

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Ana TRŠAR

**IZDELAVA IVERNIH PLOŠČ IZ ODSLUŽENEGA  
LESA**

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2014

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Ana TRŠAR

**IZDELAVA IVERNIH PLOŠČ IZ ODSLUŽENEGA LESA**

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij – 1. stopnja

**PRODUCTION OF PARTICLE BOARDS FROM RECYCLED WOOD**

B. SC. THESIS  
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2014

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija Lesarstva – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin Oddelka za lesarstvo, kjer so bili v laboratoriju katedre pripravljene lesni preizkušanci in opravljene vse meritve.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Sergeja Medveda, prof. dr. Miho Humarja za somentorja in za recenzenta prof. dr. Milana Šerneka.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svojega diplomskega dela na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je projekt, ki sem ga oddala v elektronski obliki, identičen tiskani verziji.

Ana Tršar

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du1
DK	UDK 630*862.2
KG	iverne plošče/reciklaža/mehanske lastnosti
AV	TRŠAR, Ana
SA	MEDVED, Sergej (mentor)/HUMAR, Miha (somentor)/ŠERNEK, Milan (recenzent)
KZ	SI-1000 LJUBLJANA, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2014
IN	IZDELAVA IVERNIH PLOŠČ IZ ODSLUŽENEGA LESA
TD	Diplomski projekt (univerzitetni študij – 1. stopnja)
OP	IX, 38 str., 10 pregl., 17 sl., 5 pril., 29 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Ugotavljali smo, kako delež recikliranega iverja vpliva na mehanske lastnosti ivernih plošč, na debelinski nabrek in emisijo formaldehida. V laboratorijskih pogojih smo izdelali iverne plošče z 0 %, 33 %, 66 % in 100 % recikliranega materiala. Največjo upogibno trdnost in modul elastičnosti smo ugotovili pri iverni plošči iz 33 % recikliranega materiala. Najmanjšo upogibno trdnost je imela plošča iz 100 % recikliranega, najmanjši modul elastičnosti pa plošča iz 66 % recikliranega materiala. Razslojna trdnost je bila najboljša pri plošči iz 100 % recikliranega, najslabša pa pri plošči z 0 % recikliranega materiala. Najmanjši debelinski nabrek smo ugotovili pri plošči iz 66 % recikliranega, največji debelinski nabrek pa pri plošči z 0 % recikliranega materiala. Najmanjša emisija formaldehida je bila ugotovljena pri plošči iz 33 % recikliranega, največja pa pri plošči iz 0 % recikliranega materiala.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN dul  
DC UDC 630\*862.2  
CX chipboard/recycling/mechanical properties  
AU TRŠAR, Ana  
AA MEDVED, Sergej (supervisor)/HUMAR, Miha (co-supervisor)/ŠERNEK, Milan (reviewer)  
PP SI-1000 LJUBLJANA, Rožna dolina, c. VIII/34  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Tehnology  
PY 2014  
TI PRODUCTION OF PARTICLE BOARDS FROM RECYCLED WOOD  
DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)  
NO IX, 38 p., 10 tab., 17 fig., 5 ann., 29 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB We researched the influence of the proportion of the recycled particles on the mechanical properties of particle boards, thickness swelling and emission of formaldehyde. In laboratory conditions, we made particle boards with a 0 %, 33 %, 66 % and 100 % recycled material. Good flexural strength and modulus of elasticity was found in particle board from 33 % recycled material. The lowest flexural strength had the board made from 100 % recycled material, and the lowest modulus of elasticity had the board from 66 % recycled material. The best internal bond strength had the board from 100 % recycled material, while the board made of 0 % recycled material had the lowest. The minimum thickness swelling was found in the board from 66 % recycled material, the maximum thickness swelling was found in the board with 0 % recycled material. The smallest emission of formaldehyde was detected in the board from 33 % recycled material, the highest in the board from 0 % recycled material.

**KAZALO VSEBINE**

	str.
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Kazalo prilog	IX
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA .....	2
1.2 DELOVNA HIPOTEZA .....	2
1.3 CILJ NALOGE.....	2
<b>2 PREGLED LITERATURE.....</b>	<b>3</b>
<b>3 MATERIALI IN METODE.....</b>	<b>5</b>
3.1 MATERIALI .....	5
3.1.1 Iveri.....	5
3.1.2 Lepilna mešanica .....	5
3.2 METODE DELA .....	6
3.2.1 Izdelava recikliranega iverja.....	6
3.2.2 Sejalna analiza .....	6
3.2.3 Laboratorijska izdelava ivernih plošč.....	7
3.2.4 Ugotavljanje debeline in gostote ivernih plošč .....	9
3.2.5 Debelinski nabrek.....	10
3.2.6 Določanje prostega formaldehida .....	10
3.2.7 Merjenje pH-vrednosti iverja in pufrna kapaciteta.....	12
3.2.7.1 Ekstrakcija z destilirano vodo .....	12
3.2.7.2 Ekstrakcija z natrijevim acetatom (CH <sub>3</sub> COONa) .....	12
3.2.7.3 pH-titracija .....	13
3.2.8 Ugotavljanje mehanskih lastnosti ivernih plošč .....	13
3.2.8.1 Ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti.....	13
3.2.8.2 Ugotavljanje razslojne trdnosti .....	14

<b>4</b>	<b>REZULTATI IN RAZPRAVA</b> .....	<b>16</b>
4.1	SEJALNA ANALIZA .....	16
4.2	GOSTOTA IVERNIH PLOŠČ.....	18
4.3	DEBELINSKI NABREK .....	19
4.4	PUFRNA KAPACITETA .....	22
4.5	MEHANSKE LASTNOSTI .....	24
4.5.1	Upogibna trdnost in modul elastičnosti.....	24
4.5.2	Razslojna trdnost ivernih plošč.....	28
4.6	MERJENJE VSEBNOSTI PROSTEGA FORMALDEHIDA .....	30
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA</b> .....	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>SKLEPI</b> .....	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>VIRI</b> .....	<b>36</b>
	<b>ZAHVALA</b>	
	<b>PRILOGE</b>	

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Posamezne povprečne vrednosti sejalne analize .....	16
Preglednica 2: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti gostote ivernih plošč .....	18
Preglednica 3: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti debelinskega nabreka .....	19
Preglednica 4: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti pri ekstrakciji z destilirano vodo .....	22
Preglednica 5: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti pri ekstrakciji z natrijevim acetatom .....	22
Preglednica 6: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti upogibne trdnosti ivernih plošč ..	24
Preglednica 7: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti modula elastičnosti ivernih plošč .....	26
Preglednica 8: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti razslojne trdnosti ivernih plošč ...	28
Preglednica 9: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti prostega formaldehida .....	30
Preglednica 10: Rezultati vseh opravljenih meritev .....	32



## KAZALO SLIK

Slika 1: Laboratorijski stresalnik in razporeditev sit (Grudnik, 2007).....	6
Slika 2: Hidravlična laboratorijska stiskalnica LT63 (Mlakar, 2012).....	8
Slika 3: Shema razžaganja plošče za preizkus .....	8
Slika 4: Merjenje dimenzij preizkušancev .....	9
Slika 5: Skica steklenice za določanje prostega formaldehida po steklenični metodi .....	11
Slika 6: Kiveta za ugotavljanje koncentracije formaldehida.....	11
Slika 7: Prikaz preizkušanja upogibne trdnosti in modula elastičnosti (SIST EN 310, 1996) .....	13
Slika 8: Prikaz preizkušanja razslojne trdnosti (Medved, 2009).....	15
Slika 9: Posamezne povprečne vrednosti frakcije iveri .....	17
Slika 10: Razlika v debelini med suhimi preizkušanci in preizkušanci po 24-urnem namakanju.....	20
Slika 11: Razlika v masi med suhimi preizkušanci in preizkušanci po 24-urnem namakanju.....	21
Slika 12: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti pufrne kapacitete ob dodajanju ekstrakta .....	23
Slika 13: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti upogibne trdnosti; maksimalna izmerjena sila, ki jo prenese preizkušanec tik pred zlomom.....	25
Slika 14: Ponazoritev porušitve na natezno obremenjeni strani testiranca (Polanc, Leban, 2004) .....	25
Slika 15: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti modula elastičnosti .....	27
Slika 16: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti razslojne trdnosti .....	29
Slika 17: Posamezne povprečne vrednosti izhajanj prostega formaldehida .....	31

## KAZALO PRILOG

- a) Rezultati gostote plošč narejenih iz različnih deležev dodanega recikliranega materiala
- b) Rezultati debelinskega nabreka plošč narejenih iz različnih deležev dodanega recikliranega materiala
- c) Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošč narejenih iz različnih deležev dodanega recikliranega materiala
- d) Rezultati razslojne trdnosti plošč narejenih iz različnih deležev dodanega recikliranega materiala
- e) Rezultati vsebnosti prostega formaldehida pri ploščah narejenih iz različnih deležev dodanega recikliranega materiala

## 1 UVOD

Les je naravni material z odličnimi lastnostmi, kar mu omogoča širok spekter uporabe tako v pohištveni industriji kot v gradbeništvu. Zaradi vedno večjih potreb po proizvodih iz lesa so se v drugi polovici 20. stoletja razvile tehnologije, ki omogočajo večji izkoristek in bolj ekonomično rabo lesa. Pričela se je množična proizvodnja lesnih ploščnih kompozitov (furnirnih, ivernih in vlaknenih plošč).

Plošče so pripomogle k lažji izdelavi izdelkov ter k zmanjšanju porabe masivnega lesa. Postale so nepogrešljiv material, ki se uporablja tako pri izdelavi pohištva kot tudi konstrukcijski element, predvsem za izdelavo montažnih hiš, predelnih sten, talnih oblog, strešnih konstrukcij, itd.

V zadnjih časih se soočamo s presežki porabe lesa, zato je potrebno z njim ravnati gospodarno. V letih od 2020 do 2050 ga bo v Evropi že začelo primanjkovati, zato predstavlja v nekaterih državah pomemben delež tudi odslužen les (Humar in sod., 2012).

Odslužen les se iz leta v leto kopiči, zato lahko le-ta predstavlja pomembno surovino za proizvodnjo lesnih plošč. Za ponovno uporabo se lahko uporabi odslužen konstrukcijski les, staro pohištvo, iverne plošče, lesne obloge, laminat in talne obloge, kuhinjski pulti, oglasne deske, ostanki pakirnega materiala itd. Najpogostejši parametri, ki opisujejo kakovost odsluženega lesa, so: starost, dimenzije, vsebnost vlage, vsebnost klora, pepel, težke kovine in druge nečistoče (Jungmeier in sod., 2005).

Odslužen oz. recikliran les je trenutno najbolj uporabljen predvsem za proizvodnjo ivernih plošč in v energetske namene. Možnost ponovne uporabe rabljenega lesa prispeva h glavnemu cilju za trajnostno gospodarjenje z materialom. Druge možnosti za izkoriščenost recikliranega lesa so zanemarljivega pomena.

## 1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Količine odsluženega lesa se iz leta v leto povečujejo, ne zgolj v Sloveniji, temveč tudi drugod po Evropi, zato lahko odslužen les predstavlja pomemben vir surovine za proizvodnjo lesnih plošč.

Pri rabi odsluženega lesa je potrebno previdno odstraniti nezaželene komponente. Les, ki se reciklira, velikokrat vsebuje onesnaževala - kot npr. pepel s težkimi kovinami, sponski elementi, materiali za oblaganje (laminat, impregniran papir, itd.) - in razne kemikalije (barva, lepilo, laki). Pri procesu čiščenja se lastnosti plošč, nastalih iz odsluženega lesa, lahko poslabšajo (Humar, 2012).

Iveri, dobljene iz recikliranega materiala, imajo večji delež manjših iveri, zato jih je potrebno kombinirati z industrijskimi ivermi, pridobljenimi iz hlodovine.

## 1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Predvidevamo, da bodo razlike v lastnostih ivernih plošč predvsem posledica rabe, sicer finejšega, vendar manj kakovostnega iverja, ki nastane pri iverjenju odsluženega lesa.

S kombinirano uporabo finejših, recikliranih iveri in industrijsko izdelanih iveri lahko izdelamo iverno ploščo z optimalnimi lastnostmi.

## 1.3 CILJ NALOGE

Namen naloge je ugotoviti vpliv deleža odsluženega lesa v iverni plošči na njene lastnosti.

## 2 PREGLED LITERATURE

Alpar in Winkler (2006) sta v svoji raziskavi ugotavljala vpliv recikliranega suhega impregniranega dekorativnega papirja (papir, impregniran z melaminsko smolo) za uporabo pri proizvodnji ivernih plošč. Z uporabo zdrobljenega impregniranega papirja sta želela zmanjšati delež uporabljenega urea-formaldehidnega (UF) lepila, pri tem pa doseči enake lastnosti plošč.

Rezultati, ki sta jih dobila dokazujejo, da se odpadni impregnirani dekorativni papir lahko uporabi z mešanjem surovih materialov za izdelavo plošč v zelo velikih količinah, pri čemer se izboljšujejo fizikalne in mehanske lastnosti iverne plošče. Prav tako so rezultati pokazali, da je z uporabo impregniranega dekor papirja mogoče zmanjšati količino UF-lepila.

Na podlagi rezultatov trdnosti se lahko upošteva, da je proizvodnja ivernih plošč mogoča tudi brez uporabe lepila, in sicer pri predpostavki, da se lesnemu materialu doda odpadni impregniran dekor papir (20 %). Če so potrebe in zahteve po višji trdnosti, pa se doda še 5 % UF-smole, kar pomeni, da so mehanske lastnosti teh plošč primerljive z lastnostmi iverne plošče z 10 % UF smole. Upoštevati se mora, da v tovarni ivernih plošč ni velike količine proizvedenih odpadkov dekor papirja, vendar je vseeno tak način ponovne uporabe dober za odpravo te vrste odpadkov. Če količina odpadnega materiala zadošča, se lahko odstotek UF-smole zniža.

Yang in sod. (2007) so se osredotočili na raziskovanje lastnosti ivernih plošč iz recikliranega iverja, impregniranih s fenol formaldehidno smolo.

Pri svoji raziskavi so uporabili reciklirano lesno iverje različnih drevesnih vrst, od grobih sekancev do finejših iveri.

Rezultati so pokazali, da so bile vrednosti upogibne trdnosti in modula elastičnosti pri ivernih ploščah, impregniranih s fenol-formaldehidom, višje od tistih, impregniranih oz. oblepljenih z urea-formaldehidnimi lepilnimi mešanicami. Zaradi boljše porazdeljenosti in večje homogenosti fenol-formaldehidne smole so bile dobljene vrednosti razslojne trdnosti ivernih plošč višje kot razslojne trdnosti ivernih plošč, katerih proizvodnja poteka le z oblepljanjem. Vrednosti debelinskega nabreka so bile manjše od 12 %. Prav tako so prišli do ugotovitve, da se debelinski nabrek z višanjem koncentracije fenol-formaldehidne smole linearno zmanjšuje. Upogibna trdnost se je zmanjšala z zmanjšanjem vsebnosti smole.

Van Riet in Wijnendaele (2005) sta izvedla raziskavo o standardih o kemični kontaminaciji lesnih elementov. Za ponovno uporabo lesnih plošč in ostankov morajo biti doseženi določeni kriteriji, ki zagotavljajo tehnično izvedljivost in uporabnost, okoljevarstvene zahteve ter upoštevajo skrb za okolje in varnost.

Splošne zahteve, ki določajo, kateri materiali so primerni za recikliranje in s tem za ponovno uporabo pri izdelavi lesnih plošč, so naslednje:

- za izdelavo lesnih plošč se uporabljajo ostanki iz stranskih proizvodov oz. ostankov pri predelavi lesa;
- lesni material, ki je po potrošnikovi uporabi predelan in recikliran v obliki surovega materiala;
- lesne plošče ali furnirni listi, ki primarno vsebujejo predvsem lesne delce oz. lesna vlakna;
- obdelan les, ki vsebuje halogene organske spojine ali težke kovine zaradi obdelave lesa z zaščitnimi sredstvi;
- zaščiteni lesni proizvodi, ki so bili izpostavljeni insektom in trohnobi;
- lesa, ki presega meje kemične kontaminacije, in z biocidnimi proizvodi impregniran les, kot so drogovi in pragovi se pri izdelavi lesnih ploščnih kompozitov ne uporablja.

Splošne zahteve, ki jih zahtevajo proizvajalci lesnih plošč iz recikliranega materiala od dobaviteljev materiala:

- kakovost; material mora biti čist, brez trohnobe in brez degradacije. Prav tako ne sme imeti vonja po kemikalijah in ostalih nenaravnih vonjavah;
- čistoča; material mora biti brez splošnih onesnaževalcev (beton, kamenje, tekstil, plastika, karton, itd.);
- vsebnost vlage; naj bi bila do 20 %, v redkih primerih tudi višja še za 5 %;
- velikost; material mora ustrezati zahtevanim specifikacijam proizvajalca.

Splošne zahteve, ki v skladu z veljavnimi predpisi določajo mejne vrednosti kemične kontaminacije:

- arzen (25 mg/kg),
- kadmij (50 mg/kg),
- krom (25 mg/kg),
- baker (40 mg/kg),
- svinec (90 mg/kg),
- živo srebro (25 mg/kg),
- fluor (100 mg/kg),
- klor (1000 mg/kg),
- PCP ( 5 mg/kg),
- kreozot (0,5 mg/kg).

### **3 MATERIALI IN METODE**

Izdelali smo enoslojne iverne plošče z različnimi deleži recikliranega lesa (iverne plošče z 0 %, 33 %, 66 % in 100 % recikliranega materiala).

Ugotavljali smo:

- debelino in gostoto,
- debelinski nabrek,
- emisijo prostega formaldehida,
- pH-vrednosti iverja in pufrno kapaciteto,
- mehanske lastnosti.

#### **3.1 MATERIALI**

##### **3.1.1 Iveri**

V raziskavi smo uporabili industrijsko izdelane iveri, ki so bile sestavljene iz iglavcev (75 %) in listavcev (25 %) ter reciklirane iveri, vlažnosti 3 %. Reciklirane iveri smo izdelali iz odsluženih ivernih plošč.

##### **3.1.2 Lepilna mešanica**

Uporabili smo urea-formaldehidno (UF) lepilo, ki je vsebovalo 68 % suhe snovi. Lepilna mešanica je bila izračunana po standardu, ki temelji na vsebnosti vlage iveri lesa oz. masi absolutno suhega iverja.

Kot utrjevalec smo uporabili amonijev sulfat. Lepilu smo ga dodajali v obliki 20 % vodne raztopine.

## 3.2 METODE DELA

### 3.2.1 Izdelava recikliranega iverja

Uporabili smo stare iverne plošče, razžagane na manjše kose. Iverjenje je potekalo v laboratorijskem iverilniku.

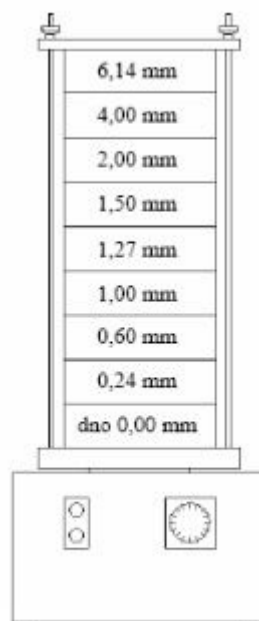
### 3.2.2 Sejalna analiza

Sejalna analiza je ena izmed metod za določanje velikosti iverja. S to metodo lahko v kratkem času določimo odstotek posamezne frakcije, tako da stehamo delce frakcij, ki so ostali na posameznem situ. Pomanjkljivost te metode je, da ne dobimo podatkov o specifični površini in o vitkosti iverja.

Sejalno analizo smo opravili v laboratorijskem vertikalnem stresalniku (Slika 1) (ločevanje po dolžini iverja), pri standardnih pogojih. Na stresalniku smo uporabili sita z odprtinami rež 6,14, 4,00, 2,00, 1,50, 1,27, 1,00, 0,60, 0,237 mm. Z manjšanjem odprtine sita se manjša velikost iverja, povečujeta pa se specifična površina in vitkost iverja.

Sejalno analizo smo opravili v treh ponovitvah. Po koncu vsakega sejanja smo maso posamezne frakcije stehali in izračunali povprečno vrednost za iverje lesa. To nam je služilo za preverjanje vpliva velikosti iveri pri izhajanju prostega formaldehida.

Analizirali smo 100 g recikliranega iverja z vlažnostjo 10 %. Čas sejalne analize je bil 10 min.



Slika 1: Laboratorijski stresalnik in razporeditev sit (Grudnik, 2007)



### 3.2.3 Laboratorijska izdelava ivernih plošč

Za izdelavo ivernih plošč smo uporabili industrijsko in reciklirano iverje.

Osnovni ciljni podatki izdelave ivernih plošč z različnim deležem industrijskih in recikliranih iveri:

- dolžina plošče: 50 cm,
- širina plošče: 50 cm,
- debelina plošče: 16 mm,
- prostorninska masa iverne plošče:  $0,6 \text{ g/cm}^3$ ,
- delež lepila: 10,5 %,
- delež utrjevalca v iverni plošči: 3 % (glede na maslo lepila).

Lepilna mešanica je pomemben dejavnik pri izdelavi ivernih plošč. Poleg lepilne smole smo v lepilno mešanico dodali utrjevalec in izračunano količino vode ter vse skupaj na mešalniku dobro premešali. Vlažnost iveri je tako po oblepljanju znašala približno 9 %.

Na laboratorijski tehtnici smo odtehtali posamezne deleže snovi, ki predstavljajo lepilno mešanico.

V valj smo zatehtali urea-formaldehidno lepilno smolo, kateri smo počasi primešali amonijev sulfat kot utrjevalec.

Na koncu smo dodali še destilirano vodo ter zmes dobro premešali na laboratorijskem mešalniku. Tako smo dobili gladko, tekočo lepilno mešanico, ki je bila primerna za nadaljnje oblepljanje iveri.

Lepilno mešanico smo uporabili za oblepljanje mešanice industrijskih, recikliranih iveri in mešanih iveri.

Zatehtali smo 2400 g iveri in jih stresli v laboratorijski stroj za oblepljanje ter premešali, da je bila mešanica iveri enakomerna. V posodo za lepilo smo počasi dodajali lepilno mešanico s pomočjo stisnjenega zraka, s čimer smo dosegli boljši in enakomernjši nanos lepila na specifično površino iverja. Oblepljanje oz. mešanje iverja z lepilno mešanico je trajalo približno 10 minut.

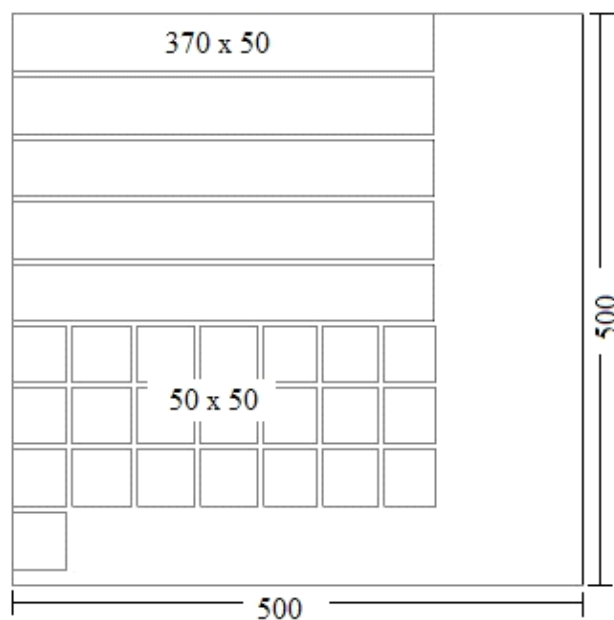
Oblepljene iveri smo nato stresli na aluminijasto ploščo z lesenim kalupom, dimenzij 500 mm x 500 mm, ter jih enakomerno porazdelili v okvir, da je bila debelina čim bolj enotna in da je bila plošča čim bolj homogena.

Stiskanje ivernih plošč je potekalo v klasični hidravlični enoetažni laboratorijski stiskalnici (Slika 2). Plošči stiskalnice sta bili zagreti na  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Na dva robova plošče smo postavili distančne letve v višini 16 mm. Stiskanje je trajalo 3 minute. Pri tem smo uporabili tlak 90 bar. Plošče smo označili in jih 60 minut ohlajali v laboratoriju, nato pa jih 5 dni klimatizirali v okolju s temperaturo  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  in 65 % relativno zračno vlažnostjo.



Slika 2: Hidravlična laboratorijska stiskalnica LT63 (Mlakar, 2012)

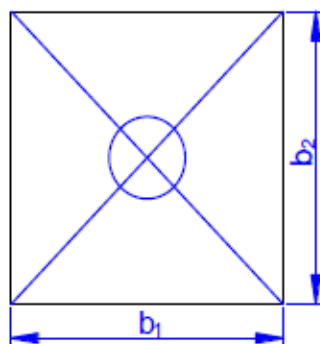
Po končanem kondicioniranju smo plošče razžagali po shemi razvidni iz Slike 3.



Slika 3: Shema razžaganja plošče za preizkus

### 3.2.4 Ugotavljanje debeline in gostote ivernih plošč

Debelino in gostoto preizkušancev smo določali po standardu SIST EN 323 (1993). Preizkušance kvadratne oblike z nominalno dolžino 50 mm smo izmerili s kljunastim merilom v dveh točkah na robovih, vzporedno s preizkušancem na, 0,01 mm natančno; debelino pa z mikrometrom, v preseku diagonal (Slika 4), na 0,01 mm natančno. Maso preizkušancev smo na laboratorijski tehtnici določali prav tako na 0,01 g natančno ter nato po enačbi (1) izračunali gostoto vsakega preizkušanca posebej.



Slika 4: Merjenje dimenzij preizkušancev

Gostoto ivernih plošč izračunamo po naslednji enačbi:

$$\rho = \left( \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} \right) \times 10^6$$

...(1)

kjer je:

m	masa preizkušanca [g]
$b_1$	širina preizkušanca [mm]
$b_2$	dolžina preizkušanca [mm]
t	debelina preizkušanca [mm]
$\rho$	gostota [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

### 3.2.5 Debelinski nabrek

Preizkus debelinskega nabreka po potapljanju v vodi smo opravili po standardu SIST EN 317 (1993). Za preizkus smo uporabili šest preizkušancev iz vsake serije plošč. Preizkušanci so bili kondicionirani pri konstantni masi in atmosferi z zračno vlažnostjo  $65 \pm 5 \%$  ter temperaturo  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Dimenzija preizkušancev je bila  $50 \times 50 \times 16 \text{ mm}$ . Debelina preizkušancev je bila izmerjena v preseku diagonal, na  $0,01 \text{ mm}$  natančno. Preizkušance smo po odčitavanju dimenzij namestili v kad s čisto vodo, parametri: pH  $7 \pm 1$  in homogena temperatura  $20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Preizkušance smo namestili vertikalno, da se tekom eksperimenta med sabo niso dotikali. Prav tako se niso dotikali sten kadi, bili najmanj za  $25 \pm 5 \text{ mm}$  potopljeni pod gladino vode in najmanj  $15 \text{ mm}$  nad dnom. Da bi preprečili izplavanje preizkušancev, smo jih razvrstili v kovinsko mrežo.

Po 24 urah namakanja smo preizkušance vzeli iz kopeli in jim ponovno izmerili debelino. Rezultate smo podali aritmetično, kar pomeni, da so prikazani v odstotkih, na eno decimalno natančno.

Debelinski nabrek ivernih plošč izračunamo po naslednji enačbi:

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad \dots(2)$$

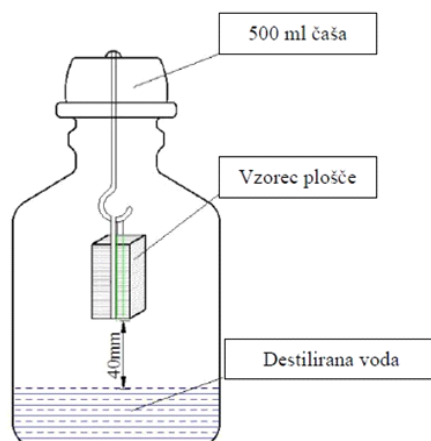
kjer je:

$t_1$	debelina pred vodno kopeljo [mm]
$t_2$	debelina po 24h v vodni kopeli [mm]
$G_t$	debelinski nabrek [%]

### 3.2.6 Določanje prostega formaldehida

Določanje po standardu SIST EN 717/3 (1997) oz. steklenična metoda se uporablja za določanje emisije prostega formaldehida iz izdelka (ne samo iz surovih lesnih plošč, temveč tudi iz obloženih lesnih plošč, tkanin, igrač, tapet ipd.) v ozračje, in sicer po steklenični metodi. Za poskus oz. določanje prostega formaldehida smo uporabili štiri polipropilenske steklenice, ki smo jih napolnili s  $50 \text{ mL}$  destilirane vode. Na zamaške steklenic smo privezali preizkušance (predhodno stehtane), tako da so bili  $4 \text{ cm}$  nad gladino vode (Slika 5). Iz vsake plošče smo uporabili tri preizkušance, četrto, referenčno steklenico, pa smo pustili prazno oz. brez preizkušanca. Steklenice smo postavili v laboratorijski sušilnik, kjer smo jih pustili  $180 \pm 1$  minut, pri temperaturi  $40 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Ekstrakcija poteka direktno skozi plinsko fazo – difuzija.



Slika 5: Skica steklenice za določanje prostega formaldehida po steklenični metodi (Štaleker, 2006)

Po treh urah smo destilirano vodo, ki se je navzela formaldehida, prelili v majhne bučke ter jih dali hladiti v temo za 24 ur. Merjenje prostega formaldehida smo določali s spektrofotometrom (Lange Pocket – Photometer LASA 1, valovna dolžina do 312 nm.), zato smo 5 mL vsakega preizkušanca odmerili v epruveto in dodali reagenta, s katerima je spojina tvorila obarvan produkt. Dodali smo 5 mL amonijevega acetata in 5 mL acetil acetata. Rumeno obarvane preizkušance v epruvetah smo dobro zaprli, jih pretresli ter postavili v sušilnik na  $40 \pm 1$  °C. Po 15 minutah smo preizkušance vzeli iz sušilnika in jih za eno uro dali hladiti v temo.

Po končanem postopku smo rumeno obarvan produkt iz epruvete odpipetirali v plastične kivete, ki se vstavijo v aparaturo. Kivete (Slika 6) smo morali očistiti in paziti, da se nismo dotikali stranic, skozi katere prihajajo svetlobni žarki. Glede na to, da smo absorbanco merili pri relativno nizki koncentraciji, bi lahko neočiščene kivete vplivale na doslednost meritev.



Slika 6: Kiveta za ugotavljanje koncentracije formaldehida (Amazon)

Emisije prostega formaldehida izračunamo po enačbi:

$$F_v = \frac{(A_s - A_b) \times f \times 50 \times 10 \times (100 + H)}{m} \quad \dots(3)$$

kjer je:

$A_s$	absorpcija ekstrahirane raztopine iz steklenice [mg/mL]
$A_b$	absorpcija pri destilirani vodi [mg/mL]
$f$	naklon kalibracijske krivulje [mg/mm]
$H$	vsebnost vlage v preizkušancih [%]
$m$	masa preizkušancev [g]
$F_v$	količina absorbiranega formaldehida [ $\text{mg}_{\text{formaldehida}}/\text{kg}$ suhe plošče]

### 3.2.7 Merjenje pH-vrednosti iverja in pufrna kapaciteta

Za ugotavljanje pH-vrednosti iveri smo uporabili Subramanianovo metodo (Medved in Resnik, 2004), s katero ugotovimo, kakšen je delež kislin, ki so v lesu. Te kisline pa so lahko vodotopne, ki se z vodo izločijo, in pa netopne kisline, ki sodelujejo pri reakciji utrjevanja. Ugotavljanje pH-vrednosti je pomembno predvsem iz tega vidika, ker vpliva na utrjevanje lepila pri postopku izdelave plošč. Z določitvijo te vrednosti torej lažje izračunamo komponente lepilne mešanice.

#### 3.2.7.1 Ekstrakcija z destilirano vodo

Poskus je potekal tako, da smo 25 g suhih iveri stresli v 800 mL laboratorijske čaše ter jih prelili s 300 mL destilirane vode in to pustili stati 24 ur. Nato smo ekstrakt prefiltrirali skozi filtrirni papir. Filtrat oz. ostanek smo nato še štirikrat izprali s 175 mL destilirane vode ter dolili destilirano vodo do oznake 1000 mL.

#### 3.2.7.2 Ekstrakcija z natrijevim acetatom ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ )

Postopek filtracije je bil enak kot pri ekstrakciji z destilirano vodo, le da se v primeru ekstrakcije z natrijevim acetatom namesto 300 mL destilirane vode uporabi 300 mL 0,1 M raztopine natrijevega acetata. Pri izpiranju skozi filtrirni papir se prvič uporabi 175 mL 0,1 M natrijevega acetata, za naslednja tri izpiranja pa 175 mL destilirane vode.

### 3.2.7.3 pH-titracija

V čašo smo odlili 200 mL prefiltrirane vode oz. ekstrakta od skupnega volumna 1000 mL ter odčitali vrednost pH, ko se je le-ta pri konstantnem mešanju z magnetnim mešalom ustalila.

V prvem primeru smo ekstraktu dodajali bazo, v drugem pa kislino. Tako smo odpipetirali 0,1 mL 0,1 M natrijevega hidroksida (NaOH) ter po 2 minutah ponovno izmerili pH-vrednost. Postopek smo ponovili trikrat. V drugem primeru pa smo dodajali žvepleno kislino ( $H_2SO_4$ ).

## 3.2.8 Ugotavljanje mehanskih lastnosti ivernih plošč

Ugotavljali smo:

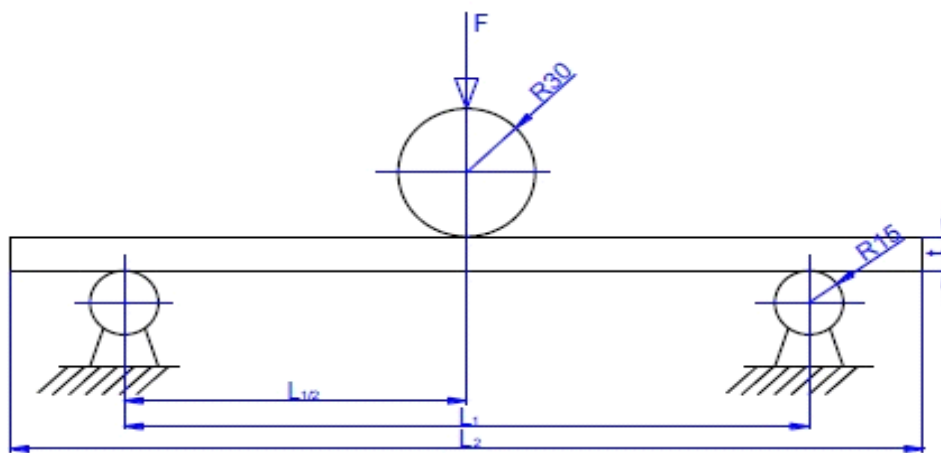
- upogibno trdnost in modul elastičnosti;
- razslojno trdnost ivernih plošč.

Preizkušanje vseh mehanskih lastnosti ivernih plošč je potekalo na napravi ZWICK Z100. Po standardu SIST EN 310 smo določali upogibno trdnost in razslojno trdnost po standardu SIST EN 319 (1996).

### 3.2.8.1 Ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti

Upogibno trdnost smo preizkušali po standardu SIST EN 310 (1996) (Slika 7). Za preizkus smo uporabili pet preizkušancev iz vsake serije. Preizkušanci so bili kondicionirani do konstantne mase pri normalnih pogojih ( $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  in  $65 \pm 5 \%$ ). Dimenzija preizkušancev je bila  $370 \times 50 \times 16 \text{ mm}$ . Pred izvedbo preizkusa smo v preseku diagonal izmerili debeline preizkušancev v preseku diagonal z mikrometrom ter širine s kljunastim merilom, vse na dve decimalki natančno (na mestu, kjer je predviden lom).

Polovico preizkušancev smo obremenili na zgornji in polovico na spodnji strani plošče.



Slika 7: Prikaz preizkušanja upogibne trdnosti in modula elastičnosti (SIST EN 310, 1996)

Upogibno trdnost izračunamo po enačbi:

$$f_m = \frac{3 \times F_{max} \times L_1}{2 \times b \times t^2} \quad \dots(4)$$

kjer je:

$F_{max}$	sila loma [N]
$L_1$	oporiščna razdalja [mm]
$b$	širina preizkušanca [mm]
$t$	debelina preizkušanca [mm]
$f_m$	upogibna trdnost [N/mm <sup>2</sup> ]

Modul elastičnosti izračunamo po enačbi:

$$E_m = \frac{L_1^3 \times (F_{40} - F_{10})}{4 \times b \times t^3 \times (a_{40} - a_{10})} \quad \dots(5)$$

kjer je:

$F_{10}$	10 % maksimalne sile loma [N]
$F_{40}$	40 % maksimalne sile loma [N]
$b$	širina preizkušanca [mm]
$t$	debelina preizkušanca [mm]
$a_{10}$	poves pri 10 % maksimalne sile loma [mm]
$a_{40}$	poves pri 40 % maksimalne sile loma [mm]
$L_1$	oporiščna razdalja [mm]
$E_m$	modul elastičnosti [N/mm <sup>2</sup> ]

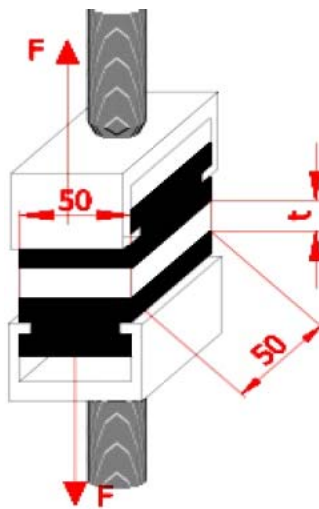
### 3.2.8.2 Ugotavljanje razslojne trdnosti

Razslojno trdnost smo preizkušali po standardu SIST EN 319 (1996) (Slika 8). Za preizkus smo potrebovali osem preizkušancev iz vsake serije, dimenzij 50 x 50 mm. Preizkušancem smo s kljunastim merilom izmerili širino in dolžino s kljunastim merilom na dve decimalki



natančno. Na obe ploskvi preizkušanca smo s talilnim lepilom prilepili kovinski podstavek oziroma prijemala (lepilo smo nanесли tako, da je bilo enakomerno porazdeljeno po celotni površini, da med trganjem ni prišlo do razslojitve med preizkušancem in podstavkom). Preden smo zlepili drugi podstavek, smo morali počakati, da se prvi ohladi. Pri drugem lepljenju smo morali biti posebej natančni pri usmerjenosti utora, saj mora biti kot med prvim in drugim utorom  $90^\circ$ .

Po najmanj 24 urah po lepljenju so se preizkušanci ohladili, lepilo se je utrdilo in pričeli smo z določanjem sile loma.



Slika 8: Prikaz preizkušanja razslojne trdnosti (Medved, 2009)

Razslojno trdnost izračunamo po enačbi:

$$f_t = \frac{F_{loma}}{b \times l}$$

...(6)

kjer je:

$F_{loma}$	sila loma [N]
$b$	širina preizkušanca [mm]
$l$	dolžina preizkušanca [mm]
$f_t$	razslojna trdnost [N/mm <sup>2</sup> ]

## 4 REZULTATI IN RAZPRAVA

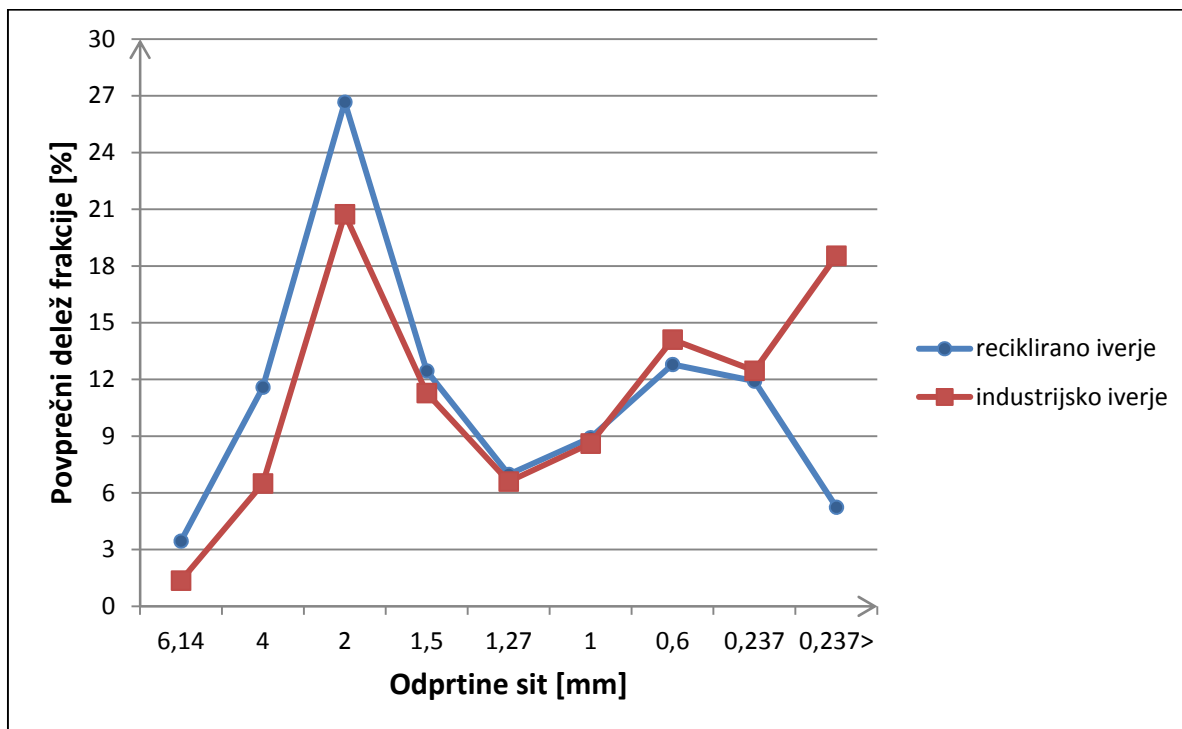
### 4.1 SEJALNA ANALIZA

V Preglednici 1 in na Sliki 9 so prikazani rezultati sejalne analize. Povprečje je izračunano glede na tri sejalne analize.

Preglednica 1: Posamezne povprečne vrednosti sejalne analize

Odprtina sita [mm]	Masa iverja lesa m [g]			Industrijsko iverje [g]	Povprečna masa rec. iverja [g]	Delež ostanka [%]
	sejalna analiza 1	sejalna analiza 2	sejalna analiza 3			
6,14	3,47	4,07	2,81	1,36	3,45	3,45
4	9,85	14,05	10,81	6,5	11,57	11,59
2	26,23	28,14	25,45	20,74	26,61	26,67
1,5	12,24	12,95	12,08	11,28	12,42	12,45
1,27	6,42	6,82	7,66	6,6	6,97	6,98
1	8,77	8,26	9,71	8,61	8,91	8,92
0,6	12,35	12,1	13,83	14,11	12,76	12,79
0,237	12,62	10	13,01	12,46	11,88	11,91
0,237>	7,72	3,54	4,42	18,54	5,23	5,24
Σ	99,67	99,93	99,78	100,2	99,79	100

Slika 9 prikazuje povprečen delež industrijskih in recikliranih iveri po posamezni frakciji v odstotkih.



Slika 9: Posamezne povprečne vrednosti frakcije iveri

Z rezultatov je razvidno, da je delež največje frakcije (iveri, večje od 6,14 mm) najmanjši, in sicer 3,45 %. Relativno nizek pa je tudi del najmanjše frakcije pri recikliranem iverju; 5,24 %. Največ delcev je dimenzij od 2 do 4 mm - 26 % zatehtanega materiala.

Reciklirano iverje ima v primerjavi z industrijskim iverjem manjši delež najmanjše frakcije. Predpostavljali smo, da bo rezultat obraten. Če pogledamo ostale opravljene meritve, lahko sklepamo, da so takšni rezultati posledica mehanskega mletja odsluženih lesnih ploščnih kompozitov, kjer se plošče, obdelane z lepilom niso najbolj zmelele.

## 4.2 GOSTOTA IVERNIH PLOŠČ

V Preglednici 2 so prikazane gostote izdelanih ivernih plošč. Povprečje je izračunano glede na šest testiranih plošč.

Preglednica 2: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti gostote ivernih plošč

Preizkušavec	Gostota plošč $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]			Standardni odklon
	Maks.	Min.	Povprečje	
Plošča iz industrijskega iverja	647	569	593	26
Plošča iz 33 % recikliranega iverja	611	529	572	32
Plošča iz 66 % recikliranega iverja	607	465	545	56
Plošča iz 100 % recikliranega iverja	614	566	591	15

V preglednici so predstavljeni podatki o gostoti ivernih plošč, ki so bile narejene z uporabo UF-lepila. Plošča, ki jo sestavlja zgolj industrijsko iverje, ima največjo gostoto (v povprečju 593 kg/m<sup>3</sup>), saj je delež ploščinsko manjših iveri v tej plošči večji. Plošča iz 66 % recikliranega materiala pa ima najnižjo gostoto (545 kg/m<sup>3</sup>).

Do razlik v gostoti prihaja zaradi velikosti iveri, ki jih je posamezna plošča vsebovala.

### 4.3 DEBELINSKI NABREK

V Preglednici 3 je prikazano povprečje rezultatov meritev debelinskega nabreka ivernih plošč po 24-urnem namakanju v vodi.

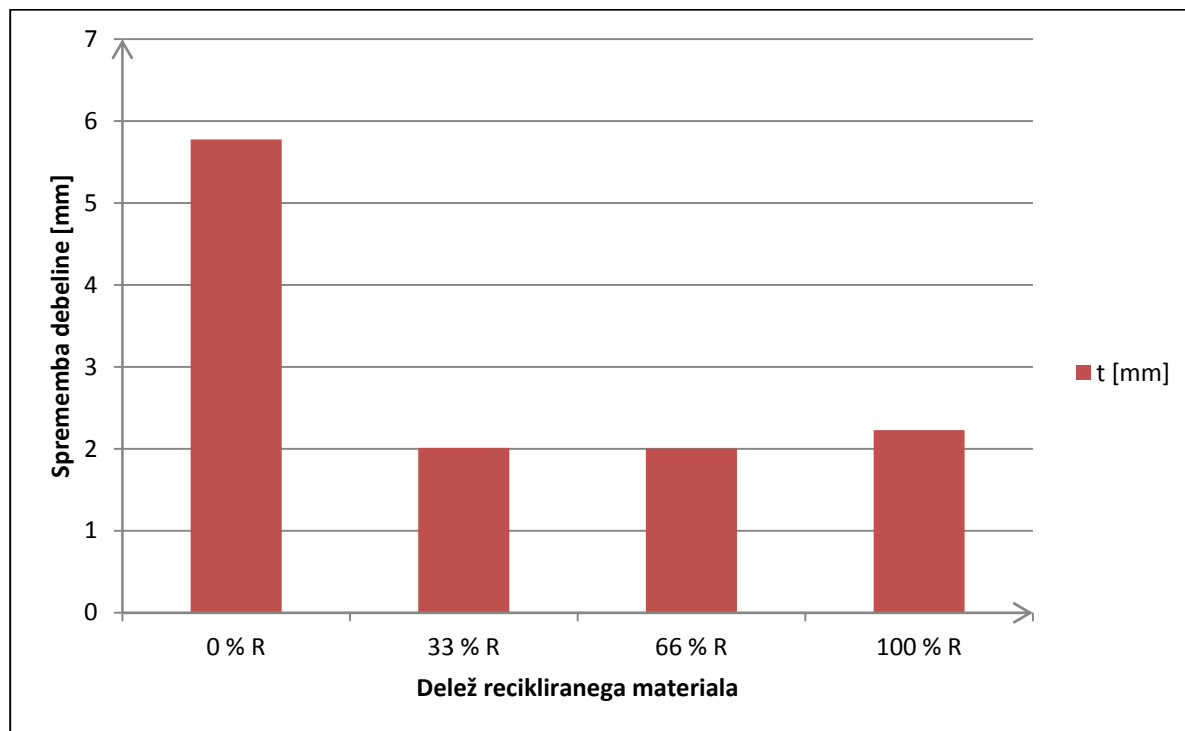
Preglednica 3: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti debelinskega nabreka

Preizkušane	Debelinski nabrek ivernih plošč $G_t$ [%]			
	0 % R	33 % R	66 % R	100 % R
1	19,19	9,91	12,05	15,24
2	57,15	14,52	14,85	13,71
3	28,31	13,29	15,00	15,52
4	45,61	15,39	13,04	16,31
5	29,57	16,16	13,26	14,07
6	39,40	14,76	9,72	12,50
<b>Povprečna vrednost</b>	36,54	14,00	12,99	14,56
<b>Standardni odklon</b>	13,58	2,19	1,13	0,96

Rezultati so pokazali, da je imela iverna plošča iz industrijskih iveri največji debelinski nabrek (36,54 %). Preizkušanci, ki so vsebovali 33 % in 66 % recikliranih iveri, pa so imeli najmanjši debelinski nabrek (12,99 % in 14,00 %).

Razlog za takšne rezultate je večja hidrofobnost materiala, ki je bil že enkrat oblepljen.

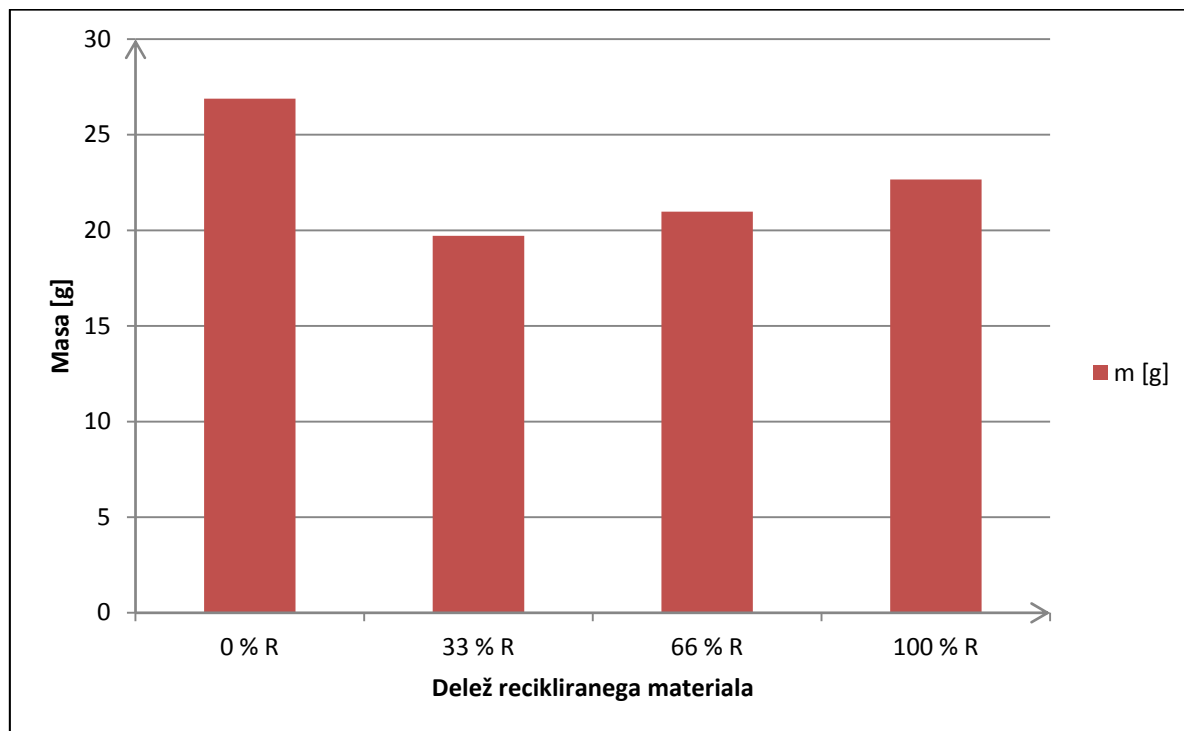
Slika 10 prikazuje povprečne vrednosti spremembe debeline v milimetrih pri preizkušancih z različnim deležem dodanega recikliranega materiala po 24-urnem namakanju v vodi.



Slika 10: Razlika v debelini med suhimi preizkušanci in preizkušanci po 24-urnem namakanju

S Slike 10 lahko razberemo, da sta se preizkušanca ivernih plošč s 33 % in 66 % dodanim recikliranim materialom najmanj dimenzijsko spremenila (2,0–2,01 mm). Plošča, narejena iz industrijskega iverja, pa je imela med suhim preizkušancem in preizkušancem po 24-urnem namakanju največjo razliko v debelini (5,78 mm).

Slika 11 prikazuje povprečne vrednosti spremembe mase v gramih pri preizkušancih z različnim deležem dodanega recikliranega materiala po 24-urnem namakanju v vodi.



Slika 11: Razlika v masi med suhimi preizkušanci in preizkušanci po 24-urnem namakanju

Rezultati, ki jih vidimo na grafikonu, so skladni s Preglednico 3. Sprememba mase je najmanjša pri preizkušancih, ki so narejeni iz 33 % recikliranega materiala, največje razlike med suhim in mokrim preizkušancem pa ima ponovno plošča iz industrijskega iverja.

Plošča iz industrijskega iverja je imela največjo spremembo debeline, vendar se pri spremembi mase vidi, da je rezultat primerljiv z ostalimi ploščami. To pomeni, da plošča lahko absorbira več vode, saj so iveri te plošče predhodno neobdelane, prav tako pa ima ta plošča največjo gostoto, kar dodatno vpliva na debelinski nabrek.

Sklepamo, da imajo plošče z določenim deležem dodanega recikliranega materiala večjo dimenzijsko obstojnost in relativno enako spremembo mase zaradi ostankov lepilnega sredstva, ki se ni popolnoma izpralo.

Sprememba dimenzij je manjša pri ivernih ploščah, ki so narejene iz manjših delcev, kar je ugotovil tudi Tsoumis (1991).

#### 4.4 PUFRNA KAPACITETA

V Preglednici 4 so prikazani rezultati ekstrakcije z destilirano vodo, ki smo jo uporabili za ugotavljanje deleža kislin v lesu.

Preglednica 4: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti pri ekstrakciji z destilirano vodo

Ekstrakcija z destilirano vodo				
Preizkušane		1	2	3
Začetni pH		4,62	4,93	5,09
pH ob dodajanju baze NaOH	1 ml	5,83	6,30	6,27
	2 ml	7,28	7,61	7,59
	3 ml	7,91	8,17	8,23
pH ob dodajanju žveplene kisline H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 ml	4,06	4,17	4,32
	2 ml	3,81	3,82	3,88
	3 ml	3,59	3,56	3,61

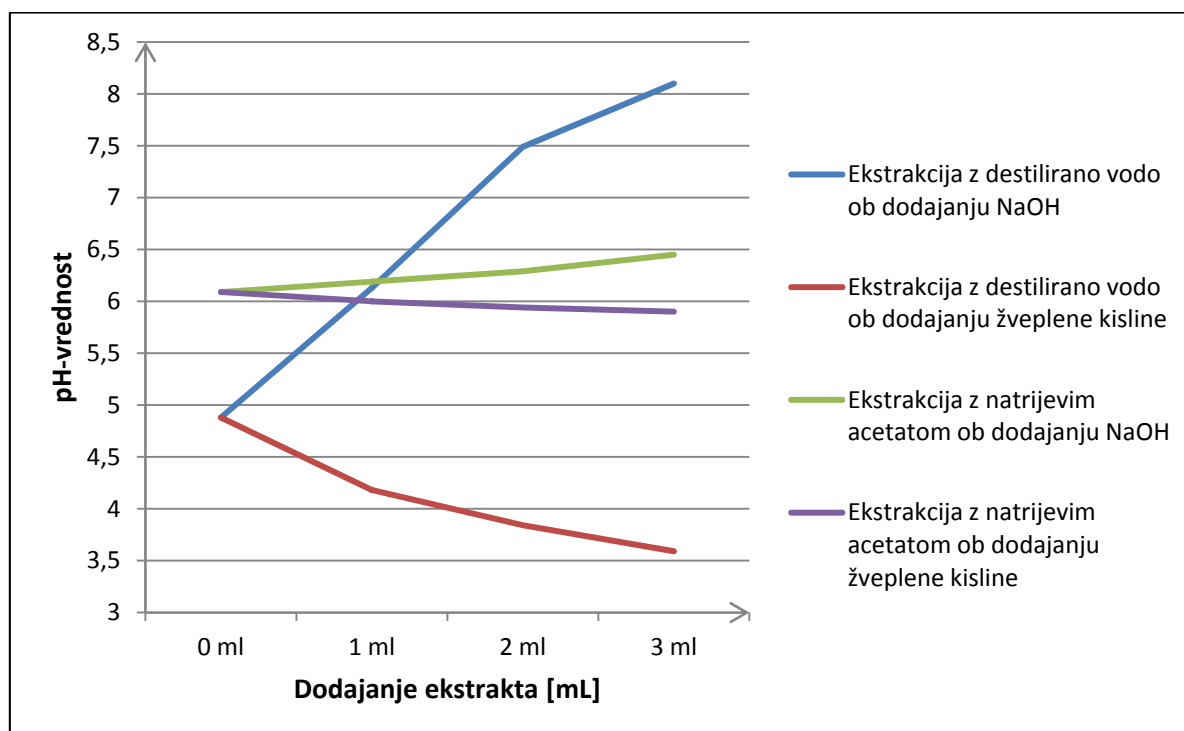
V Preglednici 5 so prikazani rezultati ekstrakcije z natrijevim acetatom, ki smo ga uporabili za ugotavljanje deleža skupin kislin v lesu.

Preglednica 5: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti pri ekstrakciji z natrijevim acetatom

Ekstrakcija z natrijevim acetatom (CH <sub>3</sub> COONa)				
Preizkušane		1	2	3
Začetni pH		6,04	6,14	6,10
pH ob dodajanju baze NaOH	1 ml	6,19	6,19	6,19
	2 ml	6,30	6,30	6,27
	3 ml	6,47	6,42	6,45
pH ob dodajanju žveplene kisline H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 ml	5,90	6,03	6,04
	2 ml	5,87	5,96	5,99
	3 ml	5,85	5,90	5,94

Iz rezultatov (Slika 12) je razvidno, da je sprememba vrednosti pH večja pri dodajanju baze.





Slika 12: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti pufrne kapacitete ob dodajanju ekstrakta

Sprememba vrednosti pH je pri uporabi recikliranega lesa relativno hitra, saj že dodatek 3 mL spremeni vrednost pH za eno enoto.

Pri ekstrakciji z destilirano vodo in ob dodajanju kisline dobimo najnižjo pH vrednost. Prehitro padec vrednosti pH se korigira z optimalno količino dodanega pufra. Preveč dodanega pufra bi namreč privedlo do prehitrega zamreženja in utrjevanja lepila, želimo pa si čim bolj linearno spremembo vrednosti pH.

Proces utrjevanja sproži sprememba pH-vrednosti. Sproži jo dodatek utrjevalca, ki je kislina, ali pa ob mešanju z ureo sprošča kislino. (Resnik, 1997)

Količina dodanega utrjevalca bi se lahko ob uporabi recikliranega materiala zmanjšala.

## 4.5 MEHANSKE LASTNOSTI

### 4.5.1 Upogibna trdnost in modul elastičnosti

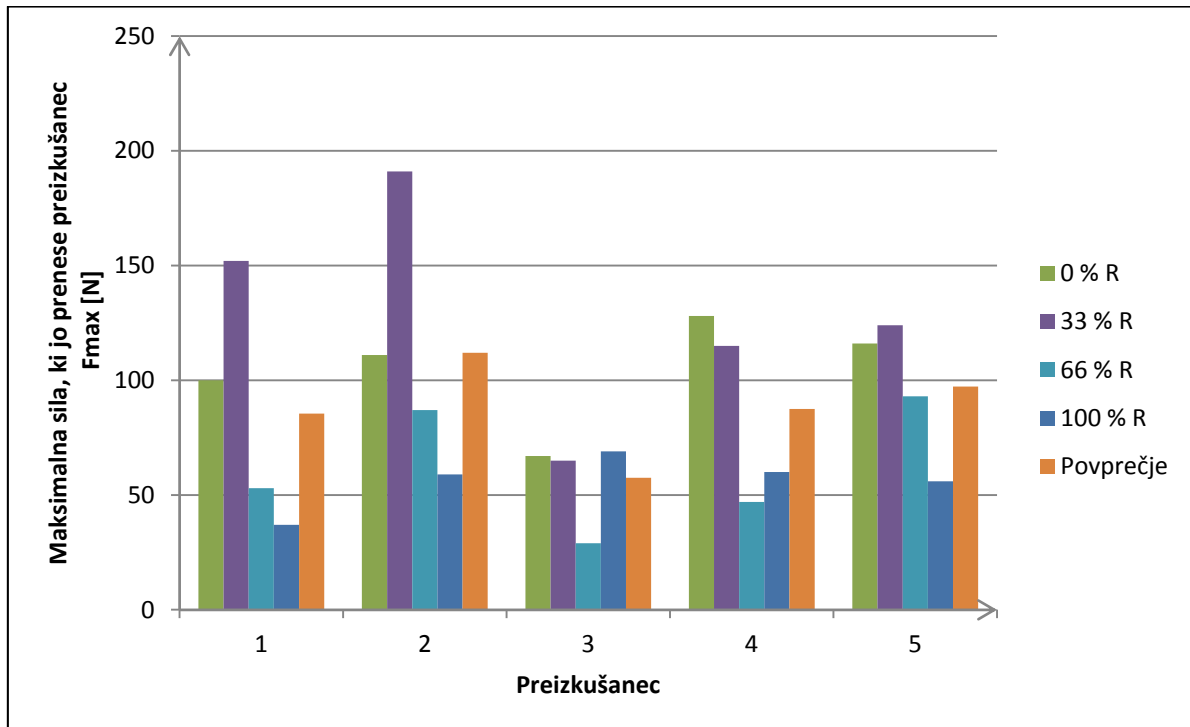
V Preglednici 6 in na Sliki 13 so prikazani rezultati upogibne trdnosti ivernih plošč. Povprečje je izračunano glede na pet preizkušancev iz vsake iverne plošče.

Preglednica 6: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti upogibne trdnosti ivernih plošč

Preizkušanec	Upogibna trdnost plošč $f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Standardni odklon	Gostota plošč $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
	Maks.	Min.	Povprečje		
Pl. iz industrijskega iverja	4,91	2,66	4,10	0,78	593
Pl. iz 33 % recikliranega iverja	7,79	2,62	5,28	1,70	572
Pl. iz 66 % recikliranega iverja	3,72	1,23	2,50	0,95	545
Pl. iz 100 % recikliranega iverja	2,48	1,52	2,30	0,43	591

Največjo upogibno trdnost smo ugotovili pri plošči, pri kateri smo uporabili 33 % recikliranega iverja. Največja ugotovljena upogibna trdnost je bila 7,79 [N/mm<sup>2</sup>], povprečna vrednost upogibne trdnosti vseh petih preizkušancev pa je bila 5,28 [N/mm<sup>2</sup>]. V primerjavi z ostalimi preizkušanci je ta plošča prenesla tudi do 60 % večje obremenitve.

Najmanjša ugotovljena upogibna trdnost je pri plošči, narejeni iz 100 % recikliranega iverja. Najvišja obremenitev, ki jo je plošča prenesla tik pred porušitvijo, je znašala 2,48 [N/mm<sup>2</sup>].



Slika 13: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti upogibne trdnosti; maksimalna izmerjena sila, ki jo prenese preizkušavec tik pred zlomom

Pri preizkušanju upogibne trdnosti smo ugotovili tudi velik vpliv strani plošč, ki smo jih obremenjevali. Pri preizkušancih, kjer smo obremenjevali nekoliko gostejšo spodnjo stran, smo ugotovili, da dobimo boljše rezultate, če imamo finejši del plošče na zgornji strani.

Na zgornji strani preizkušanca je plošča pod tlačno napetostjo, na spodnji pa pod natezno. Maksimalna upogibna trdnost se doseže, ko nastopi porušitev na natezno obremenjeni strani preizkušanca (Slika 14) (Polanc in Leban, 2004).



Slika 14: Ponazoritev porušitve na natezno obremenjeni strani preizkušanca (Polanc, Leban, 2004)

V Preglednici 7 so prikazani rezultati modula elastičnosti ivernih plošč. Povprečje je izračunano glede na petih ponovitvah pri vsaki testirani iverni plošči.

Poleg povprečnih vrednosti so navedene še najvišje in najnižje dosežene vrednosti testiranja ter standardni odklon.

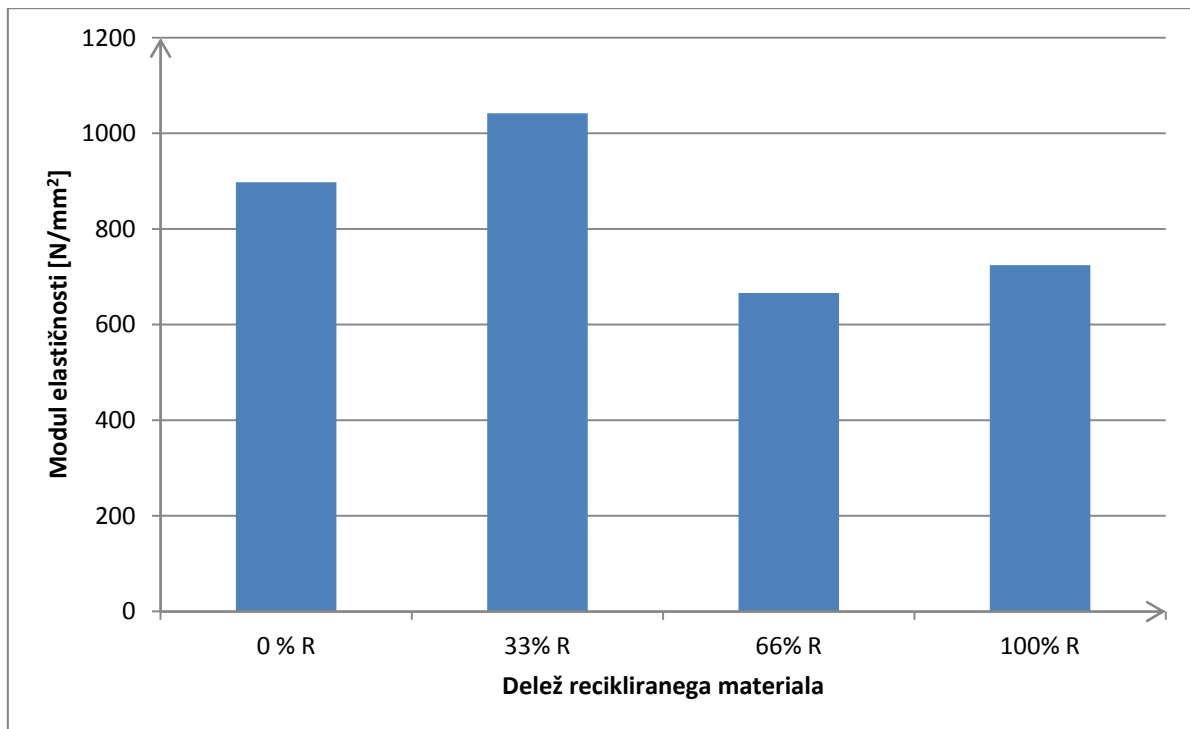
Preglednica 7: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti modula elastičnosti ivernih plošč

Preizkušanelec	Modul elastičnosti $E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Standardni odklon	Gostota plošč $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
	Maks.	Min.	Povprečje		
Pl. iz industrijskega iverja	996	796	593	78	593
Pl. iz 33 % recikliranega iverja	1401	773	572	247	572
Pl. iz 66 % recikliranega iverja	892	406	545	204	545
Pl. iz 100 % recikliranega iverja	869	615	591	91	591

Najvišjo vrednost modula elastičnosti smo dobili pri iverni plošči iz 33 % recikliranega iverja. Industrijske iveri so med seboj enakomerno prepletene, ker so ozke in podolgovate oblike, z dodatkom manjših (recikliranih) iveri pa se zapolnijo tudi prazni prostori v iverni pogači, ki jih večji delci pred tem niso mogli zapolniti. Med stiskanjem plošče se nato med seboj tesno povežejo, zato je boljša prepletенost in posledično tudi modul elastičnosti.

Večja kot je bila upogibna trdnost plošč, sorazmerno večji je modul elastičnosti.

Na Sliki 15 so prikazane povprečno izmerjene vrednosti modula elastičnosti.



Slika 15: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti modula elastičnosti

Poleg največje vrednosti, dobljene pri testiranju modula elastičnosti, vidimo še vmesne rezultate in najmanjše dobljene rezultate (Slika 15), ki jih je imela plošča s 66 % dodanim recikliranim materialom. Tudi plošča, narejena izključno iz recikliranega materiala, ni odstopala za več kot 15 % od spodnje meje, kar je pričakovan rezultat.

#### 4.5.2 Razslojna trdnost ivernih plošč

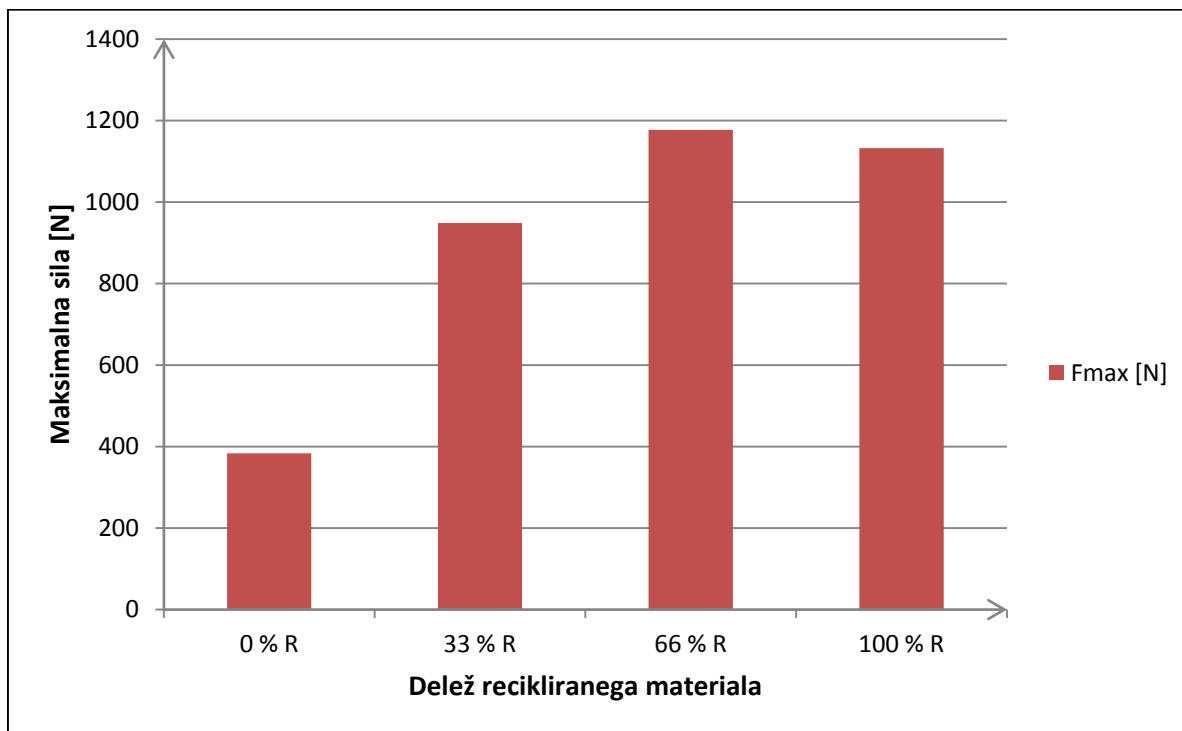
V Preglednici 8 so prikazani povprečni rezultati razslojne trdnosti ivernih plošč. Povprečje je izračunano glede na osem preizkušancev iz posamezne iverne plošče.

Preglednica 8: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti razslojne trdnosti ivernih plošč

Preizkušanec	Razslojna trdnost plošč $f_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]			Standardni odklon	Gostota plošč $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
	Maks	Min	Povprečje		
Pl. iz industrijskega iverja	0,29	0,06	0,15	0,07	593
Pl. iz 33 % recikliranega iverja	0,73	0,28	0,44	0,14	572
Pl. iz 66 % recikliranega iverja	0,60	0,26	0,45	0,10	545
Pl. iz 100 % recikliranega iverja	0,73	0,25	0,46	0,14	591
Povprečje			0,38		

Največjo razslojno trdnost smo ugotovili pri plošči, narejeni iz 100 % recikliranega iverja. Pri testiranju plošč iz 33 % recikliranega iverja in 66 % industrijskega smo prav tako dobili primerljive rezultate, medtem ko so bile izmerjene vrednosti pri plošči iz 0 % recikliranega iverja najnižje. Razlog za dobljene rezultate bi lahko pripisali temu, da so reciklirane iveri vsebovale ostanke lepila. To pomeni, da se je novo lepilo vezalo na že obstoječe, aktivno lepilo, medtem ko so bile iveri pri plošči iz industrijskega iverja predhodno neobdelane.

Slika 16 vsebuje grafično ponazoritev maksimalne sile, ki jo doseže preizkušaneč tik pred zlomom.



Slika 16: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti razslojne trdnosti

Največja dosežena razslojna trdnost je bila pri preizkušancu iz 66 % recikliranega materiala. Najbolj odstopa vrednost, dobljena pri testiranju plošče z 0 % dodanega recikliranega materiala, in sicer kar za 50 % manj kot pri ostalih preizkušancih. Glede na meritve debelinskega nabreka je to pričakovan rezultat.

#### 4.6 VSEBNOST PROSTEGA FORMALDEHIDA

V Preglednici 9 so prikazani rezultati merjenja prostega formaldehida. Povprečje je izračunano glede na tri preizkušance od posamezne iverne plošče.

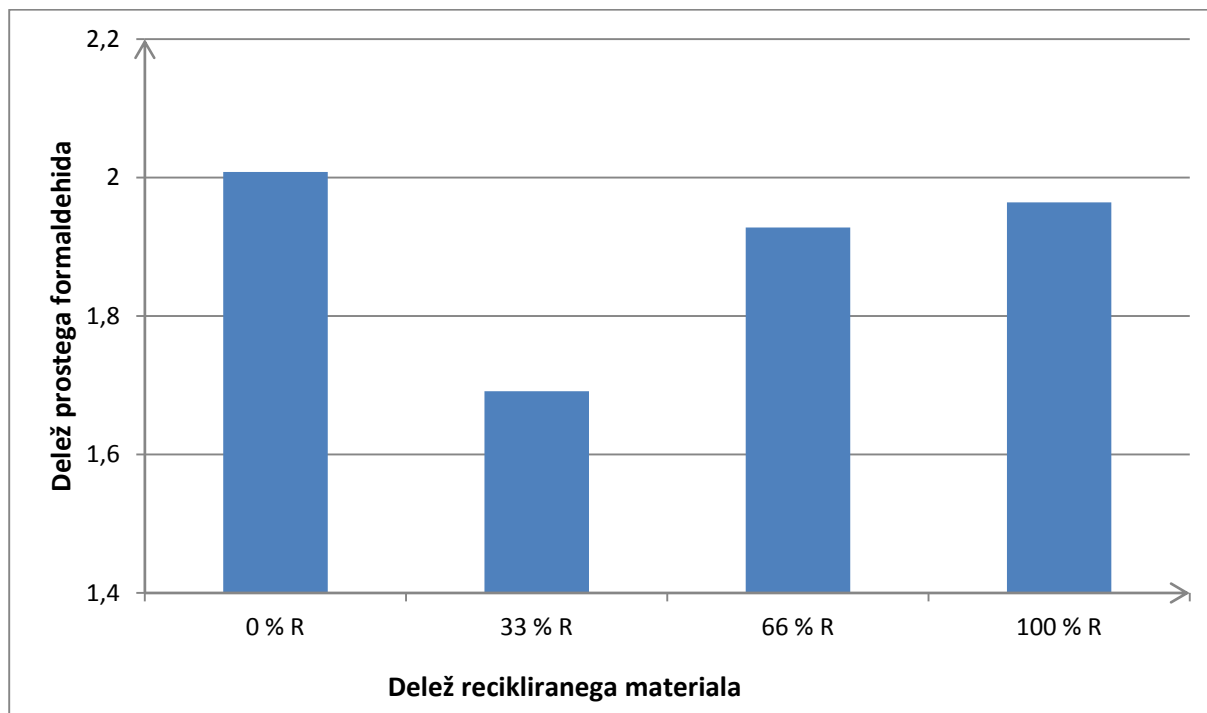
Preglednica 9: Posamezne povprečno izmerjene vrednosti prostega formaldehida

Preizkušanec	Merjenje vsebnosti prostega formaldehida
	mg HCHO/kg
Kontrola	0,0805
Plošča iz industrijskega iverja	2,0082
Plošča iz 33 % recikliranega iverja	1,6913
Plošča iz 66 % recikliranega iverja	1,9278
Plošča iz 100 % recikliranega iverja	1,9643

Izhajanje formaldehida iz preizkušanih iveri je v povprečju znašalo 1,90 mg HCHO/kg. Pri preskusu izhajanja prostega formaldehida smo najoptimalnejši rezultat dobili pri plošči, narejeni iz 33 % recikliranega materiala. Rezultat je posledica manjšega dodatka recikliranih iveri in boljše adhezije.



Slika 17 vsebuje grafični oris izhajanja prostega formaldehida po standardu SIST EN 717/3. Prikazani so trije testirani preizkušanci v eni seriji.



Slika 17: Posamezne povprečne vrednosti izhajanj prostega formaldehida

Večje izhajanje formaldehida lahko opazimo pri ploščah, ki vsebujejo več recikliranega materiala.

Slika 17 prikaže vse tri opravljene meritve na preizkušanece. Z grafa lahko odčitamo, da večjih odstopanj znotraj ene serije ni, so pa jasno prikazane razlike med ploščami z različnim deležem iveri.

## 5 RAZPRAVA

Preglednica 10: Rezultati vseh opravljenih meritev

	Najboljši rezultat	Najslabši rezultat
<b>Gostota</b> $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	plošča iz industrijskega iverja	plošča iz 66 % recikliranega iverja
	593	545
<b>Debelinski nabrek</b> $G_t$ [%]	plošča iz 66 % recikliranega iverja	plošča iz industrijskega iverja
	12,99	36,54
<b>Upogibna trdnost</b> $f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	plošča iz 33 % recikliranega iverja	plošča iz 100 % recikliranega iverja
	5,28	2,30
<b>Modul elastičnosti</b> $E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	plošča iz 33 % recikliranega iverja	plošča iz 66 % recikliranega iverja
	1042	666
<b>Razslojna trdnost</b> $f_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	plošča iz 100 % recikliranega iverja	plošča iz industrijskega iverja
	0,46	0,15
<b>Izhajanje prostega formaldehida</b>	plošča iz 33 % recikliranega iverja	plošča iz industrijskega iverja
	1,6913	2,0082

V diplomski nalogi smo ugotavljali, kako se odzivajo iverne plošče z različno dodanimi deleži recikliranega materiala. Zanimalo nas je, kakšne bodo razlike v vrednostih pri merjenju mehanskih lastnosti, pri merjenju debelinskega nabreka in pri izhajanju prostega formaldehida.

Pri raziskavi smo uporabili štiri različne iverne plošče, ki smo jih testirali po standardih SIST EN. Plošče so vsebovale 0 % recikliranega materiala, 33 % recikliranega materiala, 66 % recikliranega materiala in 100 % recikliranega materiala.

Najprej smo izmerili gostoto ivernih plošč in dobili najboljši rezultat pri plošči, narejeni iz 100 % industrijskega iverja. Najmanjšo gostoto smo izmerili pri plošči iz 66 % recikliranega materiala.

Druga z največjo gostoto je plošča iz 100 % recikliranega iverja. Vzrok za takšen rezultat bi lahko bil v zlepljenosti gradnikov in masi samih gradnikov. Sklepamo, da se lepilo iz

recikliranih iveri ni dobro izpralo. To teorijo podprejo rezultati razslojne trdnosti, ki dokazujejo, da je zlepljenost plošče iz 100 % recikliranega materiala, zaradi še vedno aktivnega lepila, najboljša.

Testi debelinskega nabreka so pokazali, da plošča z najvišjo gostoto vpije največ vode in ima največjo spremembo dimenzije.

Dejavniki, ki vplivajo na krčenje in nabrekanje ivernih plošč po debelini, so: geometrija iverja, vrsta materiala in delež smole. Sprememba dimenzij je manjša pri ivernih ploščah, ki so narejene iz manjših delcev (Tsoumis, 1991).

Iverna plošča z višjo gostoto ima večjo maso iveri kot lahka plošča, zato je tudi delež iveri večji, kar posledično pomeni večji debelinski nabrek (Zupančič, 2010).

Debelinski nabrek je večji tudi zaradi slabe adhezije med lepilom in delci iveri ter nezapolnjenimi prostori, ki omogočajo vdor vode.

Povečanje debelinskega nabreka gostejših ivernih plošč je lahko posledica popuščanja vezi med lepilom in ivermi, ker je tudi napetost v ploščah z višjo gostoto večja kot v ploščah z manjšo gostoto (Zupančič, 2010).

Najmanjši debelinski nabrek je imela plošča iz 66 % dodanega recikliranega materiala, saj je vsebovala večji delež recikliranih iveri, ki pa so bolj hifobne. Prav tako pa lahko sklepamo, da je prišlo do boljšega zlepljenja zaradi še vedno aktivnega lepila na recikliranih iverih.

Pri testih upogibne trdnosti in modula elastičnosti smo prišli do pričakovanih rezultatov, in sicer: plošča z optimalnim deležem tako industrijskih kot recikliranih iveri (33 % dodanega recikliranega materiala) je dosegla najboljše vrednosti.

Upogibna trdnost raste v soodvisnosti od gostote iverne plošče. Pomemben vpliv pa imata tudi vrsta lepilnega sredstva ter delež dodanega lepila. To dobro potrjujejo rezultati, ki kažejo, da na kvaliteto ivernih plošč vpliva hkrati več dejavnikov. Pri testih razslojne trdnosti je bila npr. najboljša plošča bila tista, ki je vsebovala največ aktivnega lepila, vendar se pri testih upogibne trdnosti in modula elastičnosti ni obnesla najboljše, kljub temu, da je delež dodanega lepila v primerih, ko imamo iverne plošče z recikliranim materialom, večji.

Zelo visok modul elastičnosti pomeni, da je material zelo prožen. To je razvidno iz tega, da prenese večje obremenitve pred porušitvijo kot material, ki ni prožen in se prej poruši.

Merjenje razslojne trdnosti je pokazalo, da je plošča, narejena iz 100 % iz recikliranih iveri v povprečju dosegla najboljše vrednosti, kar pomeni, da je ta plošča prenesla največjo obremenitev. Razlog za takšen rezultat je opisan v prejšnjih odstavkih. Rezultat bi lahko dodatno objasnili s pregledom vseh testiranih preizkušancev, saj se pri tej iverni plošči pojavi vrednost, ki izrazito izstopa. Če ta rezultat izvzamemo, dobimo realnejšo vrednost. Nov skupen izračun za iverno ploščo je tako  $0,42 \text{ N/mm}^2$ , kar je primerljivo z ivernima ploščama

s 33 % in 66 % dodanega recikliranega materiala. Slednji sta prenesli povprečno obremenitev  $0,44 \text{ N/mm}^2$  in  $0,45 \text{ N/mm}^2$ .

Takšno odstopanje je posledica nehomogenosti, saj imajo posamezni preizkušanci zaradi variacij v pripravi in metode kemičnega čiščenja relativno velike razlike za enak kos preizkušanca.

Pri izvajanju postopka za določanje razslojne trdnosti je potrebno omeniti, da so se plošče, ki so prenesle večjo obremenitev, zlomile v zelo kratkem času. Plošča, ki je prenesla najmanjšo obremenitev, pa je bila do popolne porušitve obremenjena dlje časa.

Rezultati merjenja prostega formaldehida se glede na prejšnje meritve skladajo. Največ izhajanja formaldehida je imela plošča iz industrijskega iverja, z relativno majhno razliko pa ji sledita plošči iz 66 % in 100 % recikliranega iverja.

Rezultat je posledica zlepljenosti in količine lepila, ki je bilo dodano in reciklirano.

## 6 SKLEPI

Na podlagi rezultatov, predstavljenih v nalogi, je mogoče sklepati, da dodajanje recikliranega lesa vpliva na mehanske lastnosti izdelanih ivernih plošč.

Na podlagi testiranj, ki smo jih izvedli, smo ugotovili naslednje:

- pH vrednost recikliranih iveri je nižja;
- sprememba debeline se po 24-urnem namakanju v vodi sorazmerno povečuje z višanjem gostote;
- sprememba mase je po 24-urnem namakanju v vodi je pri materialu z večjo količino dodanega recikliranega materiala večja;
- za utrjevanje lepila je potrebno dodajati kisel pufer;
- z večanjem dodanega recikliranega materiala se upogibna trdnost in modul elastičnosti zmanjšujeta;
- razslojna trdnost narašča z dodajanjem recikliranega materiala;
- zaradi že prej omenjenih lastnosti smo najvišjo vrednost izhajanja prostega formaldehida izmerili pri plošči iz industrijskega materiala;
- izhajanje prostega formaldehida pri ploščah z dodanim recikliranim materialom pa narašča z vrednostjo le-tega;
- glede na rezultate so za uporabo najprimernejše plošče s 33% dodanim recikliranim materialom.

Glede na dobljene rezultate bi lahko v nadaljnje brez kakršnihkoli zadržkov za izdelavo ivernih plošč uporabljali tudi recikliran material, vendar le v manjših količinah, v deležu od 30 % do 50 %. Nujno bi bilo iveri uporabiti skupaj z industrijskim iverjem. S praktičnega vidika bi bilo takšno ravnanje z odsluženim materialom ekološko in dobičkonosno, vendar se postavlja vprašanje, kako bi takšen izdelek sprejeli potrošniki in koliko proizvajalcev bi se odločilo za recikliran material, saj se moramo zavedati, da so pri uporabi takšnega materiala potrebne določene nove proizvodnje linije.

Recikliran les je ekonomsko in ekonomično privlačnejši sekundarni material, ki se lahko uporablja kot alternativno gorivo in kot material za lesne plošče.

## 7 VIRI

1. Alpar T., Winkler A. 2006. Recycling of Impregnated Décor Paper in Particleboard. *Acta Silv. Lign. Hung.*, 2: 113-116
2. Gajšek U. 2008. Vpliv deleža skorje v iverni plošči na vsebnost prostega formaldehida. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 35 str.
3. Grudnik J. 2007. Vpliv velikosti iverja in delež dodanega lepila na stopnjo oblepljenosti. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 50 str.
4. Humar, M. 2012, Odslužen les, še neizkoriščen vir surovin v Sloveniji. 4. Posvet sekcije za okolje in energijo, Dolenjske toplice. [http://www.gzdbk.si/media/pdf/sekcije/okolje/posvet2012/Miha\\_Humar.pdf](http://www.gzdbk.si/media/pdf/sekcije/okolje/posvet2012/Miha_Humar.pdf) (7. 9. 2014)
5. Humar M., Krajnc N., Kropivšek J., Kutnar A., Likar B., Milavec I., Piškur M., Tavzes Č. 2012. Izhodišča za prestrukturiranje slovenske lesnopredelovalne industrije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 70 str.
6. Jungmeier G., Gallis C., Hillring B., Humar M., Fruehwald A. 2005. What is COST and COST action E31 »Management of recovered wood«. V: Management of recovered wood. Second European COST E31 Conference. Gallis, C. (ed.). Bordeaux, University studio press: 17-23
7. Klopčič M. 2011. Vpliv gostote zunanjšega sloja iverne plošče na njeno trdoto. Diplomski projekt. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 22 str.
8. Krpan A. 2008. Mehanske in biološke lastnosti iverne plošče, narejene iz odsluženega zaščitenege lesa. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 49 str.
9. Macro spectrophotometry cuvette  
<http://www.amazon.com/BrandTech-759071D-Polystyrene-Spectrophotometry-Cuvette/dp/B003UTUPPI> (9. 9. 2014)

10. Medved S. 2009 Študijsko gradivo za laboratorijske vaje pri predmetu Vlakninska in iverna lesna tvoriva. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 12 str.  
[http://les.bf.uni-lj.si/fileadmin/datoteke\\_asistentov/smedved/gradivo-uni/Laboratorijske\\_vaje\\_-\\_lastnosti\\_plosc\\_2.pdf](http://les.bf.uni-lj.si/fileadmin/datoteke_asistentov/smedved/gradivo-uni/Laboratorijske_vaje_-_lastnosti_plosc_2.pdf) (7. 9. 2014)
11. Medved S., Resnik J. 2004. Influence of the acidity and size of beech particles on the hardening of the urea-formaldehyde adhesive. *Acta chimica slovenica*, 2:51: 353-360
12. Mlakar G. 2012. Izdelava iverne plošče glede na zahteve uporabnika. Diplomski projekt. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 41 str.
13. Polanc J., Leben I. 2004. Les - zgradba in lastnosti. Ljubljana, Zveza lesarjev Slovenije, Lesarska založba: 176 str.
14. Resnik J. 1997. Lepila in lepljenje lesa. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 103 str.
15. Sawyer G., Irle M. 2005. Development of colour indicator techniques to detect chemical contamination in wood waste for recycling. V: Management of recovered wood. Second European COST E31 Conference. Gallis, C. (ed.). Bordeaux, University studio press: 215-229
16. SIST EN 310: 1996. Lesne plošče: določevanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti
17. SIST EN 317: 1993. Iverne in vlaknene plošče: določitev nabreka debeline po potapljanju v vodi
18. SIST EN 319: 1996. Iverne plošče in vlaknene plošče: določevanje natezne trdnosti navpično na ravnino ploskve
19. SIST EN 322: 1993. Lesne plošče: določevanje vsebnosti vlage
20. SIST EN 323: 1993. Lesne plošče: določevanje gostote
21. SIST EN 717-3. 1997. Lesne plošče – določanje sproščanja formaldehida – 3. del: Sproščanje formaldehida po steklenični metodi
22. Skoog Douglas A.; West Donald M.; Holler, F. James. 1992 Fundamentals of analytical Chemistry. New York, Saunders College, 6.: 23 str.

23. Ščernjavič R. 2009. Vpliv deleža skorje na mehanske lastnosti ivernih plošč. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 53 str.
24. Štaleker A. 2006. Alternativna metoda določanja vsebnosti prostega formaldehida. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 35 str.
25. Tsoumis G. 1991. Science and Technology of Wood, Structure, Properties, Utilization, New York : Van Nostrand Reinhold: 494 str.
26. Van Riet, C., Wijnendaele K. 2005. Wood recycling into wood-based panels. Management of recovered wood. Second European COST E31 Conference. Gallis, C. (ed.). Bordeaux, University studio press: 239–247
27. Varga M., Alpar T, Nemeth G. 2004. General waste handling and recycling in particleboard production. V: Management of Environmental Quality: An International Journal, 15: 5: 509–520
28. Yang T.H., Lin C.J., Wang S.Y., Tsai M.J. 2007. Characteristics of particleboard made from recycled wood-waste chips impregnated with phenol formaldehyde resin. Building and Environment 42: 189–195
29. Zupančič, J. 2010. Dimenzijska obstojnost ivernih plošč s povišano gostoto. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 39 str.



## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se doc. dr. Sergeju Medvedu za pomoč in usmerjanje, konstruktivne pripombe in koristne nasvete pri pisanju diplomske naloge.

Hvala somentorju prof. dr. Mihi Humarju in prof. dr. Milanu Šerneku, za nasvete pri pisanju diplomske naloge.

Hvala tudi Luciji Breznik, prof. slovenščine in pedagogike, za lektoriranje diplomske naloge.

Hvala mami, ki me je vzpodbujala tekom študija.

## PRILOGE

- a) Rezultati gostote plošč narejenih iz različnih deležev dodanega recikliranega materiala.

Preizkušaneec	Merjenje gostote plošče, narejene iz 0 % recikliranega iverja				
	b <sub>1</sub> [mm]	b <sub>2</sub> [mm]	t [mm]	m [g]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	50,36	50,32	15,56	22,98	583
2	50,25	50,31	15,62	23,59	597
3	50,34	50,39	16,17	26,55	647
4	50,32	50,26	15,89	22,85	569
5	50,37	50,37	15,77	23,64	591
6	50,34	50,38	15,94	23,13	583

Preizkušaneec	Merjenje gostote plošče, narejene iz 33 % recikliranega iverja				
	b <sub>1</sub> [mm]	b <sub>2</sub> [mm]	t [mm]	m [g]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	50,26	50,52	15,39	21,75	572
2	50,38	50,43	15,55	20,91	557
3	50,15	50,44	15,51	23,97	529
4	50,33	50,39	15,33	21,03	611
5	50,30	50,40	15,36	23,53	541
6	50,41	50,47	15,61	23,52	604

Preizkušaneec	Merjenje gostote plošče, narejene iz 66 % recikliranega iverja				
	b <sub>1</sub> [mm]	b <sub>2</sub> [mm]	t [mm]	m [g]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	50,24	50,35	15,49	23,74	606
2	50,40	50,28	15,14	17,84	465
3	50,18	50,18	15,62	19,02	484
4	50,15	50,44	15,72	21,11	531
5	50,42	50,40	15,58	22,85	577
6	50,36	50,28	15,61	24,01	607

Preizkušaneec	Merjenje gostote plošče, narejene iz 100 % recikliranega iverja				
	b <sub>1</sub> [mm]	b <sub>2</sub> [mm]	t [mm]	m [g]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	50,44	50,4	15,67	23,76	596
2	50,30	50,27	15,38	22,03	566
3	50,42	50,43	15,34	23,42	600
4	50,40	50,36	15,28	22,81	588
5	50,30	50,32	15,42	23,96	614
6	50,43	50,27	15,47	22,66	578

b) Rezultati debelinskega nabreka plošč narejenih iz različnih deležev dodanega recikliranega materiala.

Preizk.	Merjenje debelinskega nabreka plošče, narejene iz 0 % recikliranega iverja								
	$b_1$ [mm]	$b_2$ [mm]	$t_1$ [mm]	$m_1$ [g]	$\rho_1$ [ $\frac{g}{cm^3}$ ]	$t_2$ [mm]	$m_2$ [g]	$G_t$ [%]	$\rho_2$ [ $\frac{g}{cm^3}$ ]
1	50,31	50,24	15,89	23,72	0,583	18,94	48,55	19,19	0,591
2	50,35	50,29	15,80	25,14	0,597	24,83	60,95	57,15	0,628
3	50,34	50,31	15,86	23,66	0,647	20,35	47,56	28,31	0,589
4	50,36	50,25	15,96	24,89	0,569	23,24	54,3	45,61	0,616
5	50,31	50,25	15,52	23,17	0,591	20,11	45,69	29,57	0,591
6	50,36	50,29	15,76	22,17	0,583	21,97	47,02	39,40	0,555

Preizk.	Merjenje debelinskega nabreka plošče, narejene iz 33 % recikliranega iverja								
	$b_1$ [mm]	$b_2$ [mm]	$t_1$ [mm]	$m_1$ [g]	$\rho_1$ [ $\frac{g}{cm^3}$ ]	$t_2$ [mm]	$m_2$ [g]	$G_t$ [%]	$\rho_2$ [ $\frac{g}{cm^3}$ ]
1	50,39	50,39	15,85	25,38	0,572	17,42	45,54	9,91	0,631
2	50,42	50,36	15,50	22,26	0,557	17,75	42,78	14,52	0,566
3	50,35	50,22	15,35	19,57	0,529	17,39	38,46	13,29	0,504
4	50,40	50,25	15,40	24,37	0,611	17,77	44,94	15,39	0,625
5	49,94	50,42	15,53	20,28	0,541	18,04	39,27	16,16	0,519
6	50,23	50,50	15,79	21,56	0,604	18,12	40,70	14,76	0,538

Preizk.	Merjenje debelinskega nabreka plošče, narejene iz 66 % recikliranega iverja								
	$b_1$ [mm]	$b_2$ [mm]	$t_1$ [mm]	$m_1$ [g]	$\rho_1$ [ $\frac{g}{cm^3}$ ]	$t_2$ [mm]	$m_2$ [g]	$G_t$ [%]	$\rho_2$ [ $\frac{g}{cm^3}$ ]
1	50,30	50,27	15,19	15,29	0,606	17,02	33,40	12,05	0,398
2	50,23	50,29	15,42	25,90	0,465	17,71	47,18	14,85	0,665
3	50,36	50,26	15,67	20,96	0,484	18,02	41,48	15,00	0,528
4	50,32	50,37	15,49	21,63	0,531	17,51	43,75	13,04	0,551
5	50,35	50,15	15,31	18,40	0,577	17,34	40,13	13,26	0,476
6	50,39	50,23	15,63	24,01	0,607	17,15	46,11	9,72	0,607

Preizk.	Merjenje debelinskega nabreka plošče, narejene iz 100 % recikliranega iverja								
	$b_1$ [mm]	$b_2$ [mm]	$t_1$ [mm]	$m_1$ [g]	$\rho_1$ [ $\frac{g}{cm^3}$ ]	$t_2$ [mm]	$m_2$ [g]	$G_t$ [%]	$\rho_2$ [ $\frac{g}{cm^3}$ ]
1	50,42	50,36	15,42	24,73	0,596	17,77	46,67	15,24	0,632
2	50,44	50,42	15,54	23,98	0,566	17,67	46,78	13,71	0,607
3	50,41	50,45	15,59	25,64	0,600	18,01	46,71	15,52	0,647
4	50,45	50,33	15,21	24,11	0,588	17,69	46,54	16,31	0,624
5	50,41	50,39	15,64	25,39	0,614	17,84	48,37	14,07	0,639
6	50,42	50,36	15,42	24,73	0,596	17,77	46,67	15,24	0,632

c) Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošč narejenih iz različnih deležev dodanega recikliranega materiala.

Preizk.	Upogibna trdnost in modul elastičnosti plošče, narejene iz 0 % recikliranega iverja				
	$t$ [mm]	$b_1$ [mm]	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$F_{max}$ [N]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	15,56	49,36	996	100	4,01
2	15,73	49,46	967	111	4,36
3	15,58	49,88	822	67	2,66
4	15,80	50,22	908	128	4,91
5	15,56	50,17	796	116	4,59

Preizk.	Upogibna trdnost in modul elastičnosti plošče, narejene iz 33 % recikliranega iverja				
	$t$ [mm]	$b_1$ [mm]	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$F_{max}$ [N]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	15,37	50,32	1270	152	6,12
2	15,32	50,18	1401	191	7,79
3	15,22	50,32	773	65	2,62
4	15,35	50,27	892	115	4,68
5	15,18	50,01	874	124	5,18

Preizk.	Upogibna trdnost in modul elastičnosti plošče, narejene iz 66 % recikliranega iverja
---------	--

	t [mm]	b <sub>1</sub> [mm]	E <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>max</sub> [N]	f <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
1	15,21	50,25	858	53	2,19
2	15,52	50,30	892	87	3,47
3	15,05	50,19	447	29	1,23
4	15,30	50,32	406	47	1,90
5	15,44	50,31	727	93	3,72

Preizk.	Upogibna trdnost in modul elastičnosti plošče, narejene iz 100 % recikliranega iverja				
	t [mm]	b <sub>1</sub> [mm]	E <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>max</sub> [N]	f <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
1	15,49	49,78	615	37	1,52
2	15,27	50,52	741	59	2,42
3	15,35	50,29	869	69	2,80
4	15,21	50,36	758	60	2,48
5	15,37	50,32	639	56	2,27

d) Rezultati razslojne trdnosti plošč narejenih iz različnih deležev dodanega recikliranega materiala.

Preizkušanec	Razslojna trdnost plošče, narejene iz 0 % recikliranega iverja				
	l [mm]	b <sub>1</sub> [mm]	A [cm <sup>2</sup> ]	F <sub>loma</sub> [N]	f <sub>t</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
1	50,42	50,20	25,3	492	0,19
2	50,35	50,20	25,3	164	0,06
3	50,35	50,20	25,3	347	0,14
4	50,30	50,35	25,3	435	0,17
5	50,40	50,08	25,2	174	0,07
6	49,92	50,34	25,1	719	0,29
7	50,28	50,33	25,3	322	0,13
8	50,31	50,35	25,3	316	0,12

Preizkušanec	Razslojna trdnost plošče, narejene iz 33 % recikliranega iverja				
	l [mm]	b <sub>1</sub> [mm]	A [cm <sup>2</sup> ]	F <sub>loma</sub> [N]	f <sub>t</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
1	50,3	50,43	25,4	1470	0,58

2	50,77	50,19	25,5	1850	0,73
3	50,32	50,28	25,3	698	0,28
4	50,41	50,33	25,4	807	0,32
5	50,42	50,39	25,4	1040	0,41
6	50,35	50,38	25,4	821	0,32
7	50,35	50,38	25,4	1200	0,47
8	50,30	50,43	25,4	1470	0,58

Preizkušaneec	Razslojna trdnost plošče, narejene iz 66 % recikliranega iverja				
	l [mm]	b <sub>1</sub> [mm]	A [cm <sup>2</sup> ]	F <sub>loma</sub> [N]	f <sub>t</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
1	50,2	50,4	25,3	1330	0,52
2	50,31	50,22	25,3	651	0,26
3	50,36	50,35	25,4	1130	0,45
4	50,38	50,37	25,4	1040	0,41
5	50,32	50,31	25,3	1520	0,60
6	50,21	50,50	25,4	1410	0,55
7	50,24	50,45	25,3	856	0,34
8	50,35	50,43	25,4	1150	0,45

Preizkušaneec	Razslojna trdnost plošče, narejene iz 100 % recikliranega iverja				
	l [mm]	b <sub>1</sub> [mm]	A [cm <sup>2</sup> ]	F <sub>loma</sub> [N]	f <sub>t</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
1	50,29	50,17	25,2	1840	0,73
2	50,41	50,42	25,4	625	0,25
3	50,41	50,36	25,4	919	0,36
4	50,23	50,45	25,3	1240	0,49
5	50,26	50,37	25,3	1280	0,51
6	50,35	50,37	25,4	823	0,32
7	50,46	50,34	25,4	1270	0,50
8	50,31	50,32	25,3	1240	0,49

e) Rezultati vsebnosti prostega formaldehida pri ploščah narejenih iz različnih deležev dodanega recikliranega materiala.

Preizkušaneec		Merjenje vsebnosti prostega formaldehida		
		meritev št. 1	meritev št. 2	povprečje
Kontrola	1	0,080	0,081	0,0805

Plošča iz 0 % recikliranega iverja	1	2,012	2,007	2,0095
	2	2,010	2,004	2,0070
Plošča iz 33 % recikliranega iverja	1	1,642	1,640	1,6410
	2	1,695	1,695	1,6950
	3	1,747	1,729	1,7380
Plošča iz 66 % recikliranega iverja	1	1,874	1,876	1,8750
	2	1,986	1,986	1,9860
	3	1,922	1,923	1,9225
Plošča iz 100 % recikliranega iverja	1	1,990	1,991	1,9905
	2	1,991	1,991	1,9910
	3	1,910	1,913	1,9115