

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Mateja GUŠTIN

**VPLIV POTEKA STISKANJA NA GOSTOTNI  
PROFIL  
IVERNE PLOŠČE**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Mateja Guštin

**VPLIV POTEKA STISKANJA NA GOSTOTNI PROFIL  
IVERNE PLOŠČE**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**PRESSING PROCESS IMPACT ON THE VERTICAL DENSITY  
PROFILE  
OF THE PARTICLE BOARD**

GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana 2012

Guštin M. Vpliv poteka stiskanja na gostotni profil iverne plošče.

Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 2012

---

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površine Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bile opravljene tudi vse meritve.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc.dr. Sergeja Medveda, za recenzenta pa izr.prof.dr. Milana Šerneka.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela

Mateja Guštin

**KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

ŠD Dn

DK UDK 630\*862.2

KG iverna plošča/gostotni profil/diagram stiskanja/upogibna trdnost/razslojna trdnost

AV GUŠTIN, Mateja

SA MEDVED, Sergej (mentor)/ŠERNEK, Milan (recenzent)

KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34

ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

LI 2012

IN VPLIV POTEKA STISKANJA NA GOSTOTNI PROFIL IVERNE PLOŠČE

TD Diplomsko delo (univerzitetni program)

OP IX, 49 str., 8 pregl., 19 sl., 7 pril., 9 vir.

IJ sl

JI sl/en

AI Ugotavljali smo v kolikšni meri sam potek stiskanja vpliva na gostotni profil iverne plošče in njene mehanske lastnosti. V laboratorijskih pogojih smo izdelali 6 plošč, kjer smo spreminjali potek tlaka stiskanja. Gostotni profil smo izmerili s pomočjo naprave za merjenje vertikalne porazdelitve prostorninskih mas. Poleg gostotnega profila plošče smo ugotavljali še upogibno in razslojno trdnost. Ugotovili smo, da z nižjim tlakom stiskanja dobimo večjo gostoto iverne plošče pri čemer je potrebno poudariti, da gre za stiskanje z uporabo distančne letve; da obstaja korelacija med gostoto sredice in razslojno trdnostjo, ter da na upogibno trdnost ne vpliva samo gostota zunanjega sloja iverne plošče ampak delno tudi gostota sredice plošče.

**KEY WORDS DOCUMENTATION**

- DN Dn
- DC UDC 630\*862.2
- CX particle board/density profile/pressing diagram/bending properties/internal bond
- AU GUŠTIN, Mateja
- AA MEDVED, Sergej (supervisor)/ŠERNEK, Milan (reviewer)
- PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
- PY 2012
- TI PRESSING PROCESS IMPACT ON THE VERTICAL DENSITY PROFILE OF THE PARTICLE BOARD
- DT Graduation Thesis (University studies)
- NO IX, 49 p., 8 tab., 19 fig., 9 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB We assessed the extent to which the pressing process affects the density profile of the particle board, and its mechanical properties. 6 particle boards were produced, quite equal as regard their structure; just the pressing process was variable. Density profile was measured using an apparatus to measure the vertical distribution of volume by mass. In addition to the density profile, the bending properties and internal bond of the panels were tested. We found out that a lower pressure of compression gives a high density particle board; that there exist a correlation between central density and internal bond; and that the bending strength not only affects the surface density but also a central density of the particle board.

**KAZALO VSEBINE**

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA .....	IV
KEY WORDS DOCUMENTATION .....	V
KAZALO VSEBINE.....	VI
KAZALO SLIK.....	VII
KAZALO PREGLEDNIC .....	VIII
KAZALO PRILOG .....	IX
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA .....	2
1.2 CILJ NALOGE.....	2
<b>2 SPLOŠNI DEL .....</b>	<b>3</b>
2.1 ZGRADBA .....	3
2.2 LASTNOSTI IVERNE PLOŠČE .....	4
<b>3 MATERIALI IN METODE.....</b>	<b>8</b>
3.1 MATERIALI .....	8
3.2 METODE DELA .....	8
<b>3.2.1 Izdelava plošč .....</b>	<b>8</b>
<b>3.2.2 Priprava lepilne mešanice .....</b>	<b>8</b>
<b>3.2.3 Oblepljanje iverja .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2.4 Izdelava iverne pogače .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2.5 Stiskanje pogače.....</b>	<b>9</b>
<b>3.2.6 Kondicioniranje plošč.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.7 Porazdelitev gostote oz. gostotni profil .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.8 Merjenje pH iverja in puferna kapaciteta.....</b>	<b>14</b>
3.2.8.1 Ekstrakcija z destilirano vodo.....	14
3.2.8.2 Ekstrakcija z natrijevim acetatom.....	15
3.2.8.3 pH titracija .....	15
<b>3.2.9 Upogibna trdnost in modul elastičnosti .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2.10 Razslojna trdnost .....</b>	<b>17</b>
<b>4 REZULTATI.....</b>	<b>19</b>
4.1 PORAZDELITEV GOSTOTE OZ. GOSTOTNI PROFIL .....	19
4.2 pH IVERJA.....	21
4.3 UPOGIBNA TRDNOST IN MODUL ELASTIČNOSTI .....	22
4.4 RAZSLOJNA TRDNOST .....	24
<b>5 RAZPRAVA .....</b>	<b>26</b>
<b>6 SKLEPI.....</b>	<b>31</b>
<b>7 VIRI .....</b>	<b>32</b>

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Nastanek gostotnega profila (vir : Torrey 2001).....	6
Slika 2: Diagram stiskanja plošče A.....	10
Slika 3: Diagram stiskanja plošče B.....	11
Slika 4: Diagram stiskanja plošče C.....	11
Slika 5: Diagram stiskanja plošče D.....	12
Slika 6: Diagram stiskanja plošče E.....	12
Slika 7: Diagram stiskanja plošče F.....	13
Slika 8: Shema naprave za merjenje vertikalne porazdelitve prostorninskih mas (vir: Benedičič 2007).....	14
Slika 9: Prikaz preizkušanja upogibne trdnosti in modula elastičnosti.....	16
Slika 10: Prikaz preizkušanja razslojne trdnosti.....	17
Slika 11: Gostotni profili plošč A, B, C.....	20
Slika 12: Gostotni profili plošč A, D, E, F.....	21
Slika 13: Upogibna trdnost posameznih plošč; povprečna trdnost z minimalno in maksimalno vrednostjo.....	23
Slika 14: Modul elastičnosti posameznih plošč; povprečni modul z minimalno in maksimalno vrednostjo.....	24
Slika 15: Razslojna trdnost posameznih plošč; povprečna trdnost z minimalno in maksimalno vrednostjo.....	25
Slika 16 : Gostota odvisna od tlaka stiskanja.....	26
Slika 17: Upogibna trdnost odvisna od povprečne gostote plošč.....	28
Slika 18: Modul elastičnosti odvisen od povprečne gostote plošče.....	29
Slika 19 : Razslojna trdnost v odvisnosti od gostote v sredici plošče.....	29

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Priprava materiala.....	9
Preglednica 2: Parametri stiskanja.....	10
Preglednica 3: Povprečne izmerjene vrednosti.....	19
Preglednica 4: Meritve pH.....	22
Preglednica 5: Upogibna trdnost ivernih plošč z osnovno statistiko.....	22
Preglednica 6: Modul elastičnosti ivernih plošč z osnovno statistiko.....	23
Preglednica 7: Razslojna trdnost ivernih plošč z osnovno statistiko.....	24
Preglednica 8: Razmerje gostot zunanjega in srednjega sloja ivernih plošč.....	27



## KAZALO PRILOG

### PRILOGA A

Parametri za določanje upogibne napetosti z upogibno napetostjo in modulom elastičnosti za ploščo A

Parametri za določanje razslojno trdnost z razslojno trdnostjo in gostoto za ploščo A

### PRILOGA B

Parametri za določanje upogibne napetosti z upogibno napetostjo in modulom elastičnosti za ploščo B

Parametri za določanje razslojno trdnost z razslojno trdnostjo in gostoto za ploščo B

### PRILOGA C

Parametri za določanje upogibne napetosti z upogibno napetostjo in modulom elastičnosti za ploščo C

Parametri za določanje razslojno trdnost z razslojno trdnostjo in gostoto za ploščo C

### PRILOGA D

Parametri za določanje upogibne napetosti z upogibno napetostjo in modulom elastičnosti za ploščo D

Parametri za določanje razslojno trdnost z razslojno trdnostjo in gostoto za ploščo D

### PRILOGA E

Parametri za določanje upogibne napetosti z upogibno napetostjo in modulom elastičnosti za ploščo E

Parametri za določanje razslojno trdnost z razslojno trdnostjo in gostoto za ploščo E

### PRILOGA F

Parametri za določanje upogibne napetosti z upogibno napetostjo in modulom elastičnosti za ploščo F

Parametri za določanje razslojno trdnost z razslojno trdnostjo in gostoto za ploščo F

## 1 UVOD

Zaradi pomanjkanja masivnega lesa in boljšega izkoristka le-tega je kot alternativa naravnemu lesu nastala iverna plošča. Poleg tega je ekonomsko ugodnejša in dimenzijsko stabilnejša.

Osnovni elementi ivernih plošč so iveri, oblepljene s sintetičnimi lepili ter stisnjene pri visoki temperaturi in tlaku. Najpomembnejša surovina pri izdelavi ivernih plošč je les, ki ga lahko razdelimo na gozdne sortimente (okrogel les, oblovina in drva), lesne ostanke (krajniki, očelki, sekanci...), biomaso (veje, vrhači in panjevina) ter tudi odslužen les.

Iverna plošča je v primerjavi z naravnim oz. masivnim lesom ekonomsko ugodnejša, dostopna v večjih količinah in dimenzijsko stabilnejša predvsem v horizontalni smeri. Prav zaradi dimenzijske stabilnosti, njene homogenosti in ploskovnosti je vsestransko uporabno lesno tvorivo. Estetski izgled iverne plošče spremenimo z različnimi furnirji, folijami, dekorativnimi papirji ali pa jih enostavno prebarvamo. Tako dobimo polizdelke, ki so osnovna surovina za izdelavo ploskovnega pohištva.

Na lastnosti ivernih plošč (upogibna trdnost, modul elastičnosti, razslojna trdnost...) vplivajo predvsem parametri izdelave plošč (oblepljanje, stiskanje), velikosti iveri (debelina, dolžina, širina) in tudi sama gostota plošče predvsem njena porazdelitev gostote po preseku oz. gostotni profil.

## 1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Gostota vpliva na večino fizikalnih, mehanskih in sorpcijskih lastnosti iverne plošče. Tudi gostotni profil, ki nastane v procesu stiskanja, vpliva na lastnosti iverne plošče. Na sam gostotni profil pa vplivajo predvsem temperatura in tlak stiskanja, vlažnost gradnikov in potek oz. diagram stiskanja. Raziskave na tem področju so pokazale, da visoka gostota na površini poveča mehanske lastnosti (Walter in Weichmann, 1961). V našem primeru smo zato želeli ugotoviti kako se pri različnih pogojih stiskanja spreminja gostotni profil in z njim povezane mehanske lastnosti.

## 1.2 CILJ NALOGE

Cilj diplomske naloge je ugotoviti kako z spremembo tlaka stiskanja vplivamo na porazdelitev gostote po prečnem preseku iverne plošče in kako ta porazdelitev vpliva predvsem na upogibno in razslojno trdnost.

## 2 SPLOŠNI DEL

### 2.1 ZGRADBA

Po Maloneyu (1997) je iverna plošča definirana kot tvorivo, ki je izdelana iz lignoceluloznih materialov, v obliki majhnih koščkov ali delcev iz vlaken v kombinaciji s sintetičnimi ali drugimi polimernimi vezivi. Med seboj so povezani s pomočjo visoke temperature in visokega tlaka. Celotna vez med delci je tako vzpostavljena s pomočjo dodanega veziva. Kot vezivno sredstvo večinoma uporabljajo urea – in fenol – formaldehidna lepila. Med proizvodnim procesom pa lahko dodajamo še razne dodatke oz. aditive z namenom izboljšanja lastnosti plošč (npr. ognjevarnost, vodoodpornost,...).

Najpomembnejša surovina za izdelavo ivernih plošč je les. Iverna plošča običajno vsebuje 40% iveri iglavcev in 60% iveri listavcev. Delež lesa v iverni plošči je 90%, ostalo pa predstavlja vezivno sredstvo (lepilo), katalizatorji in zadrževalci.

Največ ivernih plošč je troslojnih, narejene iz dveh zunanjih in enega srednjega sloja. Srednji sloj predstavlja grobo iverje debeline med 0,4 in 0,8 mm, zunanji sloj pa bolj fino iverje debeline med 0,1 in 0,3 mm (Medved in Pirkmaier, 2000).

## 2.2 LASTNOSTI IVERNE PLOŠČE

Na lastnosti iverne plošče v določeni meri vplivajo vsi vgrajeni materiali (iveri, vezivno sredstvo, aditivi) ter proizvodni proces. Ključna dejavnika s katerim vplivamo na kakovost plošče med procesom izdelave pa sta tlak in temperatura. S tlakom namreč deloma uravnavamo gostoto gotove plošče, kontroliramo gostotni profil in nekatere mehanske lastnosti.

Ker na lastnosti uporabljenih surovin ne moremo vplivati se moramo tako bolj posvetiti samemu postopku izdelave plošč in predelave le-teh v končne izdelke. Nepravilnost nastanejo lahko že med procesom izdelave (natresanje, predstiskanje, stiskanje, brušenje, slaba tehnologija).

Nastanek gostotnega profila pri OSB ploščah sta raziskovala Wang in Winistorfer (2000) in ugotovila, da se gostotni profil tvori tako med zapiranjem stiskalnice, kot tudi po tem ko je stiskalnica dosegla želeni tlak in debelino plošče. Zaradi tega sta proces stiskanja razdelila na dve stopnji in sicer: čas zgoščevanja (ko se stiskalnica zapira in se plošča zgoščuje) in čas stiskanja (ko stiskalnica doseže želeni tlak in debelino plošče).

Čas zgoščevanja delimo naprej na dve fazi:

1. Faza enakomernega zgoščevanja – iz ivernega tepiha odstranjujemo odvečni zrak;
2. Faza neenakomernega zgoščevanja – stiskalnica se približa želenemu tlaku in se zaradi spremembe temperature in vlage začneta zunanja sloja zgoščevati hitreje kot srednji sloj.

Čas stiskanja pa delimo naprej še na tri faze:

3. Faza zgostitve zunanje sloja – visoka temperatura in tlak povzročata nadaljnje zgoščevanje. Ta faza se zaključi, ko je razlika med temperaturo zunanje sloja in temperaturo sredice maksimalna.
4. Faza zgostitve srednjega sloja – prehod pare iz zunanje sloja v sredico in višanje temperature povzročajo zgoščevanje sredice, kljub nizkemu tlaku stiskanja, k temu pa pripomore zelo zgoščen zunanji sloj, ki se prične ob znižanem tlaku relaksirati.
5. "Spring-back" efekt – relaksacija celotne plošče po odprtju stiskalnice, ko izide odvečna para. Raztezanje zunanje sloja povzroči naraščanje gostote na površini, raztezanje sredice pa dodatno deluje še na zgoščevanje zunanje sloja.

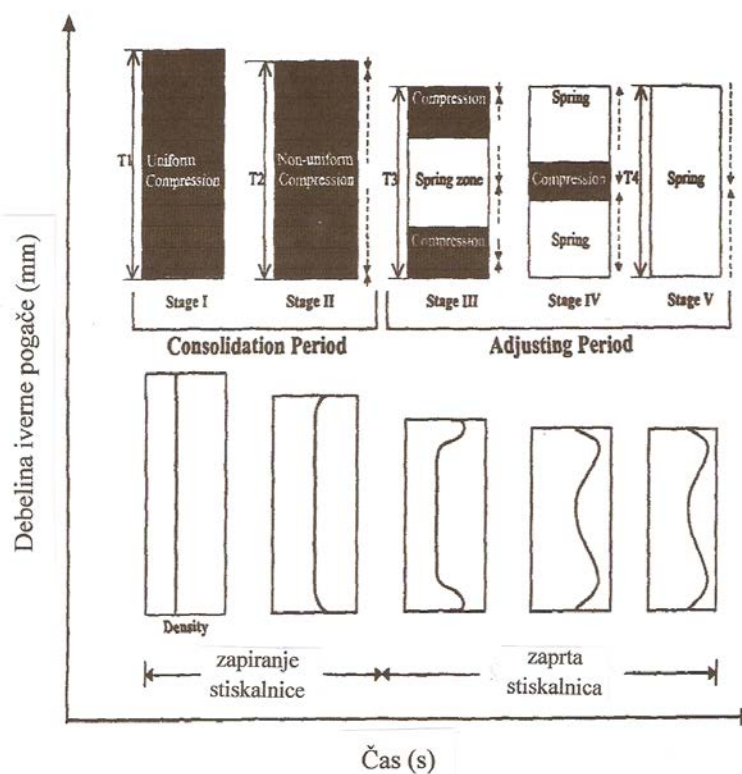
Gostotni profil ima obliko črke U, z najvišjo gostoto blizu površine plošče in najnižjo gostoto v sredici (Wong in sodelavci, 1999). Odvisen je od različnih karakteristik kot so struktura ivernega tepiha, stisljivost, vsebnost vlage in njena porazdelitev ter pogoji stiskanja (tlak, temperatura, hitrost zapiranja stiskalnice, čas stiskanja in nazadnje tudi sam potek stiskanja) (Wang and Winistorfer, 2000).

Nemli in Demirel (2007) sta v svoji raziskavi proučevala kako začetni in končni tlak stiskanja vpliva na fizikalne in mehanske lastnosti iverne plošče, ter ugotovila, da zmanjšanje začetnega tlaka in povečanje končnega tlaka negativno vpliva na upogibne lastnosti in pozitivno na razslojno trdnost in dimenzijsko stabilnost.

Wang in sodelavci (2001) so v svoji raziskavi preučevali kako različni diagrami stiskanja vplivajo na gostotni profil MDF plošče in ugotovili, da s spremembo diagrama lahko vplivamo na potek gostotnega profila. Postopno zapiranje stiskalnice signifikantno vpliva na gostotni profil še posebej vmesni korak, saj lahko daljše zadrževanje na tej poziciji

vpliva, da nastanejo vrhovi porazdelitve gostote tudi v sami sredici plošče. Hitro zapiranje stiskalnice v prvem koraku vpliva na lokacijo površinskih vrhov gostotnega profila, pri drugem in tretjem koraku pa na notranje vrhove gostotnega profila. Če je zapiranje stiskalnice v drugem in tretjem koraku prepočasno pa se notranji vrhovi gostotnega profila zmanjšajo ali povsem izginejo.

Gostota lesnih kompozitov ni enakomerno razporejena skozi debelino. Tipično porazdelitev gostote je prikazana na sliki 1.



Slika 1: Nastanek gostotnega profila (vir : Torrey 2001)

Prva faza (stage I) na sliki 1 (consolidation period) se pojavi ko se stiskalnica začne zapirati. Iverna pogača se enakomerno zgoščuje, zunanji sloj se zgosti enako kot srednji sloj. V tej fazi se iz iverne pogače iztisne velik del praznih prostorov med ivermi.

Druga faza (stage II) nastopi, ko stiskalnica prične izvajati svoj mehanski del stiskanja, oz. tik preden doseže svojo končno lego. Prične se zgoščevanje zunanjega sloja, medtem ko to

v srednjem sloju še ne poteka. Na koncu te faze je gostota zunanjega sloja največja, kjer poteka plastifikacija iveri (Wang in sodelavci, 2001).

»Adjusting period« se pojavi, ko stiskalnica doseže končno pozicijo.

Tretja faza (stage III) je nadaljevanje zgoščevanja zunanjega sloja zaradi visoke temperature in vlage. Gostota v zunanjem sloju narašča. Tlak stiskalnice pade, srednji sloj (obnaša se kot »vzmet«) pa začne pritiskati ob zunanjega. Pojavi se tako imenovan »springback efekt«.

Četrta faza (stage IV) nastopi, ko se prične zgoščevati tudi srednji sloj pogače. Faza se začne, ko temperatura v srednjem sloju prične naraščati, vlaga pa je v srednjem sloju večja kot v zunanjem, zaradi vlažnostnega gradienta. Gostota zunanjega sloja med to fazo pade, ker se zunanji sloj obnaša kot »vzmet« (Wang in sodelavci, 2001).

Zadnja peta faza (stage V) se pojavi, ko odpremo stiskalnico in, ko vodna para odpari iz iverne pogače. Celotna plošča se obnaša kot »vzmet«. »Springback« ni enoten po celotnem preseku, ampak je večji v srednjem sloju, zaradi razlik v temperaturi, vlagi, gostoti in utrjevanju lepila (Wang in sodelavci, 2001).



### **3 MATERIALI IN METODE**

#### **3.1 MATERIALI**

Za izdelavo diplomske naloge smo izdelali šest plošč dimenzij 500x500x16mm z nominalno gostoto 0,650 g/cm<sup>3</sup>. Vse potrebne surovine za izdelavo teh plošč pa nam je priskrbel LESNA Tovarna ivernih plošč d.o.o., Otiški vrh, ki se ukvarja z proizvodnjo plošč iz dezintegriranega lesa.

#### **3.2 METODE DELA**

Poleg izdelave ivernih plošč, smo merili porazdelitev gostote po debelini plošče, upogibno trdnost plošč, razslojno trdnost plošč in pa merjenje pH vrednosti iveri v vsakem segmentu izdelave plošče.

##### **3.2.1 Izdelava plošč**

Izdelali smo enoslojne plošče, kjer je bila nominalna gostota 0,650 g/cm<sup>3</sup>. Za izdelavo vseh plošč smo uporabili iste materiale. Razlike med ploščami pa so bile izključno v poteku oz. diagramu stiskanja.

##### **3.2.2 Priprava lepilne mešanice**

Lepilno mešanico smo pripravili iz lepilne smole (65,5% suhe snovi), parafinske emulzije (koncentracije 60%), trdilca (s koncentracijo 20%) in 0,275% amonklorida ki deluje kot utrjevalec. Faktor oblepljanja je znašal 11,5%. Uporabili smo urea-formaldehidno lepilno smolo.

### 3.2.3 Oblepljanje iverja

Zatehtano količino iverja smo stresli v laboratorijski stroj za oblepljanje iverja. V posodo smo vlili pripravljeno lepilno mešanico in pustili mešati z iverjem 5 minut. Oblepljanje poteka tako, da se lepilna mešanica s pomočjo šobe razprši po iverju, ki ga mešalne ročke mešajo in tako zagotovijo enakomerno oblepljenost. Vlažnost oblepljenega iverja je bila 13%, količine materiala pa so prikazane v preglednici 1.

**Preglednica 1: Priprava materiala**

<b>Material(vlažnost 1%)</b>	
<b>Iverje</b>	2306,2g
<b>Lepilo</b>	265,21g
<b>Parafin</b>	23,06g
<b>Utrjevalec</b>	6,34g
<b>Skupaj</b>	2594,48g

### 3.2.4 Izdelava iverne pogače

Na železno ploščo smo postavili plast temperaturno odpornega papirja, nanj položili kalup dimenzij 50x50 cm. Oblepljeno iverje smo ročno, čim bolj enakomerno natresli v kalup. Nanjo smo nato položili še plast papirja in jo postavili v stiskalnico. Postopek smo ponovili za vsako ploščo posebej.

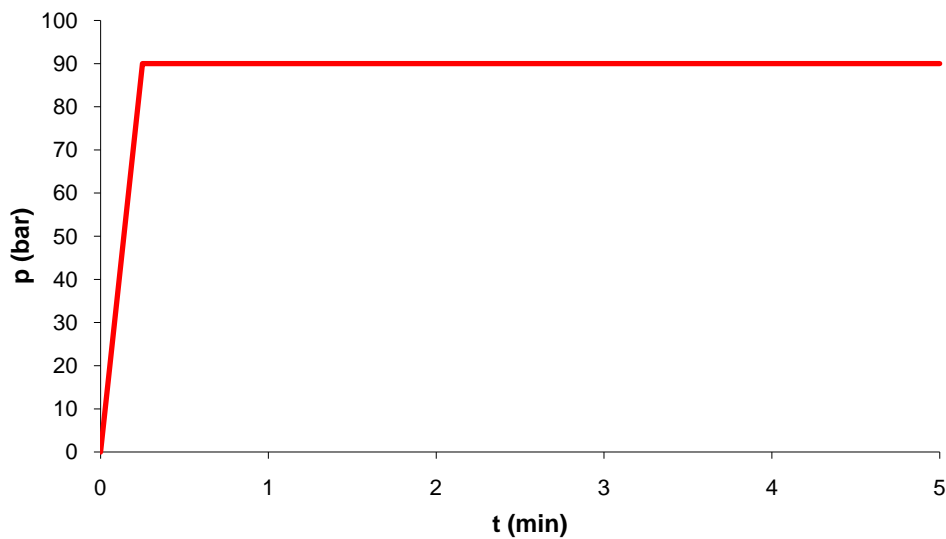
### 3.2.5 Stiskanje pogače

Pripravljeno iverno pogačo smo vstavili v stiskalnico z ogrevanima ploščama. Debelino stiskanja smo uravnavali z uporabo distančnih letev.

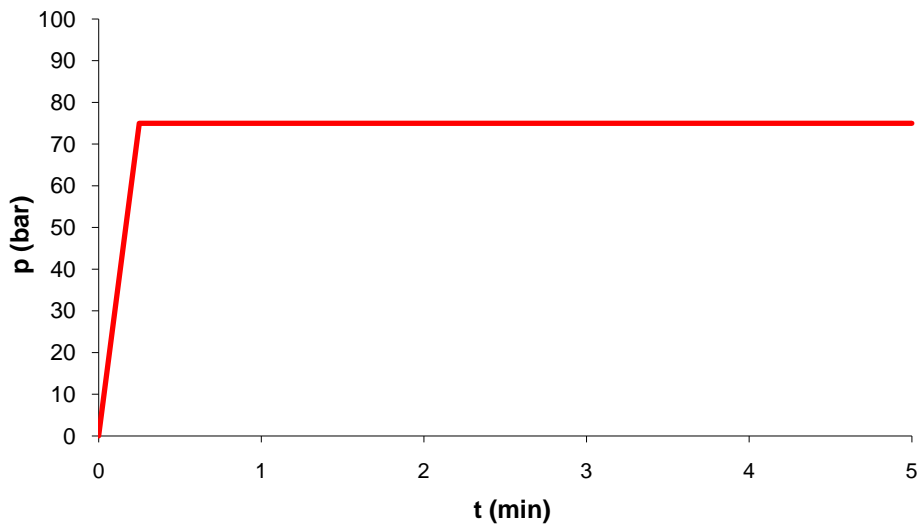
**Preglednica 2: Parametri stiskanja**

<b>Površina plošč</b>	0,25m <sup>2</sup>
<b>Premer bata</b>	0,38m
<b>Temperatura plošč</b>	180°C
<b>Čas stiskanja</b>	5min

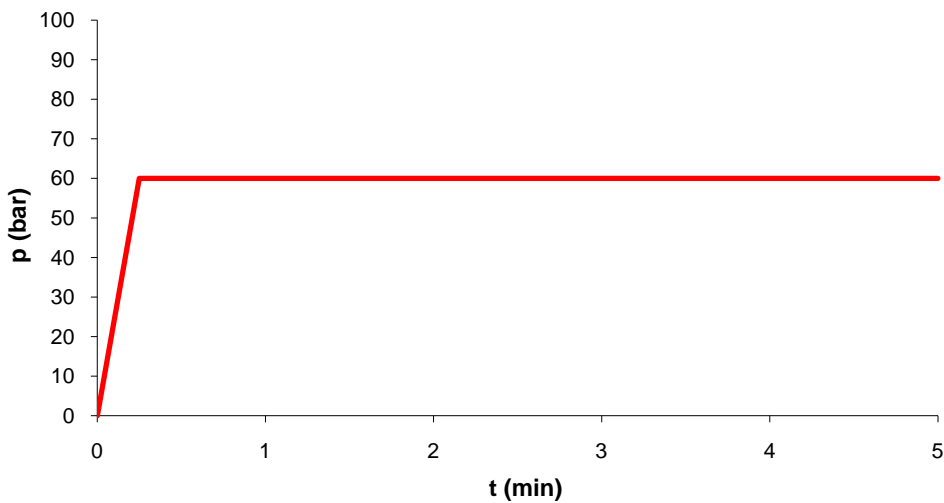
Iz sledečih diagramov je razviden potek stiskanja posameznih plošč. Tako se pri plošči A, plošči B in C sam potek diagrama ne spreminja, sprememba je v samem tlaku in sicer pri plošči A specifični tlak znaša 3 N/mm<sup>2</sup> (90 barov) , pri plošči B 2,5 N/mm<sup>2</sup> (75 barov) in plošči C 2 N/mm<sup>2</sup> (60 barov). Tlak je skozi celoten potek stiskanja konstanten.



**Slika 2: Diagram stiskanja plošče A**



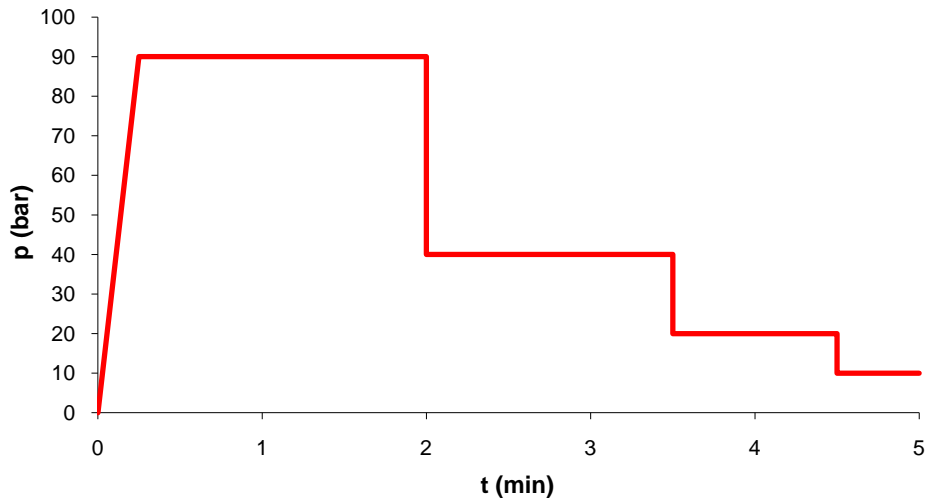
Slika 3: Diagram stiskanja plošče B



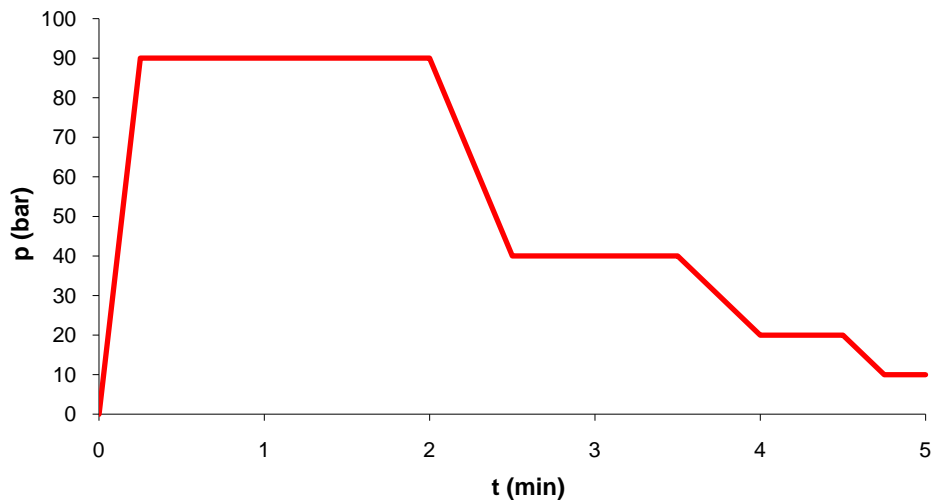
Slika 4: Diagram stiskanja plošče C

Pri ploščah D, E in F pa se tlak skozi potek stiskanja spreminja. Na začetku imamo povsod enak začetni specifični tlak, ki znaša  $3 \text{ N/mm}^2$  (90 barov). Pri plošči D in plošči E gre za

počasno odpiranje stiskalnice, razlike med diagramoma pa sta, da je pri plošči D to odpiranje v hipu medtem ko je pri plošči E postopno odpiranje.

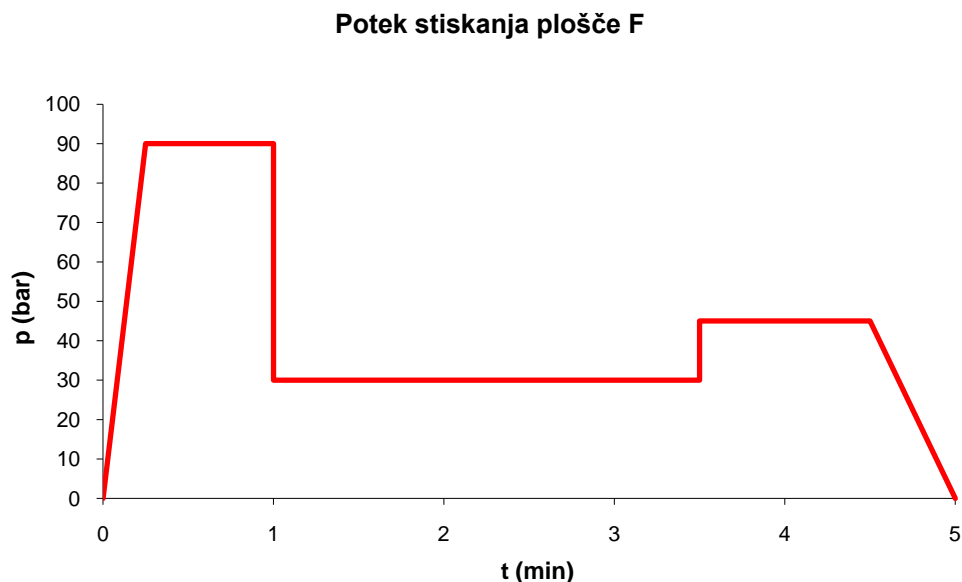


Slika 5: Diagram stiskanja plošče D



Slika 6: Diagram stiskanja plošče E

Diagrama stiskanja plošč D in E sta tipična diagrama stiskanja za iverne plošče, medtem ko je diagram F tipičen za vlaknene plošče.



Slika 7: Diagram stiskanja plošče F

### 3.2.6 Kondicioniranje plošč

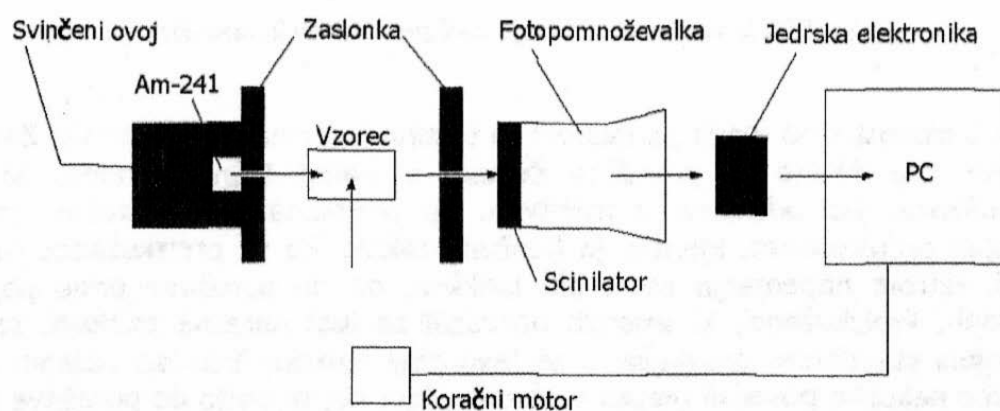
Po končanem stiskanju smo plošče kondicionirali v komori, kjer je bila temperatura zraka 20°C in vlažnost 65%. Čas kondicioniranja je bil za vse plošče enak. Pomembnost kondicioniranja je v tem, da se sprostijo napetosti, ki so nastale tekom stiskanja plošče, kar vpliva na spremembo mehanskih lastnosti.

### 3.2.7 Porazdelitev gostote oz. gostotni profil

Za merjenje gostotnega profila smo uporabili 3 vzorce velikosti 50x50x16mm za posamezno ploščo. Te preizkušance smo določili glede na gostoto: prvi preizkušanec je bil izbran z maksimalno gostoto, drugi z minimalno in tretji z neko povprečno gostoto (uporabili smo preizkušance, ki smo jih kasneje uporabili za določanje razslojne trdnosti).

Gostotni profil plošč smo izmerili s pomočjo naprave za merjenje vertikalne porazdelitve prostorninski mas. Naprava deluje po principu presevanja vzorca z ozko usmerjenim

snopom gama žarkov radioaktivnega izvora ( $\text{Am}^{241}$ ). Vir sevanja je nameščen v svinčnem ovoju. Žarki potujejo proti vzorcu in fotopomnoževalki skozi zaslonki z režo široko 0,1mm in visoko 50mm. Ko žarki potujejo skozi vzorec se v njem delno absorbirajo, zaradi česar pade njihova intenziteta. Preostali žarki v fotopomnoževalki s scinilatorjem povzročijo elektronski plaz, ki ga obdelamo z jedrsko elektroniko in shranimo v računalniku za nadaljnjo obdelavo. Izmerjena intenziteta žarkov, ki pride skozi vzorec je merilo za prostorninsko maso vzorca na izbranem mestu.



Slika 8: Shema naprave za merjenje vertikalne porazdelitve prostorninskih mas (vir: Benedičič 2007)

### 3.2.8 Merjenje pH iverja in puferna kapaciteta

pH vrednost iveri smo ugotavljali s pomočjo Subramanain-ove metode (Medved in Resnik, 2004) pri kateri ugotovimo kolikšen je delež skupnih kislin v lesu. Gre za vodotopne kisline, ki se z vodo izločijo in pa netopne kisline (v vodi), ki sodelujejo pri reakciji utrjevanja (deloma same, deloma pa s povišano temperaturo).

#### 3.2.8.1 Ekstrakcija z destilirano vodo

Iveri so bile sušene v sušilniku na  $105^{\circ}\text{C}$  in nato ohlajene na  $20^{\circ}\text{C}$ . Nato smo 25g teh iveri stresli v laboratorijsko čašo ter dodali 300mL destilirane vode in to pustili stati 24 ur. Po pretečenem času smo ekstrat filtrirali in nato iveri izprali štirikrat z 175mL destilirane

vode. Filtratu in izpirku smo dodali še toliko destilirane vode, da smo skupaj dobili 1000mL.

#### 3.2.8.2 Ekstrakcija z natrijevim acetatom

Podoben postopek kot pri ekstrakciji z destilirano vodo, le da se tu namesto 300mL destilirane vode doda 300mL 0,1M raztopine natrijevega acetata. Pri izpiranju pa prvič uporabimo 175mL 0,1M natrijevega acetata, naslednja tri izpiranja pa 175mL destilirane vode.

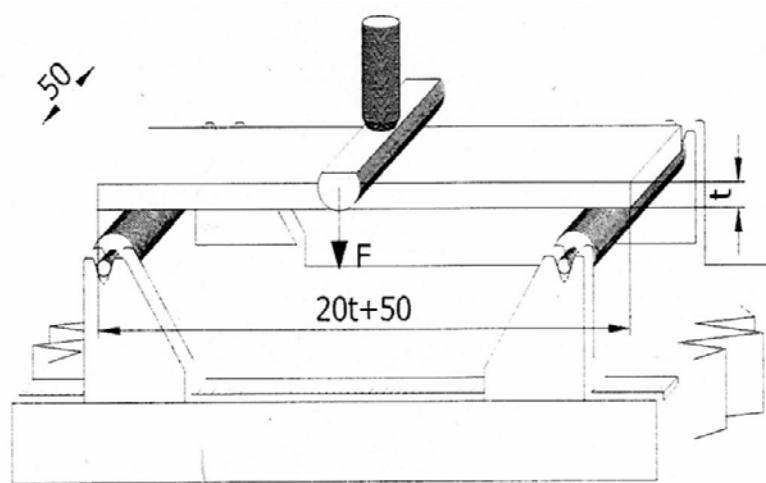
#### 3.2.8.3 pH titracija

V čašo smo odpipetirali 200mL ekstrakta (aliquot) od skupnega volumna 1000mL (filtrat in izpirek) ter izmerili pH vrednost pri konstantnem mešanju z magnetnim mešalom. Alikvotu smo dodali 0,1mL 0,1M natrijevega hidroksida, ter po 2 minutah ponovno izmerili pH vrednost. Postopek smo ponavljali dokler pH ni konstanten oz. sprememba ni manjša od 0,5%.

### 3.2.9 Upogibna trdnost in modul elastičnosti

Upogibno trdnost in modul elastičnosti smo ugotovili po standardu SIST EN 310. Za preizkus smo potrebovali 6 preizkušancev na ploščo. Velikost preizkušanca je  $20 \cdot t + 50 \times 50$ mm, v našem primeru je to 380x50mm (t je debelina plošče oz. preizkušanca). Za določanje smo morali izmeriti debelino preizkušanca z mikrometrom na dve decimalki natančno, širino pa z kljunastim merilom prav tako na dve decimalki natančno (na mestu loma). Za določevanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti je potrebno meriti silo loma, do katere mora priti v času  $60 \pm 30$  sekund. Pogoji za določanje sile loma je oporiščna razdalja, ki mora biti enaka dvajsetkratni debelini preizkušanca. Pomembno je tudi, da vsak drugi preizkušanec obrnemo, tako da enkrat preizkušamo zgornjo, drugič pa spodnjo stran plošče. Na sliki 9 je razviden prikaz preizkušanja upogibne trdnosti in modula elastičnosti.





Slika 9: Prikaz preizkušanja upogibne trdnosti in modula elastičnosti

Upogibno trdnost izračunamo po enačbi :

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{\text{loma}} \cdot l_1}{2 \cdot w \cdot t^2} \quad \dots(1)$$

kjer je

- $F_{\text{loma}}$  sila loma v N
- $l_1$  oporiščna razdalja v mm
- $w$  širina preizkušanca v mm
- $t$  debelina preizkušanca v mm
- $f_m$  upogibna trdnost v  $\text{N/mm}^2$

Modul elastičnosti pa izračunamo po enačbi :

$$E_m = \frac{l_1^3 \cdot (F_2 - F_1)}{4 \cdot w \cdot t^3 \cdot (a_2 - a_1)} \quad \dots(2)$$

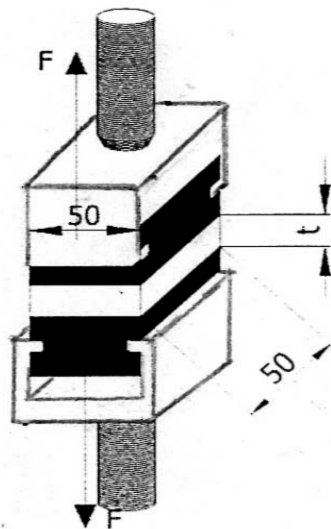
kjer je

- $F_1$  sila pri 10% sile loma v N

- $F_2$  sila pri 40% sile loma v N
- $l_1$  oporiščna razdalja v mm
- $a_1$  povos pri 10% sile loma v mm
- $a_2$  povos pri 40% sile loma v mm
- $w$  širina preizkušanca v mm
- $t$  debelina preizkušanca v mm
- $E_m$  modul elastičnosti v  $N/mm^2$

### 3.2.10 Razslojna trdnost

Razslojno trdnost smo ugotovili po standardu SIST EN 319. Za preizkus smo potrebovali 8 preizkušancev na ploščo, velikost preizkušanca pa je znašala 50x50mm. Na sliki 10 je razviden prikaz preizkušanja razslojne trdnosti.



Slika 10: Prikaz preizkušanja razslojne trdnosti

Za določanje smo morali izmeriti dolžino in širino preizkušanca s kljunastim merilom na dve decimalki natančno. Preizkušance smo s talilnim lepilom prilepili na kovinski podstavek (lepilo mora biti nanoseno po celotni površini, da med trganjem ne popusti vez med preizkušancem in podstavkom). Pred lepljenjem drugega podstavka smo morali

počakati, da se je prvi ohladil. Pri lepljenju drugega podstavka smo morali biti še posebej pozorni na usmerjenost utora, saj mora biti kot med utoroma  $90^\circ$ . Ko se je vse skupaj ohladilo, smo določili silo loma. Pogoji za določanje sile loma so, da mora do loma priti na sredini preizkušanca in ne med preizkušancem in podstavkom (če pride lom na tem mestu rezultata ne upoštevamo).

Razslojno trdnost izračunamo pa enačbi :

$$f_t = \frac{F_{\text{loma}}}{w \cdot l} \quad \dots(3)$$

pri čemer je

- $F_{\text{loma}}$  sila loma v N
- $l$  dolžina preizkušanca v mm
- $w$  širina preizkušanca v mm
- $f_t$  razslojna trdnost v  $\text{N/mm}^2$

## 4 REZULTATI

V preglednici 3 so zbrani vsi povprečno dobljene vrednosti pomembnejših parametrov iverne plošče, ki smo jih dobili pri testiranju plošč.

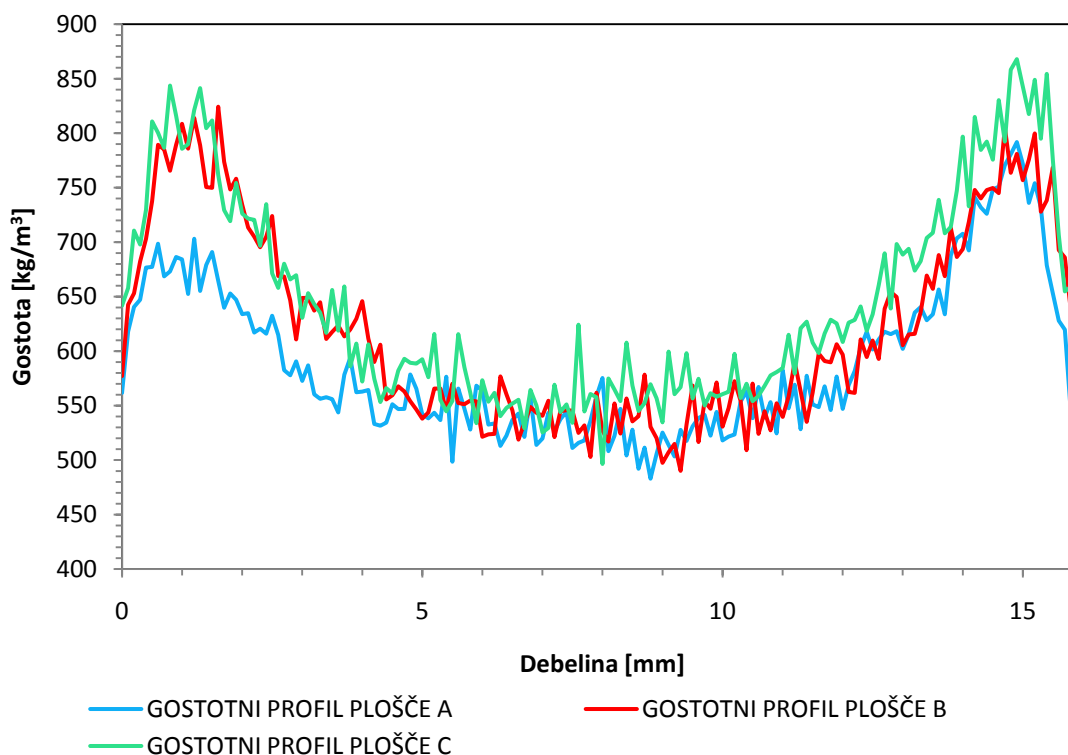
**Preglednica 3: Povprečne izmerjene vrednosti parametrov iverne plošče**

	t(mm)	Gostota (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
<b>Plošča A</b>	16,38	606	10,62	1809	0,49
<b>Plošča B</b>	16,52	627	12,13	2222	0,50
<b>Plošča C</b>	16,50	636	10,30	1883	0,54
<b>Plošča D</b>	16,36	634	11,33	2017	0,54
<b>Plošča E</b>	16,30	652	11,98	2225	0,60
<b>Plošča F</b>	16,38	651	11,40	2042	0,54

Največjo izmerjeno gostoto dobimo pri plošči E, kakor tudi razslojno napetost, največjo upogibno napetost pa dobimo pri plošči B. Če pri vseh podatkih določimo povprečje lahko ugotovimo, da je razlika med posameznimi ploščami glede na debelino in gostoto plošč minimalna, saj je odstopanje od povprečja le 1-3%, nekoliko večje odstopanje pa dobimo pri modulu elastičnosti in razslojni trdnosti, ki znaša 9%.

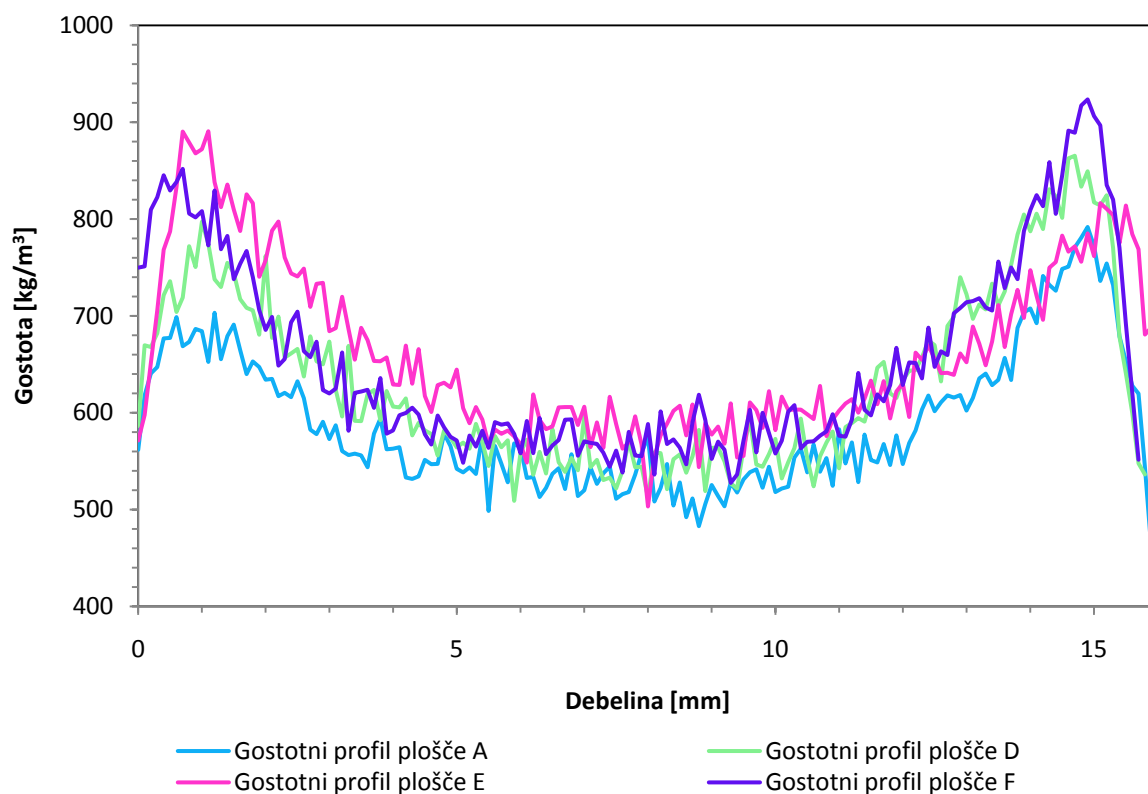
### 4.1 PORAZDELITEV GOSTOTE OZ. GOSTOTNI PROFIL

Vsi izmerjeni gostotni profili imajo pričakovano porazdelitev gostote (graf v obliki črke U). Gostota po debelini plošč variira, pri čemer je največja gostota v zunanem sloju plošče. Na sliki 11 je prikazana povprečna porazdelitev gostote plošč A, B in C, kjer leva stran grafikona prikazuje zgornjo stran plošče, desno pa spodnjo stran plošče. Te grafe med seboj primerjamo zaradi enakega poteka stiskanja a z različnimi tlaki.



Slika 11: Gostotni profili plošč A, B, C

Največjo izmerjeno gostoto smo dosegli pri plošči C kjer je specifični tlak stiskanja znašal  $2 \text{ N/mm}^2$  (60 barov), najnižjo pa pri plošči A kjer je tlak stiskanja znašal  $3 \text{ N/mm}^2$  (90 barov) (enak potek stiskanja). Na sliki 12 je prikazana povprečna porazdelitev gostotnega profila plošč A, D, E in F. Te grafe smo med seboj primerjali zaradi enakih začetnih tlakov (90 barov) in različnih diagramov stiskanja.



Slika 12: Gostotni profili plošč A, D, E, F

Najvišjo izmerjeno gostoto na levi strani grafikona dobimo pri plošči E kakor tudi najvišjo središčno gostoto. Na desni strani grafikona pa najvišjo izmerjeno gostoto dobimo pri plošči F.

#### 4.2 pH IVERJA

Meritve pH sredic posameznih plošč smo izvedli predvsem zato, da smo videli če pri različnih diagramih stiskanja pride do utrditve lepila v notranjosti plošče.

**Preglednica 4: Izmerjene vrednosti pH**

	<b>Izmerjen pH</b>
<b>Iverje</b>	5,84
<b>Oblepljeno iverje</b>	5,90
<b>Sredica plošče A</b>	4,71
<b>Sredica plošče B</b>	4,68
<b>Sredica plošče C</b>	4,76
<b>Sredica plošče D</b>	4,80
<b>Sredica plošče E</b>	4,80
<b>Sredica plošče F</b>	4,82

Ker so rezultati med meritvami zelo podobni in se ne razlikujejo veliko lahko trdimo, da ni večjih razlik med ivernimi ploščami in so zato med seboj primerljive.

#### 4.3 UPOGIBNA TRDNOST IN MODUL ELASTIČNOSTI

Za določitev upogibne trdnosti smo potrebovali šest preizkušancev na ploščo.

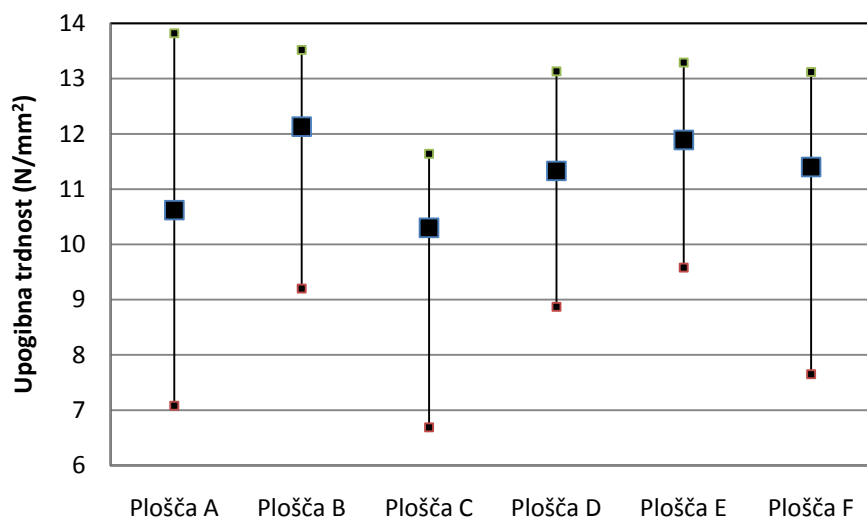
**Preglednica 5: Upogibna trdnost ivernih plošč z osnovno statistiko**

	<b>Plošča A</b>	<b>Plošča B</b>	<b>Plošča C</b>	<b>Plošča D</b>	<b>Plošča E</b>	<b>Plošča F</b>
<b>n</b>	6	6	6	6	6	6
<b>f<sub>m</sub> povp.</b>	10,62	12,13	10,30	11,33	11,89	11,40
<b>f<sub>m</sub> min.</b>	7,08	9,20	6,69	8,87	9,58	7,65
<b>f<sub>m</sub> maks.</b>	13,82	13,52	11,64	13,13	13,29	13,12
<b>St. dev.</b>	2,41	1,63	1,69	1,31	1,19	1,80
<b>KV%</b>	22,69	13,41	16,35	11,58	10,03	15,81

Med upogibnimi trdnostmi posameznih plošč smo izmerili velike razlike in sicer smo najboljše rezultate dobili pri plošči B in pri plošči E. Pri plošči B je bila povprečna izmerjena vrednost  $12,13 \text{ N/mm}^2$ , pri plošči E pa  $11,89 \text{ N/mm}^2$ . Najnižji rezultat pa dobimo pri plošči C, kjer je povprečna izmerjena vrednost znašala le  $10,30 \text{ N/mm}^2$  (preglednica 5, slika 13).

Guštin M. Vpliv poteka stiskanja na gostotni profil iverne plošče.

Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 2012



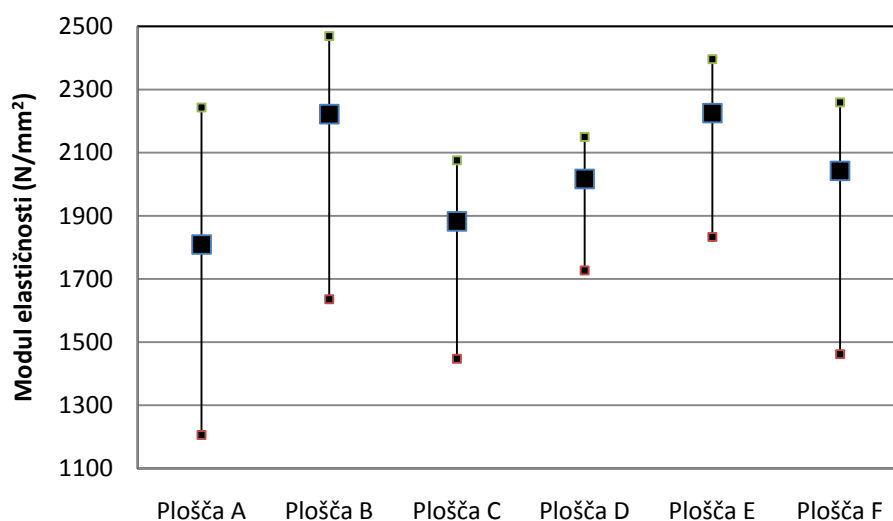
**Slika 13: Upogibna trdnost posameznih plošč; povprečna trdnost z minimalno in maksimalno vrednostjo**

Poleg upogibne trdnosti smo določali tudi modul elastičnosti (preglednica 6), kjer smo dobili podobne rezultate kot pri upogibni trdnosti glede na ploščo in ne vrednosti.

**Preglednica 6: Modul elastičnosti ivernih plošč z osnovno statistiko**

	Plošča A	Plošča B	Plošča C	Plošča D	Plošča E	Plošča F
<b>n</b>	6	6	6	6	6	6
<b>E povp.</b>	1809	2222	1882,50	2016,83	2225,33	2042,33
<b>E min.</b>	1206	1636	1447	1727	1833	1462
<b>E maks.</b>	2243	2469	2076	2150	2396	2259
<b>St. dev.</b>	340,83	282,05	212,40	135,50	187,06	267,69
<b>KV%</b>	18,84	12,69	11,28	6,72	8,41	13,11





**Slika 14: Modul elastičnosti posameznih plošč; povprečni modul z minimalno in maksimalno vrednostjo**

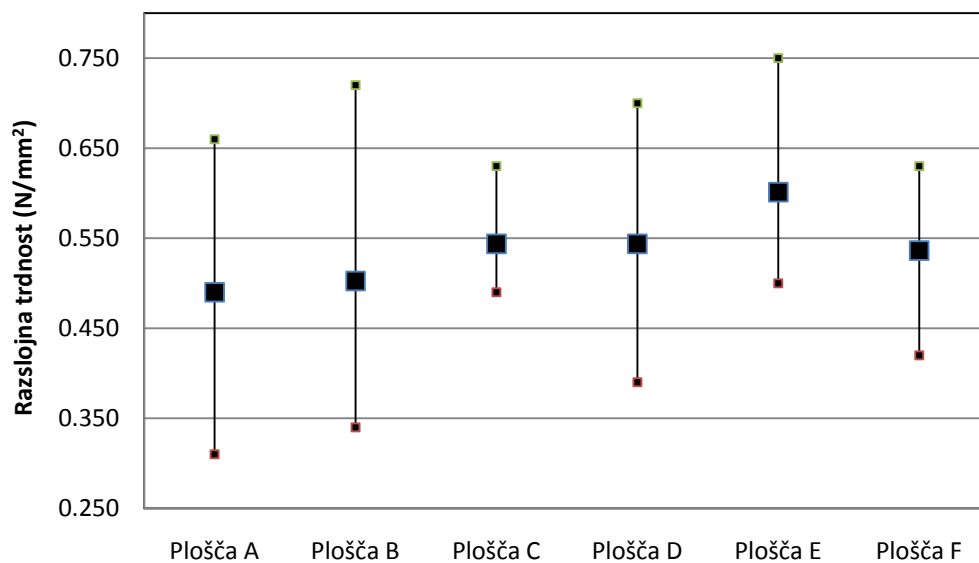
Zopet so bili najboljši rezultati pri plošči B in pri plošči E. Tako je povprečni izmerjen modul elastičnosti pri plošči B znašal  $2222 \text{ N/mm}^2$ , pri plošči E pa  $2225 \text{ N/mm}^2$ . Najslabši rezultat pa v tem primeru ne pripada plošči B temveč plošči A in sicer je povprečni izmerjen modul elastičnosti znašal le  $1809 \text{ N/mm}^2$  (preglednica 6, slika 14).

#### 4.4 RAZSLOJNA TRDNOST

Razslojno trdnost smo določali pri normalnih pogojih.

**Preglednica 7: Razslojna trdnost ivernih plošč z osnovno statistiko**

	Plošča A	Plošča B	Plošča C	Plošča D	Plošča E	Plošča F
<b>n</b>	8	8	8	8	8	8
<b><math>f_t</math> povp.</b>	0,49	0,50	0,54	0,54	0,60	0,54
<b><math>f_t</math> min.</b>	0,31	0,34	0,49	0,39	0,50	0,42
<b><math>f_t</math> maks.</b>	0,66	0,72	0,63	0,70	0,75	0,63
<b>St. dev.</b>	0,12	0,13	0,05	0,12	0,08	0,08
<b>KV%</b>	23,97	25,50	10,02	21,85	13,61	14,02

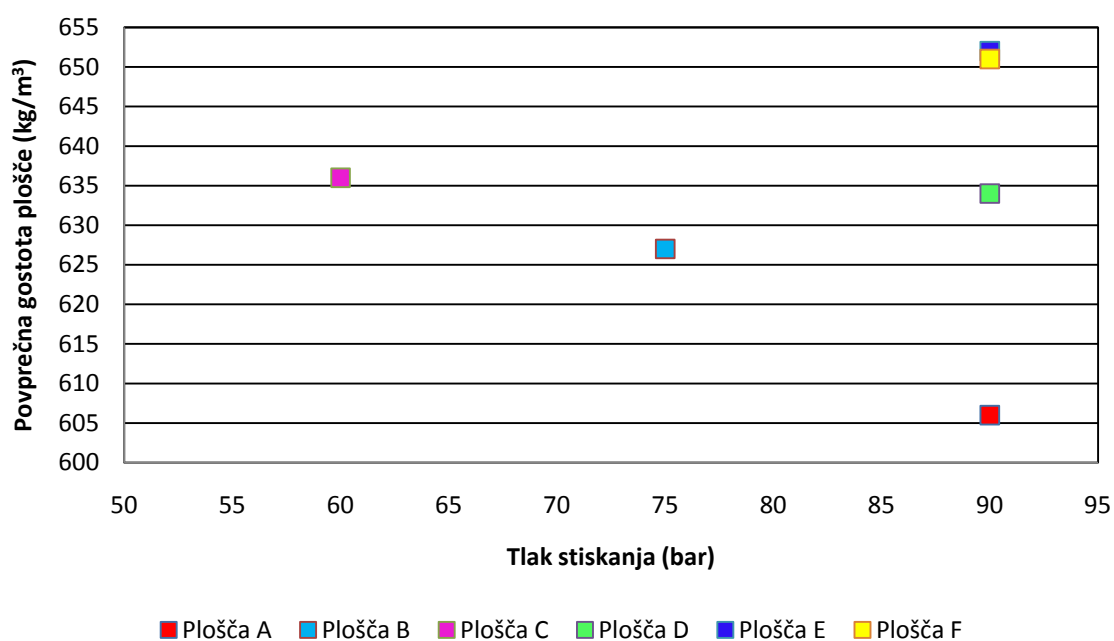


**Slika 15: Razslojna trdnost posameznih plošč; povprečna trdnost z minimalno in maksimalno vrednostjo**

Rezultati se ujemajo z rezultati modula elastičnosti saj najboljši rezultat dobimo pri plošči E, najnižjega pa pri plošči A. Tako povprečna izmerjena razslojna trdnost pri plošči E znaša  $0,601 \text{ N/mm}^2$ , pri plošči A pa le  $0,490 \text{ N/mm}^2$  (preglednica 7, slika 14).

## 5 RAZPRAVA

Na večino preučevanih lastnosti ivernih plošč vpliva gostota in pa njena razporeditev oz. gostotni profil. Če za primerjavo vzamemo plošče A, B in C (diagrami stiskanja na sl. 1, 2 in 3) lahko z gotovostjo trdimo da z nižjim tlakom dosežemo večjo gostoto plošče (sl. 16). Pri tem moramo poudariti, da gre za stiskanje z uporabo distančnih letev. Tukaj gre predvsem zato, da pri nižjem tlaku vlaga lažje prehaja v srednji sloj z njo pa posledično tudi temperatura. Temperatura in vlaga povzročita mehčanje iveri in posledično bolj zgoščen srednji sloj (sl. 11).



Slika 16 : Gostota odvisna od tlaka stiskanja

Pri primerjavi plošč A, D, E in F (diagrami stiskanja na sl. 2, 5, 6 in 7) imamo na začetku tlak stiskanja enak. Pri plošči A je ta do konca konstanten in tukaj dobimo najmanjšo povprečno gostoto kot tudi sam potek gostotnega profila kot je razvidno iz slike 12. Pri ploščah D, E in F se po začetnem tlaku, ki je  $3\text{N/mm}^2$  (90 barov) začne nato ta tlak zmanjševati in zato tudi dosežemo boljše zgoščenost srednjega sloja (sl. 11). Najboljše

rezultate dobimo pri plošči E kjer je odpiranje stiskalnice počasnejše, postopno. Zaradi zmanjšane tlaka in vlažnostnega gradienta omogočimo prehod vlage in temperature iz zunanjšega sloja v sredico plošče. Temperatura sredice se zviša in nam zgosti srednji sloj. Če je odpiranje stiskalnice prehitro se lahko zgodi, da se nam zaradi efekta vzmeti poruši struktura v sredini plošče in ne dobimo zadostne zgoščenosti. V primeru plošče E je bilo odpiranje stiskalnice postopoma, kar pomeni, da smo zagotovili nek optimalen prehod vlage in temperature ter dosegli boljšo zgoščenost.

Porazdelitev gostote oz gostotni profil ima vplivne posledice na mehanske lastnosti plošče, kar je ugotovil že Strickler (1959) in McNatt (1961). Visoka upogibna trdnost je povezana predvsem z visoko gostoto na površini iverne plošče medtem, ko je razslojna trdnost povezana z gostoto v sredici plošče.

Pri upogibni trdnosti kot nam je znano iz mehanike se največje napetosti pojavljajo na zunanjih straneh, tako je zgornji del preizkušanca (v našem primeru iverne plošče) obremenjen na tlak spodnji pa na nateg medtem ko središče plošče ni obremenjeno (nevtralna os). Če pa ploščo razrežemo lahko ugotovimo da, je vsak tak segment zopet obremenjen na tlak in nateg in tako na upogibno trdnost kakor tudi modul elastičnosti, poleg gostote na površini plošče vpliva tudi gostota v sami sredici plošče (razmerje med gostoto zunanjšega in srednjega sloja).

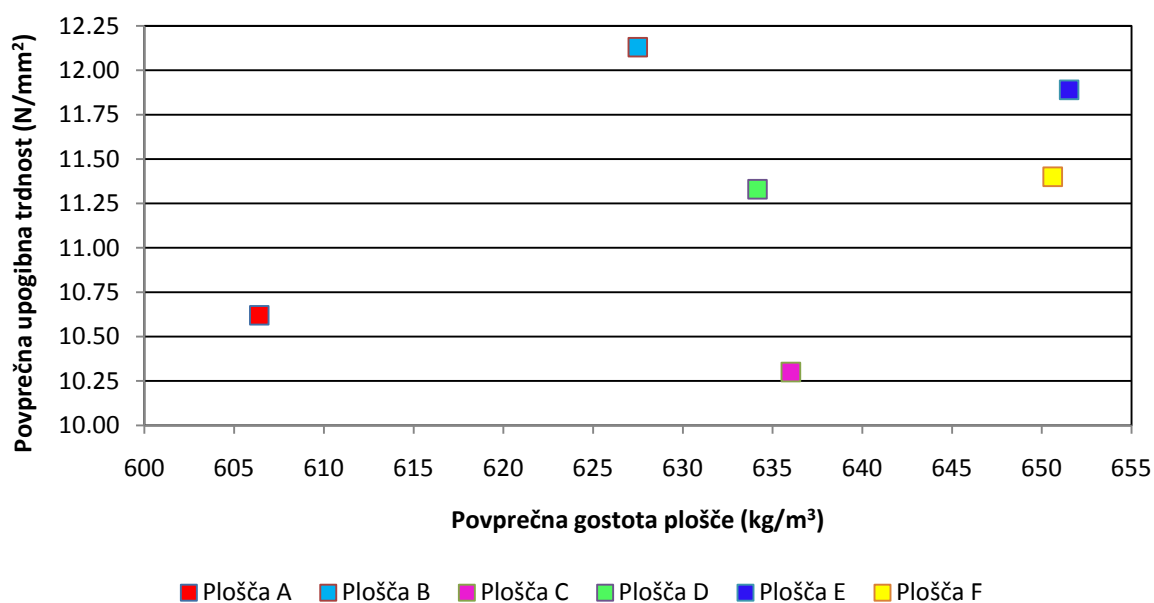
Če primerjamo razmerje med gostotami zunanjšega in srednjega sloja iverne plošče vidimo da so te razlike majhne (preglednica 8).

**Preglednica 8: Razmerje gostot zunanjšega in srednjega sloja ivernih plošč**

	<b>Razmerje gostot zunanjšega in srednjega sloja</b>
<b>Plošča A</b>	1,19
<b>Plošča B</b>	1,26
<b>Plošča C</b>	1,26
<b>Plošča D</b>	1,25
<b>Plošča E</b>	1,23
<b>Plošča F</b>	1,26

Na sliki 17 vidimo, da je vpliv gostote na upogibno trdnost minimalen saj tudi pri višji gostoti dobimo izmerjeno upogibno trdnost nekoliko nižjo.

Na upogibno trdnost vpliva sam tlak stiskanja saj nižji začetni tlak negativno vpliva na upogibno trdnost (Nemli in Demirel, 2007), kar lahko vidimo na sliki 17 pri plošči C (nižji tlak stiskanja in posledično nižja upogibna napetost).



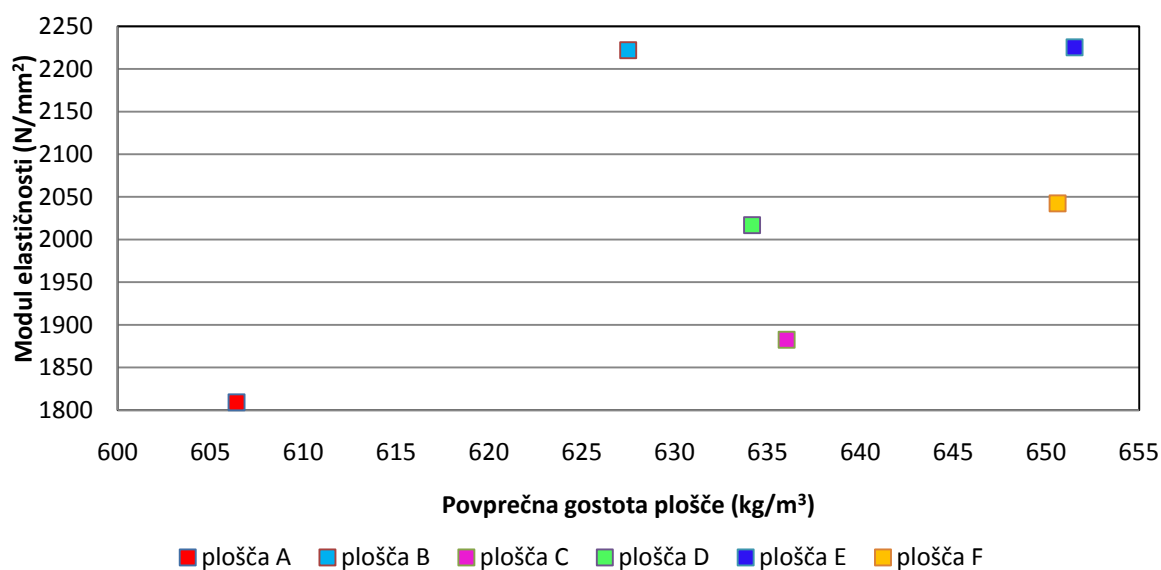
**Slika 17: Upogibna trdnost odvisna od povprečne gostote plošč**

Pri plošči C kjer je bil tlak stiskanja nekoliko nižji je vlaga in z njo toplota lažje prešla v sredico, ki je postala bolj reaktivna. Zaradi te reaktivnosti je prišlo do degradacije gradnikov in s tem nismo dobili dovolj kompakten material oz v našem primeru iverno ploščo in s tem tudi posledično nižjo upogibno trdnost.

Če med seboj primerjamo grafa upogibne trdnosti in modula elastičnosti vidimo, da sta skoraj enaka, tako lahko trdimo, da je modul elastičnosti dejansko povezan z upogibno trdnostjo.

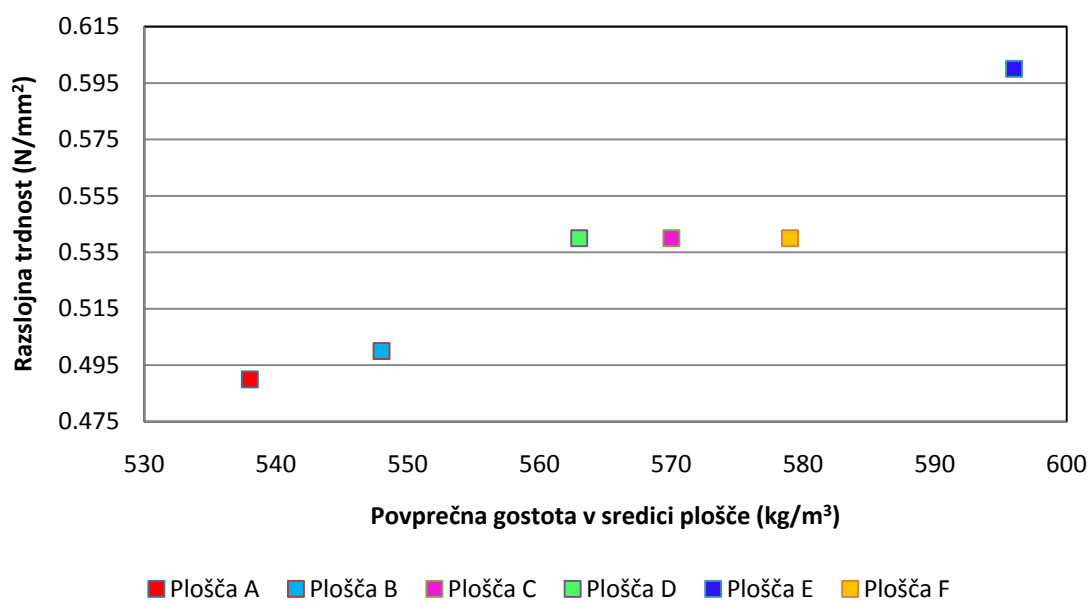
Guštin M. Vpliv poteka stiskanja na gostotni profil iverne plošče.

Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 2012



Slika 18: Modul elastičnosti odvisen od povprečne gostote plošče

Na razslojno trdnost kot smo že prej omenili vpliva gostota v sredici plošče.



Slika 19 : Razslojna trdnost v odvisnosti od gostote v sredici plošče

Na sliki 19 lahko vidimo, da obstaja korelacija med gostoto srednjega sloja in razslojno trdnostjo.

Na upogibno trdnost vplivata predvsem tlak stiskanja in njegov potek. Nižji začetni tlaki neugodno vplivajo na samo upogibno trdnost, ta trdnost pa se poveča pri ploščah kjer je začetni tlak visok in se nato zmanjšuje.

Enaka zakonitost velja tudi za modul elastičnosti saj je povezan z upogibno trdnostjo.

Pri razslojni trdnosti pa zasledimo korelacijo med gostoto srednjega sloja in pa razslojno trdnostjo saj pri večji gostoti srednjega sloja dobimo tudi večjo razslojno trdnost. Prav tako kot tudi pri upogibni trdnosti na razslojno trdnost vpliva sam tlak in potek stiskanja saj le z njim uravnavamo boljšo zgoščenost plošče v srednjem sloju in posledično tudi razslojno trdnost.

## 6 SKLEPI

Gostota in njena porazdelitev oz. gostotni profil pomembno vpliva na mehanske lastnosti iverne plošče.

Z različnimi diagrami stiskanja pri vseh ploščah dobimo enako porazdelitev prostorske mase največja gostota nastopi na površini plošče proti sredici pa začne upadati (graf v obliki črke U). Večje vrednosti gostote dobimo pri ploščah, ki so stiskane z nižjim tlakom, kot tiste z višjim tlakom, saj pri nižjih tlakih vlaga in z njo toplota lažje prehaja v sredico plošče. Najboljši rezultat je dosežen pri plošči, ki smo jo stiskali z počasnim odpiranjem stiskalnice in zadrževanjem v vmesnih pozicijah. Pri tej plošči pri odpiranju stiskalnice prehaja toplota v sredino plošče in se pri zadrževanju na vmesnih pozicijah srednji sloj počasi zgoščuje. Tako tudi pri tej plošči dobimo najbolj zgoščeno sredico kakor tudi gostoto gledano na celo ploščo.

Pri razslojni trdnosti vidimo, da so mehanske lastnosti povezane z gostoto, saj z večjo gostoto v sami sredici dobimo tudi večjo razslojno trdnost. Na upogibno trdnost pa poleg gostote zunanjega sloja vpliva tudi gostota srednjega sloja.

Na gostotni profil iverne plošče vplivata tako tlak kot sam potek stiskanja. Tako pri nižjih tlakih dobimo večje zgostitve plošč kot pri večjih tlakih – če je stiskanje konstantno (raven diagram stiskanja) ob upoštevanju da gre za stiskanje z uporabo distančnih letev. Pri ploščah kjer je potek stiskanja različen pa dobimo večje zgostitve sredice in posledično tudi same gostote plošče. Najboljše rezultate dobimo pri plošči kjer je odpiranje stiskalnice postopoma in zadrževanje na vmesnih pozicijah saj le tako optimalno zagotovimo prehod vlage in z njo toplote v sredino plošče.



## 7 VIRI

Benedičič J. 2007. Vpliv gostotnega profila in sorpcijskih karakteristik na krivljenje MDF plošč. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 34 str.

Maloney T.M. 1993. Modern particleboard & dry process fibreboard manufacturing. San Francisco, Miller Fremman publication: 681 str.

McNatt J. D. 1961. The press cycle as a process variable in flakeboard manufacturing and its effect on board properties. Unpublished M.S. Thesis. Department of Forest Products, Michigan State University

Medved S., Pirkmaier S. 2000. Praktikum za preizkušanje lesnih tvoriv iz dezintegriranega lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 71 str.

Medved S., Resnik J. 2004. Influence of the acidity and size of beech particles on the hardening of the urea-formaldehyde adhesive. Acta Chim. Slov., 51; 353-360

Nemli G., Demirel S. 2007. Relationship between the density profile and the technological properties of the particleboard composite. Journal of Composite Materials 41: 1793-1802

Strickler M. D. 1959. Effect of press cycles and moisture content on properties of douglas-fir flakeboard. Forest Products Journal 9 (7): 203-215

Torrey K.S. 2001. Influence of Thermally Conductive fillers on Physical properties of Waferboard. Michigan technological university. Master of science in chemical engineering: 298 str.

Walter F., Weichmann H. 1961. Dichteuntersuchungen an Faser- und Spanplatten. Holztechnologie, 2:172-178

Wang S., Winistorfer P.M., Young T.M., Helton C. 2001. Step-closing pressing of medium density fibre board. Part 1. Influences on the vertical density profile. Holz als Roh- und Werkstoff 59 , 19-26

Wang S., Winistorfer P.M., Young T.M., Helton C. 2001. Hot-pressing of oriented strandboard by step-clouser. Forest Products Journal 50: 28-34

Wang S., Winistorfer P.M. 2000. Fundamentals of vertical density profile formation in wood composites. Part 2. Methodology of vertical density formation under dynamic conditions. Wood and Fibre Science, 32, 2: 220-238

Wong E.-D., Zhang M., Wang Q., Kawai S. 1999. Formation of the density profile and its effects on the properties of particleboard. Wood science and technology 33: 327-340

SIST EN 310. Lesne plošče – Ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti. 1996

SIST EN 319. Iverne in lesne plošče – Ugotavljanje razplastne trdnosti pravokotno na površino plošče. 1996

## **ZAHVALA**

Najprej bi se rada zahvalila mentorju doc. dr. Sergeju Medvedu za vse strokovne nasvete pri nastajanju diplomske naloge ter recenzentu izr. prof. dr. Milanu Šerneku za recenzijo diplomske naloge.

Za pomoč se zahvaljujem tudi tehničnem sodelavcu na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površine g. Janezu Renku, ki mi je pomagal pri pripravi in izdelavi plošč in preizkušancev.

Zahvaliti se moram tudi svoji družini, ki me je podpirala tekom študija in vsem, ki so mi kakorkoli pomagali pri izdelavi diplomske naloge.

Hvala vsem!

## PRILOGA A

### Parametri za določanje upogibne napetosti z upogibno napetostjo in modulom elastičnosti za ploščo A

Vzorec	t (mm)	w (mm)	F <sub>max</sub> (N)	f <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )
AU1	16,34	49,87	383	13,82	2243
AU2	16,25	49,82	332	12,13	2098
AU3	16,29	49,68	345	12,56	1957
AU4	16,39	49,82	231	8,29	1720
AU5	16,44	49,88	276	9,84	1631
AU6	16,55	49,89	202	7,08	1206

### Parametri za določanje razslojno trdnost z razslojno trdnostjo in gostoto za ploščo A

Vzorec	l (mm)	w (mm)	t (mm)	m (g)	Gostota (g/mm <sup>2</sup> )	F <sub>max</sub> (N)	f <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
AR1	49,76	49,77	16,31	24,98	0,61843	1621	0,51
AR2	49,91	49,88	16,53	24,63	0,59852	1169	0,47
AR3	49,80	49,91	16,5	25,18	0,61398	1169	0,47
AR4	49,89	49,66	16,44	22,8	0,55977	1030	0,42
AR5	49,56	49,86	16,62	23,7	0,57708	1073	0,43
AR6	49,78	49,87	16,65	21,55	0,52136	780	0,31
AR7	49,74	49,73	16,27	27,51	0,68356	1615	0,65
AR8	49,82	49,80	16,23	27,32	0,67847	1647	0,66

## PRILOGA B

### Parametri za določanje upogibne napetosti z upogibno napetostjo in modulom elastičnosti za ploščo B

Vzorec	t (mm)	w (mm)	F <sub>max</sub> (N)	f <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )
BU1	16,51	49,89	305	10,77	2147
BU2	16,46	49,92	377	13,38	2292
BU3	16,52	49,86	383	13,52	2354
BU4	16,48	49,92	381	13,50	2469
BU5	16,51	49,83	351	12,41	2434
BU6	16,61	49,90	264	9,20	1636

### Parametri za določanje razslojno trdnost z razslojno trdnostjo in gostoto za ploščo B

Vzorec	l (mm)	w (mm)	t (mm)	m (g)	Gostota (g/mm <sup>3</sup> )	F <sub>max</sub> (N)	f <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
BR1	49,94	49,86	16,59	24,54	0,59406	1106	0,44
BR2	49,83	49,89	16,57	24,9	0,60447	1138	0,46
BR3	49,91	49,91	16,58	25,61	0,62008	1294	0,52
BR4	49,98	49,96	16,57	24,37	0,58900	922	0,37
BR5	49,96	49,87	16,73	27,22	0,65303	1351	0,54
BR6	49,97	49,76	16,51	21,67	0,52786	848	0,34
BR7	49,98	49,90	16,49	29,24	0,71098	1582	0,63
BR8	49,93	49,94	16,5	29,64	0,72042	1792	0,72

### PRILOGA C

#### Parametri za določanje upogibne napetosti z upogibno napetostjo in modulom elastičnosti za ploščo C

Vzorec	t (mm)	w (mm)	F <sub>max</sub> (N)	f <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )
CU1	16,47	49,89	297	10,55	1926
CU2	16,46	49,91	318	11,29	2076
CU3	16,45	49,85	320	11,38	2069
CU4	16,48	49,90	329	11,64	1947
CU5	16,51	49,88	291	10,27	1830
CU6	16,63	49,92	193	6,69	1447

#### Parametri za določanje razslojno trdnost z razslojno trdnostjo in gostoto za ploščo C

Vzorec	l (mm)	w (mm)	t (mm)	m (g)	Gostota (g/mm <sup>3</sup> )	F <sub>max</sub> (N)	f <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
CR1	49,95	49,94	16,68	25,57	0,61454	1267	0,51
CR2	49,91	49,93	16,59	26,71	0,64607	1326	0,53
CR3	49,93	49,99	16,65	26,02	0,62611	1388	0,56
CR4	49,89	49,90	16,65	25,07	0,60482	1245	0,50
CR5	49,97	49,97	16,88	26,41	0,62658	1263	0,51
CR6	49,87	49,94	16,91	25,22	0,59884	1221	0,49
CR7	49,98	49,90	16,46	28,04	0,68305	1552	0,62
CR8	49,78	49,94	16,49	28,21	0,68814	1568	0,63

## PRILOGA D

### Parametri za določanje upogibne napetosti z upogibno napetostjo in modulom elastičnosti za ploščo D

Vzorec	t (mm)	w (mm)	F <sub>max</sub> (N)	f <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )
DU1	16,45	49,85	369	13,13	2150
DU2	16,34	49,75	323	11,68	2069
DU3	16,26	49,70	321	11,72	2021
DU4	16,33	49,77	295	10,68	2049
DU5	16,36	49,88	332	11,92	2085
DU6	16,41	49,96	249	8,87	1727

### Parametri za določanje razslojno trdnost z razslojno trdnostjo in gostoto za ploščo D

Vzorec	l (mm)	w (mm)	t (mm)	m (g)	Gostota (g/mm <sup>3</sup> )	F <sub>max</sub> (N)	f <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
DR1	49,96	49,91	16,37	24,49	0,59997	1283	0,51
DR2	49,86	49,53	16,51	27,58	0,67644	1397	0,57
DR3	49,92	49,93	16,34	22,85	0,56105	1058	0,42
DR4	49,92	49,60	16,43	27,99	0,68803	1601	0,65
DR5	49,73	49,88	16,39	21,68	0,53326	973	0,39
DR6	49,82	49,89	16,39	25,72	0,63136	1109	0,45
DR7	49,87	49,75	16,35	27,96	0,68927	1725	0,70
DR8	49,89	49,72	16,32	28,09	0,69388	1635	0,66

## PRILOGA E

### Parametri za določanje upogibne napetosti z upogibno napetostjo in modulom elastičnosti za ploščo E

Vzorec	t (mm)	w (mm)	F <sub>max</sub> (N)	f <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )
EU1	16,25	49,94	310	11,29	2201
EU2	16,23	49,85	332	12,12	2256
EU3	16,19	49,78	340	12,50	2366
EU4	16,31	49,73	366	13,29	2396
EU5	16,35	49,76	348	12,57	2300
EU6	16,48	49,98	271	9,58	1833

### Parametri za določanje razslojno trdnost z razslojno trdnostjo in gostoto za ploščo E

Vzorec	l (mm)	w (mm)	t (mm)	m (g)	Gostota (g/mm <sup>3</sup> )	F <sub>max</sub> (N)	f <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
ER1	49,92	49,61	16,39	24,56	0,60507	1320	0,53
ER2	49,95	49,92	16,24	25,92	0,64009	1469	0,59
ER3	49,88	49,97	16,2	26,2	0,64886	1455	0,58
ER4	49,95	49,56	16,46	25,31	0,62115	1423	0,57
ER5	49,96	49,80	16,32	27,04	0,66594	1490	0,60
ER6	49,94	49,75	16,37	24,94	0,61321	1252	0,50
ER7	49,76	49,92	16,3	28,54	0,70487	1711	0,69
ER8	49,79	49,95	16,22	28,76	0,71295	1865	0,75



## PRILOGA F

### Parametri za določanje upogibne napetosti z upogibno napetostjo in modulom elastičnosti za ploščo F

Vzorec	t (mm)	w (mm)	F <sub>max</sub> (N)	f <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )
FU1	16,30	49,90	335	12,14	2153
FU2	16,25	49,85	318	11,58	2144
FU3	16,32	49,83	353	12,75	2259
FU4	16,42	49,89	368	13,12	2196
FU5	16,50	49,97	316	11,14	2040
FU6	16,51	49,85	217	7,65	1462

### Parametri za določanje razslojno trdnost z razslojno trdnostjo in gostoto za ploščo F

Vzorec	l (mm)	w (mm)	t (mm)	m (g)	Gostota (g/mm <sup>3</sup> )	F <sub>max</sub> (N)	f <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
FR1	49,82	49,88	16,32	26,75	0,65959	1420	0,57
FR2	49,95	49,94	16,55	26,38	0,63899	1057	0,42
FR3	49,85	49,62	16,33	25,44	0,62981	1459	0,59
FR4	49,94	49,89	16,75	27,76	0,66519	1246	0,50
FR5	49,93	49,81	16,5	26,28	0,64042	1256	0,51
FR6	49,99	49,87	16,89	24,95	0,59254	1137	0,46
FR7	49,88	49,77	16,35	27,71	0,68269	1567	0,63
FR8	49,92	49,69	16,29	28,11	0,69566	1505	0,61