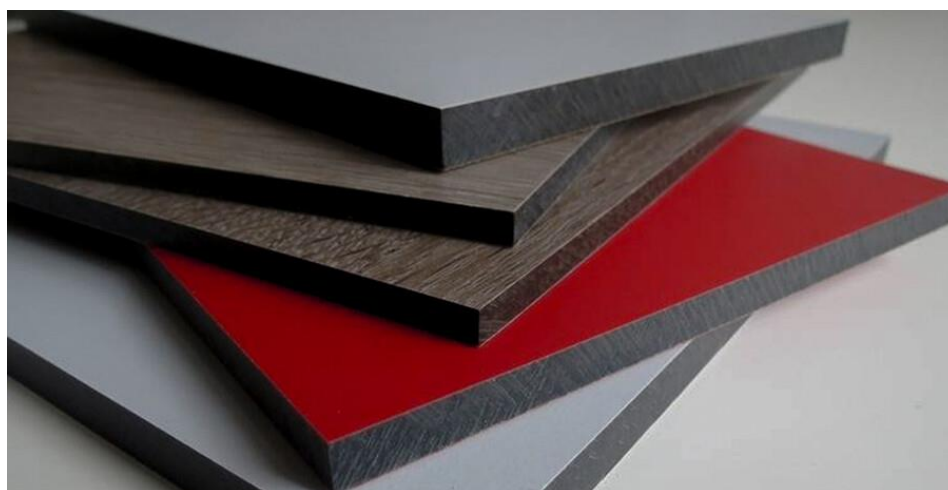
<b>Slika 34.</b> Uzorci Compact ploča s dekorom hrasta sa slabijim ocjenama tvrdoće u odnosu na ne tretirani uzorak .....	34
<b>Slika 35.</b> Uzorci Compact ploča s dekorom hrasta .....	35
<b>Slika 36.</b> Uzorci Compact ploča s crnim dekorom .....	35

## **POPIS TABLICA**

<b>Tablica 1.</b> Promjene boje uzoraka Compact ploča s dekorom hrasta.....	29
<b>Tablica 2.</b> Promjene boje uzoraka Compact ploča s crnim dekorom.....	30

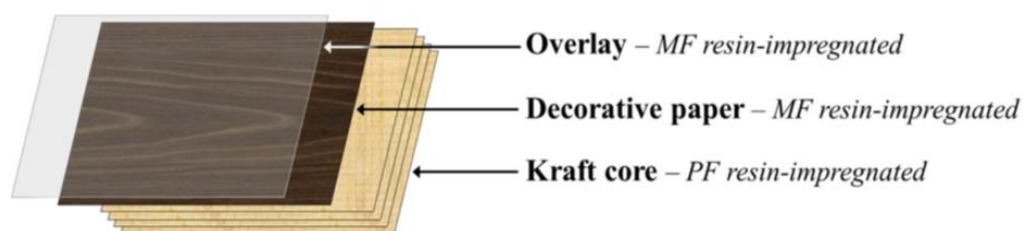
## 1. UVOD

Visokotlačno prešani laminati, odnosno HPL (od Engl. High-pressure laminates) su kompakt ploče namijenjene za proizvodnju namještaja, radnih ploča, podova i zidnih obloga koje se koriste u različitim sektorima, točnije u stambenim i radnim okruženjima te na javnim mjestima kao što su škole i bolnice. HPL pokazuju visoku izdržljivost te posebna svojstva površine kao što su otpornost na kemikalije, toplinu, mrlje i habanje.



**Slika 1.** HPL (High-pressure laminates) (Izvor: [www.lemarkllc.ru](http://www.lemarkllc.ru); pristupljeno: 4.9.2023)

Konvencionalno, HPL se sastoji od 5 do 50 slojeva kraft papira (jezgre) zasićenog fenol-formaldehidnom (FF) smolom prekrivenom jednim slojem dekorativnog papira zasićenog melamin-formaldehidnom smolom (MF), te u nekim slučajevima zaštitnom završnom obradom. Nakon što su slojevi poslagani, prešaju se pod određenom toplinom te visokim tlakom gdje se formira kruta lamelirana ploča. Tijekom procesa prešanja, termoreaktivne smole FF i MF prolaze kroz niz reakcija umrežavanja, tako stvarajući ireverzibilne veze između matrice smole i impregniranih papira. Danas proizvođači laminata traže razvoj HPL-a koji uključuje nove i kombinirane značajke odnosno multifunkcionalnost za postizanje konkurentne prednosti na nacionalnim i međunarodnim tržištima. (Magina i sur., 2016)



**Slika 2.** Tipičan prikaz rasporeda slojeva HPL (Izvor: Magina i sur., 2016)

HPL je sveprisutan u našim svakodnevnim životima i samoodrživ je ili se koristi u kombinaciji s različitim supstratima. Područja primjene i uporabe HPL-a iznimno su raznolika i neprestano se razvijaju. To zahtjeva upravljanje znanjem koje pruža redovito ažurirane informacije te pomoć u pogledu različitih aplikacija i obrada, u obliku tehničkih radova. Europska norma EN 438 već se desetljećima koristi u sektoru građevinarstva i namještaja, te definira materijal, zahtjeve i svojstva HPL-a (ICDLI, 2015). Ove ploče mogu izdržati do 180 °C bez oštećenja ili promjene boje. Kako se prešaju pri visokom tlaku i toplini, tako su glavne karakteristike HPL-a otpornost na udarce, otpornost na ogrebotine, paro i vodopropusnost, otpornost na toplinu (do 180 °C) te neprimjetno utezanje i bubrenje (Angelski i Mihailov, 2017).

## 2. PREGLED LITERATURE

Podataka o otpornosti Compact ploča nema, jer se znanstvenici do sada nisu bavili svojstvima površine HPL-ova već njihovom primjenom u graditeljstvu, odnosno mehaničkim i toplinskim svojstvima materijala na što će se referirati ovaj dio rada.

### 2.1. Tvornička svojstva HPL-a

#### 2.1.1. Kraft papir

Jezgra HPL-a općenito je izrađena od naslaganih listova kraft papira impregniranih fenolnom smolom. Kraft papir koji se koristi u izradi kompakt ploča s težinom u sirovom stanju od 80 do 260 g/m<sup>2</sup> te impregniran FF smolom se sabija pod visokom temperaturom i pritiskom. Tijekom procesa industrijske impregnacije, papir se natapa u kupkama koje sadrže smolu i dalje prolazi kroz sušionice pomoću različitih valjaka. Kako je ovaj proces relativno brz, u rasponu od 50 do 250 m/min, važno je da se smola brzo i homogeno širi kroz list papira. Kao posljedica toga, svojstva obje komponente, papira i smole, moraju se pažljivo uskladiti kako bi se izbjegla nepotpuna impregnacija prije koraka prešanja jer bi to moglo rezultirati lošijom kvalitetom konačne ploče (Thebault i sur., 2018). Budući da su FF impregnirani papiri uvijek crni, sloboda u dizajnu i individualnom vizualnom izgledu dekorativnog papira postiže se impregniranjem melamin formaldehidnom (MF) smolom površinskih listova. Jezgra impregnirana FF smolom se preša zajedno s MF impregniranim površinskim listovima u vrućoj preši kako bi se dobila konačna, tzv. Compact ploča odnosno HPL (Thebault i sur., 2020).



**Slika 3.** Proces impregnacije melamin formaldehidnom smolom dekorativnih listova HPL-a  
(Izvor: [kiaansanat.com](http://kiaansanat.com); pristupljeno: 10.9.2023.)

### **2.1.2. Fenol formaldehidna smola (FF)**

Fenol formaldehidne (FF) smole su obično smole koje se koriste za lijepljenje drvenih ploča za vanjske primjene. FF smole prvenstveno se koriste u proizvodnji furnirske ploče od drva male tvrdoće i OSB ploča. FF smole nastaju reakcijom fenola s formaldehidom. Mijenjanjem vremena reakcije, temperature reakcije, tipa katalizatora i omjera formaldehida i fenola, može se proizvesti niz ljepljivih sustava s različitim karakteristikama (Knop i Scheib 1979). FF smole sintetizirane za industriju laminata uglavnom su tekući rezoli niske molekularne mase na bazi vode s dobrim svojstvima penetracije i prikladnom raspodjelom molekularne mase koja se može modificirati dodatnim aditivima. Rezoli su FF smole pripremljene bazičnom katalizom, gdje se natrijev hidroksid često koristi za tu svrhu, iako su proučavane i druge baze (Conner, 2001).

### **2.1.3. Melamin formaldehidna smola (MF)**

Dvije najpopularnije i održive amino smole su urea-formaldehidne i melamin-formaldehidne smole. Amino smole su polimerni kondenzacijski proizvodi reakcije aldehida sa spojevima koji nose aminske ili amidne skupine. Formaldehid je daleko primarni aldehyd koji se koristi. Najveći nedostatak amino smola je njihovo slabljenje veze uzrokovano vodom i vlagom. To se događa zbog hidrolize njihove aminometilenske veze. Melamin formaldehidna (MF) smola je među najčešće korištenim smolama za vanjsku i polu vanjsku upotrebu drvenih ploča te za pripremu i lijepljenje nisko i visokotlačnih laminatnih slojeva. Njihova mnogo veća otpornost na vodu od urea formaldehidne smole im je glavna karakteristika. MF ljepljiva nisu jeftina što se tiče cijene. Zbog toga se često koriste i melamin-urea formaldehidne smole (MUF) koje su pojeftinile dodatkom veće ili manje količine uree. Bez obzira na njihovu široku upotrebu i ekonomsku važnost, literature o melaminskim smolama nema dovoljno, te je samo mali dio literature posvećene urea-formaldehidnim smolama. Često se MF i MUF u literaturi opisuju kao podskup urea formaldehidnih amino smola. To zapravo nije slučaj, jer MF i MUF imaju posebne karakteristike i svojstva koja su u određenim aspektima vrlo različita od UF smola. Osim što se MF smole koriste kao ljepljiva za vanjsku i polu vanjsku upotrebu drvenih ploča, melamin formaldehidne smole također se koriste za impregnaciju listova papira u proizvodnji samoljepljivih slojeva za površine proizvoda od ploča na bazi drva i samoljepljivih laminata. Prilikom impregniranja, supstrat za impregnaciju odnosno celulozni papir

temeljito se impregnira uranjanjem u otopinu smole, gdje impregnirani papir prolazi između valjaka, te se nakon toga sušenjem bez potpunog stvrdnjavanja prolazi kroz tunelsku pećnicu s temperaturom zraka između 70 i 120° C, brzinom prolaska ±10 m/s. Suhi MF impregnirani listovi tada se mogu lijepiti jednim od dva glavna procesa. Prvi proces, gdje listovi MF impregniranog papira, koji se sastoje od jednog površinskog sloja ili nekoliko površinski međusobno spojenih slojeva se spajaju sa listovima papira impregniranih fenolnim smolama kako bi se formirala kompaktna ploča određene debljine.

U površinski impregniranim papirima nalazi se suha, ali još uvijek aktivna MF smola, koja djeluje kao ljepilo između samih MF slojeva papira te između MF impregniranih i FF impregniranih slojeva. Ovako spojeni slojevi prešaju se na visokim tlakovima i temperaturama te nastaje takozvani HPL. Drugi proces koji je moguće provesti je takav da se jedan MF impregnirani list papira koji nije potpuno otvrdnuo postavlja na drvenu ploču direktno u vruću prešu gdje se dovršava proces otvrdnjavanja MF smole. Melamin formaldehidne smole pojavljuju se na tržištu 1935. godine. Osim svoje svijetle boje, one pokazuju povećanu otpornost na vodu i toplinu. American Cyanamid Company je glavni proizvođač melamin-formaldehidnih smola koji je započeo prvu komercijalnu proizvodnju u SAD-u 1939. (Pizzi i Ibeh, 2014).

#### **2.1.4. Tehničke karakteristike i fizikalna svojstva HPL-a**

Prema podacima o stabilnosti (ICDLI, 2015), HPL je stabilan i otporan proizvod, ne smatra se korozivnim niti reaktivnim. Jake kiseline ili alkalne otopine oštetit će površinu, međutim, neće inicirati nikakve jake reakcije. HPL je kruti materijal, gustoće 1,35 g/cm<sup>3</sup>, netopiv u vodi, ulju, metanolu, di-etil eteru, acetonu. Dimenzijska stabilnost Compact ploča ovisi o klimatskim uvjetima odnosno o temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka. Kalorijska vrijednost im je između 18 i 20 MJ/kg. Osim toga, HPL nema točku vrelišta ni tališta. Jedno od važnijih svojstava ovih materijala su i podaci o sprečavanju požara i eksplozija, jer je HPL proizvod koji se koristi u građevinarstvu i kućanstvu gdje su požari i eksplozije neprihvatljive, a opet česte pojave, te je od iznimne važnosti spriječiti ih. Temperatura zapaljenja Compact ploča je približno 400 °C, dok im je toplinska razgradnja moguća iznad 250 °C. Dim i toksičnost im je klasificiran kao F2 u skladu s NF F 16101. Što se tiče zapaljivosti, HPL je klasificiran kao nezapaljiv i gorjet će samo u prisutnosti otvorenog plamena. Ugljični dioksid, voda i suha kemijska pjena mogu se koristiti za gašenje



plamena. Voda suzbija i sprječava ponovno paljenje plamena. Glede opasnosti od eksplozije, obrada HPL-a piljenjem, brušenjem i glodanjem proizvodi prašinu klase ST-1, što znači da se moraju osigurati standardne sigurnosne mjere i odgovarajuća ventilacija. Granica eksplozivnosti pokazuje da koncentracija prašine mora biti manja od  $60 \text{ g/m}^3$ . Kako bi se HPL zaštitio od eksplozije i vatre mora biti tretiran kao materijal na bazi drva. Compact ploče minimiziraju stvaranje elektrostatičkog naboja promjenom kontakta ili trenjem s drugim materijalima te ne mora biti uzemljen. Površinski otpor je između 109 i 1012 Ohm, a kapacitet punjenja prema EN 61340-4-1 je manji ili jednak 2 kV što znači da HPL nije statičan. HPL nije klasificiran kao opasna tvar za transport, stoga nisu potrebni sigurnosni listovi. Ako se želi zbrinuti spaljivanjem, to je potrebno napraviti u službeno odobrenim industrijskim spalionicama. Uredba REACH Europske unije donesena je radi bolje zaštite ljudskog zdravlja i okoliša od rizika koji mogu predstavljati kemikalije. Shodno tome, REACH se ne odnosi na HPL jer se radi o artiklu, a ne o kemijskoj tvari. Unatoč tome, važno je ipak osigurati informacije s dobavljačima sirovina o svojstvima materijala relevantnim za REACH. Zaključno tome, Compact ploče su klasificirane kao neopasne za ljude i životinje.

Nema dokaza o toksičnim ili eko toksičnim učincima. HPL površine su fiziološki sigurne i odobrene za upotrebu u kontaktu s hranom prema direktivi 1935/2004. Emisija formaldehida je manja od  $0,4 \text{ mg/h m}^2$  prema normi EN 717-2. Više vrijednosti i informacija o HPL-u može se pronaći u normi EN 438. Neka od mehaničkih svojstava HPL-a mogu se vidjeti na slici 4, gdje je testirana čvrstoća na savijanje, vlačna čvrstoća, čvrstoća na udarac, čvrstoća na tlak, delaminacijsko opterećenje, tvrdoća po Brinellu, toplinska vodljivost, koeficijent linearnog toplinskog širenja i indeks širenja zvuka. Ova svojstva testirana su na Compact pločama debljine 10 mm u poprečnom i uzdužnom smjeru (ICDLI, 2015).

Property	Test standard	Unit	HPL type	
			HGS HGP HGF	CGS CGF
Flexural strength, lengthwise	ISO 178	N/mm <sup>2</sup>	≥ 80	≥ 140*
Flexural strength, crosswise	ISO 178	N/mm <sup>2</sup>	≥ 80	≥ 100*
Flexural modulus, lengthwise	ISO 178	N/mm <sup>2</sup>	≥ 9000	≥ 14000*
Flexural modulus, crosswise	ISO 178	N/mm <sup>2</sup>	≥ 9000	≥ 10000*
Tensile strength, lengthwise	EN ISO 527-1	N/mm <sup>2</sup>	≥ 60	≥ 115*
Tensile strength, crosswise	EN ISO 527-1	N/mm <sup>2</sup>	≥ 60	≥ 75*
Impact strength, lengthwise	ISO 179-1	kJ/m <sup>2</sup>	n.a.	≥ 11*
Impact strength, crosswise	ISO 179-1	kJ/m <sup>2</sup>	n.a.	≥ 8*
Compressive strength parallel to the layers	DIN 52 185	N/mm <sup>2</sup>	n.a.	≥ 165*
Delamination load	DIN 53 463	N	n.a.	≥ 2500*
Brinell hardness	EN 1534	N/mm <sup>2</sup>	n.a.	≥ 185*
Thermal conductivity	EN 12 664	W/(m * K)	0.3	CGS 0,3* CGF 0.5*
Coefficient of linear thermal expansion	DIN 53 752	1/K	n.a.	n.a.
- lengthwise			0.9 * 10 <sup>-5</sup>	0.9 * 10 <sup>-5</sup>
- crosswise			1.6 * 10 <sup>-5</sup>	1.6 * 10 <sup>-5</sup>
Sound reduction index	EN ISO 10 140	dB(A)	Depends on material and construction	

**Slika 4.** Mehanička svojstva HPL-a debljine 10 mm (Izvor: ICDLI, 2015)

## 2.2. Adhezijska čvrstoća ploča i dekorativnih materijala

Površine konstruktivnih dijelova namještaja MDF ploča ili ploča iverica obično se oblažu materijalima kao što su folije, furniri, laminati itd. Kod oblaganja ploča javljaju se unutarnja naprezanja u spojevima ljepila te je stoga čvrstoća spoja od iznimne važnosti. Unutarnja naprezanja su glavni razlog za pojavu uvijanja te odljepljivanja dekorativne obloge od same ploče. Iz tog je razloga vrlo važno odrediti čvrstoću prianjanja između ploča iverica kao supstrata i HPL materijala kao dekorativne obloge. Dekori, odnosno u ovom slučaju laminati koji se primjenjuju na pločama lijepo se raznim vrstama ljepila. Površina elemenata namještaja koja se lijepi mora biti glatka, homogena i očišćena od prašine i drugih nečistoća. Ploče iverice ili ploče vlaknatice srednje gustoće (MDF) su poželjna podloga jer pružaju

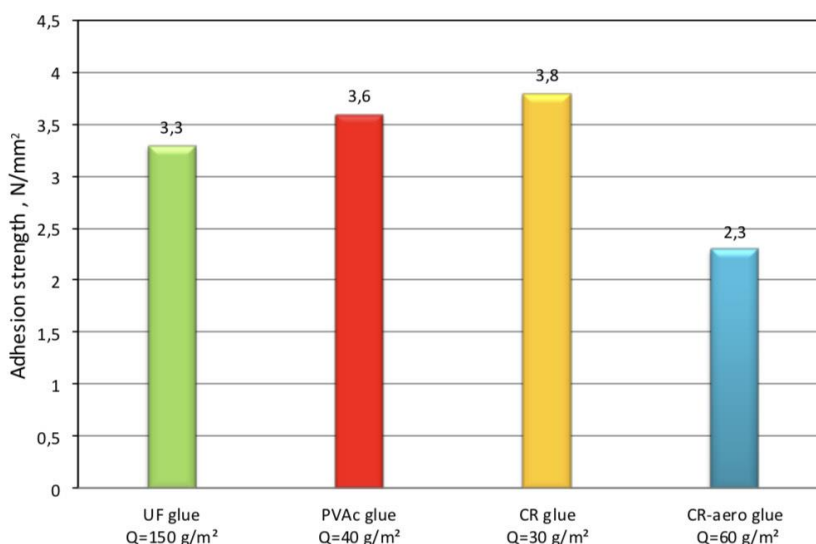
stabilnu, izdržljivu, postojanu i ekonomičnu podlogu. Budući da laminati ne upijaju vodu i paru, drugi važan zahtjev za ploče je da posjeduju čak i minimalno prodiranje vode i pare kako bi se omogućilo upijanje otapala ljepila. Kako bi se postiglo minimalno skupljanje sloja ljepila tijekom njegovog stvrdnjavanja, preporuča se da ljepila imaju što veći udio suhe tvari (Albin i sur., 1991). Adhezija je složen fizikalno-kemijski fenomen za koji, međutim, ne postoji rigorozna teorijska definicija. Adheziju je teško definirati, a sasvim zadovoljavajuća definicija nije pronađena (Kaelblea, 1964; Landrock, 2008; Silva i sur., 2011). Adhezijska čvrstoća je veza između laminata i podloge, koja može biti „najslabija karika sustava“. Lanac je jak onoliko koliko je jaka njegova najslabija karika i stoga bi adhezija i kohezija trebale biti u ravnoteži za optimalnu izvedbu. Dostupne su razne metode ispitivanja svojstava adhezije odnosno kvalitete lijepljenja. Jedna od najčešćih i prihvaćenih tehnika za mjerenje adhezije polimera je test ljuštenja (Zosel, 1991.). Kada je ispravno izrađena sljubnica opterećena do točke u kojoj dolazi do odljepljivanja, ono se obično događa unutar samog sloja ljepila. S tim u vezi, svrha istraživanja autora Angelski i Mihailov (2017.) bilo je utvrditi upravo čvrstoću prijanjanja HPL obloge na ploče iverice i MDF ploče.

### **2.2.1. Ispitivanje čvrstoće sljubnice ploča oplemenjenih HPL laminatom**

Svoje ispitivanje, autori Angelski i Mihailov (2017.) napravili su na uzorcima ploča debljine 18 mm. Konkretno, korištene su ploče iverice gustoće 680 kg/m<sup>2</sup> i ploče vlaknatice srednje gustoće (MDF) gustoće 750 kg/m<sup>2</sup>. Od njih je izrađeno 80 ispitnih uzoraka kako bi se osiguralo višestruko ponavljanje svake eksperimentalne serije za određivanje čvrstoće sljubnice između laminata i podloge. HPL-ovi (proizvođača "Formica") su bili gustoće 1,35 g/m<sup>2</sup> i debljine 0,6 mm. Za lijepljenje ploča i dekorativne obloge korištena su četiri sustava ljepila - D3 polivinil acetatno (PVAc) ljepilo (103.10 Jowacoll), polikloroprensko ljepilo (Madan Proma) poznato i kao kloroprenska guma (CR), polikloropren kontaktni aerosol (CR-aero) kontaktno ljepilo (SPRAY- KON B707) i dvokomponentno urea-formaldehidno (UF) ljepilo (proizvođač Dynea). Za lijepljenje ispitnih uzoraka korištena je hidraulična preša, nakon čega su uzorci bili kondicionirani 24 sata na 20 °C i 65% vlažnosti zraka. Kao ispitivanje čvrstoće slijepljenih uzoraka koristio se test ljuštenja. Testom ljuštenja se vlačnim opterećenjem kidaju veze spoja HPL-a i ploče.

### 2.2.1.1. Utjecaj različitih vrsta ljepila na adhezijsku čvrstoću

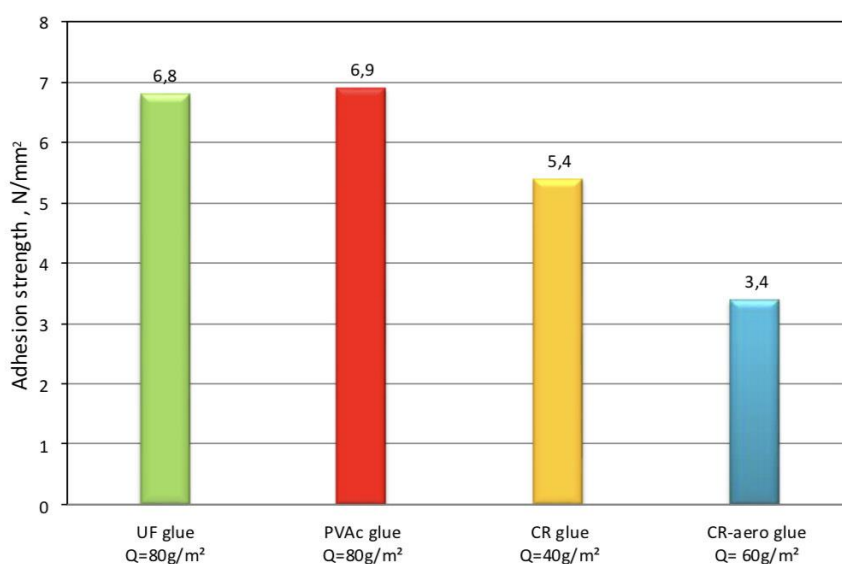
Kao što je poznato, preporučena minimalna vlačna čvrstoća za elemente koji se koriste za proizvodnju namještaja je  $2,5 \text{ N/mm}^2$ . Rezultati ispitivanja pokazali su da samo sljubnica (spoj) između iverice i HPL napravljen primjenom polikloroprenskog kontaktnog aerosola ima manju vrijednost ( $2,3 \text{ N/mm}^2$ ). Za sličnu potrošnju ljepila i sljubnicu, ali s podlogom od MDF, dobivena je relativno visoka adhezijska čvrstoća ( $3,4 \text{ N/mm}^2$ ) što se može vidjeti na slici 5. To znači da je na površine ploča iverica potrebno nanijeti količinu kontaktnog ljepila veću od  $60 \text{ g/m}^2$  kako bi se kompenzirala značajna poroznost materijala. Manje hrapava površina te manja poroznost uzoraka MDF ploča glavni su uzrok veće čvrstoće veza HPL i supstrata, u odnosu na ploče iverice.



**Slika 5.** Adhezijska čvrstoća lijepljenih spojeva ploče iverice i HPL (Izvor: Angelski i Mihailov, 2017)

Iz preliminarnih eksperimenata utvrđeno je da spojevi izrađeni s PVAc ljepilom i polikloroprenskim tekućim ljepilom imaju vrlo visoku snagu prijanjanja. Na slikama 5 i 6 može se vidjeti da čak i kada se koriste jeftinije smjese, ljepila imaju vrlo dobru snagu prijanjanja. S gledišta usklađenosti s ekološkim standardima, PVAc ljepila su prikladnija od polikloroprenskog ljepila, dok s druge strane, polikloroprensko ljepilo brže postiže minimalnu tehnološku čvrstoću bez potrebe za kontinuiranim stezanjem međusobno zalijepljenih materijala. Spojevi izrađeni s urea-formaldehidnim ljepilom također imaju vrlo dobru snagu prijanjanja. Za postizanje kvalitetnog spoja između ploče iverice i HPL-a potrebna je relativno visoka potrošnja urea-formaldehidnog

ljepila ( $Q = 150 \text{ g/m}^2$ ). S druge strane, lijepljenjem MDF ploča s HPL laminatom moguće je raditi s relativno malom potrošnjom urea-formaldehidnog ljepila ( $Q = 80 \text{ g/m}^2$ ). Urea-formaldehidna ljepila su termoreaktivna i kada se stvrdnu, prelaze u kruto netopljivo stanje koje karakterizira prostorno umrežena struktura, visoka otpornost na toplinu i srednja dobra otpornost na vodu. To dovodi do povećanja trajnosti dijelova namještaja u agresivnom okruženju. Međutim, kao nedostatak lijepljivih spojeva formiranih urea-formaldehidnim ljepilom smatra se njihova velika krutost i lomljivost. S jedne strane, to dovodi do brzog otupljivanja alata za rezanje, a s druge strane, do unutarnjih naprezanja i pucanja. Još jedna značajka urea-formaldehidnog ljepila je da je slobodni formaldehid koji se oslobađa u obliku plina otrovan za ljude.



**Slika 6.** Adhezijska čvrstoća lijepljenih spojeva MDF ploča i HPL (Izvor: Angelski i Mihailov, 2017)

Na temelju svog istraživanja autori Angelski i Mihailov (2017) zaključuju da je adhezijska čvrstoća ispitanih spojeva između ploča iverica i HPL ploča relativno niska. Međutim, adhezijska čvrstoća spojeva zadovoljava minimume propisane standardima. Dodatni je zaključak da se u slučaju polikloroprenskog kontaktnog aerosolnog ljepila, preporuča da količina ljepila ne bude manja od  $60 \text{ g/m}^2$ .

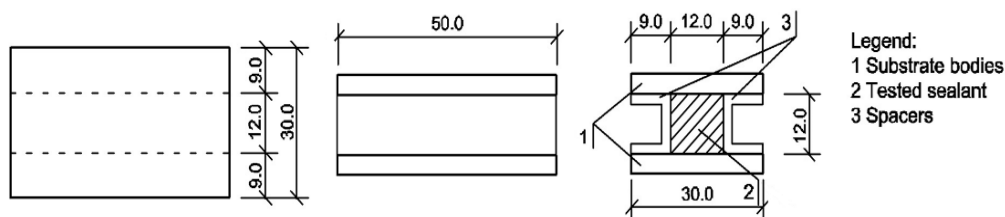
## **2.3. Svojstva građevinskih brtvila u kombinaciji s HPL**

Jedno od aktualnih pitanja u građevinskoj industriji je učinkovita izvedba brtvenih spojeva između konstrukcija. Nepoželjno prodiranje vode, vlage ili zraka između konstrukcijskih elemenata može imati negativan učinak na njihovu pouzdanost te također može utjecati na duljinu očekivanog vijeka trajanja. U građevinarstvu se brtvila često koriste i široko su rasprostranjena. Najčešće se koriste za popunjavanje spojeva. Čak i ako se ne radi o nosivom konstrukcijskom spoju, već samo o brtvljenju, odgovarajuća izvedba važna je za pravilno funkcioniranje cijele strukture. Za učinkovito brtvljenje spojeva najvažnije kvalitete brtvila su adhezija i trajnost. Loša propusnost spoja može biti uzrokovana upotrebom neodgovarajućeg brtvila, ovisno o materijalu za oblaganje i kvaliteti izvedbe. Osim toga, čimbenici kao što su stvrdnjavanje brtvila, starenje ili klimatski uvjeti, imaju veliki utjecaj. Iako je materijal za oblaganje koji smo sami odabrali prikladan za primjenu na fasadi uz upotrebu brtvila, proizvođači ne preciziraju pod kojim uvjetima je brtvilo pogodno za korištenje. Dakle, postoji mnogo kombinacija materijala za oblaganje, brtvila i uvjeta primjene. Iz tog razloga, proizvođačima nije moguće obuhvatiti cijelo područje. Ova činjenica je dovela do ideje o eksperimentalnom ispitivanju specifičnog materijala za oblaganje u kombinaciji s odabranom skupinom brtvila (Liška i sur., 2015). Silikonska brtvila i ljepila koja se koriste u građevinarstvu su uvedeni prije otprilike četrdeset godina. Njihova komercijalna važnost leži uglavnom u njihovim jedinstvenim svojstvima materijala, koja im omogućuju da zadovolje važne potrebe na tržištu. Najvažnija svojstva silikonskih brtvila za gradnju su trajnost i prijanjanje. Uzrok propadanja brtvila na fasadi zgrade ovisi o vrsti korištenog brtvila i o kvaliteti ugradnje. Materijal za brtvljenje može propasti zbog stvrdnjavanja, starenja i izloženosti vremenskim uvjetima. Pokazalo se da dugotrajna izloženost vodi i toplini utječe na adhezivno i kohezivno djelovanje poliuretanskih brtvila.

### **2.3.1. Određivanje svojstava građevinskih brtvila u kombinaciji s HPL**

Autori Liška i sur. (2015) usmjerili su svoj fokus istraživanja na mogućnosti brtvljenja HPL kao podloge. Njegova proizvodnja se sastojala od upotrebe slojevitog kraft papira impregniranog smolama, koji se preša na visokoj temperaturi i na visokom tlaku, te su proizvedene homogene tvrde ploče debljine 8 mm. Prema proizvođaču Trespaa, takav se proizvod može koristiti i za unutarnje i za vanjske prostor. Proizvod je poznat i pod trgovačkim nazivom HPL Trespaa Meteon. Za test je

odabrano deset uobičajeno dostupnih brtvila od tri proizvođača tako da su brtvila od različitih materijala i cijene uključeni u istraživanje. Sva odabrana brtvila bila su prikladna za korištenje u vanjskim klimatskim uvjetima. Ispitni uzorak sastojao se od dva tijela podloge za fasadnu oblogu dimenzija 30 x 50 mm. Između njih se nanjelo brtvilo dimenzija 12 x 12 x 50 mm kao što je prikazano na slici 7. Za svako korišteno brtvilo izrađena su tri uzorka, za što su korišteni elementi obloge e dimenzija 9 x 12 x 50 mm.



**Slika 7.** Ispitni uzorak (Izvor: Liškaa i sur., 2015)

Izrađeni uzorci kondicionirani su u suhom i čistom okruženju 28 dana, na temperaturi od  $23\pm 2$  °C i relativnoj vlazi zraka od  $50\pm 5$  %. Nakon 28 dana, uzorci su prošli kroz tri ciklusa kondicioniranja koji se sastoje od sljedećih koraka: 3 dana u sušioniku na temperaturi od  $70\pm 2$  °C, zatim 1 dan u destiliranoj vodi na temperaturi od  $23\pm 2$  °C, 2 dana u sušioniku na temperaturi od  $70\pm 2$  °C, i na kraju 1 dan u destiliranoj vodi na temperaturi od  $23\pm 2$  °C. Tako tretirani uzorci vlačno su ispitivani do loma.

### 2.3.1.1. Analiza svojstava građevinskih brtvila

Na slika 8. i 9. prikazani su rezultati ispitivanja autora Liškaa i sur. (2015), iz kojih je vidljivo da odmah nakon postizanja maksimalne čvrstoće dolazi do pucanja. Na njima su prikazani aritmetički prosjeci sila (F) kod kojih je došlo do pucanja brtvila na obje temperature ispitivanja (sobna i  $-22^{\circ}\text{C}$ ). Također prikazane su i vrijednosti naprezanja ( $\sigma$ ), njihove standardne devijacije (SD), te istezanje kod kojeg je došlo do pucanja ( $E_b$ ).

Marking of sealant	F at 100% [N]	$\sigma$ [N·mm <sup>-2</sup> ]	SD [N·mm <sup>-2</sup> ]	Elongation at break [mm]	E <sub>b</sub> [%]	SD [%]
SO-U	316.196	0.527	0.017	45.058	375	24.672
SO-N	154.233	0.257	0.110	35.445	295	14.078
SO-PU	338.490	0.564	0.026	42.414	353	12.624
SO-MS	269.850	0.450	0.024	33.497	279	54.161
LU-U	202.317	0.337	0.014	23.088	192	13.353
LU-N	111.733	0.186	0.015	54.975	458	80.550
SL-U	122.661	0.136	0.106	21.663	181	94.363
SL-N	296.390	0.494	0.026	15.582	130	18.836
SL-PU	557.676	0.929	0.056	29.153	243	19.016
SL-MS	703.291	1.172	0.108	31.449	262	34.724

**Slika 8.** Vlačna svojstva ispitanih uzoraka (23±2 °C) (Izvor: Liška i sur., 2015)

Marking of sealant	F at 100% [N]	$\sigma$ [N·mm <sup>-2</sup> ]	SD [N·mm <sup>-2</sup> ]	Elongation at break [mm]	E <sub>b</sub> [%]	SD [%]
SO-U	196.905	0.328	0.044	47.444	395	16.985
SO-N	117.138	0.195	0.100	39.093	326	42.662
SO-PU	491.821	0.820	0.168	35.002	292	29.148
SO-MS	231.777	0.386	0.049	36.595	305	24.534
LU-U	175.420	0.292	0.014	18.001	150	26.500
LU-N	92.655	0.154	0.026	54.572	455	33.816
SL-U	153.461	0.256	0.063	37.461	312	21.626
SL-N	235.164	0.392	0.096	15.732	131	31.162
SL-PU	677.614	1.129	0.126	33.057	275	111.169
SL-MS	526.567	0.878	0.353	30.365	253	63.339

**Slika 9.** Vlačna svojstva ispitanih uzoraka (-20±2 °C) (Izvor: Liška i sur., 2015)

Očito je da najbolje rezultate s obzirom na vlačni modul ( $\sigma$ ) postižu brtvila koja proizvodi tvrtka SILCO. Naime, radi se o poliuretanskom brtvilu SILCO PU 40 i MS polimeru SILCO MS 60. Nadalje, poliuretansko brtvilo Soudal 25D također postiže vrlo dobre rezultate. Što se tiče vrijednosti istezanja kod koje dolazi do pucanja, najbolje rezultate postiže neutralni silikon tvrtke Lučební závody Kolín, Lukopren UNI N. Njegovo istezanje u odnosu na izvornu širinu iznosi preko 450 % prije nego što dođe do potpunog puknuća. U većini slučajeva adhezija između brtvila i HPL obloge je narušena. U mnogim testiranim slučajevima brtvilo se nije zalijepilo ni na jednu od obje podloge, kao što se može vidjeti na slici 10. Kohezivno narušavanje brtvila može biti rezultat propadanja odnosno trošenja brtvila. Takva pojava propadanja brtvila može se vidjeti na slici 11. Niz testova dokazao je činjenicu da se nekompatibilnost brtvila mora uzeti u obzir jer odabrani materijali mogu degradirati jedan drugog, ili ne mogu prijanjati jedan uz drugog, ili spriječiti stvrdnjavanje jednog ili oba materijala.





**Slika 10.** Uzorak Lukopren UNI N nakon ispitivanja (Izvor: Liška i sur., 2015)

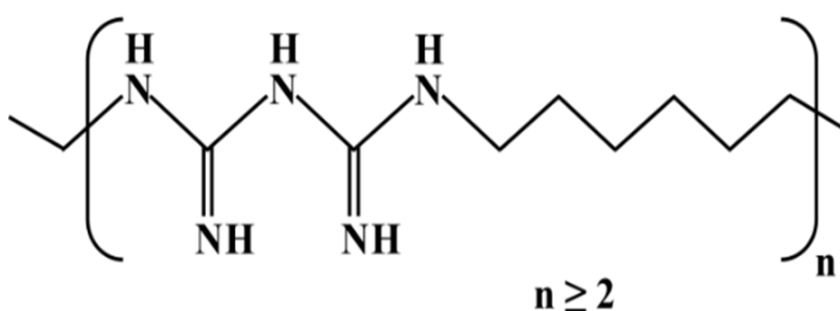


**Slika 11.** Uzorak SOUDASEAL 215LM nakon ispitivanja (Izvor: Liška i sur., 2015)

## 2.4. Antimikrobna svojstva HPL laminata

HPL je izdržljiv, otporan na utjecaje okoliša te isplativ dekorativni kompozitni materijal s posebnim svojstvima prilagođenim zahtjevima tržišta. U svom istraživanju autori Magina i sur. (2016) koristili su poliheksametilen bigvanid (PHMB) koji je po prvi put korišten kao sastavni dio matrice melamin-formaldehidne smole (MF) na vanjskom sloju HPL-a kako bi osigurao antimikrobna svojstva. Naime, poznato je da se širok niz antimikrobnih kemikalija, u rasponu od organskih i anorganskih spojeva niske molekularne mase do nano čestica ili polimernih materijala, mogu primjenjivati kao sastavni dio melaminskih smola. Upravo su iz tog razloga spomenuti autori

koristili upravo PHMB koji je snažan ali i siguran antiseptik. PHMB je kemijski stabilan, pozitivno nabijen polimer (slika 12.) čiji je kemijski sastav otkriven kasnih 1950-ih. To je baktericid prihvatljive cijene, brzo djelujući, vrlo učinkovit protiv gram-pozitivnih i gram-negativnih bakterija. Stoga ima širok raspon primjene, kao na primjer, PHMB se koristi kao dezinficijens za čvrste površine, ili kao sredstvo za dezinfekciju bazena, konzervans u kozmetičkim i tekstilnim proizvodima, te kao dezinficijens u poljoprivredi i preradi hrane. PHMB se također koristi u izravnom kontaktu s ljudima sa izvrsnom tolerancijom i niskim rizikom kao na primjer u otopinama za kontaktne leće te na živim ranama za sprječavanje i liječenje infekcija.



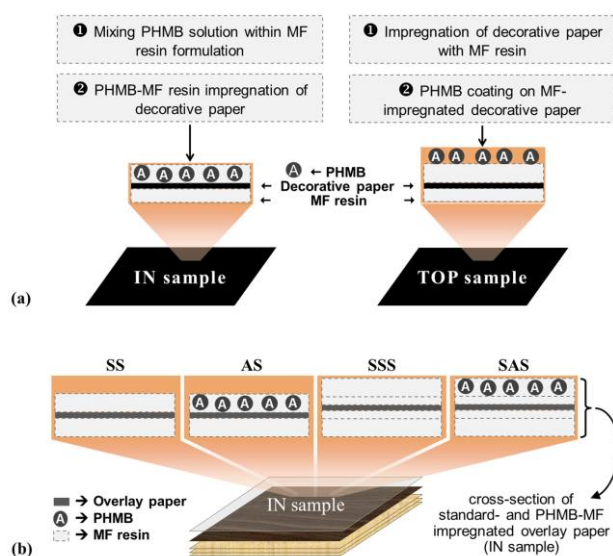
**Slika 12.** Kemijska struktura PHMB-a (Izvor: Magina i sur., 2016)

Budući da je polimer, PHMB se lako prerađuje u filmove i stoga je prikladan kandidat za premazivanje površine dekora impregniranog smolom ili kao spoj u MF smolama prije impregnacije papira. Slijedeći ovu strategiju, različitim pristupima proizvodnje autori su proizveli HPL koji sadrži PHMB, uz analizu njihova antibakterijskog djelovanja korištenjem gram-pozitivne *Listeria innocua* (*L. innocua*) i gram-negativne bakterije *Escherichia coli* (*E. coli*).

#### **2.4.1. Obilježja HPL koji sadrže poliheksametilen bigvanid (PHMB)**

Laminati koji sadrže PHMB od 1,0 i 2,4% i HPL sa 0% PHMB proizvedeni su različitim postupcima impregnacije, kao što je shematski prikazano na slici 13. Impregnacija dekorativnog papira HPL provedena je impregniranjem PHMB-MF smole (IN uzorak) i s konvencionalnom metodom impregnacije MF smolom te naknadno obložena otopinom PHMB (TOP uzorak). Također su provedeni i različiti pristupi provedbe slaganja slojeva HPL-a. Počevši s tri lista impregniranog Kraft papira fenol-formaldehidnom smolom, a zatim jednim listom ukrasnog papira i

završnim slojem papira kao što je prikazano na slici 13 b). Nakon toga, prvi pristup bio je impregnacija slojnog papira u jednom koraku MF smolom s obje strane (SS) ili MF smola na donjoj strani a PHMB-MF smola na gornjoj strani (AS). U drugom pristupu, kako bi se PHMB zadržao što bliže površini, ukrasni najgornji papir impregniran je dva puta, prvo s MF smolom na obje strane, te nakon međukoraka sušenja, ponovo s MF smolom s obje strane (SSS) ili s MF smolom na donjoj strani, a PHMB-MF smolom na gornjoj strani (SAS). U svim slučajevima HPL je proizveden vrućim prešanjem.



**Slika 13.** a) Shematski prikaz impregnacije HPL-a koji sadrži PHMB i b) prikaz slaganja papira koji sadrži PHMB (AS i SAS) te papira koji ne sadrži PHMB (SS i SSS) (Izvor: Magina i sur., 2016)

Fizička i površinska ispitivanja kvalitete AS i SAS uzoraka PHMB-HPL (2,4% IN) bila su ocijenjena standardnim ispitivanjem prema normi EN 438-2:2005. Rezultati su bili slični za obje vrste uzoraka te su ispunjavali zahtjeve površinske otpornosti HPL (slika 14).

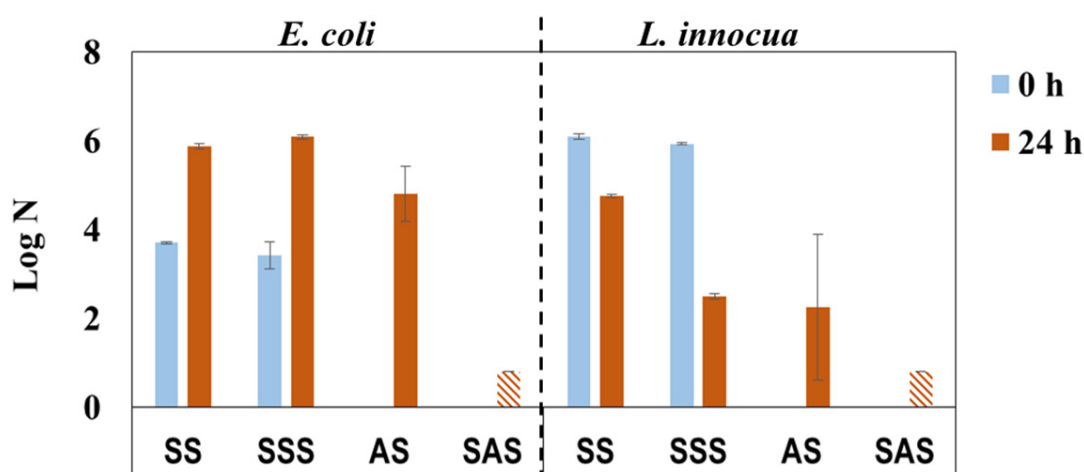
Physical Property	Test Method [28]	Required Rating	Rating *
Resistance to immersion in boiling water	EN 438-2:12	≥4	4
Resistance to water vapour	EN 438-2:14	≥4	5
Resistance to dry heat (180 °C)	EN 438-2:16	≥4	4
Resistance to impact by small diameter ball	EN 438-2:20	≥20 N	30 N
Resistance to scratching	EN 438-2:25	≥4	3
Resistance to staining (groups 1, 2 & 3)	EN 438-2:26	≥4	5

(\*) 1 = Surface damage, 2 = Severe appearance alteration, 3 = Moderate change, 4 = Slight changes visible from certain angles, 5 = No change.

**Slika 14.** Fizikalna i površinska svojstva AS i SAS uzoraka od 2,4% PHMB (IN) (Izvor: Magina i sur., 2016)

#### 2.4.1.1. Utjecaj PHMB na antimikrobnu aktivnost HPL

Laboratorijski HPL proizvedeni su slično industrijskim HPL s jezgrom od FF impregniranog Kraft papira i korištenjem dekora impregniranog PHMB-MF smolom (IN) te različitim pristupima slaganja slojeva i impregniranjem dekorativnog papira. Dekorativni papir je niske gramature (22 g/m<sup>2</sup>) te visoko porozni papir koji nakon impregnacije postaje proziran. Shodno tome, ove značajke smanjuju koncentraciju PHMB-a na površini HPL-a i time smanjuju antimikrobno djelovanje. Rezultati ispitivanja antimikrobne aktivnosti (slika 15.) otkrivaju da jedan nanos impregnacije daje određene baktericidne učinke. Kao što je predviđeno, impregnacija u dva nanosa daje značajniju baktericidnu učinkovitost na SAS uzorcima.

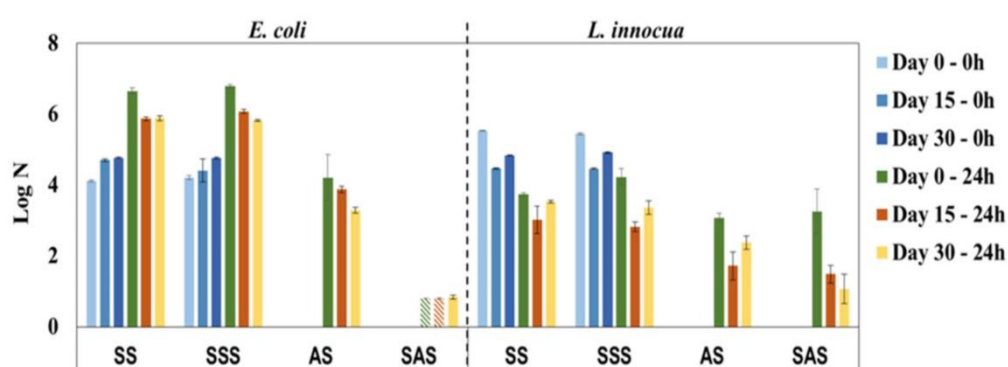


**Slika 15.** Antimikrobna aktivnost PHMB-a ispitana na bakterijama *L. innocua* i *E. coli* odmah nakon nanošenja bakterija te nakon 24 sata od nanošenja bakterija (Izvor: Magina i sur., 2016)

Što se tiče kontrolnih uzoraka SS i SSS, uočeno je različito ponašanje antimikrobne aktivnosti prema *E. coli* i *L. innocua*. Zapravo, rezultati za *E. coli* bili su gotovo jednaki u oba kontrolna uzorka (0 i 24 h), dok su rezultati dobiveni s *L. innocua* bili izrazito različiti od SSS kontrolnog uzorka, pokazujući nižu vrijednost nakon inkubacije (24 h) od onih odmah testiranih (0 h). To se može povezati s baktericidnim učinkom formaldehida i fenola, koji su mogli biti prisutni u Kraft papiru te niže otpornosti *L. innocua* u usporedbi s *E. coli*. Za procjenu utjecaja svakodnevne uporabe PHMB-HPL-a, uzorci su se čistili 70% otopinom etanola svakih petnaest dana i analizirali nakon 30 dana. Rezultati antimikrobne aktivnosti prikazani na slici 16 otkrivaju konstantan baktericidni učinak uzoraka AS i SAS, posebno protiv *E. coli*, uz iznimno dosljednu izvedbu SAS uzoraka tijekom razdoblja od 30 dana. Rezultati

aktivnosti protiv *L. innocua* pokazuju neobično ponašanje AS i SAS uzoraka, pokazujući gotovo nikakvu antimikrobnu aktivnost 0. dan a značajnu antimikrobnu učinkovitost za iste uzorke nakon 15. i 30. dana.

Autori Magina i sur. (2016) zaključili su da je ovo odstupanje očito povezano s neobjašnjivom eksperimentalnom pogreškom, budući da je za prethodni rezultati prema slici 15 vrijednosti za SAS uzorke bila ispod granice detekcije za obje bakterije. Činjenica je da su antimikrobna svojstva PHMB-HPL-a nakon čišćenja 70% otopinom etanola bila i dalje postojana te nije došlo do ispiranja PHMB-a iz kompozitnog materijala potvrdila je vezanje ovog polimera s matricom MF smole.



**Slika 16.** Antimikrobna svojstva PHMB-HPL proizvedenih dvjema različitim metodama, testiranim protiv *E. coli* i *L. innocua* tijekom razdoblja od 30 dana simulirajući dnevnu upotrebu (Izvor: Magina i sur., 2016)

Autori Magina i sur. (2016) su, nakon proizvodnje i ispitivanja HPL koji sadrže PHMB u vanjskom sloju došli do zaključaka da su svi ispitani PHMB-HPL kod kojih je dekor impregniran MF smolom pokazali bakteriostatsko ili baktericidno ponašanje. Simulirajući skladištenje, antimikrobna aktivnost održala se najmanje 2 mjeseca nakon proizvodnje HPL. U isto vrijeme, testovi koji su simulirali dnevnu upotrebu (čišćenje sa 70% etanolom svaka dva tjedna) pokazali su postojanost antimikrobnih svojstava u razdoblju od najmanje mjesec dana. Iako su potrebni dodatni testovi za provjeru učinkovitosti i trajnosti antimikrobnih svojstava ovih inovativnih Compact ploča, rezultati ipak otkrivaju da je PHMB obećavajući aditiv za buduću održivu proizvodnju laminata s antimikrobnim djelovanjem.

### **3. CILJEVI RADA**

Osnovni cilj ovog rada je utvrditi stanje površine (strukture) Compact ploče odnosno HPL nakon kontakta s nizom različitih kemikalija. HPL se smatra idealnim u pogledu obrade i primjene u uvjetima gdje većina drugih kompozita gubi svoja fizikalno-mehanička i uporabna svojstva. Kao takav materijal se i HPL reklamira, međutim ove ploče imaju svoje mane. Prikazom pojedine faze, od pripreme uzoraka, tretiranje kemikalijama, mjerenje promjene njihove gustoće, promjene boje površine, analizom stanja površine, sve do mjerenja promjene tvrdoće prikazat će se njihove prednosti i mane.

## 4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

### 4.1. Materijali

Za analizu otpornosti Compact ploča (HPL) na djelovanje kemikalija korištene su ploče austrijskog proizvođača Fundermax. Ploče su dalje iskrojene na potrebne dimenzije u hrvatskoj tvrtki Iverpan, specijaliziranoj za prodaju svih materijala i proizvoda potrebnih za izradu namještaja. Korištene su dvije vrste uzoraka koje su istovremeno bile ispitivane. Jedna vrsta uzoraka bile su Fundermax Compact ploče debljine 13 mm s crnom jezgrom i crnim površinskim dekorativnim papirom. Druga vrsta uzoraka bile su također Fundermax Compact ploče debljine 13 mm s crnom jezgrom, ali s hrastovim dekorativnim papirom kao površinskim slojem ploče (slika 17). Uzorci su bili iskrojeni na dimenzije: dužina 50 mm, širina 50 mm. Od svake vrste Compact ploče korišteno je 30 uzoraka. Prvih 15 uzoraka korišteno je za ispitivanje materijala nakon 2 sata tretiranja, dok je drugih 15 uzoraka korišteno za ispitivanje materijala nakon 24 sata tretiranja kemikalijama.



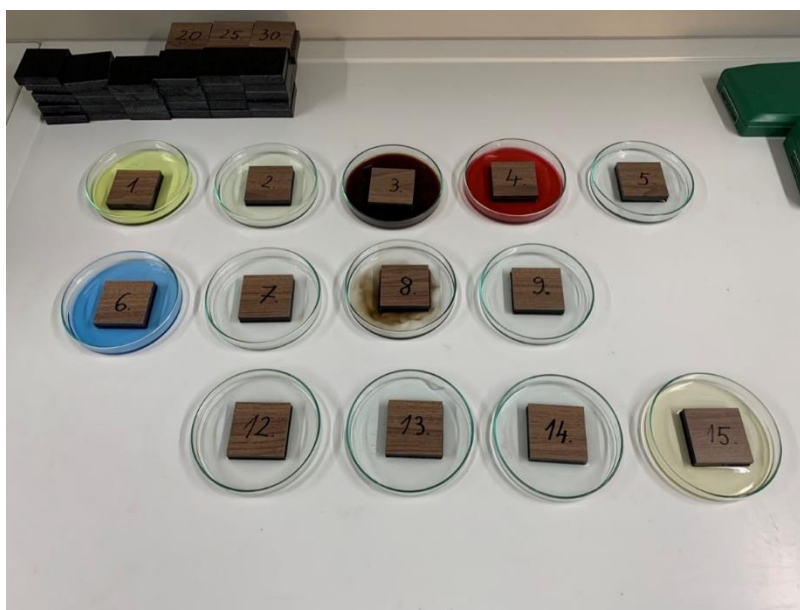
**Slika 17.** Dvije vrste uzoraka korištene za analizu otpornosti Compact ploča na djelovanje kemikalija (crni dekor i dekor hrasta)



## 4.2. Metode istraživanja

### 4.2.1. Tretiranje uzoraka kemikalijama

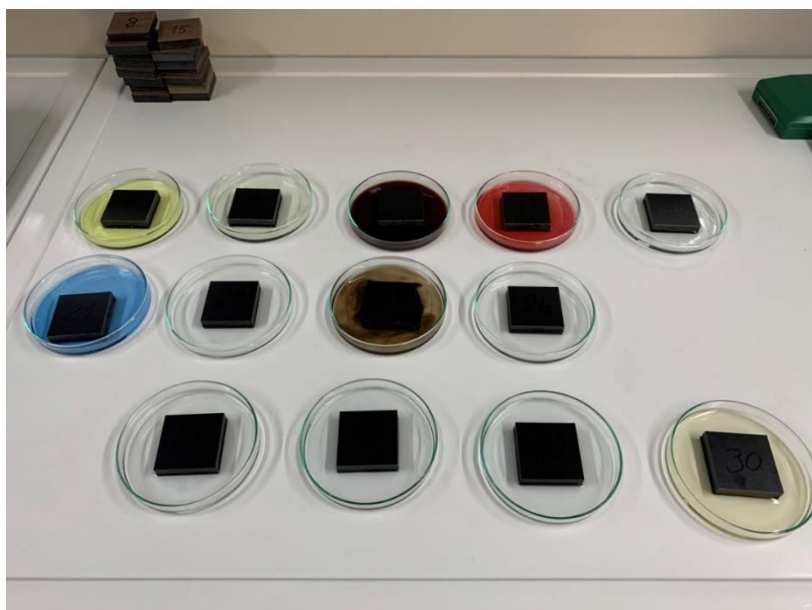
Prije tretiranja uzoraka Compact ploča kemikalijama bilo je potrebno izmjeriti točne dimenzije odnosno dužinu, širinu i debljinu, te masu svakog uzorka kako bi se nakon tretiranja mogle usporediti promjene dimenzija to jest promjena gustoće uzoraka. Dužina i širina mjerene su digitalnim pomičnim mjerilom sa točnošću mjerenja na desetinku milimetra dok je debljina mjerena mikrometrom sa točnošću mjerenja na stotinku milimetra. Masa je mjerena digitalnom analitičkom vagom točnosti 0,1 mg. Nakon mjerenja mase i dimenzija uzoraka, bilo je potrebno označiti uzorke brojevima od 1 do 30 da bi se znalo kojom kemikalijom te u koju grupu se ubraja koji uzorak. Prva grupa od 1 do 15 bila je tretirana 2 sata kemikalijama, dok druga grupa koja je bila tretirana 24 sata označavala se brojevima od 16 do 30. Kemikalije (20 ml) su se ulile u petrijeve zdjelice tako da je minimalno pola debljine uzorka bilo uronjeno u istu, a prije toga su i petrijevke označene brojevima. Kemikalije koje su se koristile redom su bile: čarli (deterdžent za pranje suđa), domestos (sredstvo za čišćenje), kava, čaj, voda, sanitar (sredstvo za čišćenje i dezinfekciju), etanol, sulfatna kiselina, octena kiselina, nitratna kiselina, solna kiselina, natrijev hidroksid, vodikov peroksid, urea i voćni sok. Nakon pripremljenih uzoraka i kemikalija, uzorci su se postavili u petrijeve zdjelice u kemikalije (slika 18).



**Slika 18.** Uzorci postavljeni u petrijeve zdjelice (tretiranje kemikalijama kroz 2 sata)



Kao što je vidljivo na slici 18, nitratna i solna kiselina su se morale ostaviti izvan laboratorija zajedno s uzorcima jer su ove kiseline izrazito jake i zagušljiva mirisa. Budući da ove kiseline jako dime i brzo isparavaju, petrijevke su cijelo vrijeme provedbe tretmana morale biti zaklopljene. Nakon što je prva grupa uzoraka, Compact ploče sa hrastovim dekorativnim papirom (od 1 do 15), provela 2 sata u kemikalijama, uzorci su se isprali običnom vodom, prebrisali papirom i pustili da stoje 24 sata na sobnoj temperaturi prije sljedećeg mjerenja. Odmah nakon ispiranja i brisanja ove grupe uzoraka, postavljeni su uzorci sa crnim dekorativnim papirom u iste petrijeve zdjelice s kemikalijama. Na mjestima gdje je manjkalo kemikalija, dolijevale su se točno u onoj mjeri kako bi ponovo otprilike pola uzorka debljine 13 mm bilo uronjeno u kemikaliju. Ista procedura je ponovljena i sa crnim uzorcima. Poslije tretirane i kondicionirane prve grupe uzoraka, na isti način je tretirana i druga grupa uzoraka od 16 do 30 (slika 19), a jedina razlika je bila tretiranje u kemikalijama, koje je trajalo 24 sata.



**Slika 19.** Uzorci postavljeni u petrijeve zdjelice (tretiranje kemikalijama kroz 24 sata)

U međuvremenu, dok je druga grupa uzoraka (od 16 do 20) stajala u kemikalijama, prva grupa uzoraka (od 1 do 15), koja je odstajala 24 sata na sobnoj temperaturi bila je spremna za ponovno mjerenje debljine i mase te su bile izračunate istim postupkom i uređajima kao i prije tretiranja. Dužina i širina nisu mjerene ponovo jer za tako malo vremena tretiranjem kemikalijama nisu bile velike promjene dužine i

širine, a te male promjene ne bi se ni vidjele pomičnim mjerilom jer pomično mjerilo nema toliku preciznost mjerenja.

#### 4.2.2. Mjerenje promjene boje

Kolorimetrija je postupak određivanja i mjerenja boje. Uređaji ili mjerni instrumenti za kolorimetrijska mjerenja zovu se kolorimetri. Upravo je kolorimetrom izračunata promjena boje pojedinog uzorka (slika 20). Za ovo mjerenje bilo je potrebno uzeti jedan ne tretirani uzorak od svake vrste uzorka. Jedan uzorak kompakt ploče sa crnim dekorativnim slojem te jedan s hrastovim dekorativnim slojem. Ta dva ne tretirana uzorka služili su kao referenca preko koje će se izračunati promjena boje pojedinog tretiranog uzorka. Naravno, svaka referenca za svoju vrstu uzorka. Promjena boje mjerila se PCE-CSM 6 kolorimetrom, gdje se prvo izmjerila boja referentnog uzorka, čije su vrijednosti  $L^*$   $a^*$   $b^*$  sustava bile fiksirane u kolorimetru, te su se nakon toga mjerili tretirani uzorci kojima je zabilježen  $\Delta L^*$   $\Delta a^*$   $\Delta b^*$  u odnosu na referentni ne tretirani uzorak. Promjena boje mjerila se na jednom mjestu na površini svakog uzorka.



*Slika 20. Mjerenje promjene boje kolorimetrom*

#### 4.2.3. Određivanje tvrdoće površine

Određivanje tvrdoće površine, kemikalijama tretiranih uzoraka, ispitalo se 10-minutnim testom u kojem je korištena otopina klorovodične kiseline koncentracije 4N.

Otopina klorovodične kiseline pripravljena je u laboratoriju i istu se, nakon pripreme dodao 1g Rodamin A crvenog bojila u prahu. Rodamin je dodan iz razloga postizanja kontrasta na površini više ili manje kemikalijama oštećenih laminata. Tako pripravljena otopina kapalicom se stavila na površinu materijala ranije izloženu djelovanju kemikalija i poklopila satnim stakalcem (slika 21).



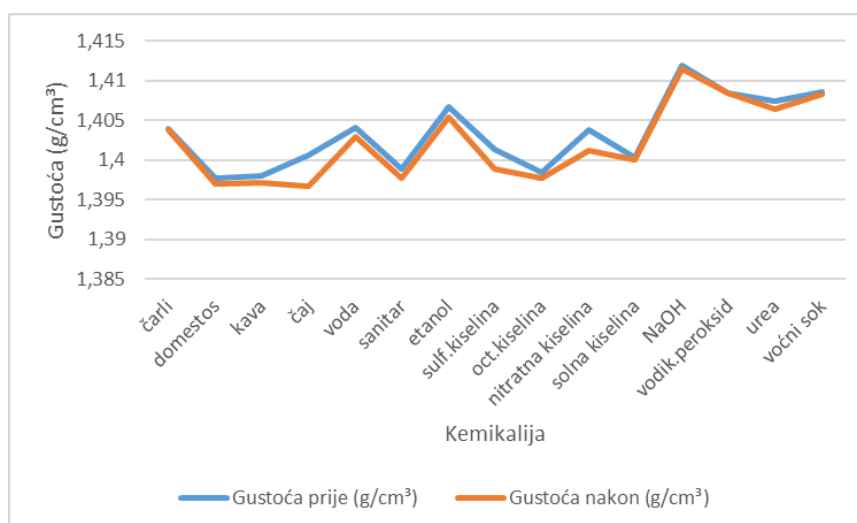
**Slika 21.** 10-minutni test tvrdoće površine otopinom klorovodične kiseline (4N)

Za ovo testiranje je također potrebno imati referentni uzorak na koji se isto kapa 4N HCl kako bi se površina tretiranih uzoraka mogla usporediti s ne tretiranim uzorkom. Po isteku vremena izlaganja, skidaju se satna stakla i uzorci se ispiru vodom i brišu kako bi bili suhi. Ovako pripremljeni uzorci, promatrani su ispod UV svjetlosti (ispod UV-C lampe) i procijenjeno je stanje njihove površine. Prije determinacije stanja površine uzorci nisu dodatno kondicionirani.

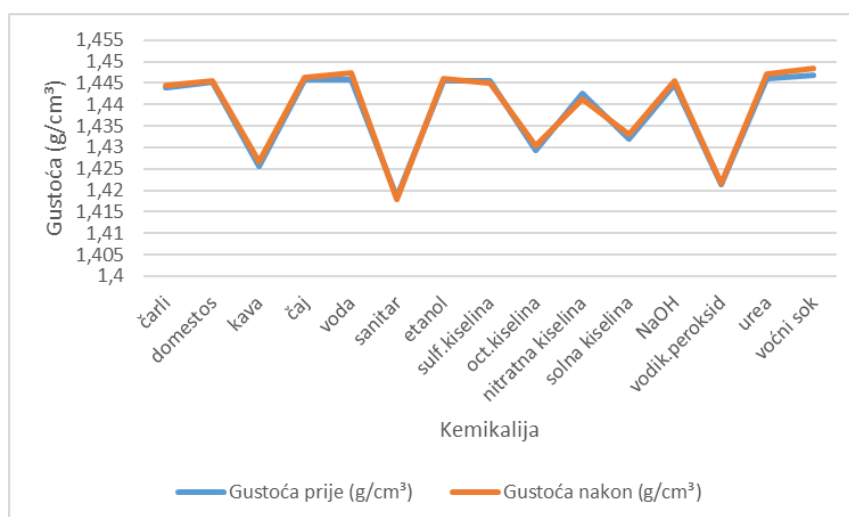
## 5. REZULTATI

### 5.1. Fizikalna svojstva ispitanih Compact ploča

Jedna od glavnih fizikalnih svojstava drva i proizvoda od drva kao što je HPL su gustoća i dimenzijske odnosno volumne promjene. Ovo su također jako bitne značajke ovih materijala prvenstveno jer se HPL koristi u uvjetima gdje su promjene temperature i promjene vlažnosti vrlo izražene, a ponekad su ovi materijali i u izravnom kontaktu sa vodom i različitim kemikalijama, što rezultira promjenama tih svojstava. Osim kemikalija koje obično dolaze u dodir s Compact pločama, za ovo istraživanje korištene su i kiseline, kako bi vidjeli i njihov utjecaj na ove ploče, te kako bi usporedili utjecaj kiselina i kemikalija koje obično dolaze u dodir s ovim pločama. Gustoća HPL puno je veća od gustoće drva i iznosi oko  $1,4 \text{ g/cm}^3$ . Rezultati ispitivanja (slika 22) pokazuju da su već nakon 2 sata tretiranja kemikalijama zabilježene minimalne promjene u promjeni gustoće. Međutim, veće promjene zabilježene su kod uzoraka s hrastovim dekorativnim slojem nego kod Compact ploča sa crnim dekorativnim površinskim slojem (slike 22 i 23). Razlog tome vjerojatno veća otpornost crnih listova impregniranih melamin-formaldehidnom smolom nego listova hrasta impregniranih MF smolom. Naime, dekorativni, površinski filmovi često se impregniraju manjom količinom veziva (u ovom slučaju MF smolom) što je vjerojatno ovdje slučaj. Kod Compact ploče s crnom površinskom prevlakom, najvjerojatnije je za posljednji sloj korišten upravo isti papir kao i za sve slojeve između. Dakle, onaj impregniran većom količinom MF smole.

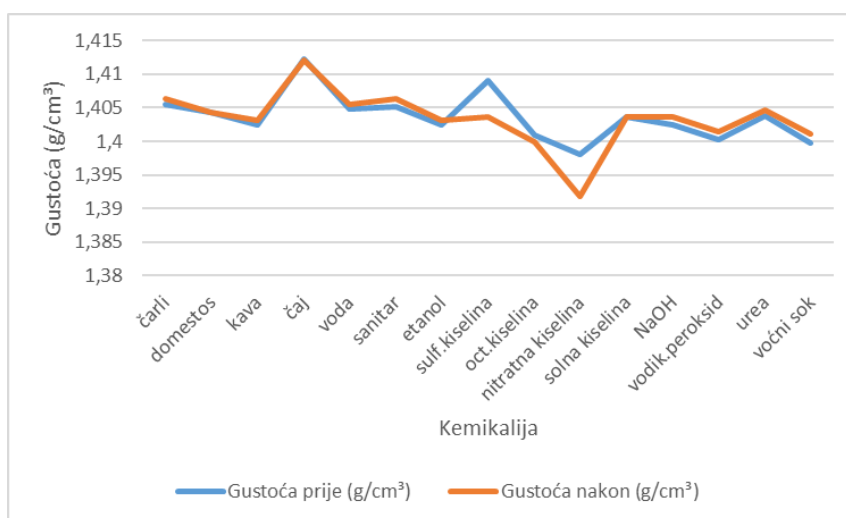


**Slika 22.** Razlika u gustoći nakon 2 sata tretiranja kemikalijama (dekor hrasta)

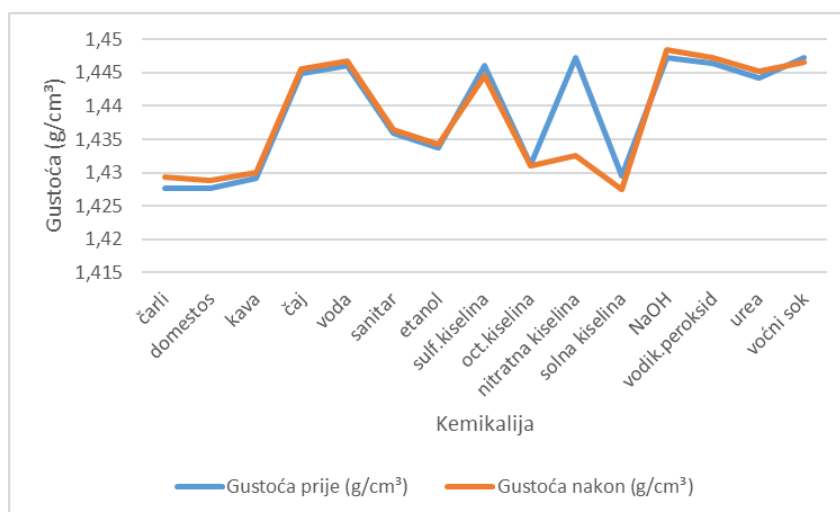


**Slika 23.** Razlika u gustoći nakon 2 sata tretiranja kemikalijama (crni dekor)

Iako postoje promjene nakon samo 2 sata tretiranja kemikalijama, rezultati osciliraju. Kod uzoraka s dekorom hrasta, zabilježeno je povećanje debljine svih uzoraka, dok se masa smanjila. Kao što je vidljivo na slici 22 za uzorke s dekorom hrasta, gustoća se smanjila i kod uzoraka tretiranih kiselinama i kod uzoraka tretiranih ostalim kemikalijama. Pošto su uzorci s crnim dekorom otporniji od onih s uzorkom hrasta, rezultati variraju daleko manje i nisu se puno promijenili u odnosu na ne tretirane uzorke što je djelomično i vjerojatno posljedica i prekratkog vremena tretiranja kemikalijama. Međutim, rezultati zabilježeni nakon tretiranja Compact ploča kemikalijama 24 sata bitno su drugačiji i iz razloga produljenog perioda izlaganja, relevantniji za procjenu stanja površine Compact ploča. U ovom slučaju i kod uzoraka s dekorom hrasta i kod uzoraka s crnim dekorom vidimo jednaku tendenciju promjene vrijednosti gustoće. Uzorcima tretiranih kiselinama (sulfatna kiselina, octena kiselina, nitratna kiselina i solna kiselina) povećala se debljina, dok se masa smanjila što je ujedno rezultiralo smanjenjem gustoće. Razlog tome je nagrizanje površine uzoraka i samim time smanjenje mase i gustoće ploče. Kod uzoraka tretiranih ostalim kemikalijama zabilježeno je povećanje i mase i debljine što je u konačnici rezultiralo povećanjem gustoće što je i vidljivo na slikama 24 i 25. Smanjenje gustoće uzoraka tretiranih kiselinama je mnogo izraženije nego povećanje gustoće uzoraka tretiranih ostalim kemikalijama. Obje vrste uzoraka (crni i dekor hrast) tretirani ostalim kemikalijama nisu bili oštećeni kao što su uzorci tretirani kiselinama te zbog toga kod njih nema zabilježenog gubitka mase.



**Slika 24.** Razlika u gustoći nakon 24 sata tretiranja kemikalijama (dekor hrasta)



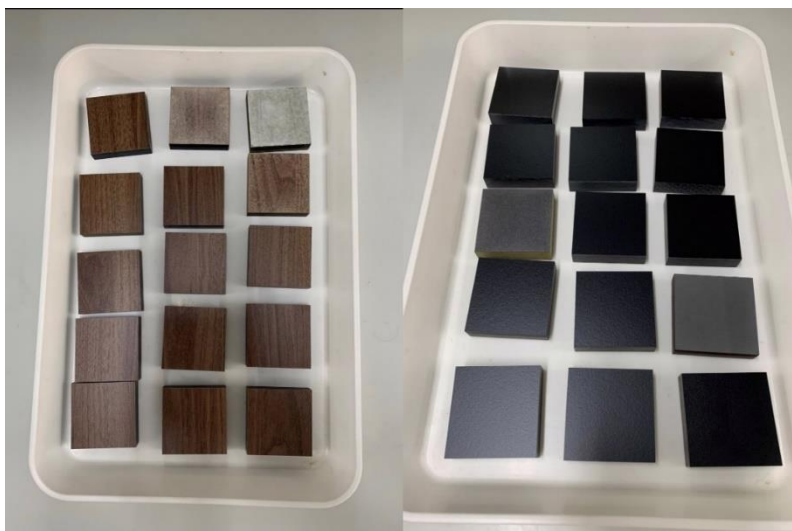
**Slika 25.** Razlika u gustoći nakon 24 sata tretiranja kemikalijama (crni dekor)

## 5.2. Promjena boje ispitanih Compact ploča

Boja i struktura su jedne od najvažnijih ako ne i najvažnija svojstva drva i proizvoda od drva. Na mjestima gdje se Compact ploče upotrebljavaju, kao što su fasade, ograde, zidne obloge, na javnim mjestima kao što su škole, estetski izgled je od iznimne važnosti. Osim trenutnog estetskog izgleda, bitno ga je i održati, jer vremenom dolazi do izbjeljivanja i promjene boje što narušava estetski izgled materijala, pogotovo ako se koristi u vanjskim uvjetima i u dodiru s vodom i raznim tekućinama kao što je to slučaj s ovim tipom ploča.

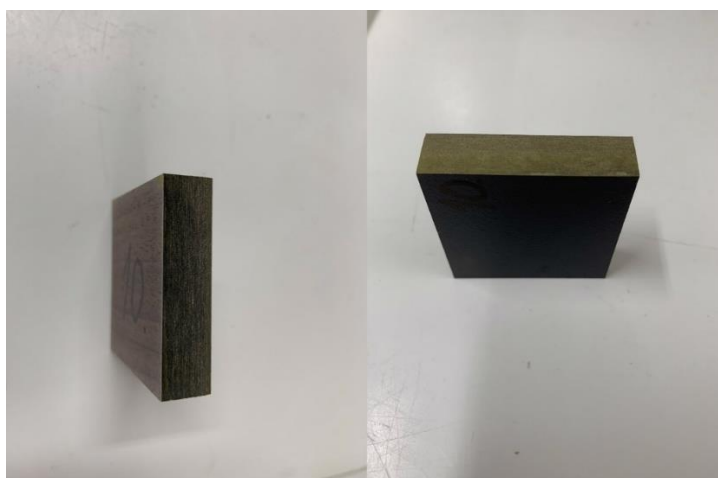


Nakon 2 sata tretiranja kemikalijama, bile su okom vidljive promjene samo na uzorcima koji su tretirani kiselinama. Promjene boje na uzorcima tretiranim kemikalijama s kojima Compact ploče mogu doći u kontakt, nisu vidljive okom kao što se to može vidjeti na slici 26.



**Slika 26.** Izgled površine Compact ploča nakon tretiranja 2 sata kemikalijama

Veće estetske promjene koje su uzrokovane kiselinama vide se na uzorcima s dekorom hrasta. Najveće promjene uzrokovala je nitratna kiselina (uzorak broj 10). Već nakon 2 sata tretiranja nitratna kiselina je izazvala tolike promjene da se dekor hrasta ne može prepoznati. Osim toga, iako uzorci nisu bili uronjeni do kraja u kemikalije, nitratna kiselina je u potpunosti penetrirala kroz sve slojeve ploče skroz do strane ploče koja je bila okrenuta prema gore i nije tretirana (slika 27).



**Slika 27.** Utjecaj nitratne kiseline nakon 2 sata tretiranja Compact ploča

Promjene boje obje vrste uzoraka, tretiranih kemikalijama koje nisu kiseline, nakon 24 sata također nisu vidljive okom, dok su se površine uzoraka tretiranih kiselinama nakon 24 sata samo još više razgradili. Iako promjene boje ostalih uzoraka nisu vidljive golim okom, ipak su zabilježene kolorimetrom. Tablica 1. prikazuje promjene boje uzoraka s dekorom hrasta nakon 2 i nakon 24 sata. Uglavnom su promjene boje površine tretiranih uzoraka 24 sata, veće u odnosu na tretirane uzorke 2 sata, uspoređujući ih s referentnim ne tretiranim uzorkom. Rezultati osciliraju jer je promjena boje mjerena samo jednom, odnosno u jednoj točki, pa je tako kolorimetar na nekim uzorcima zahvatio tamniji, a na nekim svjetliji dio teksture hrasta. Precizniji rezultati bi bili kada bi se svaki uzorak mjerio na tri različita mjesta na površini ploče. Najveće promjene boje zabilježene su na uzorcima tretiranim nitratnom kiselinom (2 sata i 24 sata), naime to je vidljivo i golim okom. Čaj je kemikalija koja je ostavila najveće promjene boje i nakon 2 i nakon 24 sata, ne ubrajajući kiseline. Općenito, kemikalije koje su uzrokovale najslabije promjene boje su čarli i octena kiselina. U slučaju uzoraka tretiranih kroz 2 i 24 sata  $\Delta L$  vrijednosti mahom su pozitivne, što sugerira da su svi uzorci tretmanom postali nešto svjetliji, odnosno da su površine djelomično izbijeljene. Slični rezultati zabilježeni su i za  $\Delta a$  i  $\Delta b$  vrijednosti što sugerira intenziviranje crvene (a) i žute boje (b), kod oba tipa uzoraka. Navedeno je dodatna potvrda djelomičnog izbjeljenja površine Compact ploča, praktički nevidljivog golim okom. Pritom su i koordinatne promjene boje ( $\Delta E$ ) dosta izražene, naročito u slučaju nitratne i sulfatne kiseline (tablica 1).

**Tablica 1.** Promjene boje uzoraka Compact ploča s dekorom hrasta

NAKON 2 SATA	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	NAKON 24 SATA	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
čarli	-1,12	-0,01	-0,93	1,46	čarli	4,21	0,34	1,99	4,67
domestos	2,89	1,35	2,05	3,79	domestos	3,52	1,31	2,67	4,61
kava	3,19	0,97	1,48	3,65	kava	3,33	0,73	1,61	3,77
čaj	4,6	1,65	2,63	5,55	čaj	4,37	0,76	2,6	5,14
voda	1,23	1,42	2,15	2,85	voda	3,57	1,28	2,07	4,32
sanitar	2,7	0,75	1,13	3,02	sanitar	1,33	1,19	1,32	2,22
etanol	4,11	0,67	1,92	4,58	etanol	3,26	1,05	2	3,97
sulf. kiselina	16,08	-2,69	-1,76	16,4	sulf. kiselina	10,74	-2,82	-3,14	11,54
oct. kiselina	-0,02	1,32	0,67	1,48	oct. kiselina	-0,66	0,96	0,28	1,2
nitratna kiselina	28,87	-6,17	-3,39	29,72	nitratna kiselina	40,85	-7,93	-2,48	41,69
solna kiselina	2,56	0,39	0,15	2,6	solna kiselina	7,42	-0,05	-0,37	7,43
NaOH	3,29	1,03	1,71	3,85	NaOH	-2,92	0,63	-0,72	3,07
vodik. peroksid	3,07	1,08	1,78	3,71	vodik. peroksid	1,02	0,48	-0,07	1,13
urea	4,27	0,87	1,97	4,78	urea	-1,65	0,92	0,1	1,89
voćni sok	3,52	1,3	2,26	4,38	voćni sok	3,95	1	2,34	4,7



Compact ploče s crnim dekorom jednoboje su i nemaju teksturu i stoga je kod njih zabilježena 3 do 4 puta manja promjena boje nego na uzorcima s dekorom hrasta. No, kod ovih je uzoraka promjena mahom negativna, što sugerira intenziviranje plave i zelene boje (koordinate a i b), dok je izbjeljivanje površine nešto slabije izraženo (manje su  $\Delta L$  vrijednosti). U ovom slučaju kod uzoraka tretiranih kroz 24 sata nije zabilježena veća promjena boje u odnosu na uzorke tretirane 2 sata. Štoviše, kod većine je zabilježena manja promjena boje uzoraka tretiranih 24 sata, osim kod uzorka tretiranog nitratnom kiselinom, kod kojeg je zabilježena duplo veća razlika te također i najveća promjena boje kao i kod uzoraka s dekorom hrasta. Ne ubrajajući kiseline, vodikov peroksid je kemikalija koja je ostavila najveće promjene boje na crnom uzorku nakon 2 i nakon 24 sata, što je i razumljivo, jer je površina crna a vodikov peroksid se u nekim slučajevima koristi za izbjeljivanje. Čaj je ponovo kemikalija koja je ostavila veće promjene boje u odnosu na ostale kemikalije. Neke od kemikalija koje su manje promijenile boju crnim uzorcima u odnosu na ostale kemikalije su kava, čarli i natrijev hidroksid (tablica 2).

**Tablica 2.** Promjene boje uzoraka Compact ploča s crnim dekorom

NAKON 2 SATA	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	NAKON 24 SATA	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
čarli	1,13	-0,14	-0,45	1,23	čarli	0,2	0,03	-0,13	0,24
domestos	0,37	-0,17	-0,31	0,51	domestos	1,47	-0,21	-0,62	1,61
kava	-0,73	0,33	-0,13	0,81	kava	-0,59	0,16	-0,2	0,65
čaj	1,9	-0,23	-0,59	2	čaj	1,31	-0,14	-0,59	1,44
voda	1,4	-0,15	-0,51	1,5	voda	1,47	-0,13	-0,34	1,52
sanitar	1,23	-0,16	-0,52	1,35	sanitar	0,45	-0,18	-0,67	0,83
etanol	-1,02	0,26	0,15	1,06	etanol	1,49	-0,17	-0,5	1,58
sulf.kiselina	11,83	-1,16	0,72	11,91	sulf.kiselina	8,1	-0,95	1	8,22
oct.kiselina	2,04	-0,2	-0,61	2,14	oct.kiselina	1,73	-0,22	-0,67	1,87
nitratna kiselina	9,53	-0,34	0,67	9,56	nitratna kiselina	42,63	2,89	12,61	44,55
solna kiselina	1,33	-0,27	-0,68	1,52	solna kiselina	1,49	-0,39	-0,64	1,67
NaOH	0,93	-0,08	-0,33	0,99	NaOH	0,8	-0,16	-0,47	0,94
vodik.peroksid	-2,94	0,4	0,07	2,97	vodik.peroksid	1,96	-0,23	-0,69	2,09
urea	-1,4	0,36	0,44	1,51	urea	1,2	-0,12	-0,45	1,28
voćni sok	1,52	-0,16	-0,55	1,63	voćni sok	0,54	-0,07	-0,26	0,6

### 5.3. Izgled površine Compact ploča prije i nakon izlaganja djelovanju kemikalijama

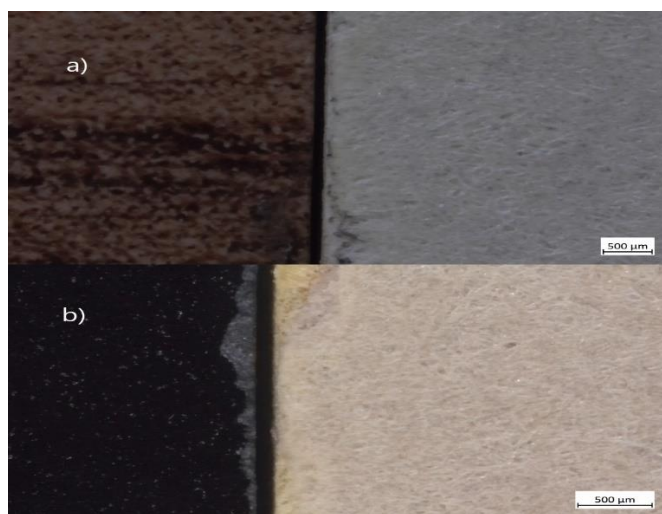
Glavni cilj ovog diplomskog rada je bio utvrditi stanje površine odnosno strukture Compact ploča nakon direktnog kontakta s različitim kemikalijama. Ustanovljeno je

da su neke kiseline ostavile traga i već nakon 2 sata tretiranja doveli površinu do neprepoznatljivosti (slika 28). Kemikalije izuzev kiselina nisu ostavile vidljive tragove na površini ploča, no kolorimetrijska mjerenja sugeriraju drugačije. Kako bi se dobio kompletniji uvid u stanje površine ploča izlaganih djelovanju kemikalija, uzorci su dodatno pregledani optičkim mikroskopom. Pod mikroskop je postavljen jedan ne tretirani uzorak kao referenca, te pored njega uzorak tretiran kemikalijom, kako bi se mogle usporediti površine tretiranog i ne tretiranog uzorka.



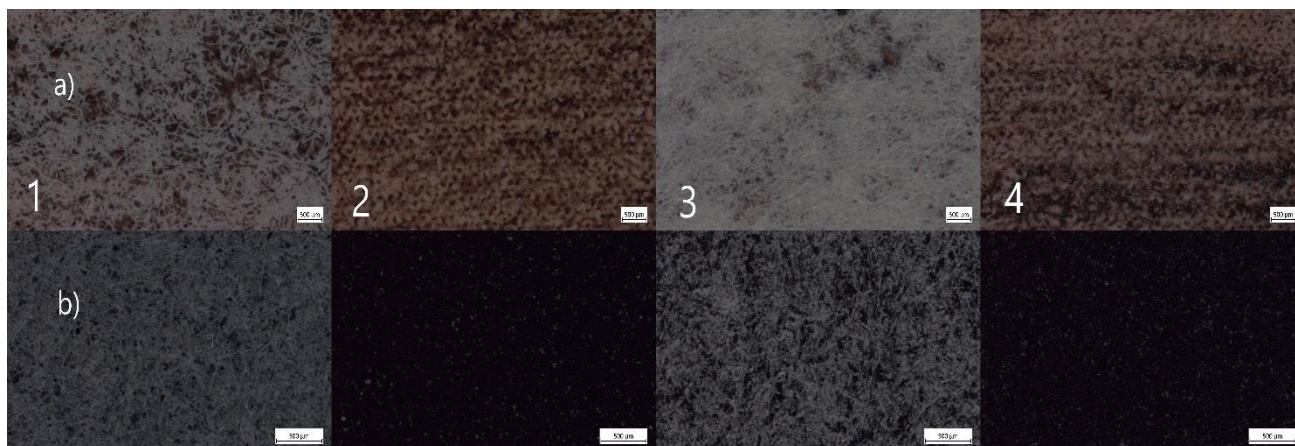
**Slika 28.** Izgled površine Compact ploča (dekor hrasta) tretiranog nitratnom kiselinom kroz 2 sata

Pregledom svih uzoraka pod mikroskopom, najveća promjena površine uočena je kod obje vrste uzoraka tretiranih nitratnom kiselinom kroz 24 sata, gdje je kiselina potpuno uništila površinski sloj, te se vide vlakna kraft papira koji čini jezgru Compact ploče (slika 29).



**Slika 29.** Usporedba površine ne tretiranog i uzorka tretiranog nitratnom kiselinom pod mikroskopom, a) dekor hrasta, b) crni dekor

Općenito, kod svih uzoraka tretiranih kiselinama, osim kod uzoraka tretiranih octenom kiselinom kroz 2 i 24 sata, te kod uzoraka tretiranih solnom kiselinom 2 sata, uočene su velike promjene u izgledu površine (slike 30 i 31).



**Slika 30.** Usporedba površine tretiranih uzoraka Compact ploče kiselinom kroz 2 sata  
a) uzorci s dekorom hrasta b) uzorci s crnim dekorom (1- sulfatna kiselina, 2- octena kiselina,  
3- nitratna kiselina i 4- solna kiselina)



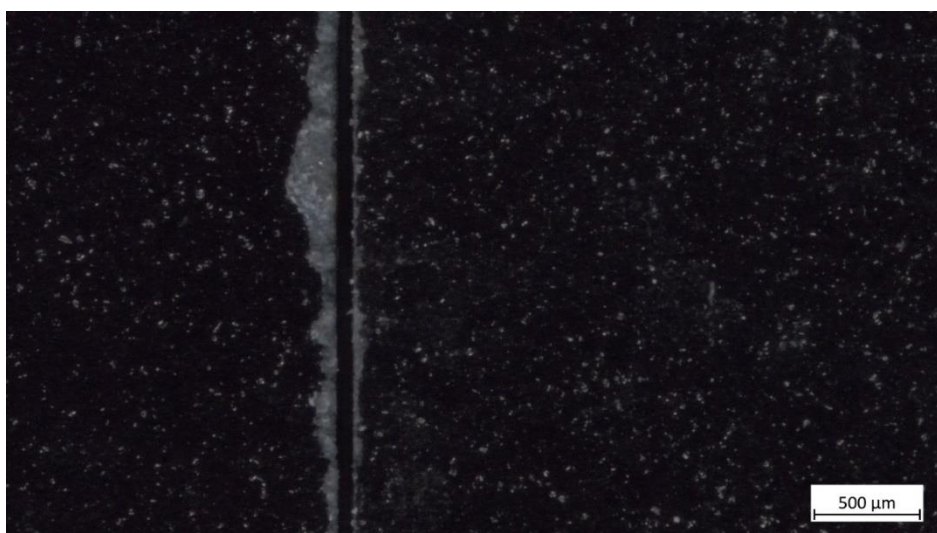
**Slika 31.** Usporedba površine tretiranih uzoraka Compact ploče kiselinom kroz 24 sata  
a) uzorci s dekorom hrasta b) uzorci s crnim dekorom (1- sulfatna kiselina, 2- octena kiselina,  
3- nitratna kiselina i 4- solna kiselina)

S obzirom da uzorci s dekorom hrasta imaju svoju teksturu i dominantno su smeđe boje, bilo je nemoguće odrediti bilo kakve promjene na tretiranim uzorcima ostalim kemikalijama, čak niti na uzorku tretiranom čajem koji je pokazao najveće promjene boje (kolorimetrijski), ne ubrajajući kiseline (slika 32).



**Slika 32.** Usporedba površine ne tretiranog (lijevo) i uzorka tretiranog čajem (desno)

Iako je za Compact ploče s crnim dekorom utvrđeno da su otpornije te da su površinske promjene bile manje nego na uzorcima ploča s dekorom hrasta, ipak su tragovi ostalih kemikalija bili vidljiviji pod mikroskopom. Na uzorcima s crnim dekorom tretiranim ostalim kemikalijama izuzev kiselina, gdje je kolorimetrijski zabilježena malo veća promjene boje, vidljivija je svjetlija nijansa crne- boje pod mikroskopom u odnosu na ne tretirani uzorak. Takva promjena za tako kratko vrijeme tretiranja, kao što je 2 ili 24 sata, vidljiva je ponajviše na uzorku tretiranom vodikovim peroksidom (slika 33).



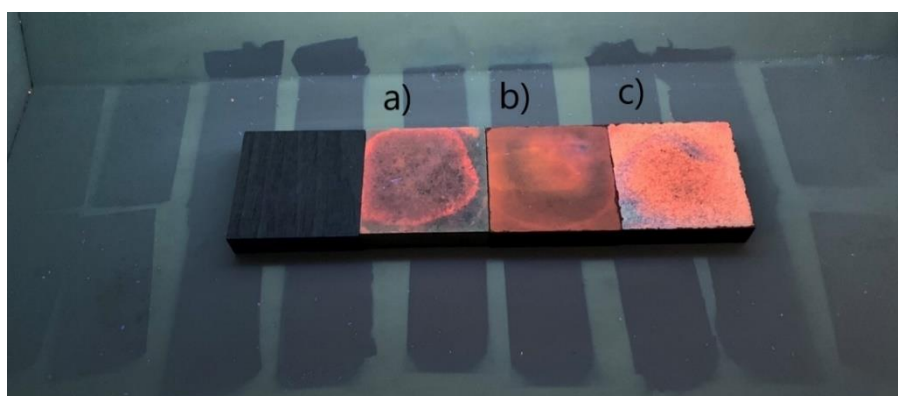
**Slika 33.** Usporedba površine ne tretiranog (lijevo) i uzorka tretiranog vodikovim peroksidom (desno)



## 5.4. Tvrdoća površine Compact ploča

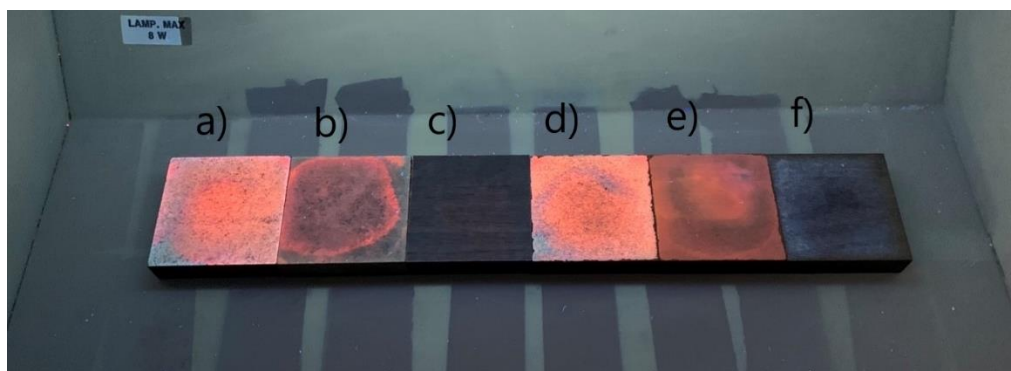
Najvažnija među uporabnim osobinama nekog materijala uključujući i Compact ploče je upravo njihova tvrdoća. Tvrdoća u suštini znači otpornost materijala na utiskivanje drugog, tvrdog materijala. Snažno je povezana s otpornošću na pucanje i druga oštećenja površine. Radi velike raznolikosti materijala, u znanosti se rabe različite ljestvice tvrdoće te mjerne i ispitne metode. Tako je jedna od ispitne metode i ovdje korišten 10-minutni 4N HCl test (slika 34), koji ima svoju ljestvicu tvrdoće od 1 do 5; gdje je:

- 1- Bez promjena na površini, nikakvo obojenje
- 2- Lagano nagrivanje smole kod sjaja površine, lagano mjestimično obojenje
- 3- Nagrivanje smole s laganim ili mjestimičnim sjajem, jače obojenje na površini
- 4- Nagrivanje smole bez sjaja, jako obojenje
- 5- Jako nagrivanje s hrapavom, mutnom, jako obojenom površinom



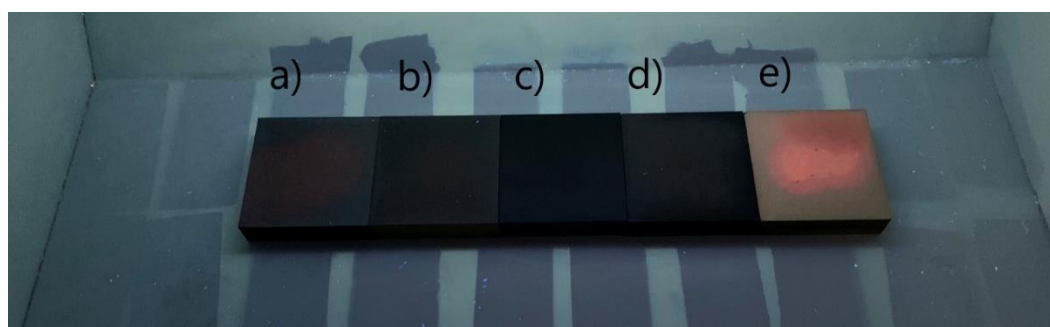
**Slika 34.** Uzorci Compact ploča s dekorom hrasta sa slabijim ocjenama tvrdoće u odnosu na ne tretirani uzorak (lijevo): a) uzorak tretiran sulfatnom kiselinom kroz 2 sata, b) uzorak tretiran sulfatnom kiselinom kroz 24 sata i c) uzorak tretiran nitratnom kiselinom kroz 24 sata

Ispitivanje tvrdoće površine uzoraka Compact ploča s dekorom hrasta (slika 35) uzoraka pokazalo je, da se pod ocjenu 2 na ljestvici tvrdoće ubraja uzorak tretiran sanitarnom 24 sata, ocjenu 3 uzorak tretiran solnom kiselinom 24 sata, ocjenu 4 uzorci tretirani sulfatnom kiselinom (2 i 24 sata) dok pod ocjenu 5 uzorci tretirani nitratnom kiselinom (2 i 24 sata).



**Slika 35.** Uzorci Compact ploča s dekorom hrasta: a) uzorak tretiran nitratnom kiselinom 2 sata, b) uzorak tretiran sulfatnom kiselinom 2 sata, c) uzorak tretiran sanitarnom 24 sata, d) uzorak tretiran nitratnom kiselinom 24 sata, e) uzorak tretiran sulfatnom kiselinom 24 sata i f) uzorak tretiran solnom kiselinom 24 sata

Uzorci Compact ploča s crnim dekorom su ponovo pokazali nešto bolje rezultate te se tako pod ocjenu 2 ubrajaju, uzorak tretiran nitratnom kiselinom 2 sata i uzorak tretiran čarlijem 24 sata, ocjenu 3 se ubrajaju uzorci tretirani sulfatnom kiselinom (2 i 24 sata), ocjenu 4 se ne ubraja niti jedan uzorak, te pod ocjenu 5 se ubraja uzorak tretiran nitratnom kiselinom 24 sata (slika 36). Iako je uzorak tretiran čarlijem 24 sata, pokazao minimalne promjene boje površine mjerene kolorimetrom, te neprimjetne promjene na površini gledajući mikroskopom ili golim okom, ipak je pokazao smanjenje tvrdoće. Isto se dogodilo i kod uzoraka s dekorom hrasta gdje je smanjenje tvrdoće pokazao uzorak tretiran sanitarnom kroz 24 sata.



**Slika 36.** Uzorci Compact ploča s crnim dekorom: a) uzorak tretiran sulfatnom kiselinom 2 sata, b) uzorak tretiran nitratnom kiselinom 2 sata, c) uzorak tretiran čarlijem 24 sata, d) uzorak tretiran sulfatnom kiselinom 24 sata, e) uzorak tretiran nitratnom kiselinom 24 sata

## 6. RASPRAVA

Poznavanje stanja površine Compact ploča nakon kontakta s nizom različitih kemikalija je korisno jer su to materijali koji u uporabi često dolaze u kontakt s kemikalijama. Iako se radi o materijalu kojega veliki broj listova kraft papira impregniranog fenol-formaldehidnom smolom i dva dekorativna sloja papira impregniranih melamin-formaldehidnom smolom čine vrlo izdržljivim materijalom, otpornost površine Compact ploča djelovanju kemikalija slabija im je karakteristika. Ovim radom ispitana je otpornost površine Compact ploča djelovanju kemikalija.

Osim na površinu materijala, kemikalije mogu utjecati i na druga svojstva kao što su na primjer fizikalno-mehanička svojstva, što se i pokazalo u prvom dijelu ispitivanja. Uzorcima Compact ploča izmjerena je gustoća prije i nakon tretiranja kemikalijama, što je rezultiralo određenim promjenama. Nakon 2 sata tretiranja kemikalijama, rezultati promjene gustoće su oscilirali te se nije mogao donijeti određeni zaključak. Nakon 24 sata tretiranja bilo je vidljivo da se uzorcima tretiranim kiselinama smanjila gustoća što se podrazumijevalo jer je kiselina nagrizala površinu ploča te tako smanjila njihovu masu, dok se gustoća uzoraka tretiranih ostalim kemikalijama koje nisu bile kiseline, povećala. Iako su samo na uzorcima tretiranim kiselinama bile okom vidljive promjene boje, mjerenjem promjene boje kolorimetrom, pokazalo se da je određenih promjena bilo i na uzorcima tretiranim ostalim kemikalijama. Prikazom stanja površine mikroskopom, značajne promjene uočene su samo na uzorcima tretiranim nekim kiselinama. U zadnjoj fazi istraživanja, ispitana je promjena tvrdoće tretiranih materijala. Uzorci tretirani sulfatnom, nitratnom i solnom kiselinom pokazali su najveće smanjenje tvrdoće, što se i moglo očekivati. Naime, neočekivane rezultate pokazali su uzorci ploča s dekorom hrasta tretirani sanitarnom kroz 24 sata i uzorak ploča s crnim dekorom tretiran čarlijem kroz 24 sata. Ova dva uzorka nisu pokazala značajnije promjene niti u jednom ispitivanju ovog istraživanja, međutim pokazali su određeno smanjenje tvrdoće. Općenito, kiseline su pokazale najveće promjene prilikom svakog ispitivanja, pogotovo nitratna kiselina. Od dvije vrste ispitanih uzoraka, veću otpornost površine pokazali su uzorci s crnim dekorom, no na njima se vide veće promjene na površini gledajući mikroskopom.

Iako istraživanja na temu otpornosti površine Compact ploča (odnosno HPL) na kemikalije ima jako malo, bilo bi zanimljivo napraviti duža i opširnija istraživanja na

ovu temu gdje će se realnije i preciznije prikazati stanje površine ploča nakon djelovanja kemikalija.



## 7. ZAKLJUČAK

Analizom otpornosti površine Compact ploča na djelovanje kemikalija, te na temelju dobivenih rezultata, možemo iznijeti sljedeće zaključke:

- Otpornost površine Compact ploča na djelovanje određenih kiselina je mala, te kiseline razaraju dekorativni sloj i tako smanjuju gustoću ovih ploča,
- Compact ploča s crnim dekorativnim slojem ima otporniju površinu na djelovanje kemikalija od ploče svjetlijeg dekorativnog sloja,
- Što je Compact ploča duže pod utjecajem kemikalije, boja površine ploče će se više promijeniti,
- Čak i kratkotrajno djelovanje kiselina, kao što je period od 2 sata, na površinu Compact ploče, može drastično smanjiti tvrdoću ploče,
- Octena kiselina nema značajan utjecaj na površinu Compact ploča, i ne mijenja značajno boju površini, za razliku od ostalih ispitanih kiselina (nitratna, solna i sulfatna kiselina).

## 8. LITERATURA

1. Albin R., Dusil F., Feigel R., Froelich H. H., Funke J. H., 1991: Grundlagen des Möbel-und Innenausbau, DRW - Verlag, Stuttgart: pp. 78.
2. Angelski D., Mihailov V., 2017: The influence of various types of adhesive on the adhesion strength between bonded HPL and furniture boards. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Forestry and Wood Technology* 98:5-10.
3. Conner A.H., 2001: Wood : adhesives. *Encyclopedia of materials : science and technology*. Elsevier Science Ltd., Amsterdam; New York, pp. 9583-9599.
4. Kaelble D. H., 1964: Theory and analysis of peel adhesion: rate-temperature dependence of viscoelastic interlayers. *Journal of Colloid Science*, 19: 413–424.
5. Knop A., Scheib W., 1979: Chemistry and Application of Phenolic Resins, *Book of Polymers - Properties and Applications*, Springer Berlin – Heidelberg
6. Landrock A. H., Ebnesajjad S., 2008: *Adhesives Technology Handbook*. William Andrew - Technology & Engineering, 475 p.
7. Liška P, Nečasová B., Šlanhofa J., Šimáčková M., 2015: Determination of tensile properties of selected building sealants in combination with High-pressure Compact Laminate (HPL). *Procedia Engineering*, 108:199-205.
8. Magina S., D. Santos M., Ferra J, Cruz P., Portugal I., Evtuguin D., 2016: High Pressure Laminates with Antimicrobial Properties. *Materials*, 9:100.
9. Pizzi A., Ibeh C. C., 2014: 4- Aminos, *Handbook of Thermoset Plastics (Third Edition)*. Elsevier Inc., pp. 75-91.
10. Silva L. F. M., Ochsner A., Adams R. D., 2011: *Theories of Fundamental Adhesion*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, 1543 p.
11. Thébault M., Kandelbauer A., Zikulnig-Rusch E., Putz R, Jury S, Eicher I., 2018: Impact of phenolic resin preparation on its properties and its penetration behavior in Kraft paper, *European Polymer Journal*
12. Thébault M., Li Y., Beuc C., Frömel-Frybort S., Zikulnig-Rusch E-M., Kutuzova L., Kandelbauer A., 2020: Impregnated Paper-Based Decorative Laminates Prepared from Lignin-Substituted Phenolic Resins, *Journal of Renewable Materials*, 8(10): 1181-1198.

13. Zosel A., 1991: Effect of cross-linking on tack and peel strength of polymers. The Journal of Adhesion, 34: 201-209.
14. \*\*\* Technical Leaflet: ICDLI - International Committee of the Decorative Laminates Industry, 2015: Technical characteristics and physical properties of HPL - Bruxelles.
15. \*\*\* <https://lemarkllc.ru/> (pristupljeno: 04.09.2023.)
16. \*\*\* <https://kiaansanat.com/en/> (pristupljeno:10.09.2023.)