

Svojstva ploča iverica izrađenih primjenom veziva na bazi saharoze i limunske kiseline

Jelovčić, Jakov

Undergraduate thesis / Završni 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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:043633>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-02**



Repository / Repozitorij:

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



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

**PREDDIPLOMSKI STUDIJ
DRVNA TEHNOLOGIJA**

JAKOV JELOVČIĆ

**SVOJSTVA PLOČA IVERICA IZRAĐENIH PRIMJENOM VEZIVA NA
BAZI SAHAROZE I LIMUNSKKE KISELINE**

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, RUJAN 2022.

PODACI O ZAVRŠNOM RADU

| | |
|--------------------------------|--|
| AUTOR: | Jakov Jelovčić 22. 3. 2000., Zagreb, Hrvatska 0068234030 |
| NASLOV: | Svojstva ploča iverica izrađenih primjenom veziva na bazi saharoze i limunske kiseline |
| TITLE: | Properties of particleboards produced using adhesive based made from sucrose and citric acid |
| PREDMET: | Ploče od usitnjenog drva |
| MENTOR: | Doc. dr. sc. Nikola Španić |
| IZRADU RADA JE POMOGAO: | - |
| RAD JE IZRAĐEN: | Sveučilište u Zagrebu – Fakultet šumarstva i drvene tehnologije Zavod za tehnologije materijala |
| AKAD. GOD.: | 2021./2022. |
| DATUM OBRANE: | 23. 9. 2022. |
| RAD SADRŽI: | Stranica: 35 Slika: 34 Tablica: 11 Navoda literature: 10 |
| SAŽETAK: | <p>U proizvodnji ploča iverica kao glavna sirovina za ljepilo koriste se produkti petrokemijske industrije. Iako se takvim ljepilima postižu iznimna fizikalna i mehanička svojstva ploča iverica, u današnje vrijeme ta sirovina ne zadovoljava ekološke standarde, stoga se nastoje pronaći adekvatna zamjenska sirovina koja bi zadovoljila i ekološke standarde ali i mehaničke i fizikalne prohtjeve. Kao jedno od rješenja nameću se ploče iverice izrađene adhezivom na bazi limunske kiseline i saharoze. Budući da je ta sirovina još u fazi istraživanja i u literaturi postoji relativno mali broj podataka koji govore o mogućnosti uporabe te sirovine kao adekvatne zamjene klasičnim ljepilima, u sklopu ovog završnog rada izradile su se i ispitale (fizikalna i mehanička svojstva) eksperimentalne ploče iverice izrađene uporabom adheziva na bazi limunske kiseline i saharoze. Uzorci izrađenih ploča ispitivani su u skladu s odrednicama HRN EN normi. Rezultati istraživanja pokazali su da svojstva ploča uvelike ovise o dimenzijama osnovne sirovine (drvnog iverja), koja diktira i proizvedenu gustoću ploča a o čemu izravno ovise i mehanička svojstva ploča. Ipak, rezultati ispitivanja sugeriraju da je primjena ovakve vrste adheziva potencijalno jako dobro industrijsko rješenje za zamjenu smola na formaldehidnoj osnovi.</p> |

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

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

U Zagrebu, 23.9.2022. godine

vlastoručni potpis

Jakov Jelovčić

SADRŽAJ

| | |
|--|-----------|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. CILJ RADA | 2 |
| 3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA | 3 |
| 3.1. OSNOVNE INFORMACIJE O PLOČAMA IVERICAMA | 3 |
| 3.2. ISPITIVANJE UTJECAJA RAZLIČITIH OMJERA LIMUNSKKE KISELINE I SAHAROZE TE UDJELA ADHEZIVA NA SVOJSTVA PLOČA | 4 |
| 3.3. ISPITIVANJE UTJECAJA TEMPERATURE PREŠANJA I GUSTOĆE PLOČE NA SVOJSTVA PLOČA..... | 9 |
| 4. MATERIJALI I METODE RADA | 12 |
| 4.1. ODABIRI SIROVINE ZA IZRADU EKSPERIMENTALNIH PLOČA | 12 |
| 4.1.1. <i>Dobivanje iverja</i> | 12 |
| 4.1.2. <i>Priprema adheziva</i> | 13 |
| 4.2. IZRADA EKSPERIMENTALNIH PLOČA | 13 |
| 4.3. ISPITIVANJE EKSPERIMENTALNIH PLOČA | 16 |
| 4.3.1. <i>Utvrđivanje fizikalnih svojstava ploča</i> | 16 |
| 4.3.1.1. Određivanje dimenzija ispitanih uzorka..... | 16 |
| 4.3.1.2. Određivanje gustoće i sadržaja vode ispitnih uzoraka | 17 |
| 4.3.1.3. Ispitivanje debljinskog bubrenja i upijanja vode | 18 |
| 4.3.2. <i>Ispitivanje mehaničkih svojstava eksperimentalnih ploča</i> | 20 |
| 4.3.2.1. Utvrđivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti savojne čvrstoće. 20 | |
| 4.3.2.2. Utvrđivanje vlačne čvrstoće okomito na površinu uzorka (čvrstoće na raslojavanje) | 21 |
| 4.4. DEFINIRANJE TEHNIČKIH SVOJSTAVA PLOČA IVERICA | 22 |
| 5. REZULTATI | 24 |
| 5.1. DEBLJINA | 24 |
| 5.2. GUSTOĆA..... | 25 |
| 5.3. SADRŽAJ VODE | 26 |
| 5.4. DEBLJINSKO BUBRENJE - 2 SATA..... | 27 |
| 5.5. APSOLUTNO UPIJANJE VODE..... | 28 |
| 5.6. RELATIVNO UPIJANJE VODE | 29 |
| 5.7. SAVOJNA ČVRSTOĆA | 30 |
| 5.8. MODUL ELASTIČNOSTI SAVOJNE ČVRSTOĆE | 31 |
| 5.9. VLAČNA ČVRSTOĆA OKOMITO NA POVRŠINU..... | 32 |
| 6. ZAKLJUČAK | 34 |
| 7. LITERATURA | 35 |

1. UVOD

Nalazimo se u vremenu kada u svijet sve više raste svijest o ekologiji. Razvoj drvne industrije i porast potražnje za proizvodima iz iste nameće problem osiguravanja ekološki prihvatljivih i održivih izvora sirovine. Tako je i u drvnoj industriji razvijen trend korištenja kompozitnih drvenih materijala kao zamjena za ploče izrađene od masivnog drva.

Od tih kompozitnih materijala najveći udio otpada na ploče iverice koje se najviše koriste u opremanju interijera. Ploče iverice prednjače na tržištu zbog relativno niske cijene u odnosu na ostale kompozitne materijale te mehaničkim i fizikalnim svojstvima koja zadovoljavaju određene tražene parametre. Velikoj primjeni pridonosi i činjenica da se kao drvena sirovina za njihovu proizvodnju može koristiti usitnjeni neuporabljivi ostaci iz drvne prerade te reciklirani drveni proizvodi.

Kao glavne sirovine u proizvodnji ploča iverica koriste se usitnjena drvena sirovina i adhezivi na bazi sintetskih smola (kao što su karbamid-formaldehidna, fenol-formaldehidna, melamin-formaldehidna smola...). Tu se pojavljuje problem sintetskih smola koje su produkt petrokemijske industrije jer one ne zadovoljavaju „zelene“ standarde pa se pokušavaju naći adekvatne ekološki prihvatljivije vezivne komponente koje će mehaničkim i fizikalnim svojstvima moći parirati za sada standardnim sintetskim smolama (Jambreković, 2004).

Jedno od mogućih rješenja je vezivo izrađeno na bazi saharoze i limunske kiseline. Limunska kiselina je organska polikarboksilna kiselina koja se može pronaći u nekim vrstama voća (agrumi). Saharoza je disaharid izgrađen od glukoze i fruktoze. To su dvije ekološki prihvatljive komponente koje cijenom mogu parirati produktima petrokemijske industrije, te njihovim možemo dobiti vezivo jako dobrih svojstava.

Kako bi se odredilo u kojoj mjeri je ta kombinacija dostojna zamjena sintetskim smolama potrebno je jednu takvu ploču izrađenu pomoću adheziva na bazi limunske kiseline i saharoze ispitati na određena svojstva kako bi se vidjelo zadovoljava li takva ploča standardne fizikalno-mehaničke zahtjeve.

2. CILJ RADA

Cilj ovog rada je izraditi dvije jednoslojne ploče iverice te ispitati i usporediti njihova svojstva sa standardnim industrijskim pločama. Ploče će biti izrađene od usitnjene jelovine (jedna krupnije, a druga sitnije iverje) i adheziva na bazi limunske kiseline i saharoze u omjeru 25:75. U radu će biti i osvrt na druge radove i prethodna istraživanja na ovu temu kako bi mogli usporediti eksperimentalno dobivene rezultate s rezultatima tih istraživanja. Rad će biti realiziran kroz sljedeće radnje:

- priprema sirovine (iverja i adheziva)
- izrada ploča iverica
- krojenje uzoraka za ispitivanje na dimenzije 50 × 50 mm,
- ispitivanje i mjerenje fizikalnih svojstva ploča,
- ispitivanje i mjerenje mehaničkih svojstva ploča,
- analiza i obrada podataka dobivenih provedenim eksperimentom,
- donošenje zaključaka.

3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

3.1. Osnovne informacije o pločama ivericama

U ovom radu izrađivala se jednoslojna ploča iverica, stoga će se u nastavku teksta navesti osnovni pojmovi vezani uz ploče od usitnjenog drva.

Postoji osnovna podjela ploča od usitnjenog drva na ploče iverice i ploče vlaknatice. Razlikuju se po materijalu iz kojeg su izrađene. Ploče iverice izrađuju se od usitnjenog drva (iverja) ili nekih drugih lignoceluloznih sirovina, a kao vezivno sredstvo se koristi lijepilo na bazi sintetskih ili prirodnih smola pri djelovanju tlaka i temperature. Ploče vlaknatice se pak izrađuju od drvnih vlaknaca (ili nekih drugih lignoceluloznih tvari) međusobno isprepletenih tako da formiraju tepih, formiraju se zagrijavanjem sa ili bez prisustva tlaka te uz dodatak vezivnih komponenti ili drugih tvari (Jambrekočić, 2004).

Od svih drvnih ploča, ploče od usitnjenog drva smatraju se najmanje zahtjevnima upravo zbog osnovne sirovine u njihovoj izradi. Za osnovnu sirovinu mogu se upotrijebiti gotovo svi oblici lignoceluloznih sirovina kao što su šumski drvni sortimenti bez tehničke vrijednosti (panjevina, granjevina, metrica...), industrijski ostaci drva (drvni ostaci iz primarne i doradne obrade drva i sl.) te reciklirani drvni materijal (neupotrebljivi namještaj i sl.) (Jambrekočić, 2004).

Za proizvodnju kvalitetnog iverja najpovoljniji su šumski sortimenti metrice i višemetrice. Što se tiče vrste drva, najpovoljnije su četinjače jer se njihovim korištenjem postižu najbolja fizikalno-morfološka svojstva iverja (Jambrekočić, 2004).

Brojna poželjna obilježja čine ploče iverice najzastupljenijim drvnim pločama u svjetskom bazenu pločastih materijala. Neka od tih obilježja su velika sirovinaska baza, relativno jeftina sirovina, korištenje jeftinih sintetskih adheziva (KF), jako dobra svojstva za korištenje u interijeru, ali i mogućnost korištenja u građevini, kao i relativno niska cijena u usporedbi s ostalim pločastim materijalima (Jambrekočić, 2004).

Postoji više vrsta ploča iverica, a neke od osnovnih podjela su prema dimenzijama iverja, načinu formiranja i prešanja drvnog iverja, strukturi presjeka te gustoći same ploče (Jambrekočić, 2004).

S obzirom na dimenzije iverja razlikujemo ploče s mikro iverjem (iverje s maksimalnim dimenzijama: duljina <30 mm, širina <10 mm, debljina <0,5 mm) i ploče s makro iverjem (iverje dimenzija: duljina >200 mm, širina <100 mm, debljina <0,8 mm) (Jambrekočić, 2004).

Prema načinu formiranja i prešanja drvnog iverja postoje:

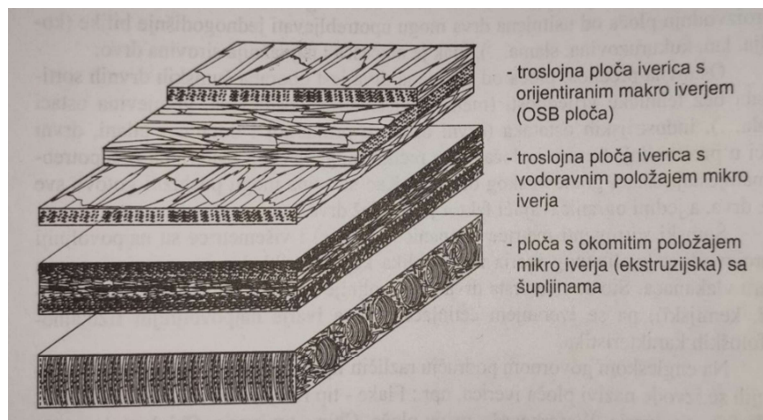
- ploče s vodoravnim položajem iverja
- ploče s okomitim položajem iverja
- ploče s vodoravnim položajem iverja, orijentiranim približno okomito ili približno vodoravno smjeru proizvodnje (sl. 1) (Jambrekočić, 2004).

Ako promatramo gustoću ploče iverice, one se dijele na:

- lake ploče (gustoća do 0,500 g/m³)

- srednje teške ploče (gustoća od 0,500 do 0,800 g/m³)
- teške ploče (gustoća iznad 0,800 g/m³) (Jambreković, 2004).

Kada se gleda struktura presjeka, postoje jednoslojne, troslojne, višeslojne ploče iverice te ploče iverice s postupnim prijelazom strukture presjeka.



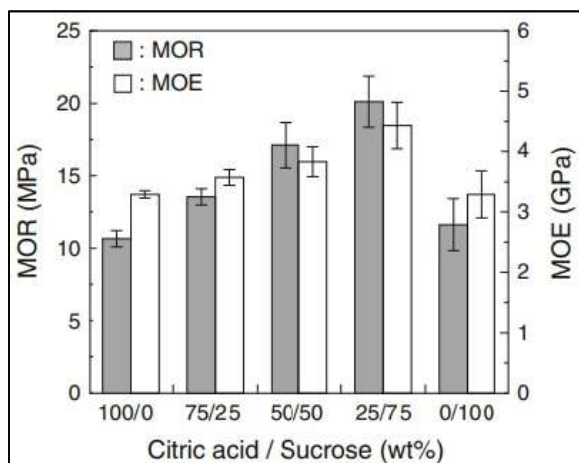
Slika 1. Sheme osnovnih vrsta ploča iverica (Izvor: Jambreković, 2004)

3.2. Ispitivanje utjecaja različitih omjera limunske kiseline i saharoze te udjela adheziva na svojstva ploča

Umemura i dr. (2013) u svome su istraživanju ispitali uporabu u novog adheziva na bazi limunske kiseline i saharoze u izradi ploča iverica. Cilj im je bio ispitati mogućnost korištenja novog adheziva te njegovu učinkovitost u usporedbi s uobičajenim industrijskim pločama. Kao osnovnu sirovinu koristili su reciklirano drvo, uglavnom četinjača, usitnjeno i prosijano. Koristili su iverje koje je prošlo kroz sita s promjerima otvora između 5,9 mm i 0,9 mm. Iverje su prosušili 12 sati u sušioniku na temperaturi od 80°C. Limunsku kiselinu i saharozu su otapali u vodi u različitim omjerima kako bi dobili 59 %-tnu otopinu. Iskušali su pet različitih omjera limunske kiseline i saharoze: 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 i 0/100. Iverje su pomiješali s napravljenim ljepilom u miješalici te od toga formirali tepih. Sadržaj vode u ivernom tepihu bio je između 10 % i 12 %. Ivorni tepih prešan je u vrućoj preši 10 minuta na 200 °C. Na kraju su dobili ploče dimenzija 300 x 300 x 9 mm prosječne gustoće 0,8 g/cm³. Ploče su zatim kondicionirane tjedan dana na 20 °C. Na kraju su ploče prekrójili na manje uzorke te ih podvrgnuli testiranjima. Ocjenjivane su prema JIS A 5908, 2003 (Japanese Industrial Standard for particleboard).

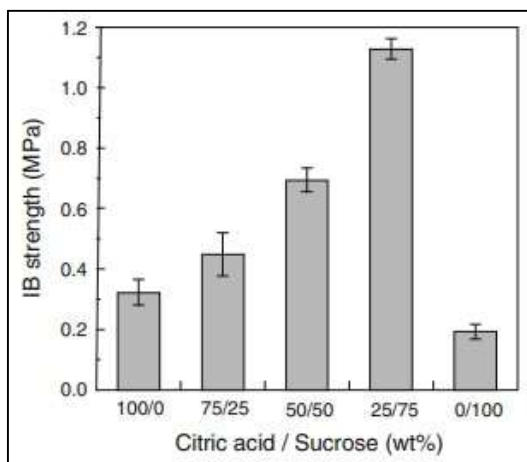
Prvo je ispitivana savojna čvrstoća i modul elastičnosti. Pri koncentraciji 100/0 (limunska kiselina/saharozna) savojna čvrstoća i modul elastičnosti bili su najmanji, ali se uvidjelo da i limunska kiselina sama za sebe može postići određena vezivna svojstva. Kako se omjer mijenjao, odnosno kako se udio saharoze povećavao, tako su i mjerene vrijednosti rasle. Pri omjeru 25/75 (limunska kiselina/saharozna) savojna čvrstoća i modul elastičnosti zaprimili su najviše vrijednosti. Kada je koncentracija bila 0/100 (limunska kiselina/saharozna) vrijednosti su bile slične kao i kod omjera 100/0. Vrijednosti pri koncentraciji 25/75 (limunska kiselina/saharozna) bile su najviše

i one su zadovoljavale standard norme JIS A 5908 za ploču tip 18 (Umemura i dr., 2013). Grafički prikaz ovih rezultata vidljiv je na Slici 2.



Slika 2. Utjecaj omjera limunska kiselina/saharozna na savojnu čvrstoću i modul elastičnosti (Izvor: Umemura i dr., 2013)

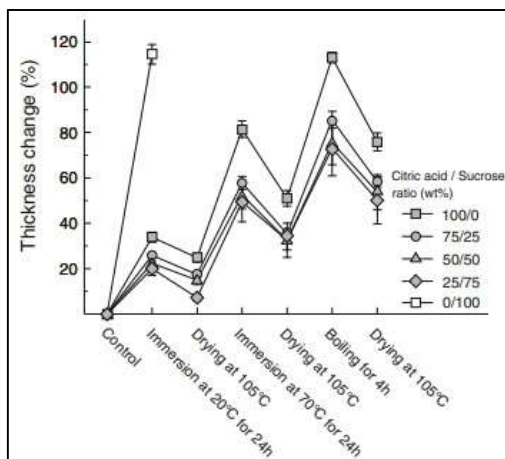
Vlačna čvrstoća okomito na površinu ispitivana je za iste omjere. I ovdje je vidljiv trend porasta vrijednosti s povećanjem udjela saharoze. Tu je također pri omjeru 25/75 (limunska kiselina/saharozna) vlačna čvrstoća bila najveća i ona je zadovoljavala standard norme JIS A 5908 za ploču tip 18 (Umemura i dr., 2013). Grafički prikaz ovih rezultata prikazan je na Slici 3.



Slika 3. Utjecaj omjera limunska kiselina/saharozna na vlačnu čvrstoću okomito na površinu ploče (Izvor: Umemura i dr., 2013)

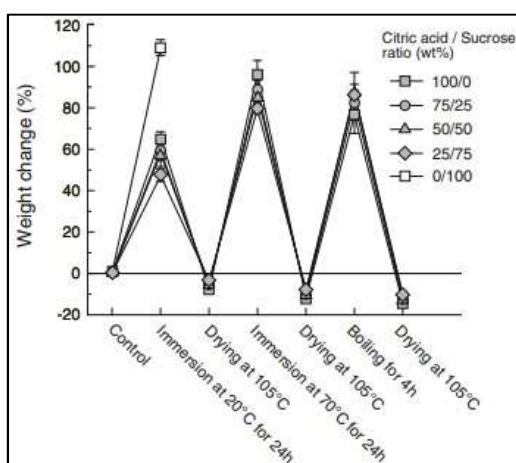
Debljinsko bubrenje ispitivano je uranjanjem 24 sata na temperaturi 20 °C. I ovdje je prisutan trend poboljšanja rezultata s povećanjem udjela saharoze. Prilikom korištenja samo limunske kiseline (omjer 100/0) vrijednost bubrenja je bila jako velika, a prilikom korištenja samo saharoze kao veziva (0/100) vrijednost je bila daleko najveća i prelazila 100 %. Kao i u prethodna dva slučaja, i kod bubrenja su

najpovoljniju vrijednost izmjerili pri omjeru 25/75. Napravljen je i ciklički test ubrzanog starenja a trend je i tu bio isti s najpovoljnijim rezultatima pri omjeru 25/75 (limunska kiselina/saharoza) (Umemura i dr., 2013). Grafički prikaz rezultata ovog dijela istraživanja vidljiv je na Slici 4.



Slika 4. Utjecaj omjera limunska kiselina/saharoza na debljinsko bubrenje (Izvor: Umemura i dr., 2013)

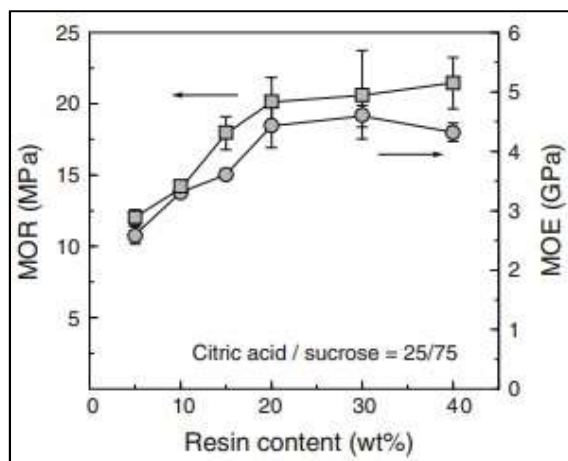
Upijanje vode ispitivano je cikličkim eksperimentom te je i tu ustanovljen trend poboljšanja karakteristika s povećanjem udjela saharoze. Najniže odnosno najpovoljnije vrijednosti ni ovdje nisu odstupale od prijašnjih mjerenje te su izmjerene pri omjeru 25/75 (limunska kiselina/saharoza), što je vidljivo i na Slici 5 (Umemura i dr., 2013).



Slika 5. Utjecaj omjera limunska kiselina/saharoza na upijanje vode (Izvor: Umemura i dr., 2013)

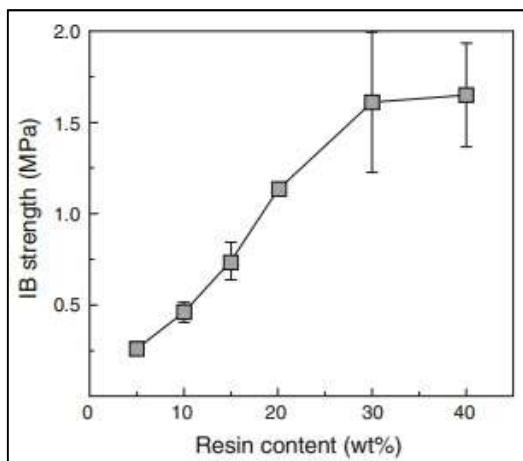
Ispitivana su i svojstva ploča s obzirom na udio sadržaja adheziva u ploči. S povećanjem udjela adheziva od 0 % do 40 % zabilježeno je poboljšanje svojstava ploča (Umemura i dr., 2013).

Kod savojne čvrstoće i modula elastičnosti vrijednosti znatno rastu s porastom udjela u rasponu do 20 %. Nakon 20% pa sve do 40 % udjela, vrijednosti su neznatno porasle. Najveću vrijednost savojne čvrstoće izmjerili su pri udjelu adheziva od 40 %, dok je najveći modul elastičnosti dobiven pri udjelu adheziva od 30 % (Umemura i dr., 2013). Grafički prikaz dobivenih rezultata nalazi se na Slici 6.



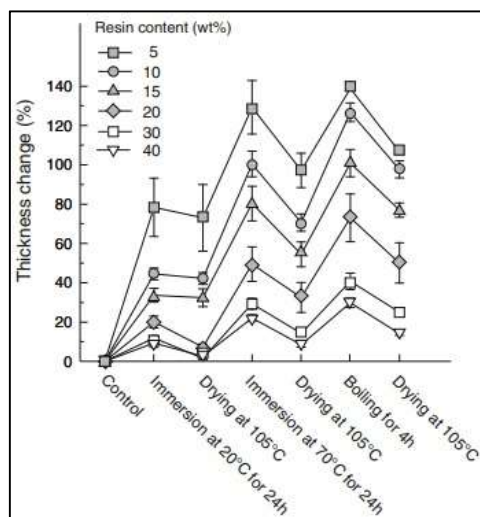
Slika 6. Utjecaj udjela adheziva na savojnu čvrstoću i modul elastičnosti (Izvor: Umemura i dr., 2013)

Vlačna čvrstoća imala je sličan trend. Tu se vrijednosti približno linearno povećavaju do 30 % udjela, a nakon toga je povećanje vrijednosti do 40 % udjela jako malo (Umemura i dr., 2013), što je vidljivo i na Slici 7.



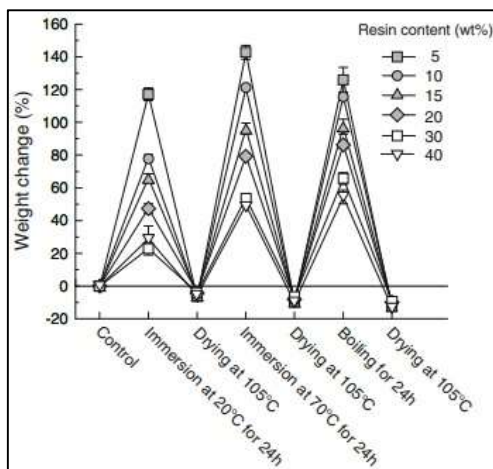
Slika 7. Utjecaj udjela adheziva na vlačnu čvrstoću (Izvor: Umemura i dr. 2013)

Debljinsko bubrenje ispitivano je cikličkim testom. Kao i u prethodna dva slučaja, istaknuo se trend poboljšanja svojstava s povećanjem udjela adheziva. Vrijednosti do 30 % udjela adheziva se linearno smanjuju, dok su vrijednosti za 30 i 40 % udjela adheziva jako slične (Umemura i dr., 2013). Ovi rezultati grafički su prikazani na Slici 8.



Slika 8. Utjecaj udjela adheziva na debljinsko bubrenje (Izvor: Umemura i dr. 2013)

Kao i kod ostalih vrijednosti, i kod upijanja vode karakteristike dobivene cikličkim ispitivanjem poboljšavaju se s povećanjem udjela adheziva. Tako su se vrijednosti upijanja vode smanjivale približno linearno s povećanjem udjela do 30 %, a vrijednosti između 30 i 40 % udjela se neznatno razlikuju (Umemura i dr., 2013), kako je prikazano i na Slici 9.



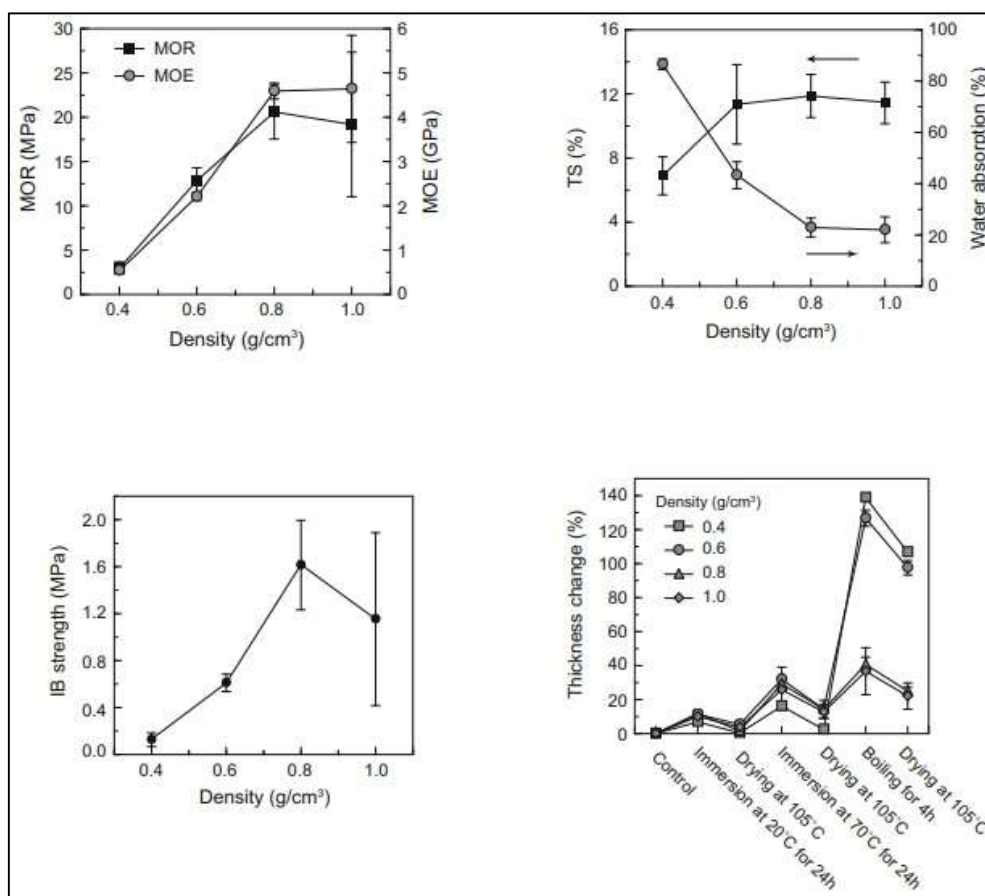
Slika 9. Utjecaj udjela adheziva na upijanje vode (Izvor: Umemura i dr. 2013)

Na temelju dobivenih rezultata, Umemura i dr. (2013) su zaključili da će ploče iverice izrađene s vezivom na bazi limunske kiseline i saharoze najbolja svojstva postizati kada će omjer limunske kiseline i saharoze iznositi 25/75, a udio adheziva biti 30 %.

3.3. Ispitivanje utjecaja temperature prešanja i gustoće ploče na svojstva ploča

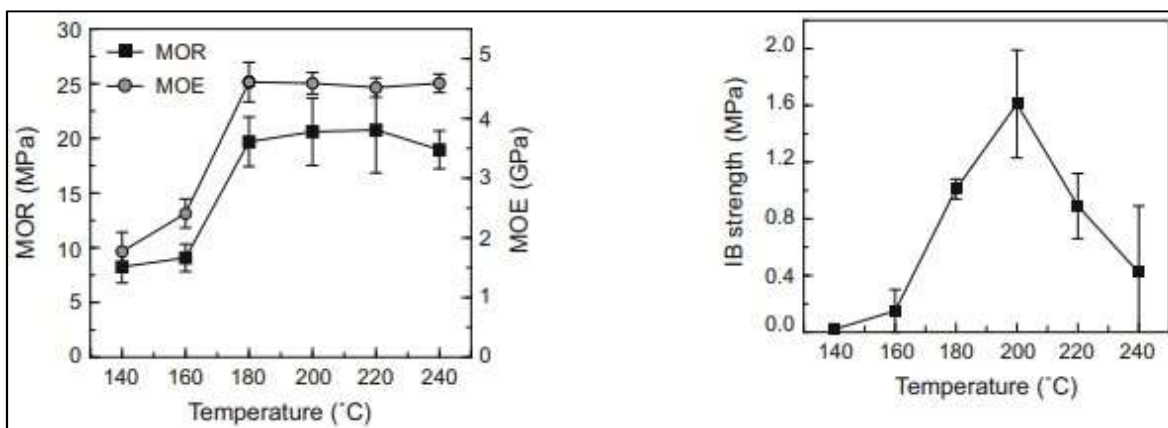
Umemura i dr. (2015) proveli su još jedno istraživanje u kojemu su ispitali kako na karakteristike ploča izrađenih s adhezivom na bazi limunske kiseline i saharoze utječu promjene temperature prešanja i različite gustoće ploča. Prilikom izrade ploča su koristili istu drvenu sirovinu pripremljenu na isti način kao i u prethodno opisanom istraživanju (Umemura i dr., 2013). Limunsku kiselinu i saharozu su otapali u vodi omjeru 25/75 s ciljem da na kraju dobiju 59 % otopinu. Iverje su pomiješali s napravljenim ljepilom u miješalici te od toga formirali tepih. Sadržaj vode u ivernom tepihu bio je između 10 i 12 %. Iverni tepih prešan je u vrućoj preši 10 minuta na temperaturi od 140 do 200 °C, a ciljana gustoća ploča je bila od 0,4 do 1,0 g/cm³. Na kraju su dobili ploče dimenzija 300 x 300 x 9 mm. Ploče su zatim kondicionirane tjedan dana na 20 °C. Na kraju su ploče prekrójili na manje uzorke te ih podvrgnuli testiranjima i ocjenjivane su prema JIS A 5908, 2003 (Japanese Industrial Standard for particleboard) (Umemura i dr., 2015).

Utjecaj gustoće ploče na njena svojstva ispitivan je na pločama prešanima na 200 °C. Ispitivanja savojne čvrstoće, modula elastičnosti i vlačne čvrstoće okomito na površinu pokazala su da se s povećanjem gustoće ploča od 0,4 do 0,8 g/cm³ ova svojstva približno linearno poboljšavaju. Za gustoću ploče od 1,0 g/cm³ vrijednosti su bile najveće, ali je i standardna devijacija bila jako velika pa su kao najbolja vrijednost uzete vrijednosti kod gustoće od 0,8 g/cm³. Debljinsko bubrenje se također povećavalo s porastom gustoće ploče. Od gustoće 0,4 do 0,6 g/cm³ vrijednosti rastu približno linearno, a nakon toga u rasponu gustoća 0,6-1,0 g/cm³ vrijednosti su približno jednake. Za upijanje vode određeno je da se ono smanjuje s porastom gustoće ploča. Smanjenje ima približno linearnu putanju u rasponu 0,4 – 0,8 g/cm³, a za raspon 0,8 – 1,0 g/cm³ vrijednosti su približno jednake (Umemura i dr., 2015). Grafički prikaz dobivenih rezultata prikazan je na Slici 10.



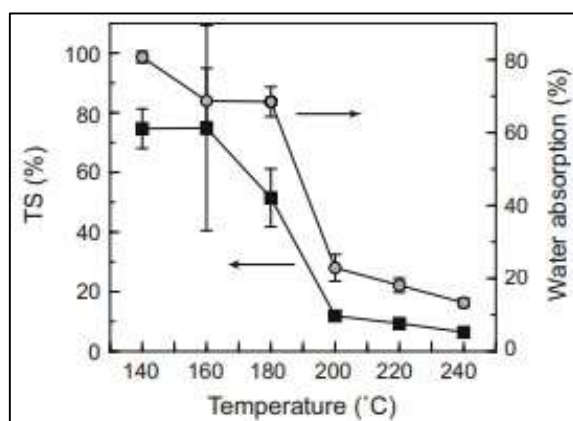
Slika 10. Utjecaj gustoće ploče na savojnu čvrstoću, modul elastičnosti, vlačnu čvrstoću okomito na površinu, debljinsko bubrenje i upijanje vode (Izvor: Umemura i dr., 2015)

Utjecaj temperature prešanja na svojstva ploča ispitan je na pločama ciljane gustoće 0,8 g/cm³. Što se tiče savojne čvrstoće i modula elastičnosti izmjereno je da su te vrijednosti kod temperature prešanja od 140 i 160 °C bile izrazito niske, a već se kod temperature prešanja od 180 °C te vrijednosti znatno povećavaju i iznose skoro duplo od vrijednosti izmjerenih pri temperaturi prešanja 160 °C. Na temperaturama višim od 180 °C vrijednosti izmjerenih mjerenja su približno jednake. Kod vlačne čvrstoće okomito na po vršinu dogodilo se isto što i kod savojne čvrstoće, vrijednosti pri temperaturi prešanja od 140 i 160 °C bile su izrazito niske. S daljnjim povećanjem temperature prešanja, i dobivene vrijednosti počinju naglo rasti te dosežu maksimum kod temperature prešanja 200 °C, nakon koje se vrijednosti vlačne čvrstoće počinju smanjivati, što je vidljivo i na Slici 11 (Umemura i dr., 2015).



Slika 11. Utjecaj temperature prešanja na savojnu čvrstoću, modul elastičnosti i vlačnu čvrstoću (Izvor: Umemura i dr. 2015)

Vrijednosti debljinskog bubrenja i upijanja vode značajno se smanjuju s porastom temperature prešanja u rasponu 140-200 °C, daljnjim povišenjem temperature vrijednosti se i dalje smanjuju, ali puno manjim intenzitetom (Slika 12) (Umemura i dr., 2015).



Slika 12. Utjecaj temperature prešanja na debljinsko bubrenje i upijanje vode (Izvor: Umemura i dr., 2015)

Uzimajući u obzir dobivene rezultate, Umemura i dr. (2015) zaključili su da se, po pitanju gustoće ploča, svojstva ploča povećavaju porastom gustoće do vrijednosti 0,8 g/cm³, dok daljnjim povećanjem gustoće ne dolazi do značajnog poboljšanja svojstva ploče. Nadalje, ploče će steći najbolja svojstva ako se pri izradi uzima temperatura prešanja od 200 °C. Također, ploče gustoće 0,8 g/cm³ te prešane pri temperaturi 200 °C zadovoljavaju sve standarde norme JIS A 5908.

4. MATERIJALI I METODE RADA

4.1. Odabiri sirovine za izradu eksperimentalnih ploča

Kao osnovnu sirovinu za dobivanje iverja koristilo se drvo jelovine (*Abies alba* Mill.), a za pripremu ljepila korištene su limunska kiselina, saharoza i voda.

4.1.1. Dobivanje iverja

Drvne ostatke jelovine (sl. 13) najprije smo dljetom i čekićem usitnili na manje komade kako bismo ih kasnije mogli samljeti u mlinu na konačnu dimenziju iverja. Mlin koji smo koristili je *Retsch SM 300* u Laboratoriju za šumsku biomasu Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije u Zagrebu (sl. 14). Iverje smo samljeli brzinom vrtnje oštice od 2000 min^{-1} , a veličine otvora sita koje smo koristili bile su 10 mm za krupnije iverje i 4 mm za sitnije iverje. Na kraju smo dobili dvije grupe iverja, sitnije i krupnije. Iverje smo prosijali kako bismo se riješili najsitnijih čestica i drvne prašine, a zatim smo ga prosušili u sušioniku 24 sata na $80 \text{ }^\circ\text{C}$ na vlažnost od 12 %.



Slika 13. Početna sirovina korištena za dobivanje iverja



Slika 14. Mlin korišten za dobivanje iverja

4.1.2. Priprema adheziva

Kao adheziv smo koristili vodenu otopinu limunske kiseline i saharoze bez dodataka parafina ili katalizatora. Limunsku kiselinu i saharozu miješali smo u omjeru 25/75 i ciljali da dobijemo 60 % vodenu otopinu. Ljepilo smo pripremali miješanjem pomoću elektromagnetske miješalice.

4.2. Izrada eksperimentalnih ploča

Kako bi oblijepili iverje koristili smo se rotirajućim bubnjem (sl. 15). S vanjske strane bubnja nalazi se dozirni cilindar u koji se ulijeva ljepilo. Unutar bubnja nalazi se zračni pištolj promjera sapnice 3 mm preko kojeg se na iverje nanosi ljepilo. Ljepilo je nanoseno tako da njegov udio u sadržaju ploče bude ok 23 %. Iverje se u bubnju oblijepljivalo između 5 i 6 minuta, sve dok iz dozirnog cilindra nije iscurilo svo ljepilo. Postupak smo radili odvojeno za sitno i za krupno iverje. Nakon oblijepljivanja iverje smo izvadili iz bubnja u posude i stavili ga u sušionik (sl. 16) na 80 °C na 24 sata.

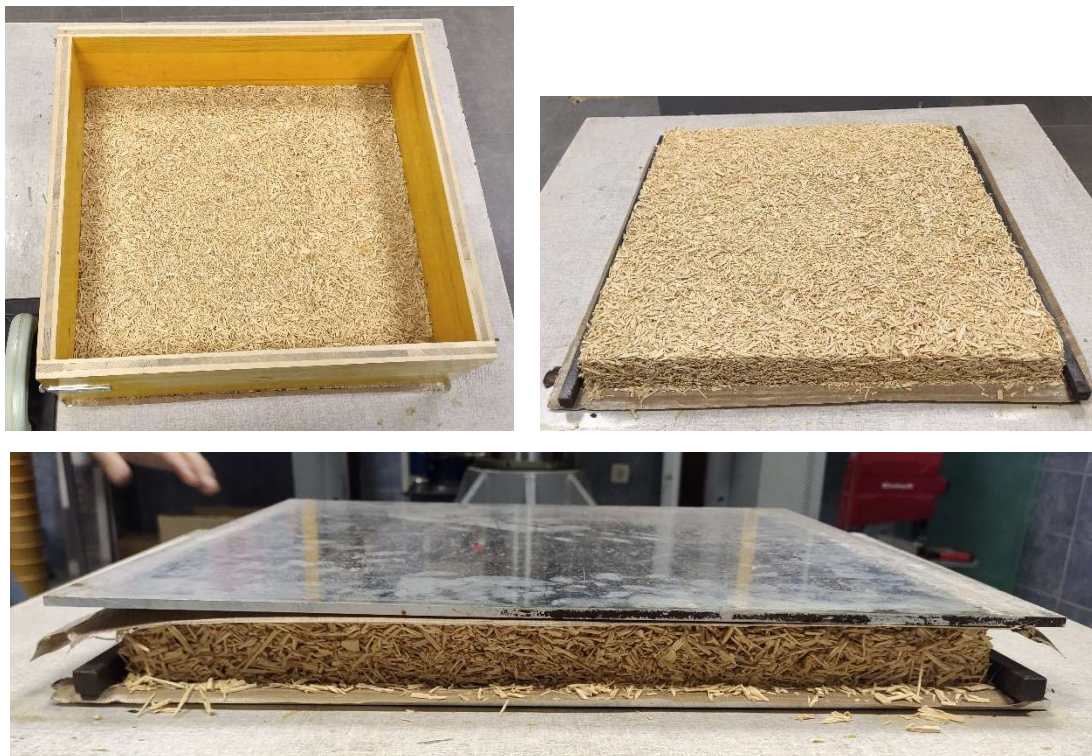


Slika 15. Rotirajući bubanj za oblijepljivanje iverja



Slika 16. Laboratorijski sušionik

Nakon oblijepljivanja, iverje smo izvadili iz bubnja u posude i stavili ga u sušionik na 80 °C na 24 sata. Oblijepljeno iverje zatim smo formirali u iverne tepihe. Za to smo koristili drveni kalup dimenzije 400 x 350 mm. Ispod drvenog kalupa postavili smo metalnu podložnu ploču, a zatim na nju i teflonsku foliju (fleksoplan) koja sprječava lijepljenje oblijepljenog iverja za metalnu podložnu ploču. Teflonsko platno i metalnu ploču stavili smo i s gornje strane, a između njih smo dodali metalne odstoje profile debljine 12 mm.



Slika 17. Formiranje ivernog tepiha

Iverne smo tepihe zatim stavljali u prešu. Za potrebe eksperimenta koristili smo industrijsku hidrauličku prešu (sl. 18). Prešanje je trajalo po 10 minuta za svaku ploču. Temperatura prešanja je iznosila 200 °C, a maksimalni tlak prešanja iznosio je 3,2 MPa. Nakon prešanja ploče smo izvadili iz preše i ostavili da se kondicioniraju 3 dana kako bi se izjednačila unutrašnja zaostala naprezanja.



Slika 18. Korištena hidraulička preša



Slika 19. Ploče iverice nakon prešanja u fazi kondicioniranja (sitnije iverje lijevo, krupnije desno)

4.3. Ispitivanje eksperimentalnih ploča

Nakon kondicioniranja ploča, iz njih su, primjenom kružne pile, iskrojeni uzorci za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstva. Za svako svojstvo pripremljeno je po 20 uzoraka, 10 iskrojanih iz ploče od sitnijeg iverja i 10 iz ploče od krupnijeg iverja.

4.3.1. Utvrđivanje fizikalnih svojstava ploča

Fizikalna svojstva koja su mjerena (određivana) na uzorcima su dimenzije, gustoća, sadržaj vode, upijanje vode i debljinsko bubrenje. Sva fizikalna svojstva su određena prema odrednicama prikladnih, aktualnih HRN EN normi.

4.3.1.1. Određivanje dimenzija ispitanih uzorka

Za određivanje dimenzija korištena je norma HRN EN 325:2003 (Ploče na osnovi drva - Određivanje dimenzija ispitnih uzoraka).

Uzorci su izrađeni u kvadratnom obliku dimenzija 50 x 50 x 12 mm. Za mjerenje debljine korišten je digitalni mikrometar (sl. 20) točnosti 0,01 mm. Debljina se mjerila na sredini uzorka (na sjecištu simetrala). Širina i duljina izmjerena je digitalnim pomičnim mjerilom (šublerom) (sl. 20) točnosti 0,1 mm. Širina i debljina su također mjerene na sredini pojedine dimenzije uzorka.

Na osnovu dobivenih rezultata (10 za svaku ploču), izračunate su prosječne debljine ploča kao aritmetičke sredine dobivenih podataka..



Slika 20. Digitalno pomično mjerilo i digitalni mikrometar

4.3.1.2. Određivanje gustoće i sadržaja vode ispitnih uzoraka

Za određivanje gustoće korištena je norma HRN EN 323:2008 (Ploče na osnovi drva – Određivanje gustoće), a za određivanje sadržaja vode norma HRN EN 322:2003 (Ploče na osnovi drva – Određivanje sadržaja vode).

Gustoća i sadržaj vode ispitivali su se na istim uzorcima na kojima su se određivale dimenzije, dakle za svaku ploču imali smo po 10 uzoraka dimenzija 50 x 50 x 12 mm.

Za potrebe izračunavanja gustoće najprije se izmjerila masa ispitnih uzoraka pomoću precizne vage s točnošću od 0,01 g (sl. 21). Budući da smo dimenzije već imali iz prethodnih mjerenja, gustoća se izračunala kao omjer mase i volumena prema formuli:

$$\rho = \frac{m_u}{V}$$

gdje je:

ρ – gustoća ispitnog uzorka, g/cm³

m_u – masa ispitnog uzorka, g

V – volumen ispitnog uzorka, cm.

Kada smo dobili rezultate gustoće, slijedilo je određivanje sadržaja vode. Ispitni uzorci stavljeni su u sušionik (sl. 21) na temperaturu 103 ± 2 °C i sušeni do konstantne mase. Nakon vađenja uzoraka iz sušionika premjestili smo ih u eksikator kako bi se tu kondicionirali i ohladili. Kada su se uzorci ohladili ponovno su vagnuti. Sadržaj vode se odredio gravimetrijski i izračunao preko formule:

$$U = \frac{m_u - m_0}{m_0} \times 100$$

gdje je:

U – sadržaj vode u drvu, %

m_u – masa kondicioniranog uzorka, g

m_0 – masa uzorka u apsolutno suhom stanju, g.

Na osnovu dobivenih rezultata (10 ispitnih uzoraka za svaku ploču) izračunata je prosječna gustoća i sadržaj vode kao aritmetičke sredine dobivenih podataka.



Slika 21. Digitalna precizna vaga i sušionik s uzorcima

4.3.1.3. Ispitivanje debljinskog bubrenja i upijanja vode

Za određivanje debljinskog bubrenja i upijanja vode korištena je norma EN 317:2000 (Ploče iverice i ploče vlaknaticice – Određivanje debljinskog bubrenja nakon potapanja u vodu).

Za ovo ispitivanje uzorci su iskrojani na dimenzije 50 x 50 x12 mm, za svaku vrstu ploče po 10 uzoraka. Uzorcima se najprije izmjerila debljina i masa te su potom potopljeni u vodu temperature 20 °C na 2 sata. Nakon 2 sata uzorci su izvađeni iz vode i kratko ostavljeni da se ocijede. Nakon cijedenja smo laganim brisanjem filter papirom uklonili višak vode koja se zadržala na površini. Zatim su uzorcima ponovno izmjerene debljina i masa. Ocijedeni uzorci prije mjerenja prikazani su na Slici 22.



Slika 22. Ocijeđeni uzorci nakon potapanja u vodi

Debljinsko bubrenje, koje predstavlja razliku dimenzija ispitnih uzoraka prije i poslije uranjanja, izračunato je pomoću formule:

$$Q - 2 = \frac{d_0 - d_u}{d_u} \times 100$$

gdje je:

Q-2 – debljinsko bubrenje nakon 2 sata izlaganja, %

d_0 – debljina ispitnog uzorka nakon tretmana, mm

d_u – debljina kondicioniranog ispitnog uzorka, mm.

Apsolutno upijanje vode predstavlja razliku masa uzoraka prije i poslije potapanja, a izračunato je po formuli:

$$U_a = m_v - m_u$$

gdje je:

U_a – apsolutno upijanje vode, g

m_v – masa ispitnog uzorka nakon izlaganja, g

m_u – masa ispitnog uzorka prije izlaganja, g

Relativno upijanje vode predstavlja odnos apsolutnog upijanja vode i mase uzorka prije potapanja i izračunato je pomoću formule:

$$U_r = \frac{m_v - m_u}{m_u} \times 100$$

gdje je:

U_r – relativno upijanje vode, %

m_v – masa ispitnog uzorka nakon izlaganja, g

m_u – masa ispitnog uzorka prije izlaganja, g

Na osnovu dobivenih rezultata (10 ispitnih uzoraka za svaku ploču) izračunate su prosječne vrijednosti za debljinsko bubrenje, apsolutno upijanje vode i relativno upijanje vode kao aritmetičke sredine dobivenih podataka.

4.3.2. Ispitivanje mehaničkih svojstava eksperimentalnih ploča

Mehanička svojstva koja smo određena na ispitnim uzorcima su savojna čvrstoća, modul elastičnosti savojne čvrstoće i vlačna čvrstoća okomito na površinu uzorka (čvrstoća raslojavanja). Sva mehanička svojstva određena su na jednom univerzalnom uređaju za ispitivanje mehaničkih svojstava *Schenck Trebel* (sl. 23).



Slika 23. Univerzalni uređaj za ispitivanje mehaničkih svojstava *Schenck Trebel* (Izvor: Lasić, 2019)

4.3.2.1. Utvrđivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti savojne čvrstoće

Za određivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti korištena je norma HRN EN 310:1999 (Određivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti savojne čvrstoće).

Uzorci za ovo ispitivanje iskrojani su s dimenzijom 200 x 50 x 12 mm. Za ispitivanje uzorci su bili položeni na dva oslonca međusobno razmaknuta 110 mm, a silom se djelovalo na sredini duljine uzorka po cijeloj njegovoj širini. Brzina porasta sile regulirana je tako da se lom na uzorku pojavi otprilike nakon jedne minute.



Slika 24. Uzorci za vrijeme ispitivanja i nakon ispitivanja

Dobiveni iznosi sila unijeti su u sljedeću formulu kako bi se proračunale vrijednosti savojne čvrstoće:

$$\sigma_s = \frac{3 \times F \times l}{2 \times b \times d^2}$$

gdje je:

σ_s – savojna čvrstoća, MPa

F – maksimalna pritisna sila, N

l – razmak između oslonaca, mm

b – širina ispitnog uzorka, mm

d – debljina ispitnog uzorka, mm

Modul elastičnosti izražava se kao područje elastične deformacije, odnosno područje od 10% djelovanja maksimalnog opterećenja (F1) do 40 % maksimalnog opterećenja (F1) nakon kojeg ispitni uzorak prelazi u zonu plastične deformacije. Izračunali smo ga pomoću formule:

$$E_s = \frac{(F_2 - F_1) \times l^3}{4 \times b \times d^3 \times (a_2 - a_1)}$$

gdje je:

E_s – modul elastičnosti savojne čvrstoće, MPa

(F₂-F₁) – porast sile na pravocrtnom dijelu krivulje naprežanje-istežanje, MPa

l – razmak oslonaca, mm

b – širina ispitnog uzorka, mm

d – debljina ispitnog uzorka, mm

(a₂-a₁) – povećanje progiba na sredini duljine ispitnog uzorka, mm

Na osnovu dobivenih rezultata (10 ispitnih uzoraka za svaku ploču) izračunali smo prosječne vrijednosti za savojnu čvrstoću i modul elastičnosti kao aritmetičke sredine dobivenih podataka.

4.3.2.2. Utvrđivanje vlačne čvrstoće okomito na površinu uzorka (čvrstoće na raslojavanje)

Za određivanje vlačne čvrstoće okomito na površinu uzorka korištena je norma HRN EN 319: 1999 (Ploče iverice i ploče vlaknatice – Određivanje vlačne čvrstoće okomito na površinu ploče).

Za ovo ispitivanje uzorci su iskrojani na dimenzije 50 x 50 x 12 mm. Iskrojani uzorci su za potrebe ispitivanja lijepljeni između dvije pločice laminatnog poda

dimenzija 60 x 50 x 5 mm pomoću pištolja na vruće ljepilo (taljivo PVAc ljepilo). Tim postupkom dobiven je tzv. sendvič koji se zatim mogao postaviti u hvataljke uređaja. Uređaj radi na principu da razvlači hvataljke i time povećava vlačnu silu (koja djeluje na uzorak) sve dok se ne pojavi lom na uzorku. Pri pojavi loma uređaj registrira maksimalnu silu prije loma.

Kako bi dobili vlačnu čvrstoću u omjer su stavljeni iščitana (maksimalna) silu i površina uzorka; izračunata prema formuli:

$$\sigma_v = \frac{F}{b \times l}$$

gdje je:

σ_v – vlačna čvrstoća okomito na površinu ploče, MPa

F – maksimalna vlačna sila, N

b – širina ispitnog uzorka, mm

l – duljina ispitnog uzorka, mm

Na osnovu dobivenih rezultata (10 ispitnih uzoraka za svaku ploču) izračunali smo prosječne vrijednosti za vlačnu čvrstoću okomito na površinu uzorka kao aritmetičke sredine dobivenih podataka.



Slika 25. Uzorak („sendvič“) u hvataljkama uređaja

4.4. Definiranje tehničkih svojstava ploča iverica

Kako bi imali s čime usporediti dobivene rezultate koristit će se norma HRN EN 312:2010 (Ploče iverice – Specifikacije). Ona definira minimalne vrijednosti određenih svojstava koje pojedini tipovi ploča moraju zadovoljiti. Definirane vrijednosti norme prikazane su u Tablici 1 i Tablici 2.

Tablica 1. Normirane vrijednosti tehničkih svojstava ploča iverica (P1) za opću uporabu u normalnim uvjetima (Izvor: HRN EN 312:2010)

| Normirana svojstva | Normirane vrijednosti | | | | | | | |
|--|-------------------------|------|-------|--------|--------|--------|--------|------|
| | Debljinski razredi (mm) | | | | | | | |
| | <3 | 3-6 | >6-13 | >13-20 | >20-25 | >25-32 | >32-40 | >40 |
| Svojna čvrstoća (N/mm ²) | 11,5 | 11,5 | 10,5 | 10 | 10 | 8,5 | 7 | 5,5 |
| Čvrstoća raslojavanja (N/mm ²) | 0,31 | 0,31 | 0,28 | 0,24 | 0,20 | 0,17 | 0,14 | 0,14 |

Tablica 2. Normirane vrijednosti tehničkih svojstava ploča iverica (P2) za unutrašnje opremanje (uključujući namještaj) u normalnim uvjetima (Izvor: HRN EN 312:2010)

| Normirana svojstva | Normirane vrijednosti | | | | | | | |
|--|-------------------------|------|-------|--------|--------|--------|--------|------|
| | Debljinski razredi (mm) | | | | | | | |
| | <3* | >4-6 | >6-13 | >13-20 | >20-25 | >25-32 | >32-40 | >40 |
| Svojna čvrstoća (N/mm ²) | 13 | 12 | 11 | 11 | 10,5 | 9,5 | 8,5 | 7 |
| Modul elastičnosti savojne čvrstoće (N/mm ²) | 1800 | 1950 | 1800 | 1600 | 1500 | 1350 | 1200 | 1050 |
| Čvrstoća raslojavanja (N/mm ²) | 0,45 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,20 |
| Međuslojna čvrstoća (N/mm ²) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |

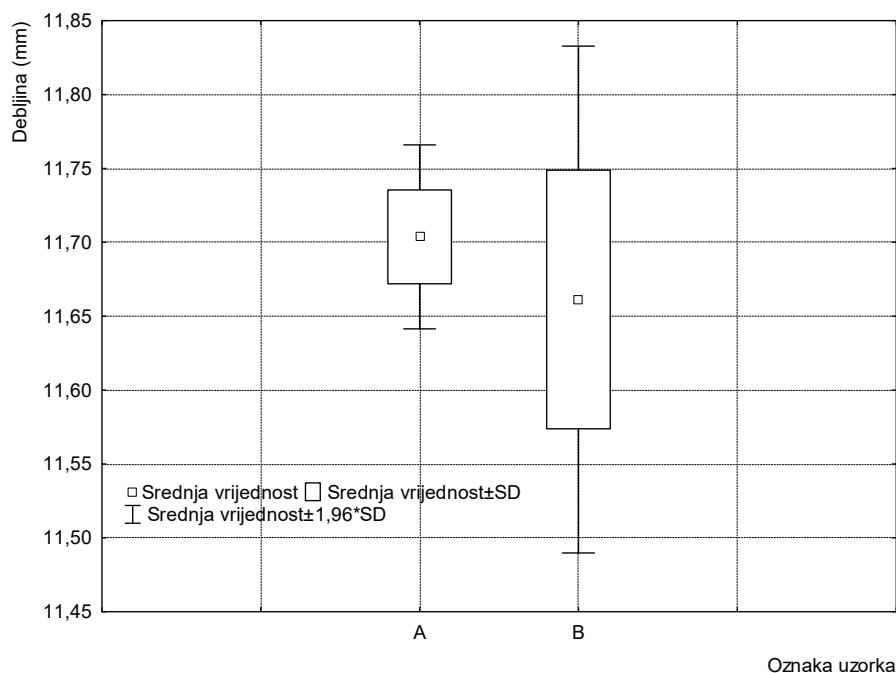
5. REZULTATI

Prije iznošenja rezultata trebamo definirati oznake ploča. Oznakom A označena su svojstva ploča izrađenih iz sitnijeg iverja (maksimalna dimenzija 4 mm), a oznakom B označena su svojstva ploča izrađena iz krupnijeg iverja (maksimalna dimenzija 10 mm).

5.1. Debljina

Tablica 3. Debljine pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

| Oznaka grupe uzoraka | Broj uzoraka (n) | Aritmetička sredina (mm) | Minimum (mm) | Maksimum (mm) | Standardna devijacija |
|----------------------|------------------|--------------------------|--------------|---------------|-----------------------|
| A | 10 | 11,70 | 11,65 | 11,75 | 0,0317 |
| B | 10 | 11,66 | 11,57 | 11,87 | 0,0875 |



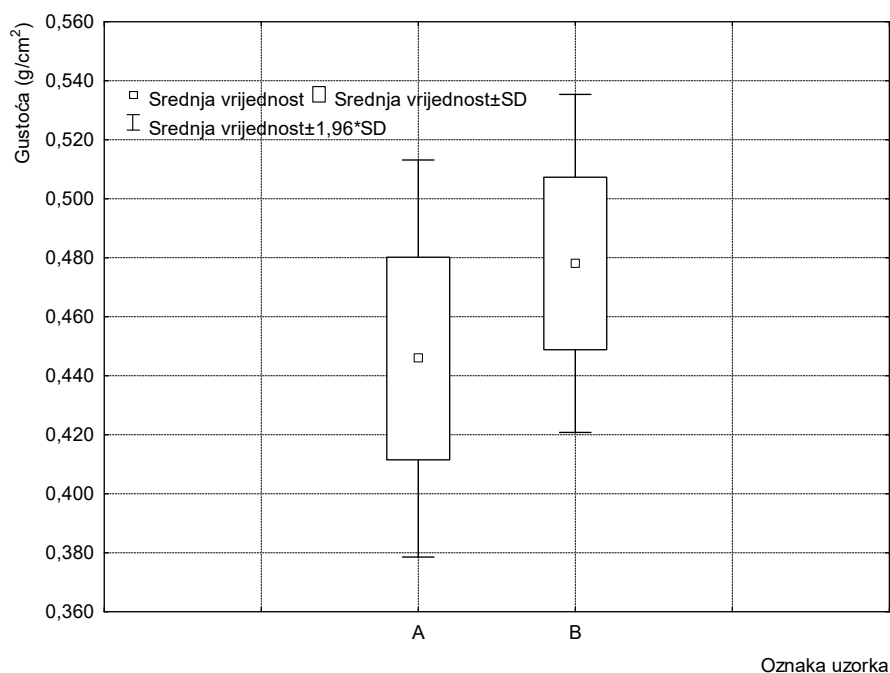
Slika 26. Grafički prikaz debljine pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

Iz grafičkog prikaza debljine ploča (sl. 26) vidljivo je da postoji razlika u debljini ploča izrađenih od različite vrste iverja, ali ona nije velika jer razlika aritmetičkih sredina iznosi tek 0,04 mm. Razlika između minimalnih debljina za uzorke A i B je 0,08 mm, a razlika između maksimalnih debljina je 0,12 mm. Rasipanje podataka je veće kod uzoraka B i iznosi 0,3 mm, dok je kod uzoraka A ono trostruko manje i iznosi tek 0,1 mm. Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da je veličina uprešavanja približno jednaka za uzorke A i B, ali kod uzoraka od krupnijeg iverja B nešto više varira.

5.2. Gustoća

Tablica 4. Gustoća pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

| Oznaka grupe uzoraka | Broj uzoraka (n) | Aritmetička sredina (g/cm ³) | Minimum (g/cm ³) | Maksimum (g/cm ³) | Standardna devijacija |
|----------------------|------------------|--|------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| A | 10 | 0,445 | 0,365 | 0,489 | 0,0343 |
| B | 10 | 0,478 | 0,408 | 0,512 | 0,0292 |



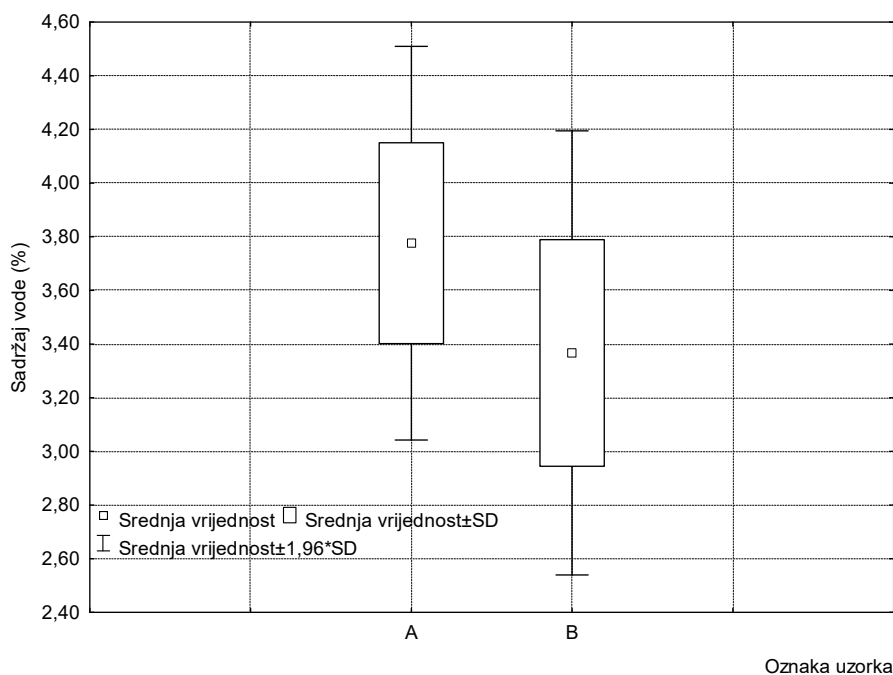
Slika 27. Grafički prikaz gustoće pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

Iz grafičkog prikaza gustoće ploča (sl. 27) vidljivo je da postoji mala razlika u gustoći ploča izrađenih od različite vrste iverja ali ona nije velika jer razlika aritmetičkih sredina iznosi tek 0,032 g/cm³. Razlika između minimalnih gustoća za uzorke A i B je 0,043 g/cm³, a razlika između maksimalnih gustoća je 0,023 g/cm³. Rasipanje podataka je približno jednako kod oba uzorka, za uzorka A iznosi 0,124 g/cm³, a za uzorka B iznosi 0,104 g/cm³. Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da se gustoće ne razlikuju značajno, ali je vidljivo da je kod uzorka od krupnijeg iverja B gustoća ima nešto veće vrijednosti. Gustoće ispitivanih relativno su niske i znatno manje od preporučljivih vrijednosti koje Umemura i dr. (2015) navode.

5.3. Sadržaj vode

Tablica 5. Sadržaj vode pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

| Oznaka grupe uzoraka | Broj uzoraka (n) | Aritmetička sredina (%) | Minimum (%) | Maksimum (%) | Standardna devijacija |
|----------------------|------------------|-------------------------|-------------|--------------|-----------------------|
| A | 10 | 3,77 | 3,11 | 4,32 | 0,3743 |
| B | 10 | 3,36 | 2,87 | 4,35 | 0,4222 |



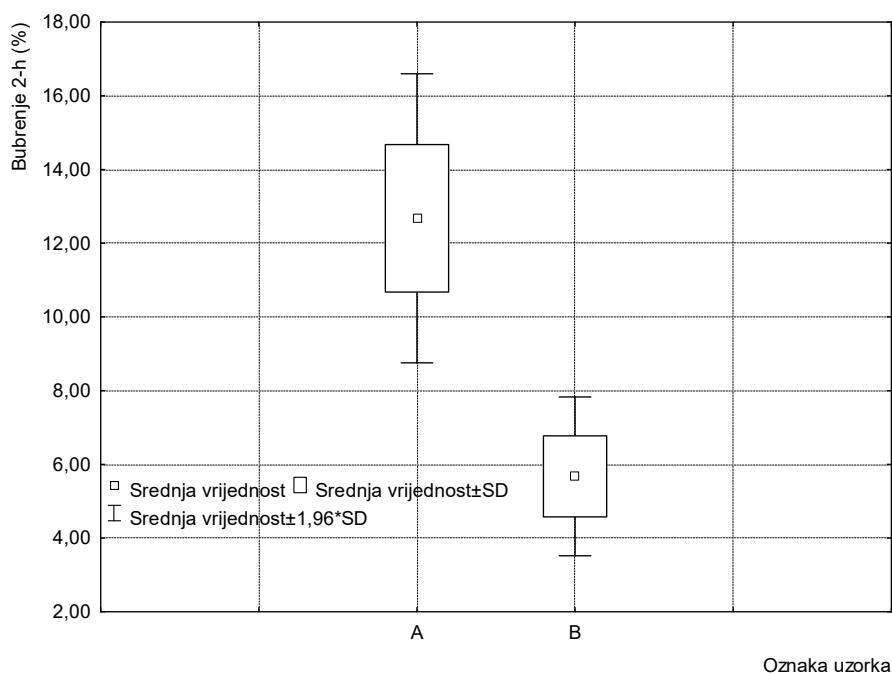
Slika 28. Grafički prikaz sadržaja vode pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

Iz grafičkog prikaza sadržaja vode ploča (sl. 28) vidljivo je da postoji razlika u sadržaju vode ploča izrađenih od različite vrste iverja ali ona je relativno mala jer razlika aritmetičkih sredina sadržaja vode iznosi tek 0,41 %. Razlika između minimalnih sadržaja vode za uzorke A i B je 0,24 %, a razlika između maksimalnih sadržaja vode je 0,03 %. Rasipanje podataka je dosta veliko, kod uzoraka A i iznosi 1,21 %, dok kod uzoraka (B) ono iznosi čak 1,48 %. Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da se sadržaji vode razlikuju neznatno, kod uzoraka od sitnijeg iverja A sadržaj vode je zanemarivo veći, ali kod krupnijeg iverja B sadržaj vode više varira.

5.4. Debljinsko bubrenje - 2 sata

Tablica 6. Debljinsko bubrenje pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

| Oznaka grupe uzoraka | Broj uzoraka (n) | Aritmetička sredina (%) | Minimum (%) | Maksimum (%) | Standardna devijacija |
|----------------------|------------------|-------------------------|-------------|--------------|-----------------------|
| A | 10 | 12,67 | 9,80 | 15,14 | 2,000 |
| B | 10 | 5,67 | 4,00 | 7,47 | 1,099 |



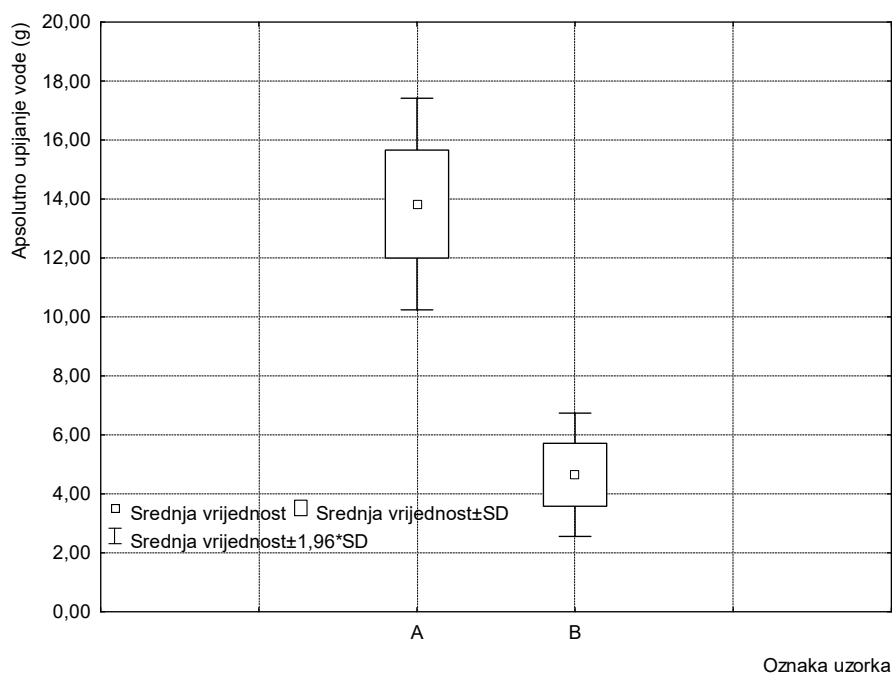
Slika 29. Grafički prikaz gustoće pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

Iz grafičkog prikaza debljinskog bubrenja ploča (sl. 29) vidljivo je da postoji velika razlika u debljinskom bubrenju ploča izrađenih od različite vrste iverja i to je vidljivo po razlici aritmetičkih sredina bubrenja koja iznosi čak 7,00 %. Razlika između minimalnih debljinskih bubrenja za uzorke A i B je 5,80 %, a razlika između maksimalnih debljinskih bubrenja je čak 7,67 %. Rasipanje podataka je također dosta veliko, kod uzoraka A iznosi 5,34 %, dok kod uzoraka B ono iznosi 3,47 %. Dobivene vrijednosti (pogotovo za uzorke skupine A) možemo smatrati dosta velikima ako ih usporedimo s rezultatima koje su dobili Umemura i dr. (2015), pogotovo jer su u ovom ispitivanju uzorci potapani samo 2 sata dok su spomenuti autori svoje uzorke potapali 24 sata. Naime oni su za ploču gustoće $0,45 \text{ g/cm}^3$ (približno slična gustoća) dobili približni iznos bubrenja od 8 %, dok je u ovom slučaju iznos bubrenja za uzorke B iznosio prosječno 5,68 %, a za uzorke A čak 12,68 %. Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da je debljinsko bubrenje poprilično veliko za obje skupine uzoraka ali i da se znatno razlikuje, kod uzoraka od sitnijeg iverja A debljinsko bubrenje je puno izraženije, više je nego duplo veće i ima veća odstupanja rezultata od uzorka od krupnijeg iverja B.

5.5. Apsolutno upijanje vode

Tablica 7. Apsolutno upijanje vode pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

| Oznaka grupe uzoraka | Broj uzoraka (n) | Aritmetička sredina (g) | Minimum (g) | Maksimum (g) | Standardna devijacija |
|----------------------|------------------|-------------------------|-------------|--------------|-----------------------|
| A | 10 | 13,82 | 11,80 | 17,31 | 1,831 |
| B | 10 | 4,64 | 3,35 | 6,59 | 1,066 |



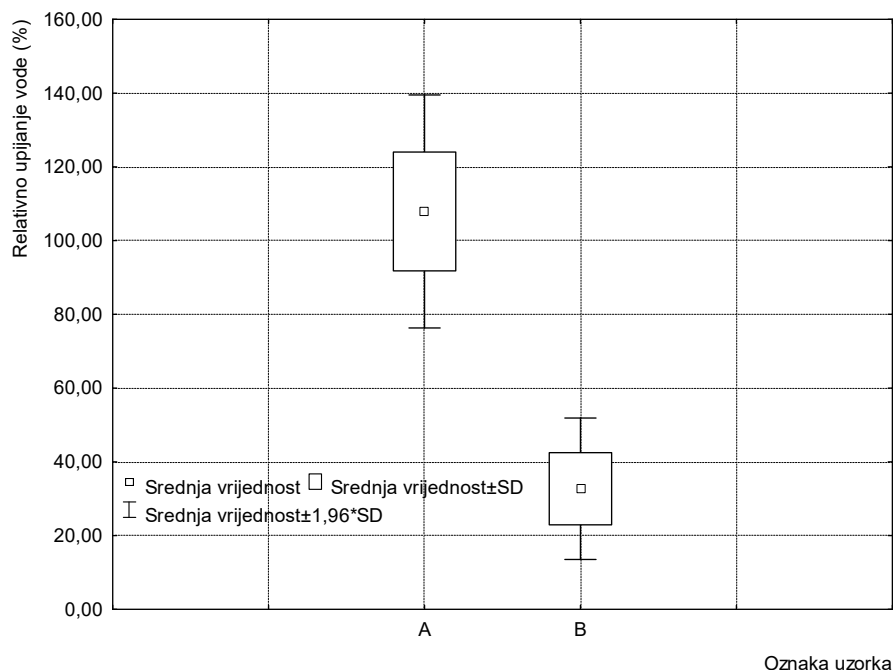
Slika 30. Grafički prikaz apsolutnog upijanja vode pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

Iz grafičkog prikaza apsolutnog upijanja vode ploča (sl. 30) vidljivo je da postoji velika razlika u apsolutnom upijanju vode ploča izrađenih od različite vrste iverja i to je vidljivo po razlici aritmetičkih sredina apsolutnog upijanja vode koja iznosi čak 9,18 g. Razlika između minimalnih vrijednosti apsolutnog upijanja vode za uzorke A i B je 5,51 g, a razlika između maksimalnih vrijednosti apsolutnog upijanja vode je 10,72 g. Rasipanje podataka je relativno veliko kod obje skupine uzoraka, kod uzoraka A i iznosi 5,51 g, dok kod uzoraka B ono iznosi 3,24 g. Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da je apsolutno upijanje vode jako veliko za obje skupine uzoraka ali i da se međusobno znatno razlikuje, kod uzoraka od sitnijeg iverja A apsolutno upijanje vode je puno izraženije i ima veća odstupanja rezultata. Ovo svojstvo je u izravnoj korelaciji s debljinskim bubrenjem stoga na grafovima sa slika 29 i 30 vidimo veliku sličnost.

5.6. Relativno upijanje vode

Tablica 8. Relativno upijanje vode pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

| Oznaka grupe uzoraka | Broj uzoraka (n) | Aritmetička sredina (%) | Minimum (%) | Maksimum (%) | Standardna devijacija |
|----------------------|------------------|-------------------------|-------------|--------------|-----------------------|
| A | 10 | 107,90 | 88,84 | 140,85 | 16,113 |
| B | 10 | 32,70 | 20,88 | 53,71 | 9,786 |



Slika 31. Grafički prikaz relativnog upijanja vode pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

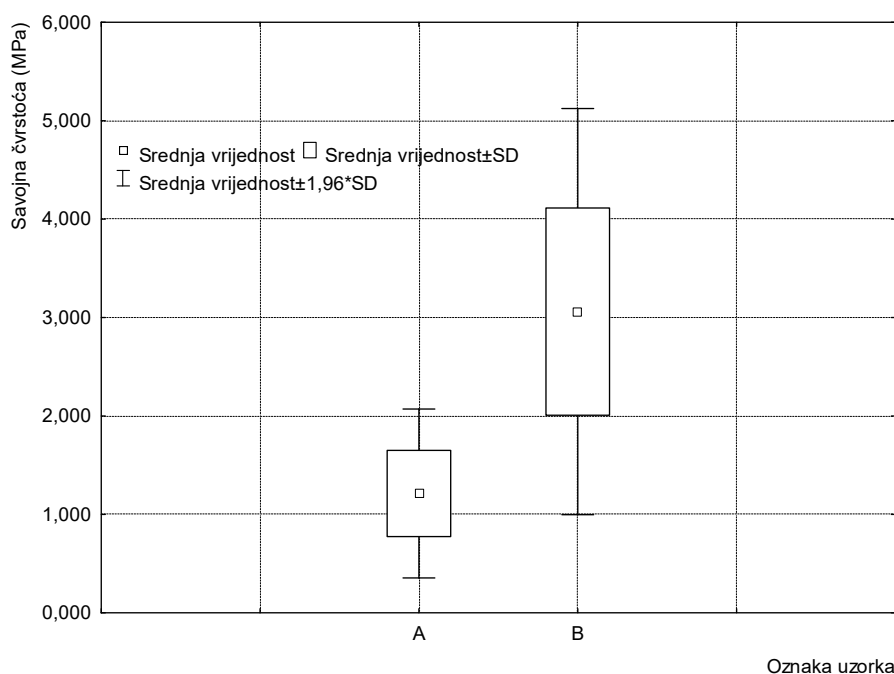
Iz grafičkog prikaza relativnog upijanja vode ploča (sl. 31) vidljivo je da postoji značajno velika razlika u relativnom upijanju vode ploča izrađenih od različite vrste iverja i to je vidljivo po razlici aritmetičkih sredina relativnog upijanja vode koja iznosi čak 75,20 %. Razlika između minimalnih vrijednosti apsolutnog upijanja vode za uzorke A i B je 67,96 %, a razlika između maksimalnih vrijednosti apsolutnog upijanja vode je čak 87,14 %. Rasipanje podataka je jako veliko kod obje skupine uzoraka, kod uzoraka A i iznosi 52,01 %, dok kod uzoraka B ono iznosi 32,83 %. Ako ove rezultate usporedimo s rezultatima koje su dobili Umemura i dr. (2015) može se zaključiti da su uzorci od krupnijeg iverja B poprimili relativno dobre vrijednosti. Naime autori su u svojem radu za ploču gustoće 0,45 g/cm³ dobili vrijednost relativnog upijanja približno 70 %. Prosječna vrijednost relativnog upijanja vode kod uzoraka skupine A iznosi čak 107,91 %, a za uzorke skupine B vrijednost je otprilike duplo manja od one koju su dobili navedeni autori i iznosi 32,71 %. Treba uzeti u obzir i podatak da su autori svoje uzorke potapali 24 sata, a u ovom su slučaju uzorci potapani samo 2 sata tako da je teško precizno uspoređivati te

podatke. Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da je relativno upijanje vode jako veliko za skupinu uzoraka A, te da se rezultati različitih skupina uzorka međusobno znatno razlikuje, kod uzoraka od sitnijeg iverja A apsolutno upijanje vode je puno izraženije i ima veća odstupanja rezultata.

5.7. Savojna čvrstoća

Tablica 9. Savojna čvrstoća pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

| Oznaka grupe uzoraka | Broj uzoraka (n) | Aritmetička sredina (MPa) | Minimum (MPa) | Maksimum (MPa) | Standardna devijacija |
|----------------------|------------------|---------------------------|---------------|----------------|-----------------------|
| A | 10 | 1,21 | 0,61 | 1,86 | 0,437 |
| B | 10 | 3,06 | 1,60 | 4,55 | 1,052 |



Slika 32. Grafički prikaz savojne čvrstoće pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

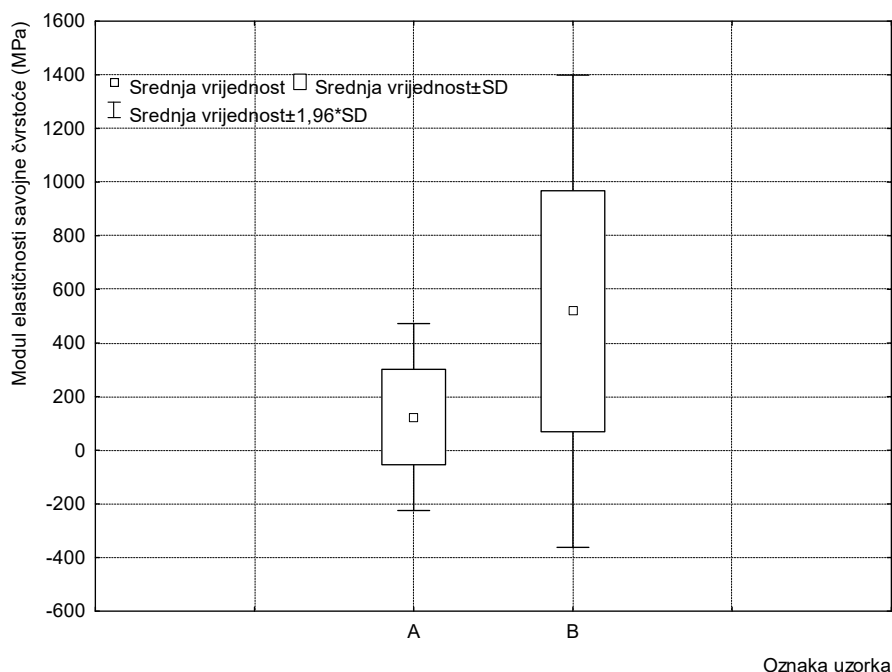
Iz grafičkog prikaza savojne čvrstoće ploča (sl. 32) vidljivo je da je ona veća kod skupine uzoraka od krupnijeg iverja (B). Razlika aritmetičkih sredina savojne čvrstoće ploča izrađenih od različite veličine sirovine iznosi čak 1,85 MPa. Razlika između minimalnih vrijednosti savojne čvrstoće za uzorke A i B je 0,99 MPa, a razlika između maksimalnih vrijednosti savojne čvrstoće je čak 2,68 MPa. Rasipanje podataka je jako veliko kod obje skupine uzoraka, pri čemu kod uzoraka A iznosi 0,99 MPa, dok kod uzoraka B ono iznosi 2,68 MPa. Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da su prosječne vrijednosti savojne čvrstoće (za uzorke A iznosi 1,21 MPa, a za uzorke B iznosi 3,06 MPa) jako niske za obje skupine uzoraka. Iako je kod uzorka B vrijednost više nego duplo veća od uzorka A, nijedna skupina uzoraka ne zadovoljava normirane vrijednosti svog debljinskog razreda ni za tip

ploča P2 ni za tip P1 koje iznose 10,5, odnosno 11 MPa prema normi HRN EN 312:2010. Ako usporedimo ove rezultate s rezultatima koje su dobili Umemura i dr. (2015), možemo doći do zaključka da su ove vrijednosti usko povezane s gustoćom samih ploča. Naime, ti su autori za ploču gustoće 0,45 g/cm³ koja je približno slična gustoći u ovom slučaju (0,44 i 0,47 g/cm³) dobili približnu vrijednost savojne čvrstoće 3,5 MPa koja je jako blizu vrijednostima zabilježenima u ovom radu. Dakle, na tragu zaključka Umemure i sur. (2015) da se povećanjem gustoće ploče povećava i savojna čvrstoća, može se pretpostaviti da je razlog nižim rezultatima u ovom ispitivanju relativno mala gustoća ploče. Možemo vidjeti i da su uzorci B koji imaju veću gustoću imali i veću savojnu čvrstoću. Na rezultate je utjecao i podatak da su izrađene i ispitane jednoslojne ploče koje općenito imaju lošija svojstva od troslojnih ploča iverica.

5.8. Modul elastičnosti savojne čvrstoće

Tablica 10. Modul elastičnosti savojne čvrstoće pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

| Oznaka grupe uzoraka | Broj uzoraka (n) | Aritmetička sredina (MPa) | Minimum (MPa) | Maksimum (MPa) | Standardna devijacija |
|----------------------|------------------|---------------------------|---------------|----------------|-----------------------|
| A | 10 | 123,90 | 31,00 | 625,00 | 177,752 |
| B | 10 | 518,40 | 35,00 | 1397,00 | 449,216 |



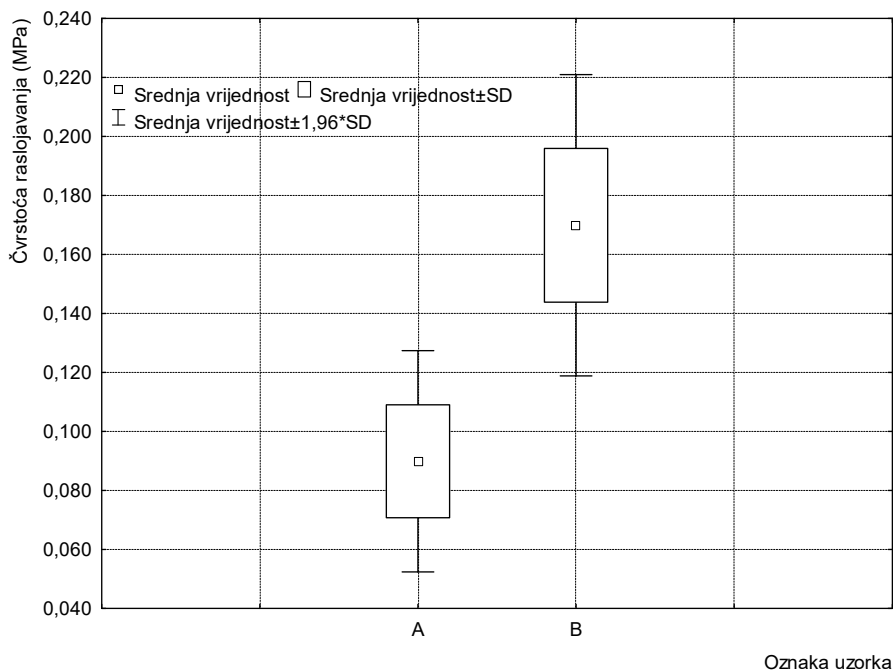
Slika 33. Grafički prikaz modula elastičnosti pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

Iz grafičkog prikaza modula elastičnosti ploča (sl. 33) vidljivo je da je on veći kod skupine uzoraka izrađenih iz ploče od krupnijeg iverja (B). Razlika aritmetičkih sredina modula elastičnosti ploča izrađenih od različite veličine iverja iznosi čak 394,50 MPa. Razlika između minimalnih vrijednosti modula elastičnosti za uzorke A i B je 4,00 MPa, a razlika između maksimalnih vrijednosti modula elastičnosti je 722,00 MPa. Rasipanje podataka je jako veliko kod obje skupine uzoraka, pri čemu kod uzoraka A iznosi 594,00 MPa, dok kod uzoraka B ono iznosi 1362,00 MPa. Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da su prosječne vrijednosti savojne čvrstoće (za uzorke A iznosi 123,90 MPa, a za uzorke B iznosi 518,40 MPa) jako niske za obje skupine uzoraka. Iako je kod uzorka B vrijednost više nego duplo veća od uzorka A, nijedna skupina uzoraka ne zadovoljava normiranu vrijednost svog debljinskog razreda za tip ploče P2 koje iznose 1800 MPa prema normi HRN EN 312:2010.

5.9. Vlačna čvrstoća okomito na površinu

Tablica 11. Vlačna čvrstoća okomito na površinu pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

| Oznaka grupe uzoraka | Broj uzoraka (n) | Aritmetička sredina (MPa) | Minimum (MPa) | Maksimum (MPa) | Standardna devijacija |
|----------------------|------------------|---------------------------|---------------|----------------|-----------------------|
| A | 10 | 0,09 | 0,06 | 0,12 | 0,019 |
| B | 10 | 0,17 | 0,11 | 0,20 | 0,026 |



Slika 34. Grafički prikaz vlačne čvrstoće okomito na površinu pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

Iz grafičkog prikaza vlačne čvrstoće ploča (sl. 34) vidljivo je da je ona veća kod skupine uzoraka od krupnijeg iverja (B). Razlika aritmetičkih sredina vlačne čvrstoće ploča izrađenih od različite vrste iznosi 1,08 MPa. Razlika između minimalnih vrijednosti vlačne čvrstoće za uzorke A i B je 0,06 MPa, a razlika između maksimalnih vrijednosti vlačne čvrstoće je čak 0,09 MPa. Rasipanje podataka je jako veliko kod obje skupine uzoraka, pri čemu kod uzoraka A iznosi 0,05 MPa, dok kod uzoraka B ono iznosi 0,08 MPa. Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da su prosječne vrijednosti vlačne čvrstoće (za uzorke A iznosi 0,09 MPa, a za uzorke B iznosi 0,17 MPa) jako niske za obje skupine uzoraka. Nijedna skupina uzoraka ne zadovoljava normirane vrijednosti svog debljinskog razreda ni za tip ploča P2 ni za tip P1 koje iznose 0,28, odnosno 0,40 MPa prema normi HRN EN 312:2010.

6. ZAKLJUČAK

Rezultati ispitivanja svojstava ploča iverica izrađenih iz različitih dimenzija iverja pomoću adheziva na bazi limunske kiseline i saharoze upućuju na nekoliko zaključaka. Kod dobivenih rezultata treba uzeti u obzir da su rađene jednoslojne ploče iverica i dobivene gustoće su bile relativno male. Ploča izrađena od krupnijeg iverja pokazala je bolja svojstva, i fizikalna i mehanička od ploče izrađene od sitnijeg iverja. Ni jedna od dvije eksperimentalno izrađene ploče u ovom radu nije zadovoljila normirane vrijednosti za tehnička svojstva ploča iverica (P1) za opću uporabu u normalnim uvjetima ni normirane vrijednosti za tehnička svojstva ploča iverica (P2) za unutrašnje opremanje (uključujući namještaj) u normalnim uvjetima prema normi HRN EN 312:2010 Ploče iverice – Specifikacije. Iako su dobivene vrijednosti bile uglavnom nezadovoljavajuće može se zaključiti da se rezultati podudaraju s rezultatima prijašnjih istraživanja pri određenim parametrima. Mješavina limunske kiseline i saharoze je potencijalno dobro ljepilo koje bi usavršavanjem formule u budućnosti moglo zamijeniti klasična ljepila koja su produkt petrokemijske industrije. Potrebno je provesti daljnja istraživanja svih ispitivanih svojstva ploča iverica izrađenih s adhezivom na bazi limunske kiseline i saharoze, ali s više različitih dimenzija iverja te s nekim uvjetima izrade. Neki od uvjeta izrade bi trebali biti da se izrađuje standardna troslojna iverica, te da se pri izradi teži konačnoj gustoći ploče od $0,8 \text{ g/cm}^3$ kako bi se mogle dobiti maksimalne vrijednosti promatranih svojstava.

7. LITERATURA

1. Jambreković, V., 2004: Drvne ploče i emisija formaldehida. Šumarski fakultet, Zagreb.
2. Lasić, M., 2019: Svojstva ploča iverica izrađenih iz kore drva. Diplomski rad. Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb.
3. Umemura, K., Sugihara, O., Kawai, S., 2013: Investigation of a new natural adhesive composed of citric acid and sucrose for particleboard. *Journal of Wood Science*, 59:203–208
<https://doi.org/10.1007/s10086-013-1326-6>
4. Umemura, K., Sugihara, O., Kawai, S., 2015: Investigation of a new natural adhesive composed of citric acid and sucrose for particleboard II: effects of board density and pressing temperature. *Journal of Wood Science*, 61:40–44.
<https://doi.org/10.1007/s10086-014-1437-8>
5. *** HRN EN 312:2010 - Ploče iverice – Specifikacije
6. *** HRN EN 317:2000 Ploče iverice i vlaknatice – Određivanje debljinskog bubrenja nakon potapanja u vodu,
7. *** HRN EN 319:1999 - Ploče iverice i ploče vlaknatice – Određivanje vlačne čvrstoće okomito na površinu ploče.
8. *** HRN EN 322:2003 - Ploče na osnovi drva – Određivanje sadržaja vode.
9. *** HRN EN 323:2008 - Ploče na osnovi drva – Određivanje gustoće.
- 10.*** HRN EN 324-1:2003 - Ploče na osnovi drva – Određivanje dimenzija ploča – 1. dio: Određivanje debljine, širine i duljine.