

# Svojstva ploča iverica izrađenih iz izbijeljenog drvnog iverja

---

Havliček, Mislav

Undergraduate thesis / Završni 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:108:889929>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**



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**

**MISLAV HAVLIČEK**

**SVOJSTVA PLOČA IVERICA IZRAĐENIH IZ IZBIJELJENOG  
DRVNOG IVERJA**

**ZAVRŠNI RAD**

**ZAGREB, rujana 2023.**

## PODACI O ZAVRŠNOM RADU

<b>AUTOR:</b>	Mislav Havliček 02.06.1994. Zagreb, Hrvatska 0128059586
<b>NASLOV:</b>	Svojstva ploča iverica izrađenih iz izbijeljenog drvnog iverja
<b>TITLE:</b>	Properties of particleboards produced from bleached wood chips
<b>PREDMET:</b>	Ploče od usitnjenog drva
<b>MENTOR:</b>	Izv. prof. dr. sc. Nikola Španić
<b>IZRADU RADA JE POMOGAO:</b>	-
<b>RAD JE IZRAĐEN:</b>	Sveučilište u Zagrebu - Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Zavod za tehnologije materijala
<b>AKAD. GOD.:</b>	2022./2023.
<b>DATUM OBRANE:</b>	27.09.2023.
<b>RAD SADRŽI:</b>	Stranica: 24 Slika: 17 Tablica: 10 Navoda literature: 12
<b>SAŽETAK:</b>	<p>Današnji razvoj ekološke svijesti o nužnosti smanjenja ekološkog otiska i recikliranja materijala primorao je proizvođače ploča iverica na traženje alternativnih izvora za izradu drvnog iverja. Tako se danas sve više koristi drvni reciklat kojeg mahom čine staro otpadno drvo u svim oblicima, povučeno iz uporabe, odnosno jedno i višegodišnji izbojci plantažnih voćkarica. U odnosu na namjenski iverano drvo iz metrica i višemetrica, priprema drvnog iverja iz reciklata rezultira s velikim udjelom drvne prašine i općenito čestica drva manjih dimenzija, koje uz to imaju i neatraktivnu i nepoželjnu tamnu boju. Upravo s ciljem da se proba doskočiti potonje navedenom problemu, u sklopu ovog završnog rada provedeno je izbjeljivanje industrijski proizvedenih smjesa iverja za vanjske i središnji sloj troslojnih ploča iverica, te izrada i ispitivanje svojstava eksperimentalnih ploča iverica izrađenih primjenom takvog iverja.</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 koristilo drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Zagrebu, 27.09.2023. godine

---

*vlastoručni potpis*

Mislav Havliček

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. CILJ RADA.....	2
3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA.....	3
3.1. Svojstva ploča iverica izrađenih od drvnog otpada raznih dimenzija.....	2
3.2. Proizvodnja drvnih ploča iz recikliranog drva.....	6
3.3. Mogućnost primjene predtretirane sirovine na bazi reciklata ploča iverica za proizvodnju novih ploča iverica.....	8
4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA.....	10
4.1. Izbjeljivanje drvnog iverja.....	10
4.2. Izrada ploča iverica.....	11
4.3. Ispitivanje ploča iverica .....	11
4.3.1. Fizikalna svojstva.....	12
4.3.2. Mehanička svojstva.....	12
4.4. Mjerna oprema korištena u istraživanju .....	12
5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA .....	14
5.1. Debljina ploča .....	14
5.2. Gustoća ploča.....	15
5.3. Sadržaj vode .....	16
5.4. Debljinsko bubrenje.....	17
5.5. Apsolutno upijanje vode .....	18
5.6. Relativno upijanje vode.....	19
5.7. Savojna čvrstoća.....	20
5.8. Vlačna čvrstoća.....	21
6. RASPRAVA.....	23
7. ZAKLJUČCI.....	24

## 1. UVOD

U današnje vrijeme, kada je svijet pod sve većim negativnim utjecajem zagađenja okoliša, potrebno je razmišljati o alternativnijim metodama izrade ploča od usitnjenog drva i samim time razviti pristup koji je ekološki prihvatljiviji. Dakle onečišćenje okoliša je bitna stavka, ne samo u drvnj industriji, nego zahvaća sve proizvodnje koje imaju negativan ekološki utisak. Uz takav pristup bitno je napomenuti da i kvaliteta same ploče mora biti na određenom nivou, tako da je uz ekološku stavku bitna i kvalitetna proizvodnja ploča od usitnjenog drva. U današnje vrijeme, kroz godine, počela se primijenjivati ekološka svijest, što znači da je sve više industrija započelo proces reciklaže, ne samo drvnih otpadaka, nego i samih drvnih ploča koje su već prethodno bile iskorištene u određenim svrhama (konstrukcijske, namještaj itd.). Veliki udio pločastih materijala prolazi kroz razne kemijske procese i obrade, te je bitno ulagati u istraživački sektor pomoću kojeg će se pronalaziti rješenja za rješavanje kemijskih komponenta koje loše utječu na okoliš i zdravlje, dakle odstranjivanje ili barem djelomično uklanjanje i smanjenje toksičnih tvari unutar ploče. Stoga su danas znanstvenici počeli ispitivati razne metode proizvodnje ploča kako bi smanjili emisiju štetnih tvari, drvne prašine, ali i povećali kvalitetu same ploče, odnosno poboljšali fizikalna i mehanička svojstva, kako bi ploča trajala duže kroz vrijeme. Najosnovnija komponenta svih ploča, osim drvnog iverja, je vezivo na bazi sintetskih smola, koje ne zadovoljava ekološke standarde. Upravo je ta kemijska komponenta aktivirala zeleniji pristup u proizvodnji te istraživačkom sektoru. Jedan takav slučaj se nalazi u ovom radu, gdje se pokušava pronaći način kako smanjiti toksične tvari, ali najviše od svega kako dobiti svjetliju teksturu ploče, naravno uz smanjenje drvne prašine iverja.

## 2. CILJ RADA

U današnje vrijeme kada se prirodni resursi brzo troše, a klimatska kriza pokazuje svoj negativni razvoj, ekološka svijest igra bitnu ulogu za sadašnjost i budućnost našeg planeta. Svijest o okolišu uzima se zdravo za gotovo, no ona mora postati koncept kako pojedinca tako i društva u svakodnevnom životu. Takav način razmišljanja i djelovanja ne zaobilazi niti našu branšu, naprotiv, prisilio je proizvođače u drvnjoj industriji (posebice u proizvodnji ploča iverica) na pronalazak alternativnih izvora za izradu drvnog iverja. Zbog toga se, u našoj industriji, koristi sve više drvni reciklat izrađen iz otpadnog drva dobiven u svim oblicima i iz raznih načina uporabe. U odnosu na klasičan proces iveranje drva, priprema drvnog iverja iz reciklata uzrokuje veliki udio drvne prašine i čestica drva manjih dimenzija, koje svojedobno u kasnijim fazama izrade ploča iverica, ostavljaju neatraktivnu tamnu boju, što je estetski nepoželjno. Kako bi se izbjegao takav problem, cilj ovog završnog rada je provođenje alternativnog rješenja izrade troslojnih ploča iverica, a to uključuje izbijeljivanje industrijski proizvedenih smjesa iverja za vanjski i središnji sloj, te izrada i ispitivanje svojstava eksperimentalnih ploča iverica primjenom takvog iverja.

### **3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA**

Analizom prethodnih istraživanja, dokazano je da je sve više industrija u sektoru primorano na alternativniji način proizvodnje ploča od usitnjenog drva, koje se izrađuju od recikliranog materijala, odnosno od drvnih resursa i ploča koje su prethodno korištene u razne svrhe i namjene kao što su: konstruktivne svrhe, postrojenja, reciklati od gradnje i rušenja, ambalaže, namještaj itd.. S obzirom na današnju situaciju, znanstvenici, već svjesni alarmantne situacije, počeli su istraživati i razvijati nove i alternativne metode izrade ploča od drvnog derivata, kako bi unaprijedili ekološku svijest i smanjili emisiju otpadnih i toksičnih supstanci. Takve su ploče već u njihovom sastavu izrađene od nekih toksičnih i kancerogenih tvari kao što je formaldehid. Osim takvih sastojaka, treba napomenuti da ploče koje se rade od otpadnog drva, te prethodno korištenih ploča, prolaze kroz svakakve procese i promjene njihovih svojstava (posebno kemijskih). S toga je od velike važnosti da se unaprijede alternativne metode, kako bi se što više moglo reciklirati na ekološkoj razini, jer sav taj otpadni materijal, iako eventualno prođe kroz proces reciklaže, opet ima veliki utjecaj na okoliš, zagađujući vodu, tlo i zrak. Znanstvenici koji su se bavili i koji se bave takvim proučavanjima, žele naglasiti važnost primjene novih varijanti u ovom sektoru, te provesti što prije ovakav pristup i uložiti vremena, truda i kapitala u takva proučavanja. Osim povećanja ekološke svijesti i smanjenja otpadnog materijala, svrha svih ispitivanja je i način izrade ploče bolji fizikalnih, kemijskih i mehaničkih svojstava, kako bi imale što duži vijek trajanja i bolje karakteristike. Ipak, analizirajući prethodna istraživanja i ovaj završni rad, najvažniji je naglasak na ekološki otisak, te pronalazak novih metoda izrade ploča od usitnjenog drva i drvnog reciklata sa što manjom emisijom otpadnih tvari. U proučavanjima i ispitivanjima koji su uzeti u obzir, rezultati su zadovoljavajući, te u nastavku slijede njihove analize i zaključci, koji dokazuju da je, uz određeni razvitak, moguće pristupiti i alternativnim metodama, ostavljajući što manji negativan utjecaj na okoliš.

#### **3.1. Svojstva ploča iverica izrađenih od drvnog otpada raznih dimenzija**

U istraživanju autora Astari i sur. (2018) glavni cilj je bio proučiti i ispitati fizikalna i mehanička svojstva iverice izrađene od drvnog otpada raznih veličina: grubi (3.360 mm), fini (2.00 mm) i mješoviti, odnosno istražiti fizikalna i mehanička svojstva iverice



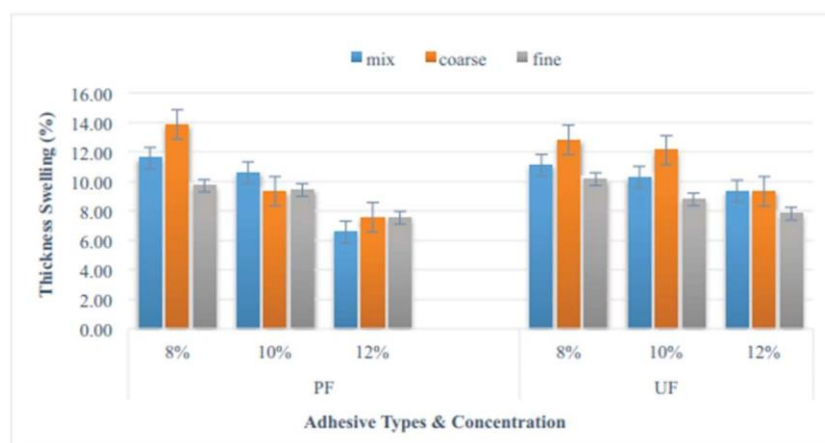
izrađene od različitih dimenzija drvnog otpada i različitih vrsta ljepila, stavljajući ih u odnos. Čestice su osušene u pećnici prije izrađivanja ploče; miješanje ljepila i čestica provedeno je u bubnju za sljepljivanje, zatim vruće prešano na temperaturi od 150°C za KF (karbamid-formaldehidno ljepilo) i 130°C za FF (fenol-formaldehidno ljepilo). Mehaničko ispitivanje provedeno je pomoću univerzalnog stroja za ispitivanje. U ovom istraživanju korištena su KF i FF ljepila raznih sadržaja: 8%, 10% i 12%.

U nastavku tablica prikazuje veličinu drvnog otpada i vrstu ljepila sa postotkom koncentracije korišteni za proizvodnju ploče.

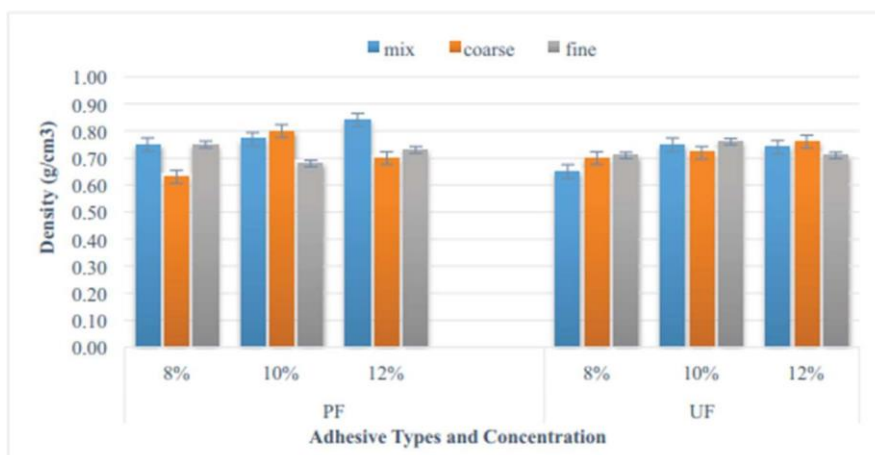
**Tablica 1.** Receptura proizvedenih ploča iverica (*Izvor: Astari i sur., 2018.*)

Adhesive type & Percentage	Particle size		
	Coarse (3.360 mm)	Fine (2.00 mm)	Mixture (coarse and fine)
UF 8%	2	2	2
UF 10%	2	2	2
UF 12%	2	2	2
PF 8%	2	2	2
PF 10%	2	2	2
PF 12%	2	2	2

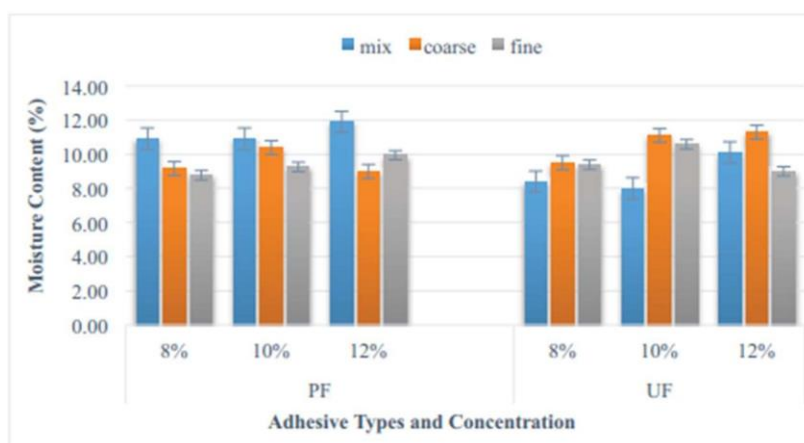
Proizvedenim ivericama ispitana su mehanička i fizikalna svojstva a u istraživanju je korišteni Japanski industrijski standard (JIS A 5908:2003). Rezultati su pokazali da se većom količinom ljepila povećavaju mehanička i fizikalna svojstva, te je u jednom istraživanju objavljeno da vrsta i geometrija čestica i maseni postotak ljepila direktno utječu na mehaničku izvedbu ploče gdje su gustoća i debljina ploče najviše zadovoljavala cilj ispitivanja. Dokazano je da i kod KF i FF smola fine čestice s 12% sadržaja ljepila daju vrhunska svojstva u odnosu na ostale postotke, što je i prikazano na slikama 1-4.



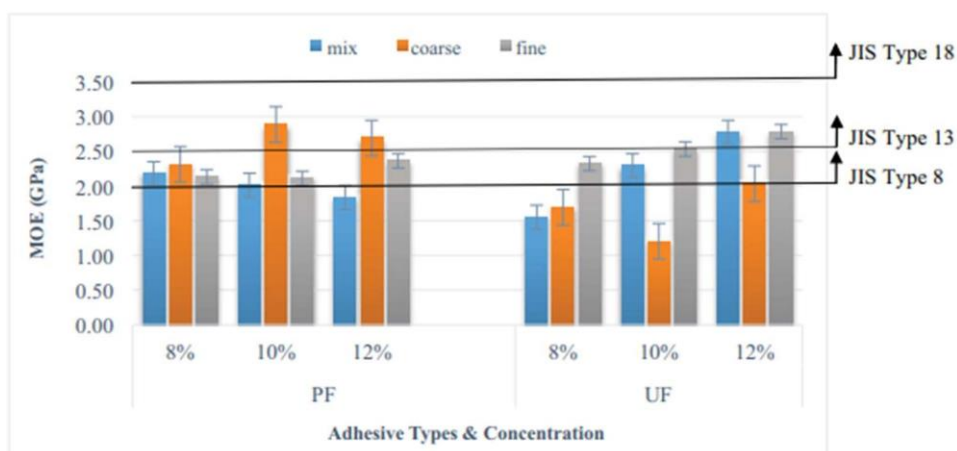
**Slika 1.** Debljinsko bubrenje ploča iverica (*Izvor: Astari i sur., 2018.*)



Slika 2. Gustoća ploča iverica (Izvor: Astari i sur., 2018.)



Slika 3. Sadržaj vode ploča iverica (Izvor: Astari i sur., 2018.)



Slika 4. Modul elastičnosti ploča iverica (Izvor: Astari i sur., 2018.)

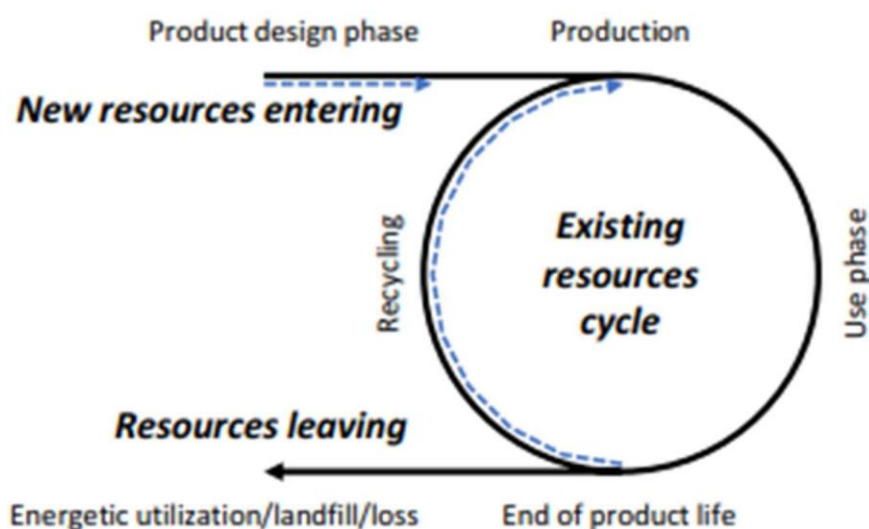
### 3.2. Proizvodnja drvnih ploča iz recikliranog drva

Autori Linh i sur. (2023) u svom su radu napravili sistematizaciju dostupnih podataka korištenju otpadnog drva za proizvodnju drvnih ploča. Iz korištene literature vidljivo je da većina istraživanja o otpadnom drvu dolazi iz Europe te je provedena uglavnom na recikliranom materijalu od iverice, koja je ujedno i prva opcija za proizvodnju ploča od otpadnog drva. Fizičke i kemijske nečistoće snažno variraju u mješavinama recikliranog drva niske i visoke kvalitete, ovisno o njihovom podrijetlu. Istraživanja su pokazala da se ploče od drva (npr. iverice) mogu proizvoditi od 100% drvnog otpada. Međutim, fizička i mehanička svojstva drvenih ploča sa visokim udjelom otpadnog drva opadaju zbog smanjenja omjera vitkosti i povećanja nečistoća. Štoviše, sadržaj emisije formaldehida ploča iverica i OSB ploča izrađene od čestica otpadnog drva, povećava se s povećanjem postotka otpadnog drva. Naprotiv, količina formaldehida se smanjuje s povećanjem sadržaja recikliranih vlakana u pločama vlaknaticama. Značajno je da se svojstva i emisija recikliranih proizvoda od drvnog kompozita mogu poboljšati primjenom visokotehnoloških načina sortiranja, odgovarajućim tehnikama usitnjavanja, odgovarajućim koracima pred obrade, i vezivima bez formaldehida tijekom rukovanja otpadnim drvetom i u procesima proizvodnje.

Otpadno drvo nakon upotrebe vrijedna je sirovina za energetski i materijalni sektor. Na temelju podataka Eurostata iz 2014. godine, Europa generira godišnje oko 60 milijuna tona otpadnog drva prikupljenog iz različitih sektora, gdje je Njemačka kao zemlja prethodnik u tome sa 6.6 milijuna tona (podatak iz 2016. godine). Prema EPA-i, SAD je 2018. godine proizveo oko 18,1 milijuna tona otpadnog drva prikupljenog iz komunalnog krutog otpada.

Otpadno drvo potječe iz raznih izvora, također se smatra visoko sofisticiranim materijalom što se tiče kemijskog i fizičkog sastava (Edo i dr. 2016). Kod otpadnog drva postoje različite fizikalne i kemijske nečistoće koje uzrokuju probleme u reciklažnim procesima i utječu na svojstva recikliranih proizvoda. S današnjim mehaničkim procesima moguće je sortirati fizičke nečistoće i zagađivače u otpadnom drvu kao što su plastika, metal, tekstil i sl. međutim, kemijski zagađivači koji dolaze odtvari za zaštitu drva, boja, ljepila itd., nisu mehanički lako uklonjivi iz otpadnog drva, s toga je važno dobro upravljanje tim zagađivačima radi ponovnog i učinkovitog korištenja, toliko da je pravilnik gospodarenja oko korištenja otpadnog drva

uspostavljen u mnogim zemljama. Ipak, postoji nedostatak jedinstvene uredbe o otpadnom drvu u današnjim zemljama. Njemačka, Austrija i Švicarska primjenjuju isti pravilnik podijeljen u četiri kategorije (AI, AII, AIII, AIV) ovisno o karakteristikama otpadnog drva, dok su Francuska, Belgija, Nizozemska i Luxemburg klasificirali svoje otpadno drvo u A, B, C i D (siječanj 2019.). Velika Britanija, Švedska, Estonija i Španjolska imaju svoj pravilnik o vlastitom otpadnom drvu. Mnoge zemlje nemaju uspostavljen pravilnik o otpadnom drvu, zbog toga je teško trgovati različitim prikupljenim sortimentima otpadnog drva između europskih zemalja. Unatoč razlikama u gospodarenju otpadnim drvom, stopa recikliranja razlikuje se od zemlje do zemlje u korištenju materijala i energije. Na primjer, u europskim zemljama već desetljećima energetska iskoristivost otpadnog drva premašuje iskoristivost materijala, čineći 60-95%. Švedska, Švicarska, Norveška, Nizozemska i Finska su vodeće europske zemlje koje dijele veliki udio otpadnog drva u energetske svrhe u rasponu od 85 do 95 % (BAV e.V. 2021.). U sektoru upotrebe materijala Italija je na prvom mjestu među europskim zemljama s udjelom od 42% otpadnog drva u proizvodnji ploča, a slijedi Austrija s 33% (Silvio 2018). Kao resursi, fosilni i obnovljivi izvori su ograničeni, s toga je European Green Deal postavio političku osnovu za prelazak s linearne na kružnu Ekonomiju, tako da proizvodi koji ulaze u ciklus moraju biti dizajnirani na način da podržavaju kružno korištenje (slika 5).



**Slika 5.** Postojeće smjernice korištenja resursa (puna linija) i pristupi kružnom gospodarenju (isprekidane linije) (Izvor: Linh i sur., 2023.)

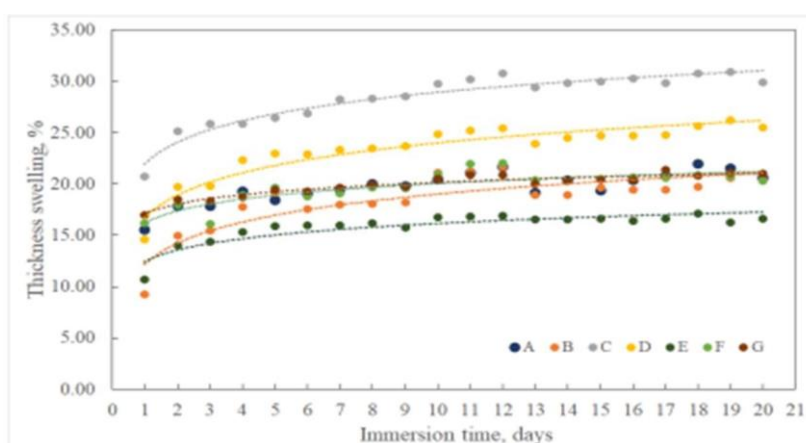
Međutim, konstantno korištenje resursa kroz recikliranje zahtijeva temeljit proces čišćenja kako bi se spriječila onečišćenja koja kontaminiraju cikluse tijekom vremena nakon što ih se prenosilo i sakupljalo. Kako interes korištenja prirodnih resursa raste, njihova učinkovita uporaba zajedno sa zaštitom potrošača izaziva veliku zabrinutost, pa su zbog toga mnogi autori i znanstvenici istraživali karakteristike različitih resursa otpadnog drva i njihovu upotrebu. Dok su neki bili usredotočeni na podrijetlo i kontaminante otpadnog drvnog materijala, ostali su se fokusirali na primjenu otpadnog drva u proizvodnji ploča na bazi drva, kao i njihove učinke na fizička i mehanička svojstva te emisiju formaldehida finalnih proizvoda.

### **3.3. Mogućnost primjene predtretirane sirovine na bazi reciklata ploča iverica za proizvodnju novih ploča iverica**

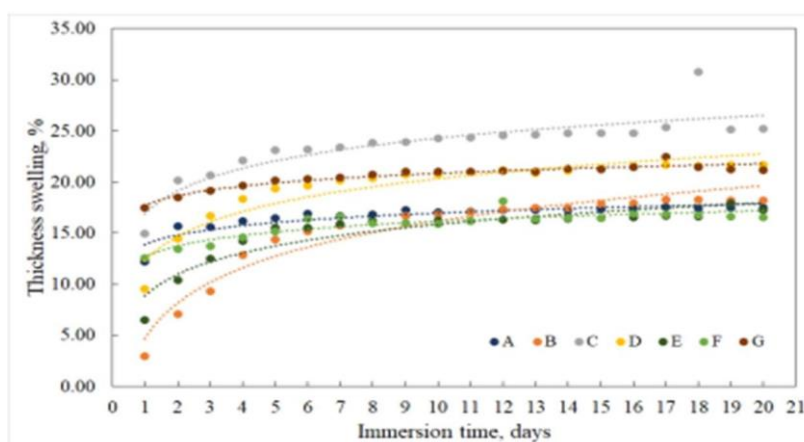
Autori Dafni i sur. (2022) u svom su istraživanju ispitali mogućnost naknadnog korištenja hidrotermički predobrađenog reciklata iz ploča iverica, za ponovnu proizvodnju ploča istog tipa. U svom su radi pionirski iskušali predodbradu otpadnih ploča hidrotermičkim postupcima, a s ciljem dobivanja reciklirane sirovine za ploče iverice. Hidrotermičkim metodama, ploče iverice, prethodno se tretiraju na više načina: u vrućoj vodi, parenjem te slabim kiselinama i lužinama, na različitim temperaturama, tlakovima, koncentracijama i procesu trajanja, kako bi se hidrolizom oslabila veza ljepila. Hidrotermičke metode zahtijevaju instalacije koje troše velike količine energije; postupak nije kontinuiran zbog uzastopnih punjenja i pražnjenja posuda, te postoji opasnost od onečišćenja koja dolaze s otpadnim vodama. U ovom istraživačkom radu proučavan je učinak 20-dnevnog uranjanja različitih vrsta obnovljenih ploča iverica na debljinsko bubrenje i upijanje vode. Ovaj predtretman je odabran radi pojednostavljenja obnove iverja hidromehaničkom metodom (vodeni mlaz). Maksimalno bubrenje postignuto je nakon 20-dnevnog potapanja, ali razlika između 10-dnevnog i 20-dnevnog uranjanja je bilo malo, što ukazuje da 10-dnevno uranjanje može biti odabrano kao vrijeme trajanja predtretmana. Otkriveno je da veza između čestica drvnog iverja nije potpuno razorena, s obzirom da je nakon uranjanja i sušenja, trajno bubrenje bilo niže od maksimalnog. Stoga je potrebno predloženu metodu unaprijediti povećanjem površine poprečnog presjeka na uzorcima iverice, nakon njihovog lomljenja, kako bi se stvorili nepravilni komadi i olakšalo prodiranje vode kroz čestice drva. U konačnici se može reći da je cilj ovog rada istražiti utjecaj veličine uzoraka i trajanja predobrade u hladnoj vodi za razne vrste ploča od iverice kako bi se

postiglo maksimalno bubrenje i, kao rezultat, veza ljepila između drvne sječke. Prednosti ove metode su niska potrošnja energije i niska cijena postupka, minimalno onečišćenje vode i mogućnost ponovne uporabe otpadnih voda nakon mehaničke filtracije.

Korišteni eksperimentalni materijali u ovom istraživanju su troslojne ploče iverice koje su imale vrijednost gustoće između 0,65 i 0,85 g/cm<sup>3</sup>, a prikupljene su iz raznih vrsta otpadnih iverica koje su podijeljene u tri kategorije (jedna ne oplemenjena iverica označena sa C, jedna furnirana označena sa F i pet ploča iverica oplemenjene sa melaminskom folijom oznake A, B, D, E i G) nazivne debljine između 16 mm i 18 mm. Rezultati analize i ispitivanja su vidljivi na slikama 6 i 7.



**Slika 6.** Odnos između trajanja procesa uranjanja i debljinskog bubrenja uzoraka ploča iverica dimenzija 2,5 x 2,5 cm za sve kategorije (A-G) (Izvor: Dafni i sur., 2022.)



**Slika 7.** Odnos između trajanja procesa uranjanja i debljinskog bubrenja uzoraka ploča iverica dimenzija 5,0 x 5,0 cm za sve kategorije (A-G) (Izvor: Dafni i sur., 2022.)

## 4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

Što se tiče postupka prezentiranog u ovom završnom radu, nema dostupnih podataka, jer se radi o izradi ploče iverice od izbjeljenog iverja. Ovo je dosad prvi put da se ploča iverica proizvodi takvim postupkom, odnosno prethodno tretiranim drvnim iverjem. Stoga su završni rad, a i samo istraživanje provedeni upravo zbog ispitivanja novog načina proizvodnje ploče iverice imajući u obzir ekološki i reciklirajući aspekt.

### 4.1. Izbjeljivanje drvnog iverja

Drvno iverje središnjeg i vanjskog sloja izbjeljeno je primjenom otopine natrijevog peroksida. Spomenuta otopina pripremljena je miješanjem jednakih dijelova (po 1000 ml) natrijevog hidroksida pripremljenog kao vodena otopina koncentracije 2 mol/l (2N) i koncentriranog (30% vodena otopina) vodikovog peroksida. Po miješanju navedenih komponenti u staklenoj laboratorijskoj čaši od 2000 ml, tekući medij za izbjeljivanje prebačen je u plastičnu posudu zapremine 10 000 ml u kojem se nalazilo prethodno vagnuto iverje za pojedini sloj. S 2000 ml medija za izbjeljivanje tretirano je po 2000 g iverja za pojedini sloj ploča. Sam proces izbjeljivanja proveo se tretmanom iverja pripremljenim medijem kroz 30 sekundi, nakon čega je postupak prekinut dodatkom vode (5000 ml). Tako razblažena smjesa zatim je odvojena od iverja korištenjem polipropilenskog sita otvora oka od 0,5 mm, i iverje je dodatno isprano većim količinama obične (gradske) vode. Tako pripremljeno, izbjeljeno iverje je zatim sušeno (na metalnim sitima) u sušioniku s prisilnim strujanjem zraka, na temperaturi od 40 °C, kroz 2 dana. Konačni sadržaj vode izbjeljenog iverja bio je 6,5% za vanjski sloj, odnosno 9,9% za iverje središnjeg sloja. S obzirom na to da je reakcija izbjeljivanja iverja (drva) navedenom smjesom natrijeva peroksida iznimno burna, pri čemu se razvija vrlo visoka temperaturu uslijed čega dio tekućeg medija prelazi u paru (aerosol), u postupku izbjeljivanja iverja korištena je kompletna zaštitna oprema (maska za cijelo lice s odgovarajućim filtrom, rukavice od butilne gume, zaštitni prsluk i odgovarajuća obuća). S obzirom na to da je izbjeljivano iverje dobiveno usitnjavanjem reciklirane sirovine, koje u sebi sadrži niz nečistoća (polimeri, stara smola, sredstva za zaštitu i impregnaciju drva i sl.) s kojima medij dolazi u kontakt, pri izbjeljivanju su se sasvim sigurno razvile i dodatne potencijalno štetne tvari. Stoga se kompletna otopina za izbjeljivanje (koncentrirani medij i 5 l vode s kojom je smjesa razblažena) prilikom filtracije prebacila u za to prikladne polipropilenske spremnike i zbrinula na siguran

način. Tako pripremljeno iverje zatim je oblijepljeno primjenom ljepila na bazi urea-formaldehidne smole i korišteno za izradu troslojnih ploče iverica.

## 4.2. Izrada ploča iverica

U tablici 2. navedeni su postotni i maseni dodaci pojedinih komponenti korištenih za proizvodnju ploča iverica, a u tablici 3 parametri prešanja ploča.

**Tablica 2.** Receptura za izradu ploča iverica iz izbijeljene drvene sirovine

Komponente	Dodatak vanjskim slojevima		Dodatak središnjem sloju	
	g	ml	g	ml
KF smola	131,65	105,24	136,23	108,90
Parafinska emulzija	7,90	8,22	13,33	13,87
Katalizator	0,87	0,82	13,48	12,72
Voda	28,81	28,81	9,22	9,22
UKUPNO	169,22	143,08	172,26	144,71
Osušeno iverje	751,67	0,00	1221,64	0,00

**Tablica 3.** Parametri prešanja ploča iverica iz izbijeljene drvene sirovine

Parametar	Vrijednost
Tlak prešanja (MPa)	3,2
Temperatura prešanja (°C)	180
Vrijeme prešanja (min)	6

## 4.3. Ispitivanje ploča iverica

Ispitana svojstva, bitna za obradu navedene problematike, mogu se podijeliti u dvije skupine:

- mehanička svojstva
  - vlačna čvrstoća (čvrstoća raslojavanja),
  - savojna čvrstoća,
- fizikalna svojstva
  - gustoća,
  - sadržaj vode,
  - debljinsko bubrenje (i upijanje vode).

Pri uzorkovanju, krojenju i prikazu ispitnih rezultata primijenjene su norme HRN EN 326-1:1999 Ploče na osnovi drva - Uzorkovanje, krojenje i nadzor - 1. dio: Uzorkovanje i krojenje ispitnih uzoraka te prikaz ispitnih rezultata (EN 326-1:1994). No s obzirom na mali format eksperimentalnih ploča iverica i znanstvenoistraživačke ciljeve, nije bila moguća dosljedna primjena navedenih normi.



#### 4.3.1. Fizikalna svojstva

Od fizikalnih svojstava eksperimentalnih ploča iverica ispitana je gustoća, sadržaj vode i debljinsko bubrenje kroz 24 h. Ispitivanja su provedena prema ovim normama:

- gustoća - HRN EN 323:2008 Ploče na osnovi drva - Određivanje gustoće (EN 323:1993),
- sadržaj vode - HRN EN 322:1993 Ploče na osnovi drva - Određivanje sadržaja vode (EN 322:1993),
- debljinsko bubrenje - HRN EN 317:2000 Ploče iverice i ploče vlaknatice - Određivanje debljinskog bubrenja nakon potapanja u vodi (EN 317:1993).

#### 4.3.2. Mehanička svojstva

Od mehaničkih svojstava ispitana je savojna čvrstoća i vlačna čvrstoća (čvrstoća raslojavanja), prema sljedećim normama:

- savojna čvrstoća - HRN EN 310:1999 Ploče na osnovi drva - Određivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti savojne čvrstoće (EN 310:1993),
- vlačna čvrstoća - HRN EN 319:1999 Ploče iverice i ploče vlaknatice - Određivanje vlačne čvrstoće okomito na površinu ploče (EN 319:1993).

#### 4.4. Mjerna oprema korištena u istraživanju

Debljina uzoraka mjerena je digitalnim mikrometrom s pomakom mjernih površina po načelu vijka, mjernog područja od 0-25 mm, s točnošću mjerenja na tri decimale.



**Slika 8.** Digitalni mikrometar i pomično mjerilo (**Foto:** Maleta, 2011.)

Duljina i širina uzoraka mjerene su digitalnim pomičnim mjerilom mjernog područja od 0-150 mm. Masa uzoraka mjerena je tehničkom vagom s točnošću mjerenja na dvije decimale, proizvođača Sartorius, model TE 612-L.

Mehanička svojstva (savojna čvrstoća i čvrstoća raslojavanja) mjerena su na uređaju za ispitivanje mehaničkih svojstava Schenck Trebel (slika 9).



**Slika 9.** Uređaj za ispitivanje mehaničkih svojstava Schenck TREBEL

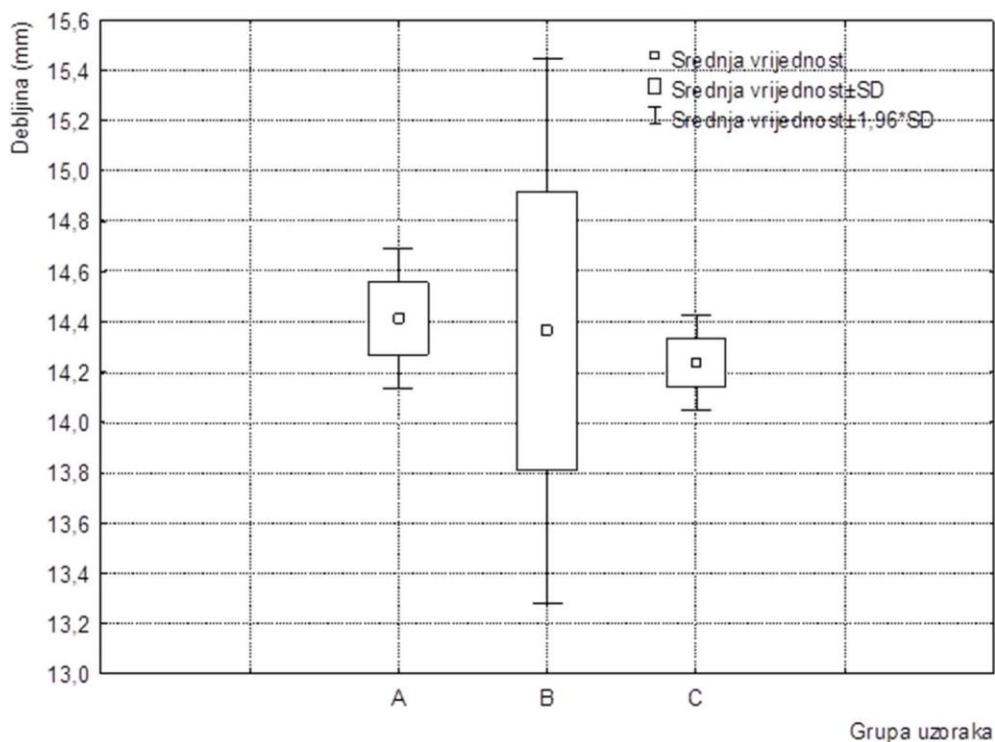
## 5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U ovom poglavlju ovog završnog rada prikazati će se rezultati ispitivanja, odnosno svojstva ploča kao i odnos između ploče izrađene iz izbijeljenog iverja i ploča izrađenih iz kombinacije izbijeljenog i ne izbijeljenog iverja, odnosno eksperimentalne ploče izrađene iz reciklata koji nije predobrađen (izbijeljen). Označena sa slovom A je ploča iverica izrađena od industrijskog ne predobrađenog iverja, pod B je ploča iverica čiji je samo središnji sloj proizveden od izbijeljenog iverja i na kraju pod C je ispitana za ovaj završni rad ploča iverica od izbijeljenog drvnog iverja kako u središnjem sloju tako i u vanjskim slojevima.

### 5.1. Debljina ploča

**Tablica 4.** Debljine pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

Oznaka ploče	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (mm)	Minimum (mm)	Maksimum (mm)	Standardna devijacija
A	8	14,41	14,23	14,68	0,143
B	8	14,36	13,73	15,16	0,553
C	8	14,23	14,10	14,38	0,097



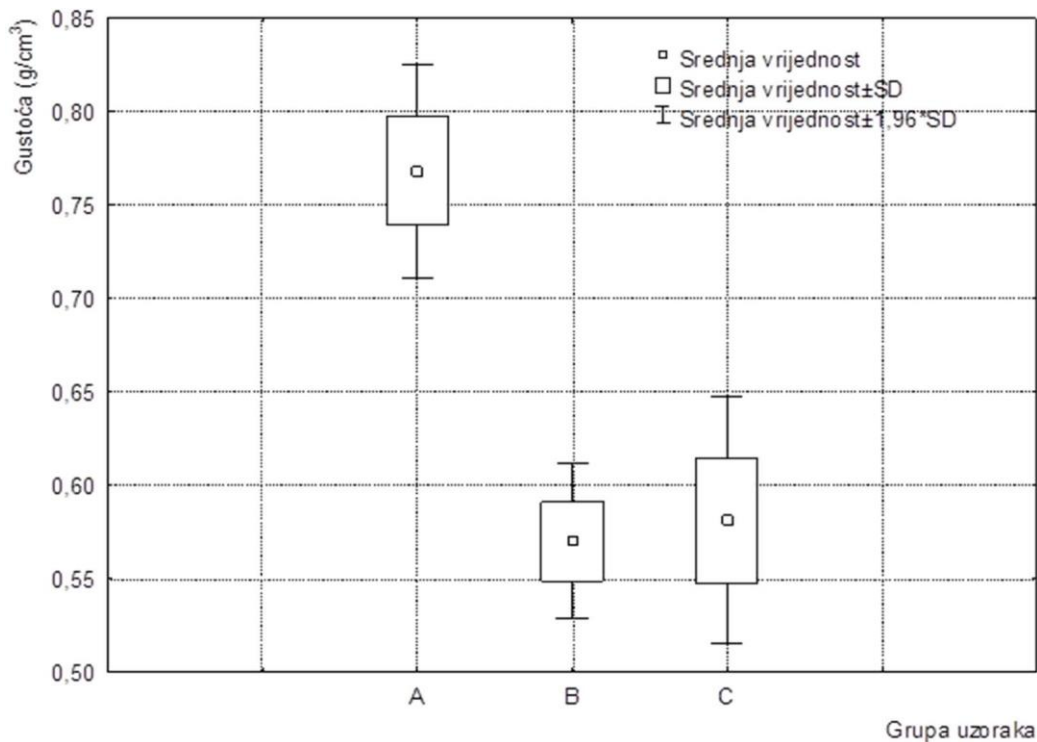
**Slika 10.** Grafički prikaz debljine pojedinih grupa uzoraka ispitanih ploča

Iz grafičkog prikaza debljine ploča (slika 10) vidljivo je da postoji razlika u debljini ploča izrađenih od različite vrste iverja. Razlika u aritmetičkoj sredini između najvećeg uzorka (A) i najmanjeg (B) je 0,18 mm. Razlika između minimalnih debljina uzoraka je najvidljivija na uzorcima B, gdje je relativno niža od ostala dva uzorka, dok između njih (A i C) je razlika 0,13 mm; isto tako vrijedi i za maksimalnu debljinu, gdje je kod uzoraka B opet veće odstupanje od ostala dva uzorka. Rasipanje podataka je najveće kod uzoraka B i iznosi 1,43 mm, dok je kod uzoraka A 0,45 mm a kod C 0,28 mm. Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da je veličina uprešavanja približno jednaka za uzorke A i C, dok kod uzoraka B znatno odskače.

## 5.2. Gustoća ploča

**Tablica 4.** Gustoće pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

Oznaka ploče	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (g/cm <sup>3</sup> )	Minimum (g/cm <sup>3</sup> )	Maksimum (g/cm <sup>3</sup> )	Standardna devijacija
A	8	0,768	0,734	0,828	0,290
B	8	0,569	0,544	0,600	0,020
C	8	0,581	0,530	0,631	0,033



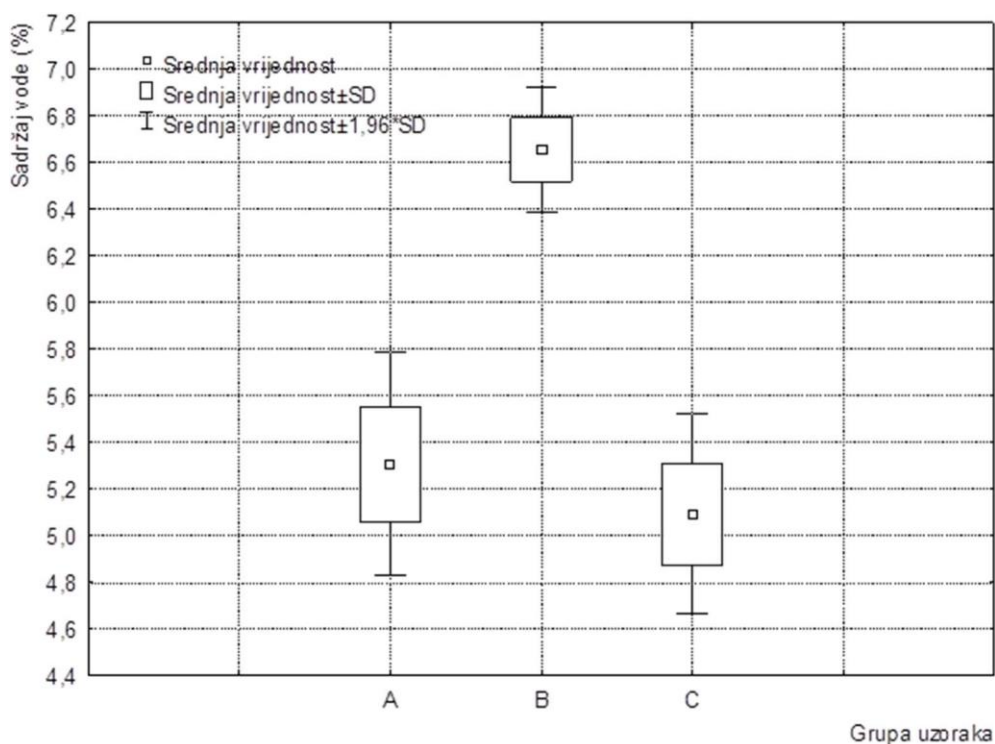
**Slika 11.** Grafički prikaz gustoća pojedinih grupa uzoraka ispitanih ploča

Iz grafičkog prikaza gustoće ploča (slika 11) vidljivo je da postoji mala razlika u gustoći ploča izrađenih od različite vrste iverja ali ona nije velika jer razlika aritmetičkih sredina uzoraka B i C iznosi tek  $0,012 \text{ g/cm}^3$ , dok je kod uzorka A znatno veća te iznosi  $0,187 \text{ g/cm}^3$  od druge najveće. Ista stvar se može vidjeti kad se stavi u odnos minimalna i maksimalna gustoća uzorka A sa ostala dva, di pogotovo razlika između maksimalne gustoće uzorka A i C iznosi  $0,197 \text{ g/cm}^3$ . Što se tiče rasipanja podataka najveće odstupanje ima uzorak C sa čak  $0,101 \text{ g/cm}^3$ . Standardna devijacija je opet najveća kod uzorka A te je razlika između tog uzorka i uzorka C čak od  $0,270 \text{ g/cm}^3$ . Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da se gustoće razlikuju značajno, te je vidljivo da kod uzorka A izrađenog od industrijskog iverja, gustoća ima nešto veće vrijednosti.

### 5.3. Sadržaj vode

Tablica 5. Sadržaj vode pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

Oznaka ploče	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (%)	Minimum (%)	Maksimum (%)	Standardna devijacija
A	8	5,31	4,96	5,70	0,240
B	8	6,66	6,47	6,87	0,144
C	8	5,09	4,75	5,41	0,221



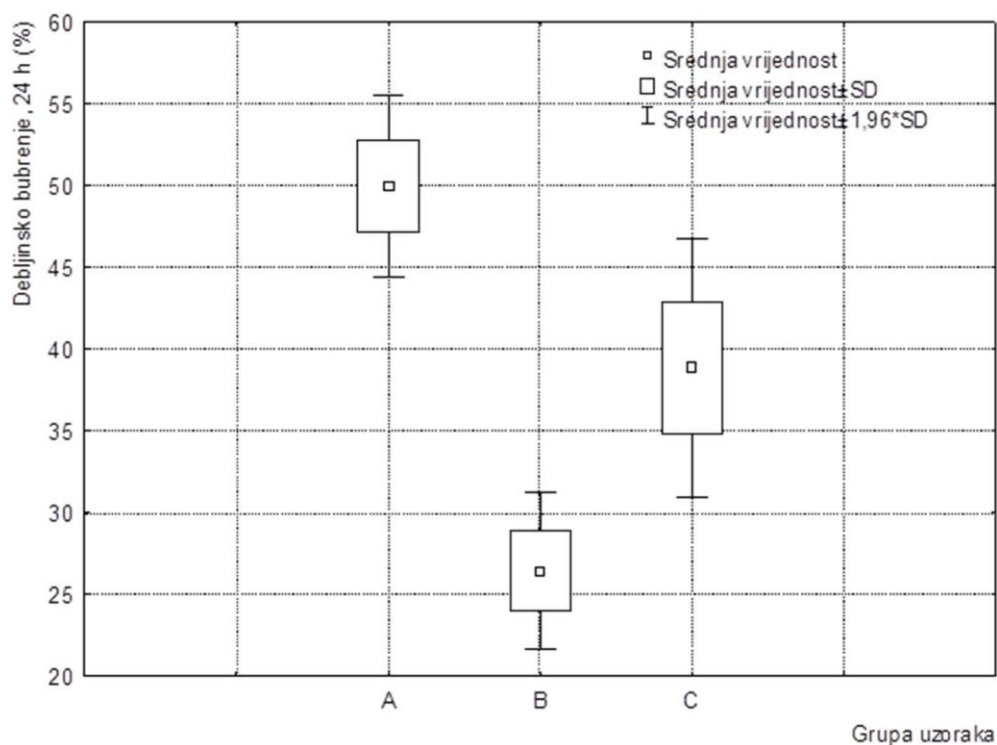
Slika 12. Grafički prikaz sadržaja vode pojedinih grupa uzoraka ispitanih ploča

Iz grafičkog prikaza sadržaja vode ploča (slika 12) vidljivo je da postoji razlika u sadržaju vode ploča izrađenih od različite vrste iverja, te se može vidjeti da je između uzorka B i C razlika od 1,57 %. Razlika između minimalnih i maksimalnih sadržaja vode je opet znatno viša u uzorku B naspram uzoraka A i C. Rasipanje podataka je relativno veće kod uzoraka A (0,74 %) i C (0,66 %), dok je kod uzorka B od 0,4 %. Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da se sadržaji vode razlikuju znatno kod uzorka B u odnosu na uzorke A i C.

## 5.4. Debljinsko bubrenje

**Tablica 6.** Debljinsko bubrenje pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

Oznaka ploče	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (%)	Minimum (%)	Maksimum (%)	Standardna devijacija
A	8	49,94	44,48	52,23	2,822
B	8	26,45	22,75	30,03	2,427
C	8	38,86	31,59	44,34	4,041



**Slika 13.** Grafički prikaz debljinskog bubrenja pojedinih grupa uzoraka ispitanih ploča

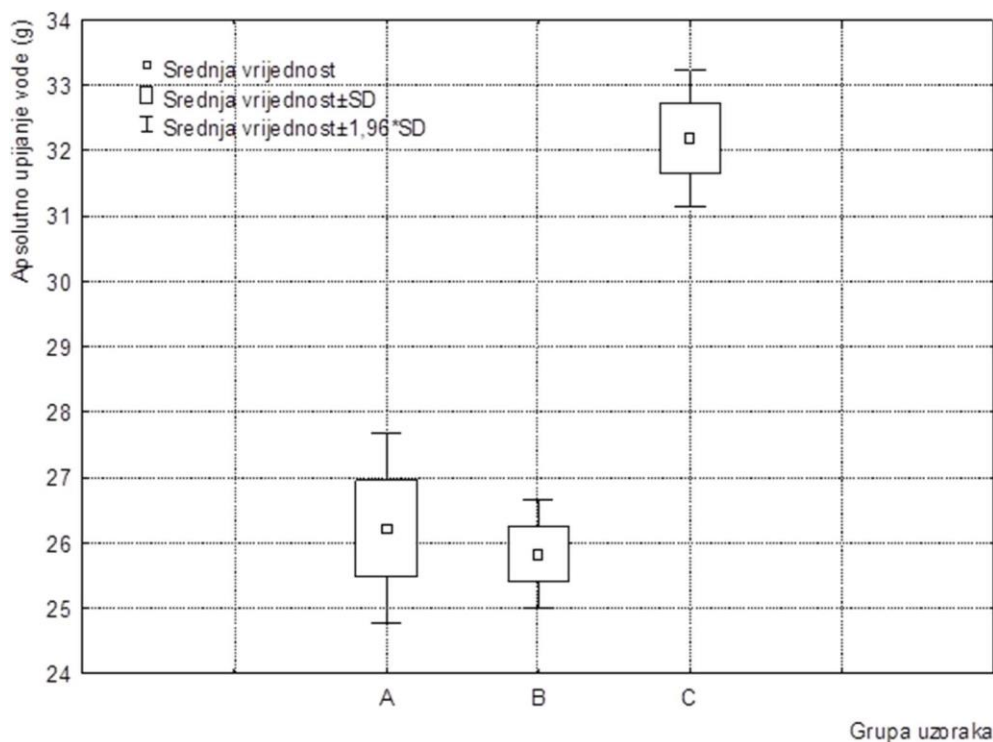
Iz grafičkog prikaza debljinskog bubrenja ploča (slika 13) vidljivo je da postoji velika razlika u debljinskom bubrenju ploča izrađenih od različite vrste iverja i to je vidljivo po razlici aritmetičkih sredina bubrenja između ploče A sa B i C gdje je od C veća za 11,08

% dok je od B veća za čak 23,49 %. Razlika između minimalnih i maksimalnih bubrenja između ploče A sa pločama B i C je isto relativno velika kao i kod aritmetičke sredine. Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da je debljinsko bubrenje poprilično veliko za skupine uzoraka A i C ali i da se znatno razlikuje. Kod uzoraka A od industrijskog iverja debljinsko bubrenje je puno izraženije.

## 5.5. Apsolutno upijanje vode

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

Oznaka ploče	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (g)	Minimum (g)	Maksimum (g)	Standardna devijacija
A	8	26,22	25,34	27,50	0,740
B	8	25,82	25,05	26,15	0,419
C	8	32,19	31,45	32,88	0,528



**Slika 14.** Grafički prikaz apsolutnog upijanja vode pojedinih grupa uzoraka ispitanih ploča

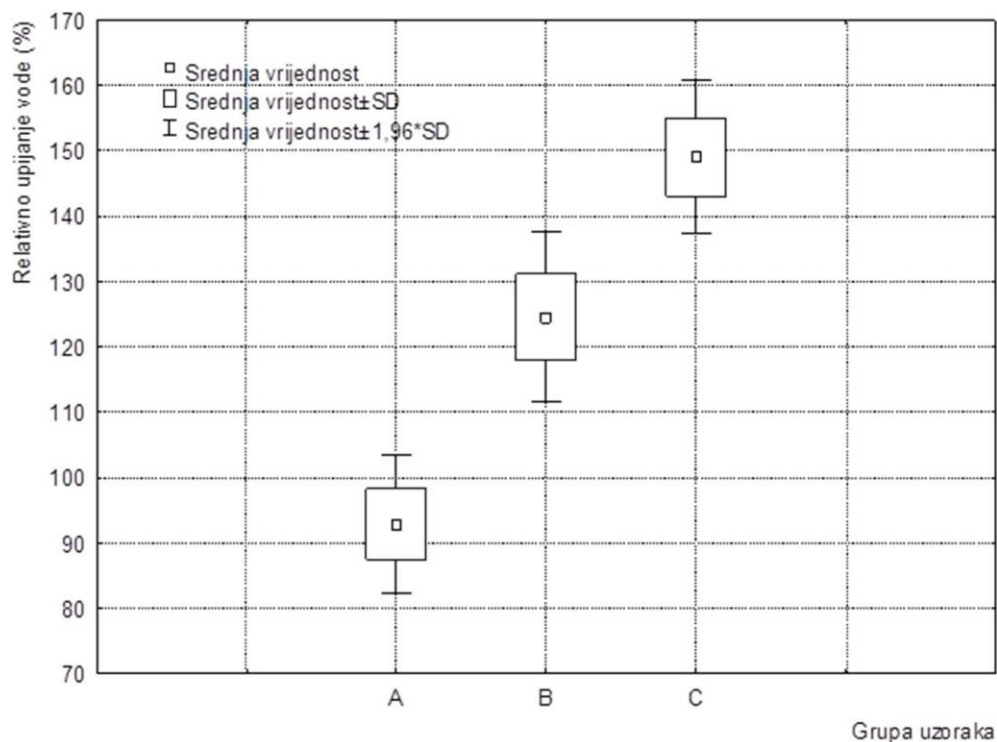
Iz grafičkog prikaza apsolutnog upijanja vode ploča (slika 14) vidljivo je da je razlika srednja u apsolutnom upijanju vode ploča izrađenih od različite vrste iverja i to je vidljivo po razlici aritmetičkih sredina uzorka (C i B) apsolutnog upijanja vode koja iznosi 6,37 g. Razlika između minimalnih i maksimalnih vrijednosti apsolutnog upijanja

vode za uzorke C u odnosu na A i B je slična kao i kod aritmetičke sredine, te iznosi nešto više od 6 g. Rasipanje podataka nije toliko veliko, s obzirom da je najveća razlika kod uzoraka A i iznosi 2,16 g. Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da apsolutno upijanje vode nema velika odstupanja između tri ispitana uzorka.

## 5.6. Relativno upijanje vode

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

Oznaka ploče	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (%)	Minimum (%)	Maksimum (%)	Standardna devijacija
A	8	92,83	84,61	98,13	5,413
B	8	124,52	109,50	131,15	6,639
C	8	148,97	139,95	158,58	5,975



**Slika 15.** Grafički prikaz relativnog upijanja vode pojedinih grupa uzoraka ispitanih ploča

Iz grafičkog prikaza relativnog upijanja vode ploča (slika 15) vidljivo je da postoji relativno značajna razlika u relativnom upijanju vode ploča izrađenih od različite vrste iverja i to je vidljivo po razlici aritmetičkih sredina relativnog upijanja vode između svih uzoraka, gdje je maksimalna razlika 56,14 %. Rasipanje podataka nije toliko veliko kod nijedne skupine uzoraka, međutim je najveće kod uzorka B te iznosi 21,65%, dok kod uzoraka A i C ne premašuje 20 %. Standardna devijacija je dakle najizraženija kod

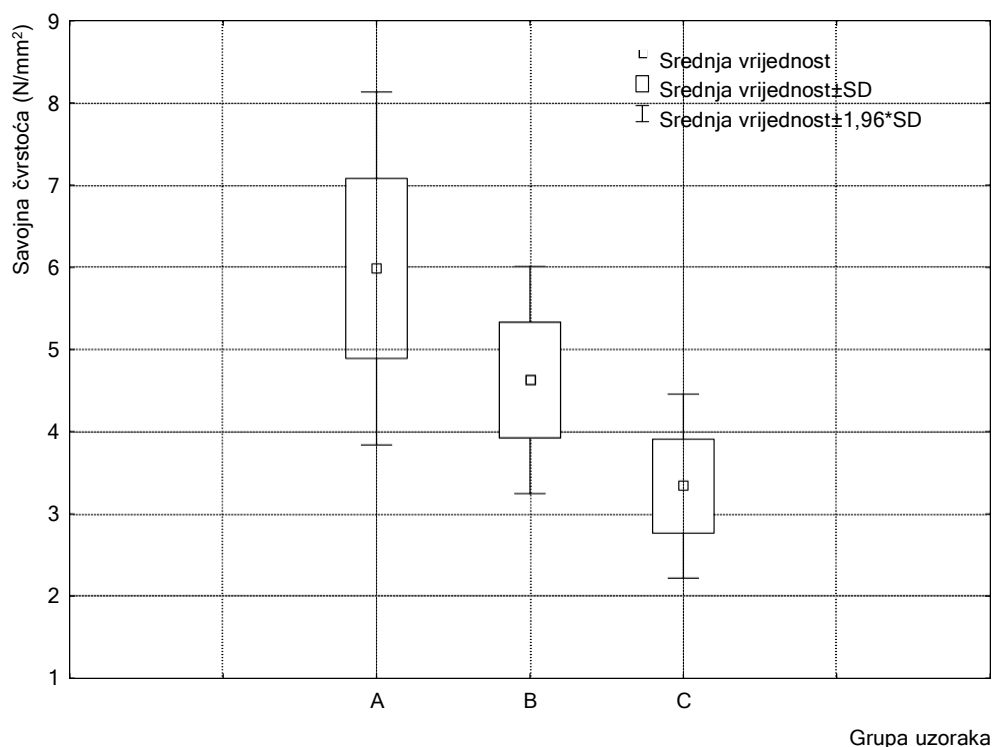


uzoraka B (izbijeljeni središnji sloj). Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da je relativno upijanje vode jako veliko za skupinu uzoraka C (ploče iz kompletno izbijeljene sirovine), te da se rezultati različitih skupina uzorka međusobno znatno razlikuje.

## 5.7. Savojna čvrstoća

**Tablica 9.** Savojna čvrstoća pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

Oznaka ploče	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (N/mm <sup>2</sup> )	Minimum (N/mm <sup>2</sup> )	Maksimum (N/mm <sup>2</sup> )	Standardna devijacija
A	8	5,98	4,68	8,39	1,095
B	8	4,62	3,02	5,32	0,705
C	8	3,33	2,38	4,3	0,571



**Slika 16.** Grafički prikaz savojne čvrstoće pojedinih grupa uzoraka ispitanih ploča

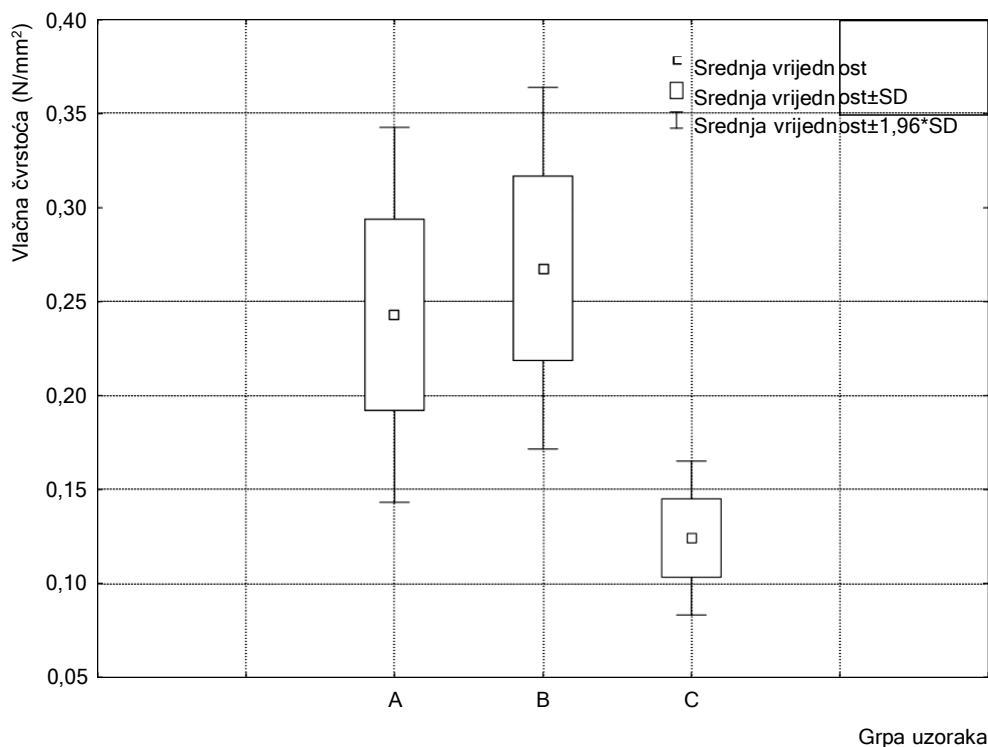
Iz grafičkog prikaza savojne čvrstoće ploča (slika 16) vidljivo je da je ona veća kod skupine uzoraka od industrijskog iverja (A). Najveća razlika aritmetičkih sredina savojne čvrstoće ploča izrađenih od različite veličine sirovine (odnos uzorka A sa C) iznosi čak 2,65 MPa. Razlika između minimalnih i maksimalnih vrijednosti savojne čvrstoće između uzoraka A i C je skoro duplo veća. Rasipanje podataka je dosta veliko kod sve tri skupine uzoraka, ali najviše u skupini A gdje je 3,71 MPa. Iz rezultata i

grafičkog prikaza može se zaključiti da su prosječne vrijednosti savojne čvrstoće relativno niske za sve tri skupine uzoraka. Bez obzira što je skupina uzoraka A relativno velika naspram skupine C i donekle B, nijedna skupina uzoraka ne zadovoljava normirane vrijednosti debljinskog razreda ni za tip ploča P2 ni za tip P1 koje iznose 11 MPa prema normi HRN EN 312:2010.

## 5.8. Vlačna čvrstoća

**Tablica 10.** Vlačna čvrstoća pojedinih grupa uzoraka eksperimentalnih ploča iverica

Oznaka ploče	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (N/mm <sup>2</sup> )	Minimum (N/mm <sup>2</sup> )	Maksimum (N/mm <sup>2</sup> )	Standardna devijacija
A	8	0,24	0,18	0,32	0,051
B	8	0,26	0,17	0,33	0,049
C	8	0,12	0,10	0,16	0,021



**Slika 17.** Grafički prikaz vlačne čvrstoće pojedinih grupa uzoraka ispitanih ploča

Iz grafičkog prikaza vlačne čvrstoće ploča (slika 17) zanimljivo je reći da je ona veća kod skupine uzoraka B koji su izrađeni od izbijeljenog iverja samo u središnjem sloju. Razlika aritmetičkih sredina vlačne čvrstoće ploča izrađenih od različite vrste iznosi najviše 0,14 MPa. Rasipanje podataka je jako veliko kod sve tri skupine uzoraka, pri čemu kod uzoraka A iznosi 0,14 MPa, kod uzoraka B iznosi 0,16 MPa te u uzorcima C

je najmanje i iznosi 0,06 MPa. Iz rezultata i grafičkog prikaza može se zaključiti da su prosječne vrijednosti vlačne čvrstoće jako niske za sve tri skupine uzoraka. Nijedna skupina uzoraka ne zadovoljava normirane vrijednosti debljinskog razreda ni za tip ploča P2 ni za tip P1 koje iznose 0,40 MPa prema normi HRN EN 312:2010.

## 6. ZAKLJUČAK

S obzirom da se radi o skroz novom istraživanju, koje nema nikakve prethodne podatke na bazi kojih se mogla provesti usporedba, rezultati ispitivanja su i više nego zadovoljavajući. Svaki put kada se pokrene neko novo istraživanje ili ispitivanje, u većini pokušaja se mogu očekivati razočaravajući rezultati, no ovaj istraživački rad nije slučaj. Analizom je pokazano da ploča od izbijeđenog iverja ima relativno niža svojstva od klasično proizvedene ploče od industrijskog iverja, no odstupanja nisu toliko velika, te je analizom utvrđeno da podaci izneseni u istraživanju prate svojstva ostalih ispitanih ploča. Ovakvi rezultati imaju još značajniju vrijednost, s obzirom da se radi o postupku koji ima za glavni cilj izradu ploče sa ekološkim pristupom. Pokazano je u prethodnim istraživanjima te u samom ispitivanju ovoga rada, da se sve više teži proizvodnji ploča iverica od recikliranog materijala, sa što manjom emisijom i utiskom otpadnih tvari u okoliš. Samim time se podiže kvaliteta ploča od drvnog iverja tako da se sa detaljnijom analizom sprovede što manje onečišćeno drveno iverje, odnosno drvena prašina koja se skuplja, te poboljšaju trajnost i mehaničko-fizikalna svojstva ploča od usitnjenog drva, naravno uz što manju emisiju kemijskih tvari koje su toksične i koje onečišćuju okoliš.

## 7. LITERATURA

1. Astari, L., Prasetyo, K. W., Suryanegara, L., 2018: Properties of Particleboard Made from Wood Waste with Various Size. IOP Conference Series; Earth and Environmental Science, 166, 012004.
2. Dafni, F., Karastergiou, S., Papadopoulus, N., 2022: Cold Water Immersion Pretreatment of Post-Consuming Particleboards for Wood Chips Recovery by the Hydromechanical Process. Journal od Composites Science, 6, 105.
3. Jambrečić, V., 2004: Drvne ploče i emisija formaldehida. Šumarski fakultet, Zagreb.
4. Maleta, N., 2011: Analiza utjecaja debljine komercijalnih OSB ploča na otpornost djelovanju vode. Završni rad. Šumarski fakultet, Zagreb.
5. Nguyen, D.L., Luedtke, J., Nopens, M., Krause, A., 2023: Production of wood based panel from recycled wood resource: a literature review. European Journal of Wood and Wood Products, 81:557-570
6. \*\*\*HRN EN 310:1999 - Ploče na osnovi drva - Određivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti savojne čvrstoće.
7. \*\*\* HRN EN 312:2010 - Ploče iverice - Specifikacije.
8. \*\*\* HRN EN 317:2000 - Ploče iverice i ploče vlaknatice – Određivanje debljinskog bubrenja nakon potapanja u vodi.
9. \*\*\* HRN EN 319:1999 - Ploče iverice i ploče vlaknatice - Određivanje vlačne čvrstoće okomito na površinu ploče.
- 10.\*\*\* HRN EN 322:2003 - Ploče na osnovi drva - Određivanje sadržaja vode.
- 11.\*\*\* HRN EN 323:2008 - Ploče na osnovi drva - Određivanje gustoće.
- 12.\*\*\* HRN EN 324-1:2003 - Ploče na osnovi drva - Određivanje dimenzija ploča - 1. dio: Određivanje debljine, širine i duljine.