

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

David STENŠAK

**VPLIV DODATKA VLAKEN NA LASTNOSTI
IVERNIH PLOŠČ**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

David STENŠAK

VPLIV DODATKA VLAKEN NA LASTNOSTI IVERNIH PLOŠČ

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

**INFLUENCE OF FIBER CONTENT ON PROPERTIES OF
PARTICLEBOARD**

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2016

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega strokovnega študija Tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin na Oddelku za lesarstvo, kjer so bili izdelani preizkušanci in opravljene meritve.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Sergeja Medveda in recenzenta prof. dr. Milana Šerneka.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisni izjavljam, da je naloga rezultat lastnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

David Stenšak

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 630*862
KG	iverna plošča/vlakna/mehanske lastnosti
AV	STENŠAK, David
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	2016
IN	VPLIV DODATKA VLAKEN NA LASTNOSTI IVERNIH PLOŠČ
TD	Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja)
OP	IV, 20 str., 2 pregl., 3 sl., 2 pril., 15 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	V diplomski nalogi smo analizirali vpliv dodatka vlaken na lastnosti iverne plošče. V laboratorijskih pogojih smo izdelali enoslojne in trislojne plošče iz industrijskih iveri, katerim smo dodali 0 %, 17 % in 41 % vlaken. Ugotovili smo, da se večina lastnosti ivernih plošč izboljša z dodajanjem vlaken. Gostota plošč se z dodatkom vlaken povečuje, posledica tega so tudi boljše mehanske lastnosti in modul elastičnosti. Najboljšo upogibno trdnost in modul elastičnosti je imela plošča D, ki je vsebovala 41 % vlaken v zunanem sloju in 17 % vlaken v srednjem sloju. Najmanjši debelinski nabrek je imela plošča A katera ni vsebovala vlaken, najslabšega pa plošča C z vsebnostjo vlaken 17 % v srednjem sloju. Najmanjšo spremembo mase pri potopitvi v vodo smo ugotovili pri plošči D, največjo pa pri plošči A.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Dv1
DC UDC 630*862
CX particleboard/fiber/mechanical properties
AU STENŠAK, David
AA MEDVED, Sergej (supervisor)/ŠERNEK, Milan (co-advisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina c. CIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2016
TY INFLUENCE OF FIBER CONTENT ON PROPERTIES OF PARTICLEBOARD
DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)
NO IV, 20 p., 2 tab., 3 fig., 2 ann., 15 ref.
LA sl
Al sl/en
AB In this work, we analyzed the influence of the addition of fibers on the properties of particle board. In laboratory conditions, we have produced a single-layer and three-layer board from industrial particles, to which we added 0 %, 17 % and 41 % of the fibers. We have found that most of the characteristics of particle board improved by adding fibers. The density of particle boards increases with the addition of fiber, this results in better mechanical properties and modulus of elasticity. The best bending strength and modulus of elasticity had panel D, which contained 41 % of the fibers in the surface layer and 17 % of the fibers in the core layer. The lowest thickness swelling was determined at panel with no fibers while the highest at panelC with a fiber content of 17 % in the core layer. The smallest change in weight by immersion in water was found in panel D and the highest in panel A.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO SLIK	VII
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
SEZNAM PRILOG	IX
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
1.2 DELOVNA HIPOTEZA.....	2
1.3 CILJ NALOGE	2
2 PREGLED LITERATURE	3
3 MATERIALI IN METODE	5
3.1 MATERIALI	6
3.1.1 Iveri.....	6
3.1.2 Vlakena.....	7
3.1.3 Lepilna mešanica	8
3.2 METODE DELA	9
3.2.1 Sejalna analiza	9
3.2.2 Izdelava ivernih plošč.....	10
3.2.3 Metode preizkušanja	14
3.2.3.1 Debelina in gostota ivernih plošč	14
3.2.3.2 Vsebnost vlage	15
3.2.3.3 Debelinski nabrek.....	16
3.2.3.4 Upogibna trdnost in modul elastičnosti.....	17
4 REZULTATI.....	19
4.1 SEJALNA ANALIZA	19
4.1.1 PLOŠČA A1 in B1	21
4.1.2 PLOŠČA A2 in B2	22
4.1.3 PLOŠČA A3 in B3	23
4.1.4 PLOŠČA A	24

4.1.5	PLOŠČA B	26
4.1.6	PLOŠČA C	28
4.1.7	PLOŠČA D	30
5	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	32
5.1	RAZPRAVA.....	32
5.1.1	Enoslojne plošče.....	32
5.1.2	Trislojne plošče	38
5.2	SKLEPI.....	44
6	POVZETEK.....	45
7	VIRI	47

ZAHVALA

PRILOGE

KAZALO SLIK

Slika 1: Iveri srednjega sloja	6
Slika 2: Vlakna	7
Slika 3: Lepilo MELDUR H97	8
Slika 4: Laboratorijski vertikalni stresalnik PAL LT63	9
Slika 5: Laboratorijski stroj za oblepljanje iveri	11
Slika 6: Kalup za izdelavo pogače iverne plošče	11
Slika 7: Pogača iverne plošče	12
Slika 8: Laboratorijska hidravlična stiskalnica.....	12
Slika 9: Izdelane iverne plošče	13
Slika 10: Merjenje dimenzij	14
Slika 11: Shema preizkusa upogibne trdnosti (Medved, 2016).....	17
Slika 12: Prikazane vrednosti frakcija zunanjega, srednjega sloja in vlaken	20
Slika 13: Graf prikazuje povprečno debelino plošč iz finega iverja.....	32
Slika 14: Graf prikazuje povprečno debelino plošč iz grobega iverja.....	32
Slika 15: Vpliv deleža vlaken na gostoto plošč iz finih iveri	33
Slika 16: Vpliv deleža vlaken na gostoto plošč iz grobih iveri	33
Slika 17: Korelacija med debelinskim nabrekom in gostoto plošč iz finih iveri.....	34
Slika 18: Korelacija med debelinskim nabrekom in gostoto plošč iz grobih iveri.....	35
Slika 19: Odvisnost upogibne trdnosti od gostote plošč s finim iverjem	36
Slika 20: Odvisnost upogibne trdnosti od gostote plošč z grobim iverjem	36
Slika 21: Graf odvisnosti gostote od debeline	38
Slika 22: Debelinski nabrek v odvisnosti od gostote.....	39
Slika 23: Graf prikazuje debelinski nabrek v odvisnosti od vpijanja vode	40
Slika 24: Odvisnost upogibne trdnosti od gostote	41
Slika 25: Odvisnost modula elastičnosti od gostote	41

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Sestava ivernih plošč	5
Preglednica 2: Rezultati sejalne analize zunanega sloja.....	19
Preglednica 3: Rezultati sejalne analize srednjega sloja	19
Preglednica 4: Rezultati gostote, debeline in vlažnosti plošče A1 in B1	21
Preglednica 5: Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošče A1 in B1.....	21
Preglednica 6: Rezultati debelinskega nabreka in vpijanja vode plošče A1 in B1.....	21
Preglednica 7: Rezultati gostote, debeline in vlažnosti plošče A2 in B2	22
Preglednica 8: Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošče A2 in B2.....	22
Preglednica 9: Rezultati debelinskega nabreka in vpijanja vode plošče A2 in B2.....	22
Preglednica 10: Rezultati gostote, debeline in vlažnosti plošče A3 in B3	23
Preglednica 11: Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošče A3 in B3.....	23
Preglednica 12: Rezultati debelinskega nabreka in vpijanja vode plošče A3 in B3.....	23
Preglednica 13: Rezultati gostote, debeline in vlažnosti plošče A	24
Preglednica 14: Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošče A	24
Preglednica 15: Rezultati debelinskega nabreka in vpijanja vode plošče A	25
Preglednica 16: Rezultati gostote, debeline in vlažnosti plošče B	26
Preglednica 17: Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošče B.....	26
Preglednica 18: Rezultati debelinskega nabreka in vpijanja vode plošče B.....	27
Preglednica 19: Rezultati gostote, debeline in vlažnosti plošče C	28
Preglednica 20: Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošče C.....	28
Preglednica 21: Rezultati debelinskega nabreka in vpijanja vode plošče C.....	29
Preglednica 22: Rezultati gostote, debeline in vlažnosti plošče D	30
Preglednica 23: Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošče D	30
Preglednica 24: Rezultati debelinskega nabreka in vpijanja vode plošče D	31
Preglednica 25: Prikazane so povprečne vrednosti najboljših in najslabših izmerjenih rezultatov	43

SEZNAM PRILOG

1. Rezultati gostote in vlažnosti enoslojne plošče
2. Rezultati debelinskega nabreka enoslojne plošče
3. Rezultati vpijanja vode enoslojne plošče
4. Rezultati upogibne trdnosti enoslojne plošče
5. Rezultati gostote, debeline in vlažnosti trislojne plošče
6. Rezultati debelinskega nabreka trislojne plošče
7. Rezultati vpijanja vode trislojne plošče
8. Rezultati upogibne trdnosti trislojne plošče

1 UVOD

Les je naravni in obnovljiv material. Zaradi odličnih lastnosti ima širok spekter uporabe. Pri obdelavi in uporabi masivnega lesa ostane velika količina ostankov, katere je možno uporabiti za izdelavo različnih lesnih ploščnih kompozitov, kot so iverne plošče, OSB plošče, vlaknene plošče, itd. Takšna raba lesa je smotrna tako z vidika okolja, rabe lesa kakor tudi ekonomskega vidika. V primerjavi z masivnim lesom so lesni ploščni kompoziti bolj homogeni, dimenzijsko stabilnejši, večjih dimenzij, itd.

Kompoziti se izdelujejo iz različno velikih gradnikov. Iverne plošče so izdelane tako iz grobih iveri (srednji sloj), kakor tudi manjših finih (zunanji sloj). Za izdelavo ivernih plošč se uporablja les slabše kakovosti, ostanki mizarske in žagarske proizvodnje.

Površina iverne plošče je na otip in pogled gladka vendar lahko povzroča različne težave pri nanašanju raznih oblog na ploščo, kot so furnirji, impregniran papir, laminati, itd.

S pomočjo dodatka vlaken lahko iverni plošči izboljšamo mehanske lastnosti kot tudi gladkost površine. Vlakna zapolnijo manjše vdolbine na površini plošče, ker pa so manjši delci, pa izboljšamo zlepljenost gradnikov.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Iverne plošče se pretežno uporabljajo v pohištveni industriji. Plošče je zaradi nadaljnje obdelave (oblaganje s papirji, laminati, furnirji, ...) potrebno zbrusiti. Uporaba finejših iveri ali celo vlaken pripomore k izdelavi gladkejše površine pri kateri je debelina brušenja značilno manjša. Iverne plošče so velikokrat izpostavljene različnim dejavnikom kot je vlaga, voda, mehanske obremenitve, kar je predvsem posledica morfoloških značilnosti uporabljenih gradnikov.

1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Predvidevamo, da bodo z dodajanjem vlaken razlike v lastnostih ivernih plošč. Z dodajanjem vlaken bomo izboljšali mehanske lastnosti zaradi prepletenosti. Povečali bomo gostoto in dimenzijsko stabilnost plošč.

1.3 CILJ NALOGE

Cilj naloge je ugotoviti kako dodatek vlaken vpliva na lastnosti iverne plošče.

2 PREGLED LITERATURE

Iverne plošče so kompozit, izdelan iz lignoceluloznih materialov (v večini je to les in ostanki lesa), v obliki iveri ali vlaken v kombinaciji s sintetičnimi ali drugimi polimernimi vezivi. Med seboj so povezani s pomočjo visokega tlaka in temperature. Celotna vez med gradniki je tako vzpostavljena s pomočjo dodanega veziva (lepilne mešanice). Kot vezivno sredstvo se uporablja predvsem urea-formaldehidno lepilo, uporabijo pa se lahko tudi rezorcinska, izocianatna in razna modificirana lepila (Maloney, 1977).

Iverna plošča se izdeluje iz drevesnih vrst različnih gostot. Pri ploščah srednje gostote se uporabljajo lažje drevesne vrste. Te plošče so po stiskanju bolj kompakte, imajo boljši kontakt med samim iverjem. Iverne plošče, ki so izdelane iz drevesnih vrst višjih gostot, ne moremo izdelati plošč s srednjo gostoto, ker plošča vsebuje slabši spoj med iverjem. Za takšne plošče srednjih gostot in višjih gostot se uporabljajo drevesne vrste z nizko gostoto saj so iveri iz takšnega lesa bolj stisljive in dosežemo večjo zgostitev. Gostota pri iverni plošči pa ima velik vpliv na mehanske lastnosti posebej na upogibno trdnost in modul elastičnosti (Maloney, 1977).

Iverne plošče so izdelane iz iverja lesa ali drugih ostankov lignoceluloznih snovi, zlepljenih v ploščo s sintetičnimi lepili, toploto in tlakom. Ideja, da bi žagovino in iverje lesa z lepilom povezali v ploščo, ki bi nadomestila desko, je zelo stara. Že leta 1887 je Hubbard nakazal možnosti proizvodnje tovrstne plošče, vendar je šele leta 1943 Fahrni predstavil možne tehnološke rešitve za proizvodnjo ivernih plošč ter pod imenom »Novopan« patentiral industrijski postopek proizvodnje ivernih plošč. Vzporedno z razvojem kakovostnih sintetičnih lepil (predvsem urea-formaldehidnih) je proizvodnja ivernih plošč skokovito naraščala, posebej v Nemčiji, Švici in ZDA. Iverke so v drugi polovici 20. stoletja postale osnovno tvorivo v industriji pohištva (Čermak, 1996).

Upogibna trdnost upada z večanjem debeline iverja, zato pri izdelavi t. i. normalnega iverja stremimo za tem, da se debeline gibljejo od 0,1 do 0,3 za zunanji in od 0,3 do 0,6 mm za srednji sloj. Širina iverja bistveno ne vpliva na lastnosti plošč, vendar se kot optimalne priporočajo naslednje vrednosti: za zunanji sloj od 2,5 do 5 mm in za srednji sloj od 2 do 10 mm. Dolžina iverja naj ne bi presegala 40 mm. Predolgo iverje pri nasipanju povzroča neenakomerno nasipanje, pri katerem dobimo preveč porozno ploščo (Čermak, 1996).

V zadnjih letih v svetu izdelajo največ trislojnih ivernih plošč, ki so sestavljene iz dveh zunanjih in enega srednjega sloja. Srednji sloj sestavljata predvsem iverje debeline med 0,4 in 0,8 mm, zunanji sloj pa bolj fino debeline med 0,1 in 0,3 mm.

Lastnosti ivernih plošč (upogibna trdnost, modul elastičnosti, razslojna trdnost in debelinski nabrek) so odvisne tako od parametrov izdelave plošč (oblepljanje, natres, stiskanje) kot tudi od velikosti iverja (debeline, dolžina, širina) (Medved, 2000).

Medved in Resnik (2003) sta v svojih raziskavah ugotovila, da upogibna trdnost narašča z naraščanjem faktorja zgostitve. Ugotovila sta tudi, da se z večanjem zgostitve plošče večja tudi relaksacija in nabrek iverja pri odprtju stiskalnice.

Poznamo več različnih vrst ivernih plošč. Debeline ivernih plošč se gibljejo med 8 in 38 mm. Plošče ločimo na njihovo sestavo oz. gostoto:

- Lahke plošče gostote 500 kg/m^3
- Srednje težke plošče gostote 620 do 670 kg/m^3
- Težke (konstrukcijske) plošče gostote 710 kg/m^3 in več

Lahke iverne plošče se večinoma uporabljajo kot izolativne plošče za izolacijo in kot embalaža. Srednje težke oz. klasične iverne plošče srednje gostote se večinoma uporabljajo v pohištveni industriji za izdelavo pohištva in nezahtevnih izdelkov. Iverne plošče višjih gostot imajo zelo dobre mehanske lastnosti. Te plošče pa se uporabljajo kot konstrukcijske plošče za zahtevnejšo izdelavo, kjer so potrebne dobre mehanske lastnosti (Lesna TIP, 2014).

3 MATERIALI IN METODE

V laboratorijskih pogojih smo izdelali enoslojne in trislojne iverne plošče, ki so se razlikovale po velikosti uporabljenih gradnikov in deležu dodanih vlaken 0%, 17% in 41% (preglednica 1)

Preglednica 1: Sestava ivernih plošč

Oznaka	Št. slojev	Velikost	Delež vlaken [%]
A ₁	1	Fini gradniki	0
B ₁	1	Veliki gradniki	0
A ₂	1	Fini gradniki	17
B ₂	1	Veliki gradniki	17
A ₃	1	Fini gradniki	41
B ₃	1	Veliki gradniki	41
A	3	Fini (zunanji) Veliki (srednji)	SL: 0 CL: 0
B	3	Fini (zunanji) Veliki (srednji)	SL: 41 CL: 0
C	3	Fini (zunanji) Veliki (srednji)	SL: 0 CL: 17
D	3	Fini (zunanji) Veliki (srednji)	SL: 41 CL: 17

Opomba: SL – zunanji sloj, CL – srednji sloj

Pri preizkušanjih smo ugotavljali:

- gostoto in vlažnost
- debelinski nabrek
- upogibno trdnost in modul elastičnosti

3.1 MATERIALI

3.1.1 Iveri

Za izdelavo zunanjega in srednjega sloja iverne plošče smo uporabili industrijske iveri (Lesna TIP, Otiški Vrh) (slika 1). Iveri smo odvzeli pred strojem za oblepljanje.



Slika 1: Iveri srednjega sloja

3.1.2 Vlakna

Vlakna, uporabljena v nalogi, smo pridobili iz industrije (Lesonit, Ilirska Bistrica), in sicer smo jih odvzeli takoj za defibratorjem oziroma pred oblepljanjem in sušenjem (slika 2).



Slika 2: Vlakna

3.1.3 Lepilna mešanica

Za kakovostno izdelavo in zlepljenost gradnikov iverne plošče ima pomembno vlogo lepilna mešanica. Za izdelavo plošče smo uporabili lepilo Meldur H97 – proizvajalca Melamin Kočevje (slika 4). Lepilni smoli smo dodali utrjevalec (amonijev sulfat) in vodo za doseganje primerne viskoznosti.



Slika 3: Lepilo MELDUR H97

3.2 METODE DELA

3.2.1 Sejalna analiza

Sejalna analiza je eden od načinov določanja velikosti iveri oziroma ločevanja iveri glede na velikost. Sejalno analizo smo izvedli v laboratorijskem vertikalnem stresalniku PAL LT63 (slika 4). 100 g iveri smo stresali 10 minut. Po preteku časa smo stekali maso gradnikov, ki so ostali na posameznem situ. Meritve smo ponovili trikrat.



Slika 4: Laboratorijski vertikalni stresalnik PAL LT63

3.2.2 Izdelava ivernih plošč

Izdelali smo 6 enoslojnih in 4 trislojne plošče z dodatkom vlaken in brez dodatka vlaken (preglednica 1).

Cilj je bil izdelati ploščo debeline 16 mm z gostota 650 kg/m^3 (pri vsebnosti vlage 0 %). Velikost izdelanih plošč je $500 \times 500 \text{ mm}^2$.

Na laboratorijski tehtnici smo stehtali potrebno količino iveri, lepila, amonijevega sulfata (utrjevalec) in vode. Količina lepila je bila izračunana glede na maso iveri (pri $H = 0 \%$), količina utrjevalca pa glede na maso lepila (100 % pri vsebnosti suhe snovi). Delež dodanega lepila pri enoslojnih ploščah je bil 3,64 %, pri trislojnih ploščah je bil delež lepila v zunanjem sloju 13,49 %, v srednjem sloju pa 9,14 %.

Iveri smo oblepili v laboratorijskem stroju za oblepljanje (slika 5). Lepilo smo nanašali s pomočjo brizgalnih šob (tlak 3,5 barov). Čas nanašanja lepila je bil 3 minute, skupen čas nanašanja in mešanja pa 6 minut. Vlakna smo v iveri mešali ročno.



Slika 5: Laboratorijski stroj za oblepljanje iveri

Oblepljene iveri in vlakna smo natresli v lesen kalup (slika 6) velikosti 500 mm x 500 mm. Kalup je bil nameščen na natresno pločevino.



Slika 6: Kalup za izdelavo pogače iverne plošče

Pripravljeno iverno pogačo (slika 7) smo za boljšo kompaktnost z leseno ploščo stisnili ročno.



Slika 7: Pogača iverne plošče

Stiskanje ivernih plošč je potekalo v enoetažni hidravlični laboratorijski stiskalnici (slika 8). Tlak stiskanja je bil 3 N/mm^2 , temperatura stiskanja pa $190 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Čas stiskanja je bil 180 s, debelino stiskanja (16 mm) pa smo nadzirali s pomočjo distančnih letev. Razmik distančne letve je bil 16 mm.

Proti koncu stiskanja smo začeli tlak stiskanja popuščati, pri čemer je para počasi izhajala iz plošče in ob odprtju stiskalnice ni prišlo do razslojitve iverne plošče.



Slika 8: Laboratorijska hidravlična stiskalnica

Po končanem stiskanju smo plošče (slika 9) pri sobnih pogojih ohlajali 1 uro, nakar smo jih pri normalnih klimatskih pogojih klimatizirali 5 dni.



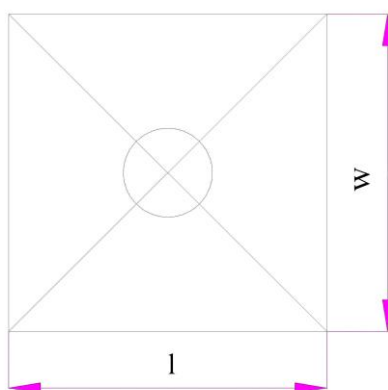
Slika 9: Izdelane iverne plošče

3.2.3 Metode preizkušanja

3.2.3.1 Debelina in gostota ivernih plošč

Debelino in gostoto ivernih plošč smo preizkušali po standardu SIST EN 323 (1993). Za določanje debeline in gostote smo uporabili 6 preizkušancev v velikosti 50 mm x 50 mm (slika 10).

Dolžino in širino smo izmerili s kljunastim merilom, debelino pa z mikrometrom na 0,01 mm natančno. Maso smo tehtali na laboratorijski tehtnici na 0,01 g natančno.



Slika 10: Merjenje dimenzij

Gostoto smo izračunali po enačbi:

$$\rho = \frac{m}{l \times w \times t}$$

kjer je:

- m - masa preizkušanca [g]
- l - dolžina preizkušanca [mm]
- w - širina preizkušanca [mm]
- t - debelina preizkušanca [mm]

3.2.3.2 Vsebnost vlage

Vsebnost vlage ivernih plošč smo preizkušali po standardu SIST EN 322 (1993). Za določanje vsebnosti vlage smo uporabili 4 preizkušance v velikosti 50 mm x 50 mm.

Vzorci smo tehtali pred in po končanem sušenju na 0,01 g natančno. Sušili smo jih v sušilniku pri 103 ± 2 °C do konstantne mase.

Vsebnost vlage smo izračunali po enačbi:

$$H = \frac{m_H - m_0}{m_0} \times 100$$

kjer je:

- m_H - masa pred sušenjem [g]
- m_0 - masa po sušenju [g]

3.2.3.3 Debelinski nabrek

Debelinski nabrek smo ugotavljali po standardu SIST EN 317 (1993). Uporabili smo 8 preizkušancev v velikosti 50 mm x 50 mm.

Preden smo preizkušance potopili v vodo, smo jih izmerili na 0,01 mm natančno in stehtali na 0,01 g natančno. Ko smo vzorce potopili v vodo, smo izvajali meritve na 10, 20, 30, 45 in 60 min. Zadnjo meritev smo izvedli 24 h po potopitvi v vodo. Pri potopitvi vzorcev morajo biti ploskve nameščene vertikalno. Preizkušanci se ne smejo dotikati sten ali dna kadi, nad preizkušanci pa mora biti 25 ± 5 mm vode. Razmik med preizkušanci in dnom mora biti najmanj 15 mm. Med tem ko so preizkušanci potopljeni v vodi, morajo biti med seboj ločeni.

Debelinski nabrek smo izračunali po enačbi:

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100$$

kjer je:

- t_1 - debelina klimatiziranega preizkušanca [mm]
- t_2 - debelina preizkušanca po potopitvi v vodi [mm]

Vpijanje vode smo izračunali po enačbi:

$$G_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

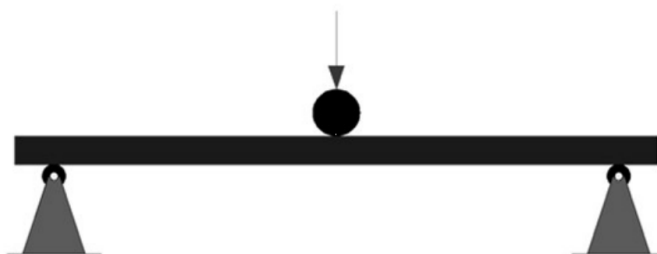
kjer je:

- m_1 - masa klimatiziranega preizkušanca [g]
- m_2 - masa preizkušanca po potopitvi v vodi [g]

3.2.3.4 Upogibna trdnost in modul elastičnosti

Upogibno trdnost in modul elastičnost (slika 11) smo preizkušali po standardu SIST EN 310 (1996). Za določanje upogibne trdnosti smo uporabili 5 preizkušancev iz vsake plošče v velikosti 370 mm x 50 mm x 16 mm.

Vsakemu preizkušancu smo pred preizkusom izmerili debelino in širino na 0,01 mm natančno. Oporiščna razdalja je bila 320 mm, hitrost obremenitve pa 7 mm/min (čas do loma približno 60±10 s). Tri preizkušance smo obremenili na zgornji strani plošče, dva pa na spodnji.



Slika 11: Shema preizkusa upogibne trdnosti (Medved, 2016)

Upogibno trdnost smo izračunali po enačbi:

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{loma} \cdot l_1}{2 \cdot w \cdot t^2}$$

kjer je:

- F_{loma} - sila loma [N]
- l_1 - oporiščna razdalja [mm]
- w - širina preizkušanca [mm]
- t - debelina preizkušanca [mm]
- f_m - upogibna trdnost [N/mm²]

Modul elastičnosti smo izračunali po enačbi:

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

kjer je:

- F_1 - 10% maksimalne sile loma [N]
- F_2 - 40% maksimalne sile loma [N]
- w - širina preizkušanca [mm]
- t - debelina preizkušanca [mm]
- a_1 - poves pri 10% maksimalne sile loma [N]
- a_2 - poves pri 40% maksimalne sile loma [N]
- l_1 - oporiščna razdalja [mm]
- E_m - modul elastičnosti [N/mm²]

4 REZULTATI

4.1 SEJALNA ANALIZA

V preglednicah 2 in 3 so podani rezultati sejalne analize iveri zunanjega in srednjega sloja.

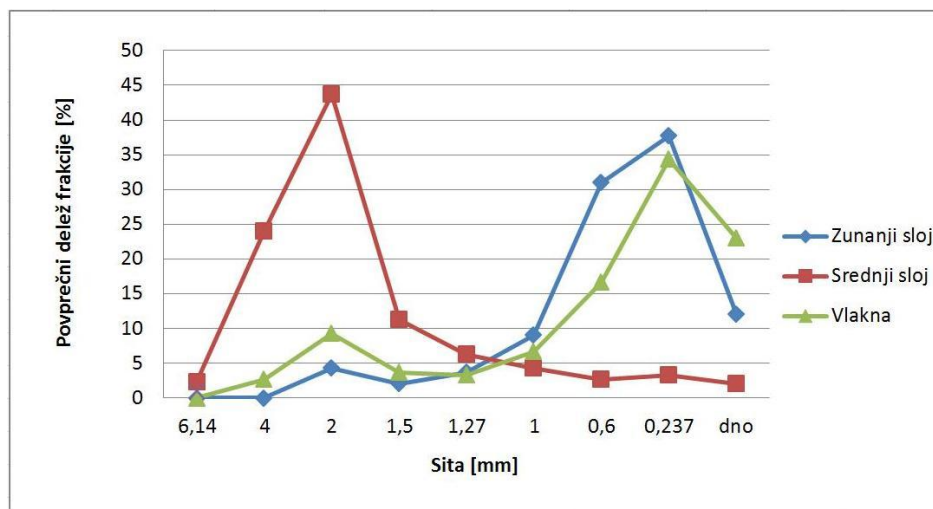
Preglednica 2: Rezultati sejalne analize zunanjega sloja

Sito		Masa iverja [g]			Povp. masa [g]	Delež [%]
Oznaka sit	Masa [g]	analiza 1	analiza 2	analiza 3		
6,14	922	0	0	0	0,00	0,00
4	975	0	0	0	0,00	0,00
2	1046	5	4	4	4,33	4,33
1,5	878	1	3	2	2,00	2,00
1,27	860	4	3	4	3,67	3,67
1	873	8	9	10	9,00	9,00
0,6	850	32	31	30	31,00	31,00
0,237	795	38	36	39	37,67	37,67
dno	960	11	13	12	12,00	12,00
Skupaj	8159	99	99	101	99,67	99,89

Preglednica 3: Rezultati sejalne analize srednjega sloja

Sito		Masa iverja [g]			Povp. masa [g]	Delež [%]
Oznaka sit	Masa [g]	analiza 1	analiza 2	analiza 3		
6,14	922	2	3	2	2,33	2,33
4	975	27	22	23	24,00	24,00
2	1046	44	45	42	43,67	43,67
1,5	878	11	13	10	11,33	11,33
1,27	860	5	7	7	6,33	6,33
1	873	3	4	6	4,33	4,33
0,6	850	2	2	4	2,67	2,67
0,237	795	3	3	4	3,33	3,33
dno	960	2	2	2	2,00	2,00
Skupaj	8159	99	101	100	100,00	100,33

Graf (slika 12) prikazuje povprečni delež frakcije iveri zunanjega in srednjega sloja.



Slika 12: Prikazane vrednosti frakcija zunanjega, srednjega sloja in vlaken

Opazimo lahko, da je pri iverih srednjega sloja največji delež iveri na sitih 4 in 2, pri iverih zunanjega sloja pa je večji delež iveri na sitih z odprtini, manjšimi od 0,6 mm. Tudi pri vlaknih smo ugotovili, da je delež finih frakcij (ostanek na sitih z odprtini, manjšimi od 0,6 mm) največji.

4.1.1 PLOŠČA A1 in B1

Rezultati meritev enoslojne plošče A1 in B1 so prikazani v preglednicah 4, 5 in 6.

Preglednica 4: Rezultati gostote, debeline in vlažnosti plošče A1 in B1

Plošča A1	GOSTOTA ρ [kg/m³]			Plošča B1	GOSTOTA ρ [kg/m³]		
	Maks.	Min.	Povprečna		Maks.	Min.	Povprečna
	1112	953	1055		840	739	800
	DEBELINA [mm]				DEBELINA [mm]		
	Maks.	Min.	Povprečna		Maks.	Min.	Povprečna
	3,86	3,58	3,73		8,01	7,84	7,91
	VLAŽNOST H [%]				VLAŽNOST H [%]		
	Maks.	Min.	Povprečna		Maks.	Min.	Povprečna
	6,14	5,86	6,02		7,38	6,57	7,04

Preglednica 5: Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošče A1 in B1

Plošča A1	E_m	f_m	Plošča B1	E_m	f_m
	[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
Povprečje	2626	15,04	Povprečje	28	21,37
St. odklon	704,08	2,53	St. odklon	283,53	53,05
KV [%]	26,81	16,83	KV [%]	9,86	248,26

Preglednica 6: Rezultati debelinskega nabreka in vpijanja vode plošče A1 in B1

	Gt [%]		Gm [%]	
Preizkušanec	Plošča A1	Plošča B1	Plošča A1	Plošča B1
Povprečje	34,27	44,70	56,09	85,31
St. odklon	3,36	7,54	8,10	3,09
Koeficient variacije [%]	9,81	16,88	14,43	3,62

Plošči A1 in B1 sta izdelani brez dodatka vlaken in služita kot kontrolni plošči.

4.1.2 PLOŠČA A2 in B2

Meritve in rezultati enoslojne plošče A2 in B2 so prikazani v preglednicah 7, 8 in 9.

Preglednica 7: Rezultati gostote, debeline in vlažnosti plošče A2 in B2

Plošča A2	GOSTOTA ρ [kg/m³]			Plošča B2	GOSTOTA ρ [kg/m³]		
	Maks.	Min.	Povprečna		Maks.	Min.	Povprečna
	1035	919	966		958	765	868
	DEBELINA [mm]				DEBELINA [mm]		
	Maks.	Min.	Povprečna		Maks.	Min.	Povprečna
	4,54	4,17	4,40		9,16	8,69	8,89
	VLAŽNOST H [%]				VLAŽNOST H [%]		
	Maks.	Min.	Povprečna		Maks.	Min.	Povprečna
	6.47	6.08	6.28		7,13	6.38	6.76

Preglednica 8: Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošče A2 in B2

Plošča A2	E_m	f_m	Plošča B2	E_m	f_m
	[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
Povprečje	3290	18,85	Povprečje	2743	16,65
St. odklon	573,06	7,97	St. odklon	341,74	28,67
KV [%]	17,42	42,31	KV [%]	12,46	172,21

Preglednica 9: Rezultati debelinskega nabreka in vpijanja vode plošče A2 in B2

	Gt [%]		Gm [%]	
Preizkušanec	Plošča A2	Plošča B2	Plošča A2	Plošča B2
Povprečje	47,49	55,88	77,91	95,26
St. odklon	7,97	5,79	9,86	7,19
Koeficient variacije [%]	16,79	10,36	12,65	7,55

Plošči A2 in B2 sta vsebovali 17 % vlaken. Plošča A2 je imela zaradi boljše prepletenosti iver in vlaken med seboj večjo upogibno trdnost kot plošča A1. Gostota plošče A1 je višja od gostote plošče A2. V primeru plošče finih gradnikov se je dodatek 17 % vlaken pokazal kot negativen, saj je bila zgostitev pri plošči brez vlaken (A1) večja. Plošča B2 ima v primerjavi s ploščo B1 višjo gostoto, kar dokazuje, da dodatek vlaken pozitivno vpliva na gostoto plošče.

4.1.3 PLOŠČA A3 in B3

Meritve in rezultati enoslojne plošče A3 in B3 so prikazani v preglednicah 10, 11 in 12.

Preglednica 10: Rezultati gostote, debeline in vlažnosti plošče A3 in B3

Plošča A3	GOSTOTA ρ [kg/m³]			Plošča B3	GOSTOTA ρ [kg/m³]		
	Maks.	Min.	Povprečna		Maks.	Min.	Povprečna
	956	829	930		981	799	885
	DEBELINA [mm]				DEBELINA [mm]		
	Maks.	Min.	Povprečna		Maks.	Min.	Povprečna
	5,34	5,09	5,16		11,19	10,80	11,00
	VLAŽNOST H [%]				VLAŽNOST H [%]		
	Maks.	Min.	Povprečna		Maks.	Min.	Povprečna
	6,45	6,13	6,21		6,90	6,52	6,71

Preglednica 11: Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošče A3 in B3

Plošča A3	E_m	f_m	Plošča B3	E_m	f_m
	[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
Povprečje	3003	17,02	Povprečje	1534	9,36
St. odklon	497,98	34,34	St. odklon	590,88	52,26
KV [%]	16,58	201,78	KV [%]	38,51	558,38

Preglednica 12: Rezultati debelinskega nabreka in vpijanja vode plošče A3 in B3

	Gt [%]		Gm [%]	
Preizkušanec	Plošča A3	Plošča B3	Plošča A3	Plošča B3
Povprečje	55,85	67,30	97,86	129,16
St. odklon	10,47	3,91	22,37	14,89
Koeficient variacije [%]	18,75	5,81	22,86	11,53

Plošči A3 in B3 sta vsebovali 41 % vlaken. Gostota plošče A3 je zaradi manjše zgostitve finejših iveri in vlaken manjša od predhodnih plošč A1 in A2. Pri ploščah B1, B2 in B3 pa se rezultat od tistega pri ploščah A1, A2 in A3 razlikuje, saj se pri prvih gostota povečuje z dodajanjem vlaken. Do tega je prišlo zaradi večje zgostitve grobih iveri in posledično vlaken. Upogibna trdnost je zaradi optimalne prepletenosti vlaken in gostote največja pri plošči A2: 18,85 N/mm²; zaradi velike zgostitve pa pri plošči B1: 21,37 N/mm². Največji debelinski nabrek imata plošči A3 in B3.

4.1.4 PLOŠČA A

Plošča A je izdelana iz grobih iveri srednji sloj in finih iveri zunanji sloj brez dodatka vlaken.

V preglednicah 13, 14 in 15 so predstavljene lastnosti plošče A.

Preglednica 13: Rezultati gostote, debeline in vlažnosti plošče A

Plošča A	GOSTOTA ρ [kg/m ³]			Standardni odklon	Koeficient variacije
	Maksimalna	Minimalna	Povprečna		
	655	585	627	24,36	3,88
	DEBELINA [mm]			Standardni odklon	Koeficient variacije
	Maksimalna	Minimalna	Povprečna		
	17,41	16,91	17,17	0,18	1,08
	VLAŽNOST H [%]			Standardni odklon	Koeficient variacije
	Maksimalna	Minimalna	Povprečna		
	10,15	9,55	9,82	0,24	2,42

Preglednica 14: Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošče A

Plošča A	E_m	F_{loma}	f_m	Gostota
	[N/mm ²]	[N]	[N/mm ²]	[kg/m ³]
Povprečje	3730	326,8	13,30	627,04
Standardni odklon	469,09	75,39	3,16	24,36
Koeficient variacije [%]	12,58	23,07	23,73	3,88

Preglednica 15: Rezultati debelinskega nabreka in vpijanja vode plošče A

	Gt [%]	Gm [%]
Preizkušanec	Plošča A	Plošča A
1	13,05	75,11
2	11,79	70,88
3	12,19	74,42
4	11,07	82,35
5	13,25	71,36
6	12,24	79,11
7	11,77	75,28
8	12,70	75,86
Povprečje	12,26	75,55
St. odklon	0,73	3,78
Koeficient variacije [%]	5,92	5,00

Gostota iverne plošče A je primerljiva z gostoto surovih industrijskih ivernih plošč. Debelina plošče se je zaradi sproščanja napetosti ob koncu stiskanja nekoliko povečala. Mehanski lastnosti, kot sta upogibna trdnost in modul elastičnosti, sta primerljivi s ploščo, ki ne vsebuje vlaken.

4.1.5 PLOŠČA B

Plošča B je trislojna plošča, pri kateri smo vlakna dodali samo v zunanji sloj in sicer 41%. V preglednicah 16, 17 in 18 so predstavljene lastnosti plošče B.

Preglednica 16: Rezultati gostote, debeline in vlažnosti plošče B

Plošča B	GOSTOTA ρ [kg/m ³]			Standardni odklon	Koeficient variacije
	Maksimalna	Minimalna	Povprečna		
	733	683	704	21,16	3,00
	DEBELINA [mm]			Standardni odklon	Koeficient variacije
	Maksimalna	Minimalna	Povprečna		
	17,51	17,21	17,38	0,12	0,68
	VLAŽNOST H [%]			Standardni odklon	Koeficient variacije
	Maksimalna	Minimalna	Povprečna		
	10,35	9,65	9,94	0,26	2,62

Pri plošči B je bila gostota plošče v primerjavi s ploščo A večja predvsem zaradi dodatka vlaken, ki smo jih dodali v zunanji sloj, in sicer 41 %. Razlike v debelini in vlažnosti so minimalne.

Preglednica 17: Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošče B

Plošča B	E_m	F_{loma}	f_m	Gostota
	[N/mm ²]	[N]	[N/mm ²]	[kg/m ³]
Povprečje	3874	388,8	15,38	704,86
Standardni odklon	830,74	108,66	4,31	21,16
Koeficient variacije [%]	21,44	27,95	28,00	3

Višje vrednosti upogibne trdnosti in modula elastičnosti so predvsem posledica dodatka vlaken v zunanjem sloju, saj ima zunanji sloj največjo vlogo pri trdnosti plošče na upogib in višje gostote plošče.

Preglednica 18: Rezultati debelinskega nabreka in vpijanja vode plošče B

	Gt [%]	Gm [%]
Preizkušanec	Plošča B	Plošča B
1	16,57	81,68
2	15,44	77,99
3	14,99	72,16
4	16,94	67,49
5	15,09	69,75
6	15,51	73,13
7	14,69	67,26
8	15,30	69,51
Povprečje	15,57	72,37
St. odklon	0,78	5,13
Koeficient variacije [%]	5,03	7,08

Plošča B ima v primerjavi s ploščo A nekoliko večji debelinski nabrek, kar je posledica večje gostote in deloma tudi dodatka vlaken. Pri vpijanju vode pa so pri plošči B vrednosti nižje, saj vlakna zapolnijo luknje in voda manj prodira v ploščo.

4.1.6 PLOŠČA C

Plošča C je trislojna plošča pri kateri smo dodali 17% vlaken. Vlakna smo dodali samo iverem za srednji sloj. V preglednicah 19, 20 in 21 so predstavljene lastnosti plošče C.

Preglednica 19: Rezultati gostote, debeline in vlažnosti plošče C

Plošča C	GOSTOTA ρ [kg/m ³]			Standardni odklon	Koeficient variacije
	Maksimalna	Minimalna	Povprečna		
	715	646	682	26,13	3,83
	DEBELINA [mm]			Standardni odklon	Koeficient variacije
	Maksimalna	Minimalna	Povprečna		
	17,73	17,24	17,45	0,19	1,07
	VLAŽNOST H [%]			Standardni odklon	Koeficient variacije
	Maksimalna	Minimalna	Povprečna		
	10,01	9,31	9,66	0,28	2,88

Preglednica 20: Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošče C

Plošča C	E_m	F_{loma}	f_m	Gostota
	[N/mm ²]	[N]	[N/mm ²]	[kg/m ³]
Povprečje	3744	314,8	12,55	682,27
Standardni odklon	650,41	76,40	3,08	26,13
Koeficient variacije [%]	17,37	24,27	24,52	3,83

Plošča C ima gostoto zaradi manjše količine vlaken in manjše zgostitve v primerjavi s ploščo B nižjo. Posledica manjše količine vlaken in manjše gostote je tudi manjša upogibna trdnost.

Preglednica 21: Rezultati debelinskega nabreka in vpijanja vode plošče C

	Gt [%]	Gm [%]
Preizkušanec	Plošča C	Plošča C
1	19,33	72,51
2	18,96	67,40
3	13,98	67,93
4	15,68	66,41
5	14,70	69,92
6	14,37	80,48
7	18,02	66,35
8	15,31	71,71
Povprečje	16,29	70,34
St. odklon	2,15	4,71
Koeficient variacije [%]	13,19	6,70

Rezultati kažejo, da se je debelinski nabrek pri plošči C v primerjavi z nabrekom plošč A in B nekoliko povečal. Srednji sloj plošče C ima zaradi vlaken nekoliko večjo gostoto in posledično večje napetosti, kar privede do večjega debelinskega nabreka. Rezultati vpijanja vode so manjši kot pri kontrolni plošči in plošči B, kjer vlakna zapolnijo prazne prostore v plošči.

4.1.7 PLOŠČA D

Plošča D je trislojna plošča pri kateri smo dodali vlakna v oba sloja. Zunanji sloj 41% in srednji sloj 17%. V preglednicah 22, 23 in 24 so predstavljene lastnosti plošče D.

Preglednica 22: Rezultati gostote, debeline in vlažnosti plošče D

Plošča D	GOSTOTA ρ [kg/m ³]			Standardni odklon	Koeficient variacije
	Maksimalna	Minimalna	Povprečna		
	791	705	762	33,46	4,39
	DEBELINA [mm]			Standardni odklon	Koeficient variacije
	Maksimalna	Minimalna	Povprečna		
	18,37	18,03	18,15	0,12	0,67
	VLAŽNOST H [%]			Standardni odklon	Koeficient variacije
	Maksimalna	Minimalna	Povprečna		
	10,73	9,60	10,37	0,42	4,03

Preglednica 23: Rezultati upogibne trdnosti in modula elastičnosti plošče D

Plošča D	E_m	F_{loma}	f_m	Gostota
	[N/mm ²]	[N]	[N/mm ²]	[kg/m ³]
Povprečje	4528	573,6	20,74	762,1
Standardni odklon	675,33	133,64	4,82	33,46
Koeficient variacije [%]	14,91	23,30	23,26	4,39

Plošča D ima največjo gostoto, saj vsebuje največji delež vlaken. Posledica tega pa je tudi največja upogibna trdnost in modul elastičnosti. Vpije pa tudi najmanjšo količino vode.

Preglednica 24: Rezultati debelinskega nabreka in vpijanja vode plošče D

	Gt [%]	Gm [%]
Preizkušanec	Plošča D	Plošča D
1	17,06	58,39
2	14,87	55,51
3	13,07	59,34
4	15,30	54,84
5	13,98	56,90
6	17,05	58,40
7	14,74	53,91
8	15,73	60,76
Povprečje	15,22	57,26
St. odklon	1,39	2,37
Koeficient variacije [%]	9,13	4,14

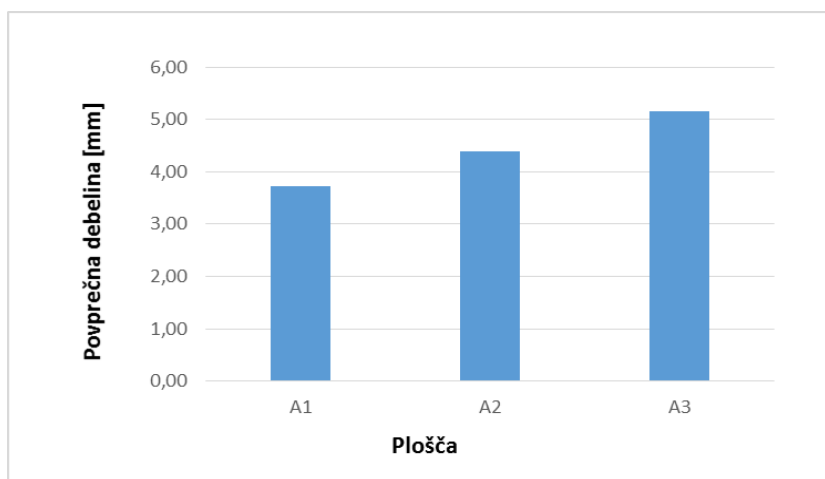
Pri plošči D vidimo, da se je z dodatkom vlaken spreminjala tudi vrednost debelinskega nabreka in vpijanja vode. Plošča D ima od vseh plošč najmanjši rezultat vpijanja vode v ploščo. Debelinski nabrek, pa se je v primerjavi s ploščo C nekoliko zmanjšal.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

5.1.1 Enoslojne plošče

Pri meritvah enoslojnih plošč se je debelina plošč večala z dodajanjem vlaken. Vzrok za večanje debeline je količina vlaken in sprostitvev sil (sprostitveni efekt) ob odpiranju stiskalnice in kondicioniranju. V preglednicah (slika 13 in slika 14) so prikazane povprečne vrednosti debeline plošč.

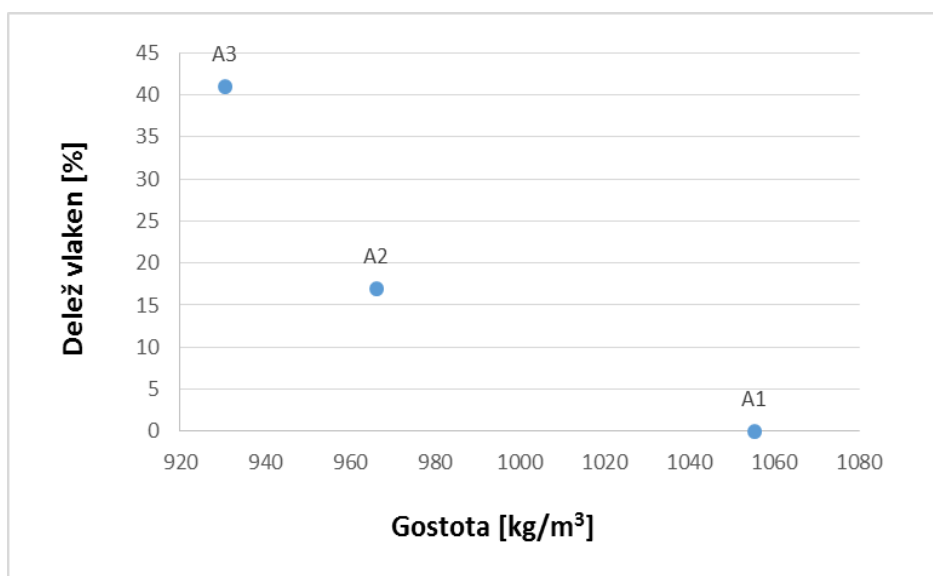


Slika 13: Graf prikazuje povprečno debelino plošč iz finega iverja

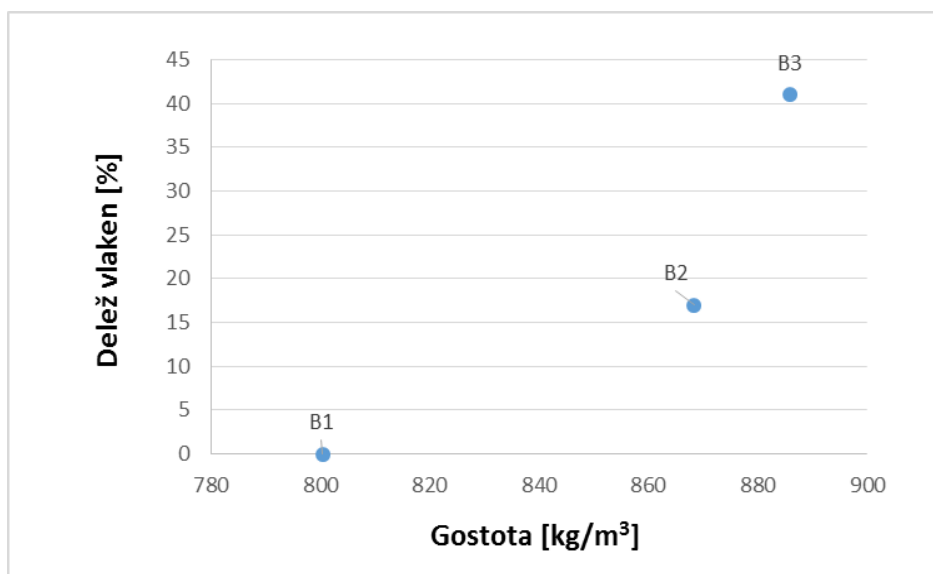


Slika 14: Graf prikazuje povprečno debelino plošč iz grobega iverja

Gostota plošč A1, A2 in A3 (slika 15) se je z dodatkom deleža vlaken manjšala. Sklepamo, da se je gostota manjšala zaradi večjega deleža manjših delcev in posledično manjše zgostitve. Obratne rezultate smo dobili pri ploščah B1, B2 in B3 (slika 16), kjer se je gostota z dodajanjem vlaken povečevala. Vzrok za večanje gostote je deformacija grobih iveri pri stiskanju in posledično večje zgostitve. Pozitiven vpliv dodatka vlaken je zapolnitev praznih prostorov pri velikih iverih.

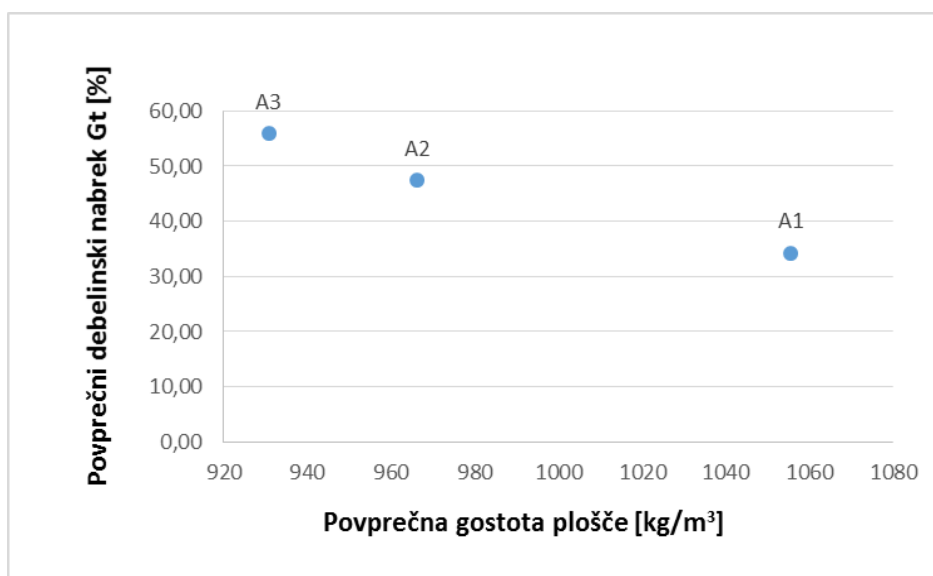


Slika 15: Vpliv deleža vlaken na gostoto plošč iz finih iveri



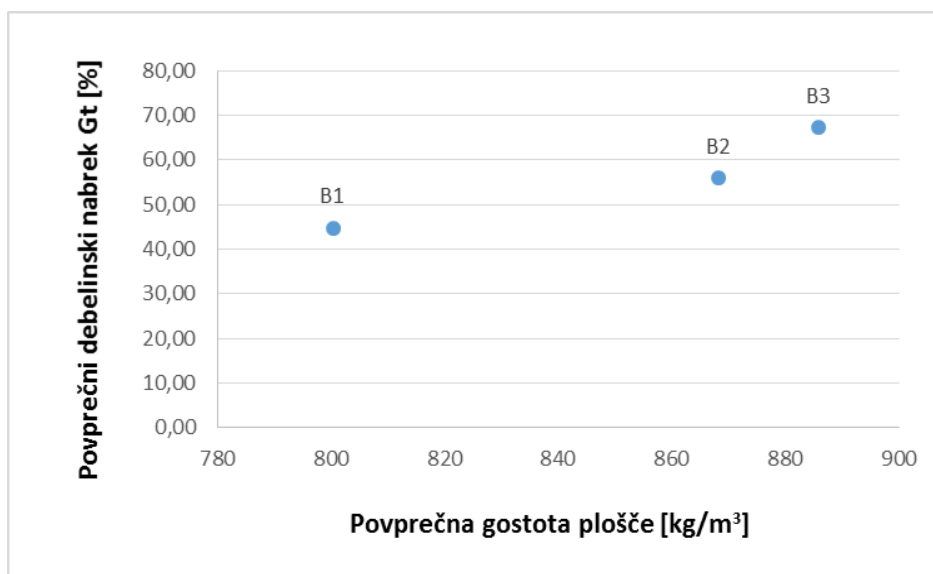
Slika 16: Vpliv deleža vlaken na gostoto plošč iz grobih iveri

Tako pri ploščah, izdelanih iz finih iveri (slika 17) kot tudi pri ploščah, izdelanih z grobimi ivermi (slika 18), lahko opazimo, da se debelinski nabrek povečuje s povečevanjem deleža vlaken. Vzrok za večanje debelinskega nabreka pri ploščah A2 in A3 je povezan s količino dodanega lepila in posledično slabšo vezjo med vlakni in finim iverjem zaradi dodajanja vlaken. Glede na velikost gradnikov, bi moral biti delež dodanega lepila večji, količino tega pa smo za plošče s finimi ivermi kakor tudi za plošče z velikimi ivermi želeli imeti enako. Vzrok za takšen debelinski nabrek je tudi količina finih frakcij, ki veliko bolj vpijajo vodo. Pri ploščah B1, B2 in B3 pa se je debelinski nabrek povečeval zaradi večanje gostote, kar pa privede do velikih napetosti v plošči. Pri potapljanju plošče v vodo se napetosti zaradi vpijanja vode sprostijo. Pri sproščanju napetosti se v plošči pojavijo prazni prostori, ki jih zapolni voda in s tem narašča debelinski nabrek plošče.



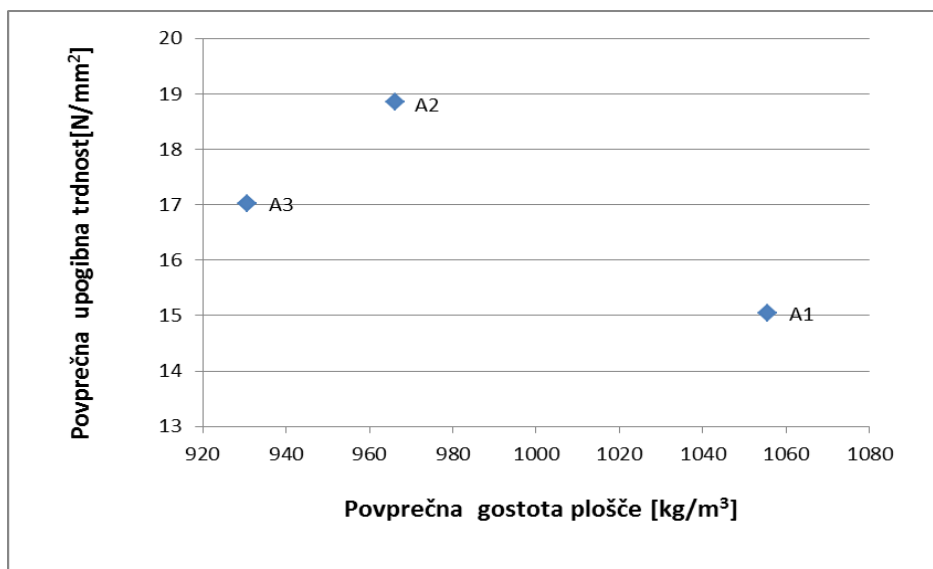
Slika 17: Korelacija med debelinskim nabrekom in gostoto plošč iz finih iveri

Do večjega debelinskega nabreka pride zaradi deformacije celičnih sten pri doseganju velikih gostot in izgube lepilnih vezi med lepilom in iverjem (Zupančič, 2010).

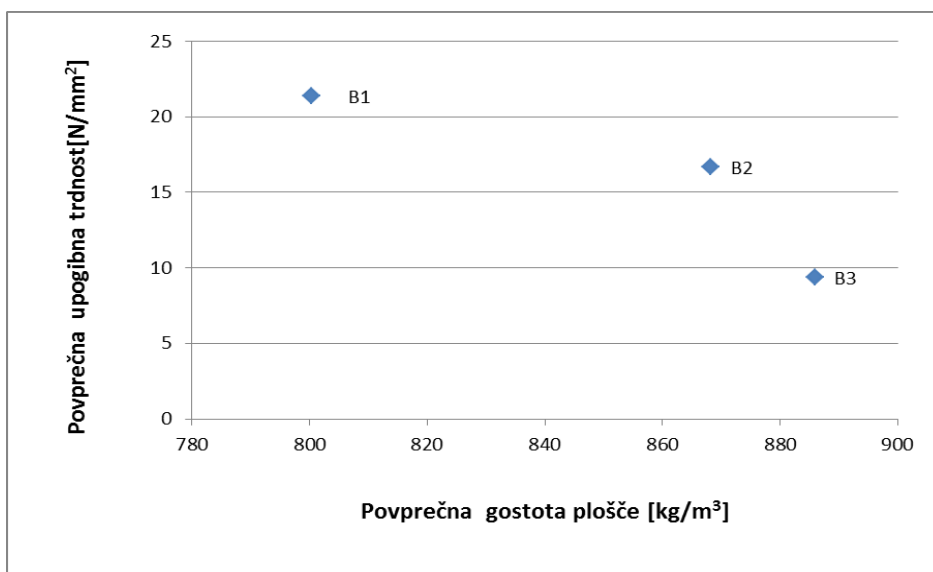


Slika 18: Korelacija med debelinskim nabrekom in gostoto plošč iz grobih iveri

Upogibna trdnost je odvisna od deleža dodanih vlaken (slika 19 in slika 20)



Slika 19: Odvisnost upogibne trdnosti od gostote plošč s finim iverjem



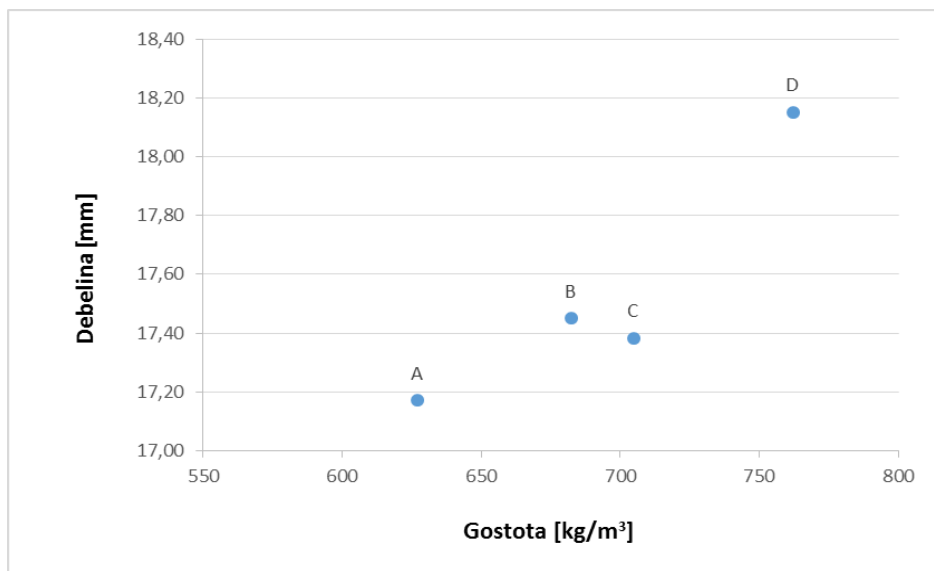
Slika 20: Odvisnost upogibne trdnosti od gostote plošč z grobim iverjem

Ugotovimo lahko, da je vpliv dodatka vlaken odvisen tako od deleža kakor tudi od velikosti iveri. Pri uporabi velikih iveri ugotovimo, da z naraščanjem gostote in deleža vlaken upogibna trdnost pada. Glede na naraščajoči delež finih frakcij predvidevamo, da je bil delež dodanega lepila premajhen, kar posledično pomeni slabšo oblepljenost gradnikov in zaradi tega nižjo upogibno trdnost. Pri uporabi grobih frakcij je delež dodanega lepila

dovolj velik, vendar je vpliv zgostitve gradnikov oziroma gostote plošče večji. Pri plošči z gostoto med 950 in 980 kg/m^3 je zgostitev optimalna, kar potrjuje tudi največja upogibna trdnost, medtem ko je pri gostoti pod 950 kg/m^3 in nad 1000 kg/m^3 upogibna trdnost nižja.

5.1.2 Trislojne plošče

Dodatek vlaken je vplival tudi na gostoto in debelino trislojnih plošč (slika 21).

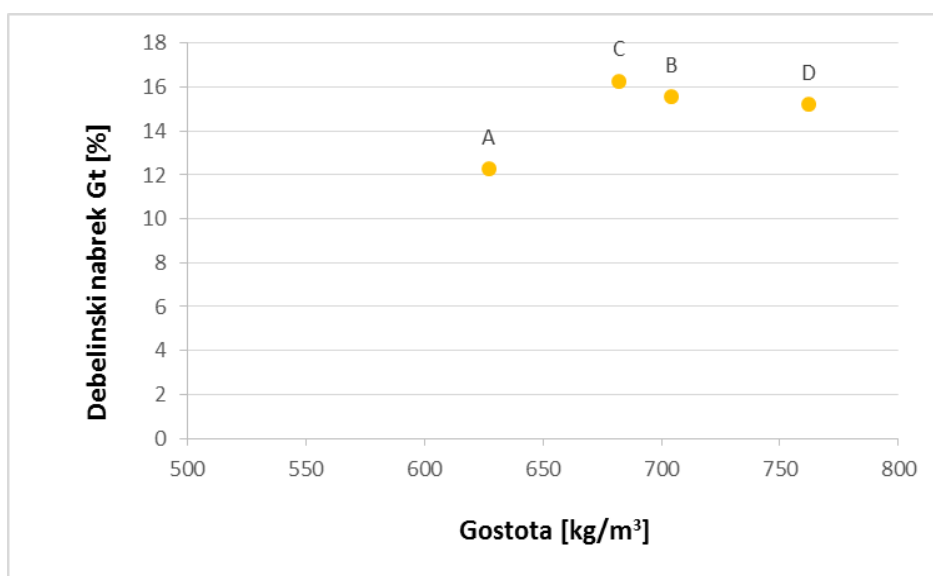


Slika 21: Graf odvisnosti gostote od debeline

Pri debelini plošč je prišlo do velikih razlik med ploščama A in D. Do razlike v debelini je prišlo zaradi večjih napetosti v plošči, ki so se pojavile pri odpiranju stiskalnice in kondicioniranju plošče. Plošče z večjo gostoto imajo večje napetosti v plošči in se pojavi tako imenovani sprostitevni efekt. Vzrok za te rezultate je tudi količina vlaken, ki jih posamezne plošče vsebujejo.

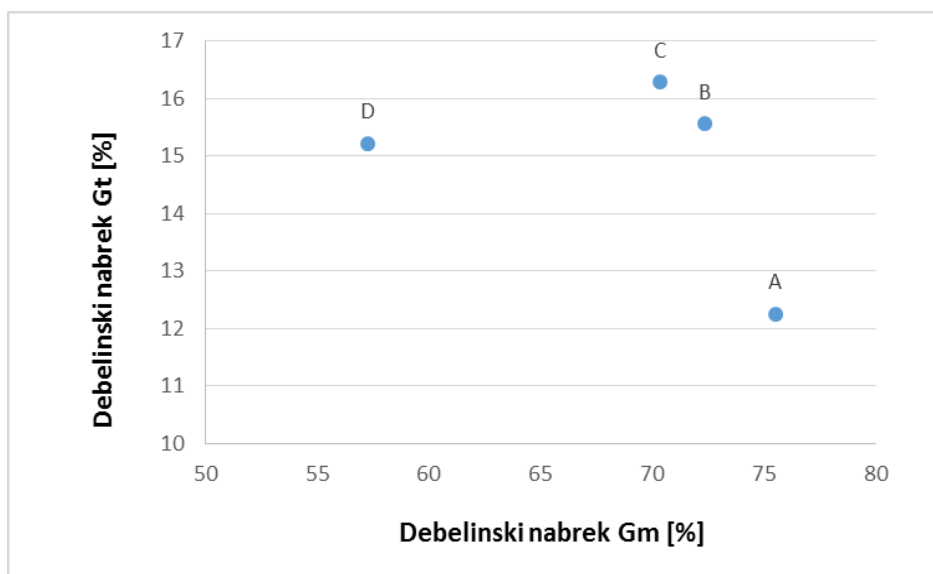
Ugotovili smo, da je debelinski nabrek trislojnih plošč odvisen od zgradbe plošče in od njene gostote (slika 22). Do večjega debelinskega nabreka pride zaradi deformacije celičnih sten pri doseganju velikih gostot in izgube lepilnih vezi med lepilom in iverjem ter napetosti v ploščah (Zupančič, 2010).

Največji debelinski nabrek je imela plošča C, najmanjšega pa plošča A. Vzrok nabreka pri plošči C je velika gostota plošče oziroma srednjega sloja. Sklepamo, da je do tega prišlo tudi zaradi slabše prepletenosti in zlepljenosti med gradniki. Vzrok je tudi slabša oblepljenost vlaken z lepilom in s tem manjša hidrofobnost vlaken. Vzrok za najmanjši nabrek pri plošči A je najnižja gostota med ploščami, dobra lepilna vez med sloji in oblepljenost iveri, ki so bolj hidrofobne. Plošče C, B in D z deležem vlaken imajo večjo gostoto in posledično vsebujejo veliko večje napetosti v plošči kot plošča A. Pri potapljanju v vodo se v ploščah sprostijo napetosti, pri katerih nastanejo prazni prostori v plošči, te pa zapolni voda. Iz grafa je razvidno, da je imela plošča C največji debelinski nabrek. Glede na največji nabrek sklepamo, da so bile napetosti v srednjem sloju velike.



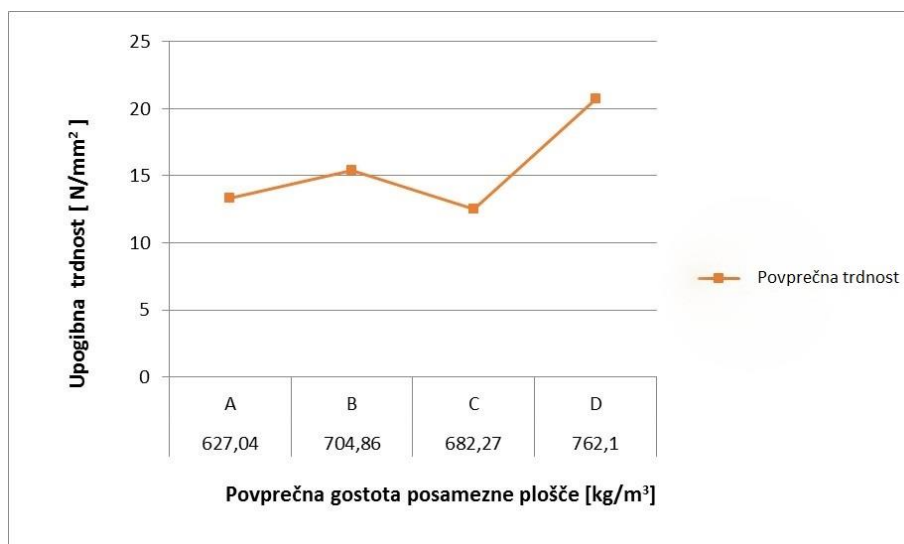
Slika 22: Debelinski nabrek v odvisnosti od gostote

Vpliv dodatka vlaken in s tem povezano spremembo gostote v povezavi z debelinskim nabrekom lahko ugotovimo, če primerjamo debelinski nabrek in spremembo mase zaradi vpijanja vode (slika 23).

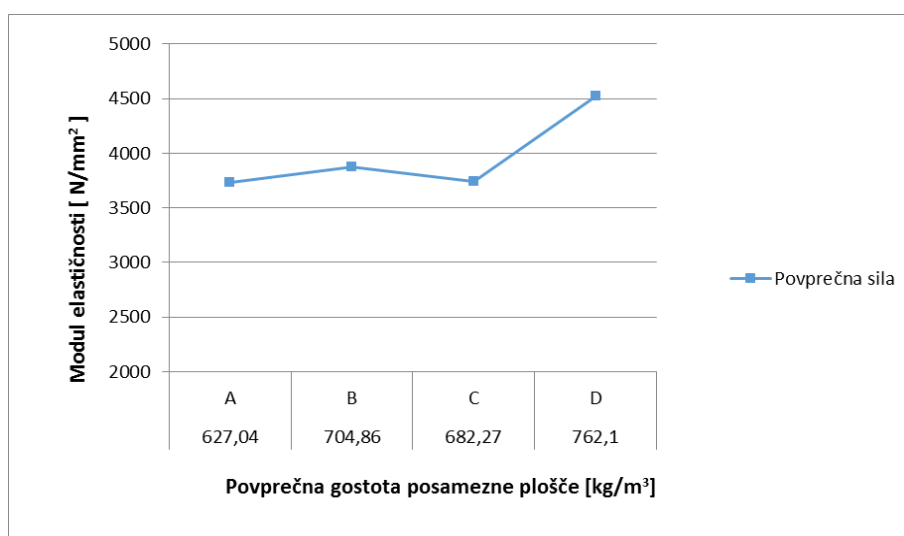


Slika 23: Graf prikazuje debelinski nabrek v odvisnosti od vpijanja vode

Upogibna trdnost in modul elastičnosti sta odvisna od dodatka vlaken, še posebej pa od sloja, ki smo mu dodali vlakna (slika 24, slika 25).



Slika 24: Odvisnost upogibne trdnosti od gostote



Slika 25: Odvisnost modula elastičnosti od gostote

Pri plošči C, kjer smo dodali vlakna izključno v srednji sloj, vidimo najmanjšo upogibno trdnost. Pozitiven vpliv vlaken na upogibno trdnost in modul lahko ugotovimo v primeru dodatka vlaken v zunanji sloj (plošča B in D). Vzrok za boljšo upogibno trdnost plošče B je velik delež vlaken v zunanjem sloju. S tem se zelo poveča gostota zunanjega sloja in prepletenost iver in vlaken med seboj. Plošča D je imela daleč najboljšo upogibno trdnost.

Vsebovala je delež vlaken v obeh slojih, zaradi katerih je dosegla največjo gostoto, kar pa vpliva na upogibno trdnost. Vlakna so pripomogla k boljši prepletenosti iveri v zunanjem in srednjem sloju, posledično pa so tudi sloji med seboj dobro prepleteni. Plošča D je imela v celoti bolj homogeno zgradbo kot plošča A, pri kateri je bila razlika med sloji manjša. Elastični modul je premo sorazmeren z upogibno trdnostjo, kar je razvidno iz grafov.

V preglednici (preglednica 25) so predstavljene najboljše in najslabše lastnosti trislojnih plošč. Kot lahko vidimo so se večini lastnosti izboljšale, razen v primeru debelinskega nabreka je plošča A (brez dodatka vlaken) imela najboljši rezultat.

Preglednica 25: Prikazane so povprečne vrednosti najboljših in najslabših izmerjenih rezultatov

	Najboljši rezultat	Najslabši rezultat
Gostota [kg/m³]	Plošča D 762,10	Plošča A 627,04
Debelinski nabrek G_t [%]	Plošča A 12,26	Plošča C 16,29
Masa (absorpcija vode) G_m [%]	Plošča D 57,257	Plošča A 75,547
Upogibna trdnost [N/mm²]	Plošča D 20,74	Plošča C 12,554
Modul elastičnosti [N/mm²]	Plošča D 4528	Plošča A 3730

5.2 SKLEPI

Ugotovili smo, da:

- z dodajanjem vlaken povečamo gostoto in debelino ivernih plošč;
- imajo preizkušanci z večjim deležem vlaken in višjo gostoto večji debelinski nabrek;
- je sprememba mase po 24-urnem namakanju najbolj vidna pri preizkušancih brez dodatka vlaken;
- dodatek vlaken izboljša upogibno trdnost plošč, še posebej, če so vlakna dodana iverem zunanjega sloja;
- imajo plošče z večjo količino vlaken in večjo gostoto večji modul elastičnosti.

6 POVZETEK

V diplomskem projektu nas je zanimal vpliv lesnih vlaken na lastnosti iverne plošče, kot so debelina, gostota, debelinski nabrek, vpijanje vode, upogibna trdnost in modul elastičnosti.

V laboratorijskih pogojih smo izdelali enoslojne plošče, izdelane iz finih iveri z oznako A1, A2 in A3 in grobih iveri z oznako B1, B2 in B3. Ploščam smo dodali delež vlaken, in sicer v prvo ploščo 0 %, drugo ploščo 17 % in v tretjo ploščo 41 %. Plošče smo po končanem stiskanju kondicionirali pri normalnih klimatskih pogojih. Preizkušancem smo izmerili debelino in jim izračunali gostoto ter vlažnost. Meritve smo opravili po standardu SIST EN 323 in SIST EN 322. Po končanih meritvah smo pričeli z meritvami debelinskega nabreka in vpijanja vode. Preizkušance smo za 24 ur potopili v vodo. Meritve smo opravili po standardu SIST EN 317. Ugotovili smo, da na debelinski nabrek in vpijanje vode vpliva delež vlaken in da se z deležem vlaken večja debelinski nabrek.

Teste preizkušancev na upogibno trdnost in modul elastičnosti smo opravili na stroju Zwick Z100. Preizkuse smo izvajali na tritočkovnem upogibu. Meritve smo opravili po standardu SIST EN 310. Čas loma plošče je bil 60 ± 10 s oziroma do končnega loma preizkušanca. Ugotovili smo, da pri ploščah iz fine iveri upogibna trdnost z dodajanjem vlaken narašča do določene točke, nato pa začne padati. Pri ploščah iz grobe iveri pa z dodajanjem vlaken upogibna trdnost pada.

Trislojne plošče smo prav tako izdelali v laboratorijskih pogojih in jih po končanem stiskanju kondicionirali. Delež vlaken v ploščah je bil 0 %, 17 % in 41 %. Plošče smo označili z oznako A, B, C in D. Plošča A je bila kontrolna plošča in ni vsebovala vlaken. Plošča B je vsebovala vlakna samo v zunanjem sloju. Plošča C je vsebovala vlakna samo v srednjem sloju, plošča D pa je vsebovala vlakna v zunanjem in srednjem sloju. Meritve plošč smo izvajali po enakem postopku kot pri enoslojnih ploščah. Ugotovili smo, da se debelina plošč z dodajanjem vlaken povečuje. Na debelino vpliva količina vlaken in sprostitevni efekt pri kondicioniranju plošč. Pri meritvah debelinskega nabreka in vpijanja vode smo ugotovili, da se z dodajanjem vlaken večja debelinski nabrek. Pri meritvah

vpijanja vode v ploščo smo ugotovili, da je plošča brez deleža vlaken imela največji delež vpijanja vode, plošča z vlakni v obeh slojih pa je imela najmanjši delež vpijanja vode.

Meritve upogibne trdnosti in modula elastičnosti smo prav tako opravili na stroju Zwick Z100 na tritočkovnem upogibu. Ugotovili smo, da se ploščam z dodajanjem vlaken povečuje upogibna trdnost in elastični modul. Izjema je le plošča C, pri kateri je upogibna trdnost v primerjavi s ploščo A padla.

7 VIRI

Čermak M. 1996. Furnirji in plošče. 3. natis. Ljubljana, Lesarska založba: 204 str.

Lesna - TIP

<http://www.lesna-tip.si/proizvodni-program/surove-iverne-plosce-ekonip.html>

(5.9.2016)

Maloney M. T. 1977. Modern particleboard & dry-process fibreboard. San Francisco, Miller Freeman publications inc: 672 str.

Medved S. 2000. Določanje velikosti lesnih iveri. Les, 52:97-102

Medved S., Resnik J. 2003. Influence of beech particle size used in surface layer in bending strength of three-layer particleboard. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 72:197-207

Medved S. 2016. Študijski gradivo za laboratorijske vaje pri predmetu Vlaknati in iverni ploščni kompoziti. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.

[http://les.bf.uni-lj.si/e-pouk/pluginfile.php/12905/mod_resource/content/0/](http://les.bf.uni-lj.si/e-pouk/pluginfile.php/12905/mod_resource/content/0/Laboratorijske%20vaje%207.pdf)

Laboratorijske%20vaje%207.pdf (20.6.2016)

SIST EN 323: 1993 Lesene plošče – Ugotavljanje gostote.

SIST EN 322: 1993 Lesene plošče – Ugotavljanje vlažnosti.

SIST EN 317: 1993 Iverne in vlaknene plošče – Ugotavljanje debelinskega nabreka po potapljanju v vodi.

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

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 mentorju izr. prof. dr. Sergeju Medvedu za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge in recenzentu red. prof. dr. Milanu Šerneku za recenzijo naloge.

Za pomoč pri izdelavi ivernih plošč in izvajanju testiranj preizkušancev se zahvaljujem gospodu Janezu Renku.

Zahvaljujem se tudi družini in bližnjim, ki so mi stali ob strani in me pri pisanju diplomske naloge podpirali.

PRILOGE

1. Rezultati gostote, debeline in vlažnosti enoslojne plošče

Opomba: Z – Zunanji sloj, S – Srednji sloj

	m [g]	l [mm]	w [mm]	t [mm]	ρ [g/cm ³]	mH [g]	mo [g]	H [%]
Z11	9,259	50,22	50,13	3,68	999,41	9,259	8,724	6,133
Z12	9,951	50,02	50,15	3,68	1077,96	9,951	9,39	5,974
Z13	8,585	50,11	50,19	3,58	953,49	8,585	8,092	6,092
Z14	10,195	50,15	50,16	3,74	1083,65	10,195	9,605	6,143
Z15	10,801	50,19	50,1	3,86	1112,81	10,801	10,197	5,923
Z16	10,713	50,2	50,13	3,85	1105,73	10,713	10,12	5,860

	m [g]	l [mm]	w [mm]	t [mm]	ρ [g/cm ³]	mH [g]	mo [g]	H [%]
Z21	10,159	50,02	49,66	4,45	919,05	10,159	9,542	6,466
Z22	10,82	49,62	50,09	4,46	976,08	10,82	9,471	/
Z23	10,325	50,08	49,62	4,42	940,04	10,325	9,715	6,279
Z24	10,76	50,17	49,66	4,17	1035,68	10,76	10,143	6,083
Z25	10,757	49,64	49,63	4,54	961,74	10,757	10,131	6,179
Z26	10,374	50	49,44	4,35	964,74	10,374	9,751	6,389

	m [g]	l [mm]	w [mm]	t [mm]	ρ [g/cm ³]	mH [g]	mo [g]	H [%]
Z31	10,88	49,6	49,51	5,34	829,68	10,88	10,221	6,448
Z32	11,93	49,6	49,56	5,09	953,48	11,93	11,231	6,224
Z33	11,962	49,59	49,49	5,13	950,11	11,962	11,266	6,178
Z34	11,883	49,6	49,55	5,15	938,84	11,883	11,194	6,155
Z35	11,95	49,53	49,48	5,1	956,09	11,95	11,26	6,128
Z36	12,04	49,61	49,48	5,13	956,12	12,04	11,343	6,145

SREDNJI SLOJ

	m [g]	l [mm]	w [mm]	t [mm]	ρ [g/cm ³]	mH [g]	mo [g]	H [%]
S11	15,149	49,56	49,47	7,84	788,12	15,149	14,109	7,371
S12	14,441	49,6	49,53	7,95	739,40	14,441	13,448	7,384
S13	15,321	49,53	49,5	7,81	800,13	15,321	14,298	7,155
S14	15,818	49,59	49,51	8,01	804,33	15,818	14,779	7,030
S15	16,25	49,52	49,48	7,99	830,03	16,25	15,224	6,739
S16	16,209	49,54	49,49	7,87	840,06	16,209	15,21	6,568

	m [g]	l [mm]	w [mm]	t [mm]	ρ [g/cm ³]	mH [g]	mo [g]	H [%]
S21	16,601	49,47	49,37	8,88	765,45	16,601	15,521	6,958
S22	20,065	49,43	49,4	8,69	945,59	20,065	18,837	6,519
S23	20,388	49,47	49,37	8,71	958,41	20,388	19,166	6,376
S24	18,205	49,47	49,37	8,8	847,04	18,205	17,079	6,593
S25	19,193	49,42	49,4	9,08	865,82	19,193	17,937	7,002
S26	18,499	49,44	49,36	9,16	827,56	18,499	17,268	7,129

	m [g]	l [mm]	w [mm]	t [mm]	ρ [g/cm ³]	mH [g]	mo [g]	H [%]
S31	23,008	49,55	49,13	11,11	850,70	23,008	21,562	6,706
S32	25,74	49,5	49,08	10,8	981,01	25,74	24,165	6,518
S33	21,415	49,55	49,03	11,03	799,17	21,415	20,032	6,904
S34	24,703	49,51	49,02	10,85	938,11	24,703	23,171	6,612
S35	24,858	49,51	49,06	11	930,36	24,858	23,309	6,646
S36	22,216	49,52	49,12	11,19	816,20	22,216	20,788	6,869

2. Rezultati debelinskega nabreka enoslojne plošče

	t ₀	t ₁₀	t ₂₀	t ₃₀	t ₄₅	t ₆₀	t _{24h}
ZN11	3,53	4,2	4,47	4,57	4,57	4,59	4,69
ZN12	3,71	4,46	4,62	4,67	4,74	4,77	4,87
ZN13	3,86	4,28	4,33	4,44	4,96	5,01	5,44
ZN14	3,6	3,9	4,25	4,49	4,55	4,58	4,95
ZN15	3,52	4,33	4,42	4,46	4,53	4,57	4,64
ZN16	3,56	4,33	4,59	4,61	4,62	4,63	4,78
ZN17	3,61	4,43	4,55	4,61	4,61	4,63	4,75
ZN18	3,77	4,47	4,69	4,85	4,86	4,88	5,05

	t ₀	t ₁₀	t ₂₀	t ₃₀	t ₄₅	t ₆₀	t _{24h}
ZN21	4,24	5,25	5,59	5,69	5,82	5,87	6,15
ZN22	4,29	5,57	5,83	5,91	5,97	6,01	6,14
ZN23	4,32	5,4	5,67	6,73	5,74	5,78	5,96
ZN24	4,43	6,12	6,45	6,54	6,67	6,71	6,91
ZN25	4,46	5,99	6,38	6,46	6,52	6,57	6,79
ZN26	4,54	5,94	6,36	6,5	6,53	6,55	6,82
ZN27	4,39	5,85	6,3	6,47	6,52	6,54	6,95
ZN28	4,27	5,43	5,55	5,67	5,71	5,76	5,85

	t ₀	t ₁₀	t ₂₀	t ₃₀	t ₄₅	t ₆₀	t _{24h}
ZN31	5,6	8,2	8,5	8,81	8,87	8,91	9,5
ZN32	5,36	4,5	7,85	7,9	7,92	7,98	8,15
ZN33	5,42	7,9	7,06	7,94	8,4	8,49	8,65
ZN34	5,36	7,42	7,6	7,66	7,75	7,82	8,15
ZN35	5,22	6,71	6,93	6,98	6,02	6,11	7,2
ZN36	5,34	7,2	7,47	7,56	7,62	7,7	7,9
ZN37	5,56	8,18	8,39	8,66	8,72	8,78	9,3
ZN38	5,75	8,25	8,41	8,65	8,74	8,81	9,22

	t ₀	t ₁₀	t ₂₀	t ₃₀	t ₄₅	t ₆₀	t _{24h}
SN11	7,92	9,3	9,66	9,95	10,5	10,61	11,36
SN12	7,85	9,51	9,73	9,65	10,47	10,61	10,92
SN13	7,91	9,32	9,55	9,77	10,52	10,58	11,22
SN14	7,75	9,63	9,7	9,95	11,1	11,55	11,95
SN15	7,75	9,31	10,2	10,4	10,9	11,21	11,89
SN16	7,81	9,17	10,05	10,45	10,56	10,62	11,27
SN17	7,79	9,65	10,11	10,41	10,51	10,88	11,65
SN18	7,81	10,25	10,57	10,67	11,01	11,12	10,29

	t ₀	t ₁₀	t ₂₀	t ₃₀	t ₄₅	t ₆₀	t _{24h}
SN21	8,84	12,14	12,2	12,3	12,46	12,55	13
SN22	9,14	12,35	12,48	12,65	13,01	13,14	14,2
SN23	9,01	12,15	12,55	12,98	13,24	13,42	14,1
SN24	9,19	12,38	12,42	12,71	13,14	13,25	13,9
SN25	8,94	11,78	11,85	12,75	13,05	13,21	13,9
SN26	8,76	11,57	11,68	12,75	13,15	13,3	14,1
SN27	8,85	11,84	11,96	12,72	12,85	12,98	13,65
SN28	8,75	12,45	12,85	13,49	13,56	13,64	14,54

	t ₀	t ₁₀	t ₂₀	t ₃₀	t ₄₅	t ₆₀	t _{24h}
SN31	11,2	16,41	17,39	17,55	17,86	17,97	18,85
SN32	10,96	16	17,1	17,48	17,85	17,91	18,94
SN33	11,34	16,75	17,39	17,7	18,15	18,34	18,85
SN34	11,07	16,35	16,65	16,77	16,98	17,11	18,1
SN35	10,95	16,3	16,97	17,38	17,74	17,88	18,98
SN36	11,3	16,81	17,32	17,51	17,8	17,97	18,75
SN37	11,37	16,92	17,41	17,7	17,74	17,79	18,77
SN38	11,03	15,95	16,38	16,9	16,91	16,95	18

3. Rezultati vpijanja vode enoslojne plošče

	m0	m10	m20	m30	m45	m60	m24h
ZN11	8,156	10,802	12,109	12,502	12,699	12,855	13,603
ZN12	8,778	12,05	12,969	13,206	13,32	13,385	14,105
ZN13	11,3	13,186	14,199	14,997	15,573	15,866	16,751
ZN14	10,15	11,811	12,754	13,361	13,93	14,22	15,216
ZN15	8,248	11,56	12,49	12,578	12,646	12,956	13,482
ZN16	9,47	12,018	13,136	13,353	13,486	13,734	14,235
ZN17	8,456	11,93	12,832	12,887	12,951	13,116	13,764
ZN18	10,76	12,87	13,767	14,406	14,836	14,986	15,768

	m0	m10	m20	m30	m45	m60	m24h
ZN21	10,62	14,531	16,03	16,459	16,902	17,21	17,928
ZN22	10,07	15,178	16,121	16,556	16,832	17,052	17,825
ZN23	10,63	14,42	15,866	16,285	16,606	16,778	17,61
ZN24	10,356	15,637	17,54	18,075	18,468	18,663	19,971
ZN25	10,778	15,4	17,125	17,846	18,242	18,468	19,659
ZN26	10,38	15,99	17,32	17,844	18,111	18,31	19,55
ZN27	10,9	15,2	16,861	17,665	18,104	18,281	19,604
ZN28	10,436	14,73	15,836	16,227	16,614	16,871	17,573

	m0	m10	m20	m30	m45	m60	m24h
ZN31	14,459	21,79	24	24,741	25,34	25,72	27,139
ZN32	10,935	21,15	22	22,554	22,811	22,9	24,43
ZN33	11,193	21,084	21,742	22,205	22,454	22,653	23,899
ZN34	10,785	20,929	21,698	22,229	22,515	22,81	24,148
ZN35	13,23	18,95	19,858	20,287	20,486	20,3369	21,401
ZN36	13,695	20,68	21,797	22,319	22,633	22,836	24,064
ZN37	13,788	22,396	23,817	24,42	24,844	25,026	26,84
ZN38	13,08	22,77	23,846	24,358	24,62	24,887	26,45

	m0	m10	m20	m30	m45	m60	m24h
SN11	15,187	19,822	23,2	24,489	25,506	25,876	27,556
SN12	14,663	19,95	23,273	24,569	25,126	25,527	27,302
SN13	14,06	19,499	22,978	24,16	24,563	24,871	26,886
SN14	15,736	21,408	24,619	26,058	26,486	26,731	29,349
SN15	15,623	20,665	23,918	25,625	26,098	26,553	28,707
SN16	15,273	21,362	24,536	25,588	25,888	26,066	28,558
SN17	15,774	20,588	23,955	25,544	25,94	26,21	28,809
SN18	15,285	20,81	23,959	25,477	25,498	25,747	28,087

	m0	m10	m20	m30	m45	m60	m24h
SN21	16,251	27,307	29,864	30,738	32,519	31,999	33,903
SN22	18,17	28,71	31,136	32,566	33,165	33,361	35,865
SN23	19,92	28,89	32,081	33,654	34,282	34,582	37,405
SN24	18,035	28,482	30,774	32,139	32,393	32,666	35,235
SN25	18,966	28,52	31,256	32,929	33,224	33,76	36,412
SN26	20,706	28,202	32,093	34,076	34,612	34,987	38,428
SN27	17,955	27,803	30,618	32,097	32,127	32,437	35,15
SN28	18,978	29,031	32,36	34,219	34,256	34,562	37,87

	m0	m10	m20	m30	m45	m60	m24h
SN31	22,198	39,972	43,776	45,056	46,374	46,501	49,69
SN32	25,148	40,136	45,014	46,512	48,181	48,388	52,892
SN33	19,923	40,412	43,589	44,713	45,43	45,8	49,508
SN34	19,923	40,029	43,42	44,157	44,648	44,891	48,643
SN35	23,668	40,345	44,53	45,73	46,602	46,94	51,554
SN36	21,895	40,375	44,134	45,07	45,576	45,823	50,51
SN37	20,42	40,603	44,118	44,954	45,228	45,621	49,778
SN38	22,839	39,378	42,918	44,059	44,627	45,617	48,908

4. Rezultati upogibne trdnosti enoslojne plošče

Specimen identifier	t	b	F max	F _m	E _m
	mm	mm	N	N/mm ²	N/mm ²
Z11	3,48	50,17	67,8	16,6	3310
Z12	3,49	50,13	71	17,4	3150
Z13	3,52	50,17			
Z14	3,66	50,03	72,2	16,2	2930
Z15	3,85	50,06	55,5	11,2	1820
Z16	3,79	50,06	66	13,8	1920
Z21	4,19	50,16	107	18,3	3550
Z22	4,08	50,09	110	19,7	3700
Z23	4,19	50,16	126	21,4	4100
Z24	4,28	49,8	111	18,2	2790
Z25	4,5	49,93	122	18,1	2700
Z26	4,32	49,9	108	17,4	2900
Z31	5,05	49,54	134	15,9	2900
Z32	5,1	49,21	144	16,8	3050
Z33	5,1	49,54	125	14,6	2750
Z34	5,26	49,4	211	23,1	3750
Z35	5,55	49,46	177	17,4	2280
Z36	5,16	49,42	126	14,3	3290
S11	7,87	49,41	376	22,9	3070
S12	7,73	49,45	439	26,7	3190
S13	7,87	49,3	317	18,7	2640
S14	7,71	49,51	381	23,3	3090
S15	7,97	49,25	297	17,1	2480
S16	8,87	49,26	322	19,5	2790
S21	8,87	49,25	204	14,2	2900
S22	9,18	49,52	245	15,9	2730
S23	8,8	49,2	213	15,1	2530
S24	8,76	49,36	234	16,7	2730
S25	8,75	49,43	276	19,7	3290
S26	8,96	49,25	267	18,3	2280
S31	11,01	49,41	180	9,94	1920
S32	10,81	49,46	82,2	4,4	586
S33	11,16	49,42	148	7,93	1330
S34	10,92	49	221	12,5	2010
S35	11,05	49,14	162	8,89	1240
S36	10,88	49,62	222	12,5	2120

5. Rezultati gostote, debeline in vlažnosti trislojne plošče

Opomba: P1 – plošča 1, P2 – plošča 2, P3 – plošča 3, P4 – plošča 4

	m [g]	l [mm]	w [mm]	t [mm]	ρ [kg/m ³]	mH [g]	mo [g]	H [%]
P11	27,954	49,92	49,92	17,1	655,99	27,954	25,46	9,80
P12	26,985	49,89	50,42	17,14	625,89	26,985	24,628	9,57
P13	25,67	50,04	50,45	17,36	585,73	25,67	23,333	10,02
P14	27,089	50,01	50,49	17,41	616,21	27,089	24,593	10,15
P15	27,174	49,92	50,51	16,91	637,32	27,174	24,805	9,55
P16	27,566	50,08	50,18	17,11	641,10	27,566	25,103	9,81

	m [g]	l [mm]	w [mm]	t [mm]	ρ [kg/m ³]	mH [g]	mo [g]	H [%]
P21	30,274	50,27	50,36	17,21	694,86	30,274	27,588	9,74
P22	30,437	50,28	50,57	17,51	683,64	30,437	27,644	10,10
P23	31,87	50,24	50,45	17,32	725,98	31,87	28,971	10,01
P24	30,018	50,44	50,2	17,32	684,47	30,018	28,288	6,12
P25	31,323	50,35	50,45	17,45	706,65	31,323	28,523	9,82
P26	32,377	50,02	50,45	17,49	733,57	32,377	29,34	10,35

	m [g]	l [mm]	w [mm]	t [mm]	ρ [kg/m ³]	mH [g]	mo [g]	H [%]
P31	29,852	50,2	49,83	17,43	684,67	29,852	27,201	9,746
P32	31,213	50,13	50,33	17,55	704,91	31,213	28,39	9,944
P33	31,738	49,93	50,13	17,73	715,17	31,738	28,851	10,007
P34	28,924	50,16	49,93	17,5	659,94	28,924	26,425	9,457
P35	27,922	50,14	50	17,24	646,03	27,922	25,543	9,314
P36	29,514	49,94	50,17	17,25	682,88	29,514	26,948	9,522

	m [g]	l [mm]	w [mm]	t [mm]	ρ [kg/m ³]	mH [g]	mo [g]	H [%]
P41	34,971	49,95	49,85	18,12	775,08	34,971	31,688	10,36
P42	35,561	49,86	49,85	18,07	791,77	35,561	32,114	10,73
P43	34,826	49,72	49,94	18,12	774,04	34,826	31,553	10,37
P44	35,31	49,83	49,91	18,03	787,45	35,31	31,88	10,76
P45	33,561	49,94	49,97	18,2	738,93	33,561	30,402	10,39
P46	32,229	49,87	49,88	18,37	705,30	32,229	29,405	9,60

6. Rezultati debelinskega nabreka trisojne plošče

	t0	t10	t20	t30	t45	t60	t24h
P11	17,24	17,51	17,93	18,43	18,85	18,95	19,49
P12	17,05	17,39	17,7	18,14	18,51	18,67	19,06
P13	17,23	17,51	17,94	18,46	18,8	18,87	19,33
P14	17,16	17,51	18,06	18,46	18,65	18,73	19,06
P15	17,43	17,69	18,13	18,56	18,91	19,16	19,74
P16	17,08	17,46	18,01	18,52	18,68	18,79	19,17
P17	17,24	17,5	17,94	18,5	18,76	18,86	19,27
P18	17,08	17,46	18,02	18,47	18,71	18,82	19,25
Povp.	17,189	17,504	17,966	18,443	18,734	18,856	19,296

	t0	t10	t20	t30	t45	t60	t24h
P21	17,44	18,17	18,81	19,19	19,57	19,7	20,33
P22	17,29	17,83	18,81	18,88	19,16	19,34	19,96
P23	17,34	17,69	18,1	18,53	19,02	19,16	19,94
P24	17,36	17,75	18,2	18,59	19	19,25	20,3
P25	17,3	17,85	18,25	18,62	18,96	19,15	19,91
P26	17,41	17,85	18,37	18,78	19,01	19,31	20,11
P27	17,22	17,64	18,15	18,51	18,7	18,87	19,75
P28	17,38	17,77	18,25	18,65	18,94	19,13	20,04
Povp.	17,343	17,819	18,368	18,719	19,045	19,239	20,043

	t0	t10	t20	t30	t45	t60	t24h
P31	17,43	17,78	18	18,29	18,65	18,94	20,8
P32	17,19	17,55	17,78	17,99	18,25	18,55	20,45
P33	17,6	17,94	18,23	18,37	18,71	19,02	20,06
P34	17,35	17,77	18,1	18,47	18,77	19,1	20,07
P35	17,42	17,9	18,29	18,58	18,92	19,08	19,98
P36	17,4	17,95	18,43	18,84	19,16	18,3	19,9
P37	17,15	17,39	17,56	17,86	18,05	18,33	20,24
P38	17,44	17,82	18,03	18,28	18,7	19,09	20,11
Povp.	17,373	17,763	18,053	18,335	18,651	18,801	20,201

	t0	t10	t20	t30	t45	t60	t24h
P41	18,23	18,71	18,95	19,13	19,37	19,53	21,34
P42	18,02	18,5	18,7	18,87	19,08	19,21	20,7
P43	18,14	18,63	18,85	19,06	19,16	19,39	20,51
P44	18,17	18,71	18,93	19,16	19,34	19,51	20,95
P45	18,02	18,62	18,88	19,1	19,24	19,52	20,54
P46	18,3	18,85	19,11	19,4	19,48	19,64	21,42
P47	18,18	18,68	18,84	19,01	19,18	19,34	20,86
P48	18,06	18,63	18,9	19,04	19,19	19,38	20,9
Povp.	18,140	18,666	18,895	19,096	19,255	19,440	20,903

7. Rezultati vpivanja vode trislojne plošče

	m0	m10	m20	m30	m45	m60	m24h
P11	27,842	33,644	38,141	41,677	44,282	45,484	48,753
P12	28,67	34,056	38,139	41,316	43,836	45,269	48,991
P13	27,828	34,266	38,166	42,623	44,817	45,747	48,538
P14	25,485	33,06	38,612	41,388	43,303	43,972	46,473
P15	28,967	35,177	39,696	42,49	44,842	45,879	49,638
P16	26,125	33,289	38,309	41,279	43,146	43,899	46,793
P17	27,203	33,241	38,095	41,508	43,761	44,67	47,682
P18	26,994	33,817	38,798	41,501	43,474	44,339	47,471
Povp.	27,389	33,819	38,495	41,723	43,933	44,907	48,042

	m0	m10	m20	m30	m45	m60	m24h
P21	28,265	36,355	41,537	44,267	45,985	47,516	51,353
P22	28,361	35,434	40,308	43,242	45,444	46,606	50,479
P23	29,868	35,604	39,644	42,448	45,106	46,632	51,422
P24	31,598	37,479	41,408	43,622	45,838	47,046	52,924
P25	30,846	37,592	41,495	43,632	45,88	47,08	52,361
P26	29,782	36,2	40,492	42,639	44,851	46,173	51,562
P27	30,884	36,618	40,578	42,891	44,001	46,286	51,657
P28	30,851	36,557	40,826	42,974	45,214	46,595	52,295
Povp.	30,057	36,480	40,786	43,214	45,290	46,742	51,757

	m0	m10	m20	m30	m45	m60	m24h
P31	28,819	33,524	36,345	38,677	40,933	42,552	49,715
P32	29,21	33,68	36,227	38,032	39,84	41,463	48,898
P33	29,763	34,222	37,037	39,015	41,142	42,78	49,98
P34	29,943	34,439	37,351	39,64	41,003	43,757	49,827
P35	28,491	33,876	37,071	39,262	41,151	42,428	48,412
P36	25,732	32,209	36,076	38,179	40,237	41,442	46,441
P37	28,902	33,148	35,664	37,374	39,403	40,896	48,078
P38	28,635	33,2	36,037	38,088	40,662	42,316	49,169
Povp.	28,687	33,537	36,476	38,533	40,546	42,204	48,815

	m0	m10	m20	m30	m45	m60	m24h
P41	34,517	38,711	40,858	42,643	44,376	45,536	54,671
P42	34,529	38,763	40,804	42,281	43,725	44,768	53,697
P43	34,345	38,6	40,512	41,948	43,669	44,838	54,725
P44	35,383	39,882	42,283	43,762	45,345	46,425	54,786
P45	34,544	39,289	41,876	43,633	45,274	46,311	54,201
P46	34,93	39,734	41,786	43,127	44,701	45,859	55,33
P47	35,612	40,159	41,898	43,095	44,729	45,768	54,811
P48	34,238	38,966	40,996	42,263	43,881	44,938	55,041
Povp.	34,762	39,263	41,377	42,844	44,463	45,555	54,658

8. Rezultati upogibne trdnosti trislojne plošče

	E_m	F_{loma}	f_m	l	t	b
Preizkušanec	N/mm ²	N	N/mm ²	mm	mm	mm
P11	3510	299	12,2	400	17,17	49,88
P12	4170	389	15,9	400	17,14	49,88
P13	3520	249	9,91	400	17,4	49,88
P14	4270	423	17,3	400	17,14	49,93
P15	3180	274	11,2	400	17,14	49,82
P21	3610	352	13,9	400	17,32	50,51
P22	2940	283	11,2	400	17,41	50,32
P23	4560	455	17,9	400	17,41	50,35
P24	4910	544	21,6	400	17,3	50,4
P25	3350	310	12,3	400	17,34	50,33
P31	3550	320	12,3	400	17,65	50,22
P32	4230	376	15,2	400	17,19	50,2
P33	2740	189	7,57	400	17,31	50,1
P34	4380	376	15	400	17,31	50,14
P35	3820	313	12,7	400	17,25	49,82
P41	3360	390	14,2	400	18,22	49,72
P42	4910	659	23,6	400	18,36	49,72
P43	4830	646	23,9	400	18,07	49,69
P44	4540	475	17	400	18,33	49,81
P45	5000	698	25	400	18,33	49,79

