

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Aleš VELKAVRH

**IZBOLJŠANJE LASTNOSTI IVERNICH PLOŠČ  
Z DODAJANJEM NARAVNIH  
IN SINTETIČNIH VLAKEN**

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2013

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Aleš VELKAVRH

**IZBOLJŠANJE LASTNOSTI IVERNIH PLOŠČ  
Z DODAJANJEM NARAVNIH IN SINTETIČNIH VLAKEN**

DIPLOMSKI PROJEKT  
Univerzitetni študij – 1. stopnja

**IMPROVING THE PROPERTIES OF PARTICLEBOARD  
BY ADDING NATURAL AND SYNTHETIC FIBRES**

B. Sc THESIS  
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2013

Diplomski projekt je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva – 1. stopnja. Opravljen je bil na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bile opravljene laboratorijske analize v laboratoriju za preizkušanje lesnih kompozitov.

Senat Oddelka za lesarstvo BF je dne 18. 11. 2010 sprejel temo in za mentorja diplomskega projekta imenoval doc. dr. Sergeja Medveda, za recenzenta pa prof. dr. Milana Šerneka.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomski projekt je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Aleš Velkavrh

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du1
DK	UDK 630*862.2
KG	lesne plošče/iverne plošče/furnir/mehanske lastnosti
AV	VELKAVRH, Aleš
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	2013
IN	IZBOLJŠANJE LASTNOSTI IVERNIH PLOŠČ Z DODAJANJEM NARAVNIH IN SINTETIČNIH VLAKEN
TD	Diplomski projekt (Univerzitetni študij – 1. stopnja)
OP	X, 39 str., 19 pregl., 23 sl., 4 pril., 24 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Raziskovali smo vpliv dodajanja različnih materialov v 3-slojno iverno ploščo. Izdelali smo več različnih kombinacij okrepljenih plošč. Kot okrepitveni material smo uporabili: furnir, slamo, juto in PVC mrežo. Izdelanim ploščam smo določili upogibno trdnost, modul elastičnosti in gostoto. Pri izvajanju meritev smo upoštevali pravila standardov SIST EN 310 in SIST EN 323. S primerjavo osnovne plošče in plošče z dodanim okrepitvenim materialom smo ovrednotili vpliv dodanega materiala. Pridobljene vrednosti smo primerjali še s predpisanimi vrednostmi za OSB plošče po standardu EN 300. Po naših ugotovitvah je najvišje vrednosti dosegla plošča okrepljena s furnirjem na površini. Postavitev furnirja na mejo slojev ali v sredico mehanskih lastnosti plošč ne spremeni tako izrazito. Potenciala mrežnih materialov nismo uspeli izkoristiti v celoti. Sestavljeni so iz več vlaknatih niti. Vlakna v niti med seboj niso trdno povezana, zato se obremenitev ne prenese na celoten presek.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du1  
DC UDC 630\*862.2  
CX wood-based panel/particle board/veneer/mechanical properties  
AU VELKAVRH, Aleš  
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 2013  
TI IMPROVING THE PROPERTIES OF PARTICLEBOARD  
BY ADDING NATURAL AND SYNTHETIC FIBRES  
DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)  
NO X, 39 p., 19 tab., 23 fig., 4 ann., 24 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB Effects of the addition of various materials to particleboard were investigated. Many different combinations of reinforced panels were produced. The materials used for reinforcement included: veneer, straw, jute and PVC net. The bending strength, modulus of elasticity and density of the fabricated panels were determined. The measurements were taken in accordance with the EN 310 and EN 323 standards. The reinforced panels were compared to the base panel to evaluate the impact of the additional material. The measurement values obtained were further compared for OSB according to EN 300. It was found that the best panel in terms of the determined properties was the one having the veneer on surface. Placement of the veneer in the board middle or between surface and core layer didn't effect properties significantly. It was not possible to fully exploit the potential of the netting. The netting consisted of several fibrous threads which were not strongly coupled so the load was not transferred to the cross-section.

## KAZALO

<b>KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA .....</b>	<b>III</b>
<b>KEY WORDS DOCUMENTATION .....</b>	<b>IV</b>
<b>KAZALO .....</b>	<b>V</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>	<b>VII</b>
<b>KAZALO SLIK .....</b>	<b>VIII</b>
<b>KAZALO PRILOG .....</b>	<b>IX</b>
<b>SLOVARČEK.....</b>	<b>X</b>
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA .....	1
1.2 DELOVNA HIPOTEZA .....	2
1.3 CILJ NALOGE.....	2
<b>2 PREGLED LITERATURE .....</b>	<b>3</b>
2.1 IVERNA PLOŠČA.....	3
2.2 OKREPITVE.....	4
2.3 LASTNOSTI OSB PLOŠČ .....	6
<b>3 MATERIALI IN METODE .....</b>	<b>7</b>
3.1 MATERIALI .....	7
3.1.1 Iverje .....	7
3.1.2 Lepilna mešanica .....	7
3.1.3 Industrijska iverna plošča.....	7
3.1.4 Okrepitveni materiali .....	7
3.2 METODE DELA.....	11
3.2.1 Mesto okrepitve.....	11
3.2.2 Proces izdelave .....	12
3.2.2.1 Priprava lepilne mešanice .....	12
3.2.2.2 Priprava okrepitvenih materialov.....	12
3.2.2.3 Oblepljanje.....	12
3.2.2.4 Izdelava iverne pogače.....	13
3.2.2.5 Stiskanje iverne pogače.....	20
3.2.3 Izdelava preizkušancev .....	20
3.2.3 Preizkušanje preizkušancev.....	21
<b>4 REZULTATI.....</b>	<b>23</b>
4.1 PLOŠČE BREZ OKREPITVE (SKUPINA A).....	24
4.1.1 Plošče A 1.....	24
4.1.1.1 Plošča A 1.1 .....	24
4.1.1.2 Plošča A 1.2 .....	24
4.1.1.3 Plošča A 1.3 .....	25
4.1.2 Plošče A 2.....	25
4.1.2.1 Plošča A 2.1 .....	25
4.1.2.2 Plošča A 2.2 .....	26
4.2 PLOŠČE Z OKREPITVIJO (SKUPINA B) .....	27
4.2.1 Plošča B 1.....	27
4.2.2 Plošča B 2.....	27
4.2.3 Plošča B 3.....	28

<b>4.2.4</b>	<b>Plošče B 4</b> .....	<b>29</b>
4.2.4.1	Plošča B 4.1 .....	29
4.2.4.2	Plošča B 4.2 .....	29
4.2.4.3	Plošča B 4.3 .....	30
4.3	INDUSTRIJSKE IVERNE PLOŠČE (SKUPINA C).....	32
<b>4.3.1</b>	<b>Plošča C 1</b> .....	<b>32</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Plošča C 2</b> .....	<b>32</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Plošča C 3</b> .....	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI</b> .....	<b>34</b>
5.1	RAZPRAVA .....	34
5.2	SKLEPI .....	37
<b>VIRI</b>	.....	<b>38</b>
<b>ZAHVALA</b>	.....	<b>40</b>
<b>PRILOGE</b>	.....	<b>41</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Lastnosti OSB plošč .....	6
Preglednica 2: Preglednica materialov potrebnih za izdelavo plošč .....	12
Preglednica 3: Parametri stiskanja laboratorijsko in industrijsko izdelanih plošč .....	20
Preglednica 4: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev .....	23
Preglednica 5: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev A 1.1 .....	24
Preglednica 6: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev A 1.2 .....	24
Preglednica 7: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev A 1.3 .....	25
Preglednica 8: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev A 2.1 .....	25
Preglednica 9: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev A 2.2 .....	26
Preglednica 10: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev B 1 .....	27
Preglednica 11: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev B 2 .....	28
Preglednica 12: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev B 3 (rumena).....	28
Preglednica 13: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev B 3 (bela).....	29
Preglednica 14: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev B 4.1 .....	29
Preglednica 15: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev B 4.2 .....	30
Preglednica 16: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev B 4.3 .....	30
Preglednica 17: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev C 1 .....	32
Preglednica 18: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev C 2 .....	33
Preglednica 19: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev C 3 .....	33



## KAZALO SLIK

Slika 1: Zložaj luščenega furnirja.....	9
Slika 2: Juta .....	9
Slika 3: Slama kot polnilo in izolacija.....	10
Slika 4: Mreža za armiranje stavbnih fasad.....	11
Slika 5: Shematski prikaz sestave plošče A 1.1 .....	14
Slika 6: Shematski prikaz sestave plošče A 1.2 .....	14
Slika 7: Shematski prikaz sestave plošče A 1.3 .....	15
Slika 8: Shematski prikaz sestave plošče A 2.1 .....	15
Slika 9: Shematski prikaz sestave plošče A 2.2 .....	16
Slika 10: Shematski prikaz sestave plošče B 1.....	16
Slika 11: Shematski prikaz sestave plošče B 2.....	16
Slika 12: Shematski prikaz sestave plošče B 3.....	17
Slika 13: Shematski prikaz sestave plošče B 4.1.....	17
Slika 14: Shematski prikaz sestave plošče B 4.2.....	18
Slika 15: Shematski prikaz sestave plošče B 4.3.....	18
Slika 16: Shematski prikaz sestave plošče C 1.....	19
Slika 17: Shematski prikaz sestave plošče C 2.....	19
Slika 18: Shematski prikaz sestave plošče C 3.....	19
Slika 19: Shema upogibnega preizkusa .....	22
Slika 20: Povezava med elastičnim modulom in upogibno trdnostjo plošč.....	34
Slika 21: Graf odvisnosti upogibne trdnosti od gostote .....	35
Slika 22: Vpliv sestave plošče na modul elastičnosti.....	36
Slika 23: Vpliv sestave plošče na upogibno trdnost.....	36

## **KAZALO PRILOG**

Priloga A: Osnovni podatki ivernih plošč

Priloga B: Rezultati meritev, izračunov za gostoto in upogibno obremenitev preskušancev skupine A

Priloga C: Rezultati meritev, izračunov za gostoto in upogibno obremenitev preskušancev skupine B

Priloga D: Rezultati meritev, izračunov za gostoto in upogibno obremenitev preskušancev skupine C

## SLOVARČEK

$a_1$	začetni povos [mm]
$a_2$	končni povos [mm]
$b$	širina preizkušanca [mm]
$d$	debelina preizkušanca [mm]
$E_m$	elastični modul [N/mm <sup>2</sup> ]
$F_1$	začetna sila elastičnega območja [N]
$F_2$	končna sila elastičnega območja [N]
$f_m$	upogibna trdnost [N/mm <sup>2</sup> ]
$F_{max}$	najvišja izmerjena sila [N]
$l_1$	razdalja med podpornima točkama [mm]
KV	koeficient variacije [%]
MDF	Medium-Density Fiberboard; slo.: vlaknene plošče srednje gostote
OSB	Oriented Strand Board; slo.: plošče z usmerjenim ploščatim iverjem
$p$	tlak [N/m <sup>2</sup> ]
PVC	Polyvinyl chloride; slo.: polivinilklorid
$t$	čas [s]
$T$	temperatura [°C]
Vitkost	faktor vitkosti; izrazito poudarjena ena dimenzija
$\rho$	gostota preizkušanca [kg/m <sup>3</sup> ]

## 1 UVOD

Les je naraven in obnovljiv material, ki ga človek s pridom izkorišča, saj ga ima vedno na doseg roke in v velikih količinah. Z rastjo populacije in tehnološkim razvojem potrebe po lesu naraščajo, še posebej je iskan les drevesnih vrst višje kakovosti. Sprva so ostanke pri obdelavi obravnavali kot odpadek, ki se ga je po večini uporabilo za kurjavo, vendar so zaradi povečanih potreb po lesu postali surovina za nove proizvode. Nove proizvode je omogočil tehnološki napredek z razvojem ustreznih lepil in tehnologij proizvodnje lesnih ploščnih kompozitov. Sprva se je lepil le masiven les, s časom pa so postajali gradniki vse manjši. Danes poznamo slojnat lepljen les, vezane plošče, plošče iz iveri in plošče iz vlaken. Kompoziti imajo svoje prednosti v primerjavi z masivnim lesom:

- homogenost
- dimenzijska stabilnost,
- večji formati ter raznovrstne oblike in
- estetska prilagodljivost.

Kompoziti se izdelujejo iz lesa iz različno velikih gradnikov. V proizvodnji ivernih plošč se uporabi les z visoko stopnjo dezintegracije, torej slabša kvaliteta in majhni delci. Ker je takšen material cenejši, so plošče relativno poceni. Imajo zadovoljivo dobre mehanske lastnosti, vendar zaostajajo za ostalimi, široko uporabljenimi konstrukcijskimi lesnimi kompoziti. Za izboljšanje ivernih plošč imamo na voljo več dokaj enostavnih rešitev (povečanje gostote, zamenjava lepila,...), ki pa ob izboljšanju mehanskih lastnosti tudi povišajo ceno končnega izdelka.

### 1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Iverne plošče se uporabljajo predvsem pri proizvodnji pohištva. Njihove lastnosti zadostujejo pogojem uporabe in okolju, v katerem naj bi uporabljali takšno pohištvo. Iverno ploščo se redkeje uporabi za potrebe večjih nosilnosti in ostrejših okoljskih pogojev, saj so na voljo boljši, vendar bistveno dražji materiali.

Lastnosti ivernih plošč se lahko izboljšajo z zamenjavo tipa lepila, s povečanjem deleža lepila ali pa s povečanjem gostote izdelanih plošč. Čeprav bomo z omenjenimi pristopi lahko izboljšali nekatere lastnosti plošč pa bodo pri njihovi uporabi še vedno omejitve. Izboljšanje ene izmed lastnosti iverne plošče lahko znatno poslabša ostale lastnosti. Z uporabo okrepitve iz naravnih ali sintetičnih vlaken bi morda lahko izboljšali mehanske lastnosti, hkrati pa ohranili prednosti ivernih plošč.

## 1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Predvidevamo, da bo uporaba naravnih in sintetičnih vlaken izboljšala upogibno in natezno trdnost ivernih plošč. Predvidevamo tudi, da bodo lastnosti boljše, če bodo uporabljeni materiali vgrajeni v obliki prepletene mreže in ne zgolj v obliki vlaken.

## 1.3 CILJ NALOGE

Namen projekta je izboljšati lastnosti ivernih plošč z dodajanjem sintetičnih in naravnih vlaken oz. ugotoviti, kako dodatek naravnih in sintetičnih vlaken vpliva na nekatere lastnosti ivernih plošč.

## 2 PREGLED LITERATURE

### 2.1 IVERNA PLOŠČA

Maloney (1996) je definiral iverno ploščo kot tvorivo, izdelano iz lingoceluloznih 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 se uporabljajo predvsem urea- in fenol-formaldehidna lepila, lahko tudi rezorcinska, izocianatna in modificirana lepila.

V iverno ploščo so preko sintetičnega lepila povezani osnovni gradniki, iveri, ki so pridobljene iz različnih drevesnih vrst. Mešanica iveri ima zelo velik vpliv na lastnosti iverne plošče. Posamezni delec je zlepljen z več sosednjimi delci, ki so naključno usmerjeni. Da bi povezali kar največ iveri, se lepljenje vrši pod visokim tlakom in temperaturo. Lepilo iveri med seboj poveže le točkovno.

V zadnjih letih se na svetu izdelava največ troslojnih ivernih plošč, ki so sestavljene iz dveh zunanjih in enega srednjega sloja. Srednji sloj sestavlja predvsem grobo iverje debeline med 0,4 in 0,8 mm, zunanji sloj pa bolj fino iverje 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, natresanje, stiskanje) kot tudi od velikosti iverja (debelina, dolžina, širina) (Medved, 2000).

Ploskovnost, homogenost, dimenzijska stabilnost in estetska prilagodljivost dajejo široke možnosti uporabe takšnega lesnega kompozita. Lastnosti iverne plošče so v primerjavi z ostalimi lesnimi kompoziti slabše, vendar se ob upoštevanju narave vhodnih surovin izkažejo za relativno ugodne. Z nekaj spremembami v poteku proizvodnje lahko ciljno spreminjamo karakteristike izdelka. S spremembo gostote, uporabo različnih vrst in velikosti iverja, tipa in količine lepilne mešanice ter prilagajanjem režima stiskanja (čas, tlak, temperatura) lahko signifikantno spremenimo bistvene mehanske, fizikalne in sorpcijske lastnosti. Kljub vsem možnim variacijam ostajajo meje, preko katerih ni

smiselno preiti, bodisi zaradi rentabilnosti proizvodnje bodisi zaradi samih fizikalnih zakonov. Za preseganje teh okvirov se ponuja možnost dodajanja večjih elementov kot so same iveri.

## 2.2 OKREPITVE

Ideja dodajanja okrepitev elementov v osnovno strukturo lesnih kompozitov z namenom izboljšanja lastnosti le-teh ni nova. Možnosti izboljšanja lesa in lesnih kompozitov s sintetičnimi vlakni sta raziskovala in opisala Wangaard (1964) in Biblis (1965). Ugotavljala sta upogibne lastnosti lepljenih nosilcev, ki so bili okrepljeni s sintetičnimi vlakni. Sintetična vlakna so odlično izpopolnila primanjkljaj nateznih lastnosti lesa. Dodajanje vlaken v najrazličnejše kombinacije materialov so v naslednjih letih raziskovali tudi drugi.

V 80-ih letih so se pojavile okrepitve tramov z nazobčanimi kovinskimi ploščami (Lindal, 1981, Kitipornchai, 1986), kasneje tudi z aluminijastimi vključki na mestih s pričakovano večjo natezno obremenitvijo (O'Brien, 1991). Z dodatkom teh materialov se kompozitu poveča trdnost, udarna žilavost in zmanjša poves. Takšni materiali imajo znatno večjo nosilnost ob enakem preseku, torej je potrebnega manj materiala za enak učinek. Konstrukcija ima nižjo lastno maso. Podporni stebri in temelji so manj obremenjeni, posledično omogočajo večjo uporabno nosilnost in/ali cenejšo izvedbo. Prednost takšne izvedbe okrepitve je možnost naknadne vgradnje na že vgrajen element.

Sistem dodajanja kovinske ojačitve se je uporabil tudi v kombinaciji s cementno ploščo. Xiong je leta 1998 patentiral stropno ploščo z vgrajeno kovinsko palico v cementni plošči. Kljub zelo dobri združitvi prednosti lesa in cementa je cementna plošča zelo krhka in z ozkim območjem možnosti uporabe, večinoma v izolacijske namene. Z dodatkom jeklenega elementa pridobi večjo natezno trdnost in ugodnejši modul elastičnosti. Tako okrepljena je uporabna za izdelavo upogibno obremenjenih členov (npr.: stropne plošče).

Razvoj novih sintetičnih materialov in lesnih kompozitov ob hkratnem višanju cen lesa spodbudijo prizadevanja za podoben korak, tako pri nosilcih kot tudi pri ploščah. Malcolm (1992) je pridobil patent za MDF plošče, ki imajo vključena karbonska in steklena vlakna. Okrepitev je prinesla večjo trdnost plošče in udarno žilavost ter zmanjšanje notranjih napetosti v plošči. Iverne plošče je Tröger (1998) izboljšal z dodajanjem lanenih vlaken na površino pred stiskanjem plošče.

Mohebbi (2009) je v plošče MDF vgradil kovinske okrepitve in jih primerjal s sintetičnimi. Vgraditev kovinske mreže v ploščo zahteva večji vložek znanja, da se izkoristijo prednosti kovine. Mreža se namreč slabo lepi z oblepljenimi vlakni. Mohebbi-jeva skupina je predhodno nanese plast lepilne smole preko posameznih žic, ki sestavljajo mrežo. Tako pripravljena se je bolje povezala z vlakni in prevzela več obremenitev. Rezultati so pokazali, da so se upogibne lastnosti, natezna trdnost in odpornost proti udarcem zaradi okrepitve znatno povečale. Plošče, okrepljene s tanko kovinsko mrežo, so imele povprečno za 105 % višjo upogibno trdnost, medtem ko je bila najvišja vrednost modula elastičnosti (112 %) in odpornost na udarce (79 %) določena v ploščah, okrepljenih z debelo kovinsko mrežo, ki je bila predhodno namočena v epoksi smolo. Največja natezna trdnost je bila prav tako zaznana v ploščah z debelo kovinsko mrežo. Plošče, okrepljene z mrežo iz sintetičnih vlaken, so dosegale znatno nižje vrednosti od s kovino okrepljenih plošč.

Mura in Mura (2001) sta vložila patent za mrežno okrepitev ivernih plošč. Postopek se izvaja na že izdelanih ploščah in ima dve fazi. Najprej se nanese prvo plast okrepitve (linijsko), v drugi pa prečno na prvo, ob tem je material druge plasti mehkejši, da ob stiskanju ne bi prišlo do poškodb na mestu stika prve in druge faze ojačitve.

Dodajanje kovinskih materialov v kompozite na osnovi lesa ima poleg zelenega izboljšanja mehanskih lastnosti tudi negativne učinke. Kot ugotavlja Mohebbi (2009), dodajanje jeklene mreže v plošče MDF izboljša njihove mehanske lastnosti, problematičen pa postane razrez takšnega kompozita. Omenjena je večja obraba rezil. Zaradi velike verjetnosti iskrenja lahko sklepamo tudi na zelo visoko raven nevarnosti požara.



## 2.3 LASTNOSTI OSB PLOŠČ

Z okrepitvijo iverne plošče želimo izboljšati mehanske lastnosti le-te in razširiti njeno območje uporabe. Da bi lahko ovrednotili možnost zamenjave, moramo poznati material, ki ga želimo zamenjati. Kompozit s podobno strukturo kot iverna plošča in nekoliko boljšimi mehanskimi lastnostmi je plošča OSB (Oriented Strand Board; slo.: plošče z usmerjenim ploščatim iverjem) in je v gradbeništvu široko uporabljena. Osnovna surovina za OSB plošče so rezane ploščate iveri, pretežno iz hlodovine iglavcev, z dolžino med 50 in 200 mm, širino 10 do 20 mm in debelino pod 2 mm. Sestavljene so iz treh plasti, ki so lahko med seboj različno orientirane. Glede na usmeritev iveri v zunanem sloju je srednji sloj lahko usmerjen vzporedno, pravokotno ali naključno. Za lepljenje se uporabljajo melamin-urea-formaldehidna, melamin-formaldehidna, fenol-formaldehidna in izocianata lepila. Način sestave in izbira lepila sta odvisna od namena uporabe.

Za razliko od iverne plošče, katere iverje je naključno usmerjeno, ima OSB plošča površinski sloj z usmerjenim iverjem. Zaradi usmerjenosti se mehanske lastnosti plošče razlikujejo glede na smer obremenitve. Vzdolž poteka iveri oz. vlaken so lastnosti zelo dobre, prečno pa so nekoliko slabše (glej preglednico 1).

Preglednica 1: Lastnosti OSB plošč (vir: Shubo H)

EN 300	u = 65 % , T = 20 °C				
$\rho$ 600-680kg/m <sup>3</sup>	$E_{\max}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_{\perp}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{m\max}$ [N/mm <sup>2</sup> ] ( 18 – 25 mm )	$f_{m\perp}$ [N/mm <sup>2</sup> ] ( 18 – 25 mm )	Nabrek (24 ur)
OSB/1	2500	1200	16	8	25
OSB/2	3500	1400	18	9	20
OSB/3	3500	1400	20	10	15
OSB/4	4800	1900	26	15	12
* v preglednici so navedene vrednosti le za nekatere lastnosti, ki so predpisane s standardom					

### **3 MATERIALI IN METODE**

#### **3.1 MATERIALI**

##### **3.1.1 Iverje**

V laboratoriju izdelane plošče morajo imeti osnovne lastnosti, ki naj bodo čim bolj podobne tistim, izdelanim v industrijskih pogojih. Ker so te osnovne lastnosti v pretežnem delu določene z iverjem, ki tvori ploščo, je najbolj racionalno uporabiti iverje, vzeto iz proizvodnega procesa izdelave ivernih plošč. Iverje za srednji sloj je nekoliko bolj grobo, za zunanji sloj pa finejše. Delež zunanjega sloja je 40 %, preostalih 60 % pa je namenjeno srednjemu sloju. Ciljna gostota plošč je  $700 \text{ kg/m}^3$  z debelino 16 mm.

##### **3.1.2 Lepilna mešanica**

Enako kot iverje pomembno vpliva na lastnosti izdelane iverne plošče uporabljena lepilna mešanica. Vrsta in količina mešanice je prav tako izbrana z namenom posnemanja v vsakdanjem življenju pogosto uporabljenega materiala. Uporabili smo lepilo meldur H97 proizvajalca Melamin. Pred oblepljanjem smo mu dodali vodo, za srednji sloj pa tudi utrjevalec.

##### **3.1.3 Industrijska iverna plošča**

Izvedli smo tudi poizkus lepljenja jute na industrijsko proizvedenih ploščah. Dodajanje materiala na že izdelane iverne plošče omogoča poenostavitev proizvodnje. Za potrebe poizkusa lepljenja jute na že izdelanih ploščah smo kupili troslojne iverne plošče debeline 10 mm.

##### **3.1.4 Okrepitveni materiali**

Če je pri iverju in lepilni mešanici zaželena kar največja podobnost s proizvodnjo, materiali za ojačitev predstavljajo spremenljivko v sistemu. S spremljanjem sprememb

mehanskih lastnosti izdelanih plošč in primerjanjem z osnovno ploščo lahko ugotovimo njihov prispevek k izboljšanju le-teh. Izbrani materiali morajo ustrezati nekaterim kriterijem, ki jih pogojuje tehnologija izdelave ivernih plošč. Najpomembnejši kriterij je, da omogočajo prehajanje toplote in vlage po plasteh med postopkom izdelave, obenem pa naj bi postopek izdelave zahteval čim manj dodatnih naprav za pripravo in sestavljanje iverne pogače. Pomembno vlogo pri izbiri posameznega materiala ima tudi dostopnost v večjih količinah, saj materiali, ki niso vedno na voljo v zadostnih količinah in po primerni ceni, niso primerni za vpeljavo v redno proizvodnjo. Izbrani materiali naj bi čim manj vplivali na nadaljnjo manipulacijo in obdelavo. Snovi, ki bi povečevale obrabo delovnih sredstev (npr.: rezil), niso zaželeno. Pomemben dejavnik pri izbiri materiala je njegov izvor. Prednost pri izbiri imajo potencialni materiali, ki so naravnega izvora, zaradi njihovega manjšega vpliva na okolje. Glede na navedene kriterije so bili izbrani naslednji materiali:

**Furnir** je v lesni industriji zelo pogost gradnik. Njegove mehanske lastnosti so dobro znane in v proizvodnji dobro preverjene. Večino furnirja, uporabljenega za izdelavo ploščnih kompozitov, izdelajo s postopkom luščenja (slika 1). Glavni značilnosti furnirja, pomembni za to nalogo, sta različna hrapavost površin in sposobnost prenašanja znatno večje obremenitve v smeri vlaken (prečno na smer luščenja). Pozitivni učinki dodajanja furnirja plošči se lahko zaradi teh značilnosti pričakujejo le ob pravilni sestavi plošče. Kot surovina za izdelavo luščenega furnirja se uporabljajo različne drevesne vrste. V zunanjih, nosilnih slojih vezanih plošč, kjer so potrebne dobre mehanske lastnosti, se uporablja furnir, izdelan iz bukovine. Furnirji, ki se dodajajo osrednjim slojem, pa so najpogosteje izdelani iz topolovine, ki ima slabše mehanske lastnosti in nižjo ceno. Da bi dodani material v kombinaciji z iverno ploščo dal čim boljše rezultate, smo izbrali furnir, izdelan iz bukovega lesa in debeline 1,7 mm.



Slika 1: Zložaj luščenega furnirja (vir: Alabastru)

**Juta** je mrežno prepleten material. Osnovni gradnik je večcelično vlakno iz ličja jutovca, enoletne tropske rastline iz družine lip. Stebla jutovca zrastejo 2 do 5 m visoko. Juta se uporablja za vrečevino, zavijalno in tapetno blago, pasove, podloge, preproge, stenske prevleke, izolacijske tekstilije ... (Svet metraže) Vlakna jute imajo visok faktor vitkosti, ki je pri ivernih zelo zaželen. S faktorjem vitkosti so v veliki meri povezane mehanske lastnosti plošč. Poleg zaželenih dolgih vlaken je juta v obliki rahlega platna, vrečevine (slika 2), zelo priročna za morebitno serijsko proizvodnjo. Glavna prednost se kaže v mrežni prepletenosti, kar omogoča enostavno enkratno vstavitev plasti, ki je po mehanskih lastnostih dokaj enakomerna. Takšno značilnost dosežemo s furnirjem šele v dveh plasteh.



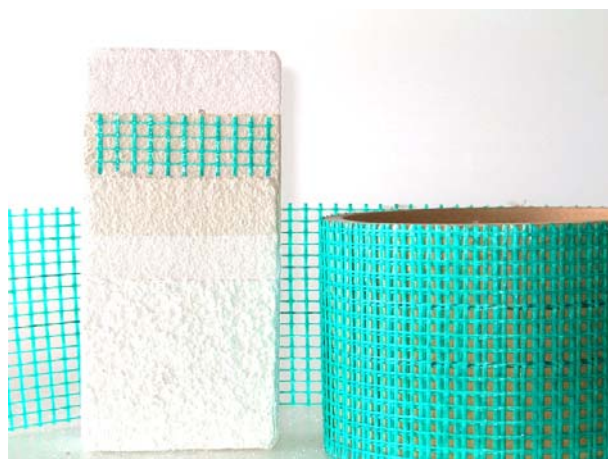
Slika 2: Juta (vir. Svet metraže)

**Slama** je stranski produkt pri pridelavi žit. Med vegetacijo opravlja steblo žit zelo podobne naloge, kot deblo dreves, razlika je le v času obstoja rastline. Sklepamo lahko, da bodo mehanske lastnosti slame podobne lesnemu furnirju debeline, ki je primerljiva debelini slame. Zaradi površinske zaščite na bilki slame je potrebno le-to odpreti, saj je površina na notranji strani primernejša za lepljenje. Bilka je zgrajena iz dolgih vlaken, zaradi česar ob drobljenju nastanejo delci z izrazito poudarjeno eno dimenzijo. Pridobljeni delci imajo visok faktor vitkosti, ki nam omogoča dobro prepletenost sloja slame. V preteklosti je bila slama široko uporabljen gradbeni material. Danes se uporablja predvsem kot toplotno izolacijski material, slamnate blazine pa se uporabljajo kot polnila pri leseni skeletni gradnji (slika 3). V strokovni literaturi so dostopni podatki, da družinske lesene hiše, izolirane s slamnatimi blazinami, izpolnjujejo vse požarno - varnostne zahteve (B2 - normalna vnetljivost, F90 – 90- minutno požarno obstojnost) (Grobvšek, 2009).



Slika 3: Slama kot polnilo in izolacija (vir: Petrivčič, 2007)

**PVC mreža** je sestavljena iz dolgih vlaken sintetičnega izvora. Ima vse lastnosti materiala, ki naj bi dal iverni plošči boljše mehanske lastnosti. Dolga vlakna in mrežna prepletenost z zadostnimi razmiki med posameznimi nitmi so lastnosti, ki izrazito izstopajo. PVC je umeten material, ki je široko razširjen. Sintetične mreže, uporabljene pri izdelavi plošč, so bile izdelane iz steklenih vlaken v podjetju P-D Glasseiden GmbH Oschatz. Namensko so bile izdelane za armiranje stavbnih fasad. V ploščo sta bila vgrajena dva tipa mreže, ki se razlikujeta po gostoti pletenja. Gostejša mreža ima na širini 50 mm 8 vzdolžnih prej in impregnacijo z rumeno melaminsko smolo. Redkejša mreža ima 7 vzdolžnih prej na širini 50 mm in je brez impregnacije.



Slika 4: Mreža za armiranje stavbnih fasad (vir: Pd fibreglass)

## 3.2 METODE DELA

V laboratorijskih pogojih smo izdelali troslojne iverne plošče, pri katerih smo na različnih mestih dodali naravni in sintetični material z namenom okrepitve plošče. Materiali, uporabljeni za okrepitev, so bili dodani v obliki mreže in posameznega vlakna ali skupka vlaken. Izvedli smo tudi poizkus lepljenja jute na industrijsko proizvedenih ploščah.

### 3.2.1 Mesto okrepitve

Pričakujemo, da bo imela umestitev okrepitvenih materialov v ploščo velik vpliv na končni izdelek.

Najenostavnejša postavitev **mesta okrepitve je okrepitev na površini**, saj največje obremenitve nosi zunanji sloj (Medved, 2010). Ob aplikaciji dodanega materiala na površino pričakujemo dobro povezavo (preplet) z osnovnimi gradniki zunanjega sloja že v fazi natresanja iverne pogače.

S **postavitvijo okrepitve na mejo med zunanjim in srednjim slojem** se zmanjša nevarnost poškodb okrepitvene komponente. Pričakovano izboljšanje mehanskih lastnosti je nekoliko nižje kot v primeru površinske umestitve.

**Postavitev okrepitve v sredico** je vprašljiva z vidika iskanja boljših mehanskih lastnosti, lahko pa dosežemo ugodnejši način porušitve. Dodani material se v primeru upogiba nahaja v bližini nevtralne osi.

### 3.2.2 Proces izdelave

#### 3.2.2.1 Priprava lepilne mešanice

Pripravili smo dve različni lepilni mešanici na osnovi lepila Meldur H97 proizvajalca Melamin. Prvo lepilno mešanico smo dodali iverju zunanjega sloja in slami. Enako mešanico smo uporabili tudi ob oblepljanju PVC mreže in industrijskih plošč. Drugo lepilno mešanico, ki smo ji dodali utrjevalec, smo dodali iverju za srednji sloj.

Preglednica 2: Preglednica materialov, potrebnih za izdelavo plošč

Zunanji sloj		Srednji sloj		Sloj slame	
	[ g ]		[ g ]		[ g ]
iverje (fino)	1034,23	iverje (grobo)	1601,49	slama	121,25
lepilo	181,95	lepilo	204,01	lepilo	74,60
utrjevalec	0,00	utrjevalec	37,33	utrjevalec	0,00
$\Sigma$	1216,18	$\Sigma$	1842,83	$\Sigma$	195,85
voda	27,01	voda	5,06	voda	11,00

#### 3.2.2.2 Priprava okrepitevnenih materialov

Furnir, juto in PVC mrežo smo prilagodili velikosti kalupa za sestavo pogače. Slamo smo pripravili v laboratorijskem iverilniku, tako da smo iverili celo slamo. S strojem za iverjenje smo dobili manjše delce slame, dokaj enakih velikosti, primerne za nadaljnje stiskanje.

#### 3.2.2.3 Oblepljanje

Iverju posameznega sloja smo med mešanjem dodali pripadajočo lepilno mešanico. Iverje smo oblepljali v laboratorijskem stroju za oblepljanje, ki s stalnim mešanjem in fino razpršitvijo aplicirane mešanice zagotavlja kvalitetno in enakomerno oblepljanje iveri.

Eksperimente, ki vključujejo furnir in juto, z izjemo oblepljanja jute na industrijsko ploščo, smo izvedli brez dodatnega lepila. Za oblepitev okrepitve je poskrbel prenos lepila z delcev iz sloja iverja, s katerim se stika.

Drobljeno slamo smo oblepili po enaki metodi in z istim strojem kot iverje za plošče. Manjšo težavo je predstavljala zelo nizka masa oblepljenih delcev in majhna količina materiala.

PVC mrežo smo zaradi velike verjetnosti slabega oprijema z iverjem dodatno prepojili z lepilom. Uporabljena lepilna mešanica je bila enaka tisti, uporabljeni za oblepljenje iverja zunanjšega sloja.

Na industrijsko izdelane iverne plošče, namenjene oblepljanju z juto, smo nanесли enako lepilno mešanico kot za zunanji sloj ivernih plošč. Lepilo smo nanесли le na stran, ki smo jo želeli okrepiti z juto.

#### 3.2.2.4 Izdelava iverne pogače

Pred sestavljanjem ivernih pogač je bilo potrebno natehtati količino posameznega sloja, ki ustreza posamezni plošči. Oblepljeno iverje zunanjšega sloja smo tehtali v dveh enakih delih, v primeru umestitve okrepitve v sredino plošče smo na dva dela razdelili tudi srednji sloj. Na delovno površino smo položili kovinsko ploščo. Nanjo smo položili film teflona, ki preprečuje sprijetje iverne plošče s podložno ploščo. Na to osnovo smo postavili kalup dolžine in širine 500 mm ter višine okoli 200 mm. V okvir smo najprej natresli polovico iverja za zunanji sloj, nato iverje srednjega sloja in na koncu še drugi del zunanjšega sloja.

Želeni okrepitveni material smo na ustrezno mesto dodali v postopku sestavljanja iverne pogače. Po formiranju celotne iverne pogače smo le-to ročno predstisnili. Med posameznimi plastmi iverja nismo zgoščevali. S predstiskanjem pogače poleg manjše debeline dobimo tudi večjo stabilnost. Pred stiskanjem smo preko pogače položili še film iz teflona, ki je preprečeval prijetje na grelno ploščo stiskalnice.



Izdelali smo različne kombinacije iverne plošče z okrepitvenim materialom. Kombinacije smo izbrali z upoštevanjem osnovnih značilnosti posameznih materialov. Poleg okrepljenih plošč smo izdelali tudi osnovno troslojno iverno ploščo in plošče iz posameznih slojev, ki sestavljajo osnovno ploščo.

#### **Plošče brez okrepitve (Skupina A):**

##### Zunanji sloj – enojni (Plošča A 1.1)

Za izdelavo plošče A 1.1 (slika 5) smo uporabili iverje, ki v troslojni iverni plošči tvori en zunanji sloj (621,6 g).



Slika 5: Shematski prikaz sestave plošče A 1.1

##### Zunanji sloj – dvojni (Plošča A 1.2)

Uporabili smo količino iverja, ki v plošči tvori oba zunanja sloja (1243,2 g). Celotna količina iverja je bila natresena v en sloj (slika 6).



Slika 6: Shematski prikaz sestave plošče A 1.2

### Srednji sloj (Plošča A 1.3)

Za izdelavo plošče A 1.3 (slika 7) smo uporabili iverje, ki tvori srednji sloj iverne plošče (1847,9 g).



Slika 7: Shematski prikaz sestave plošče A 1.3

### Osnovna troslojna iverna plošča (Plošča A 2.1)

Ploščo sestavljata dva zunanja sloja iz finega iverja in en srednji sloj grobega iverja (621,6 g + 1847,9 g + 621,6 g). Iverje zunanjega sloja sestavlja 40 %, iverje srednjega pa 60 % celotne plošče (slika 8).



Slika 8: Shematski prikaz sestave plošče A 2.1

### Troslojna iverna plošča s povečano gostoto (Plošča A 2.2)

Osnovni troslojni iverni plošči smo dodali še en srednji sloj (621,6 g + 1847,9 g + 1847,9 g + 621,6 g). Zunanji sloj v tej plošči je tako predstavljal 25 % celotne plošče, srednji sloj pa kar 75 % (slika 9).



Slika 9: Shematski prikaz sestave plošče A 2.2

### **Plošče z okrepitevijo (Skupina B):**

#### **S slamo okrepljena plošča (Plošča B 1)**

Na površino osnovne troslojne iverne plošče smo dodali plast slame (103,4 g + A 2.1 + 103,4 g). Aplicirano slamo smo oblepili z lepilno mešanico za zunanji sloj. Slama je v plošči predstavljala 4,4 % celotne plošče (slika 10).



Slika 10: Shematski prikaz sestave plošče B 1

#### **Z juto okrepljena plošča (Plošča B 2)**

Juto smo dodali v osnovno troslojno ploščo na mejah srednjega in zunanega sloja. Juti lepila nismo dodali (slika 11).



Slika 11: Shematski prikaz sestave plošče B 2

### Iverna plošča s PVC mrežo (Plošča B 3)

V okvir za sestavo smo najprej namestili plast predhodno z lepilom prepojene PVC mreže. Nadaljnja sestava plošče je potekala enako kot pri plošči A 2.1 (slika 12).



Slika 12: Shematski prikaz sestave plošče B 3

### Furnir dodan na površino plošče (Plošča B 4.1)

Na spodnjo in zgornjo stran pogače smo dodali list furnirja. Pri sestavljanju smo pazili na potek vlaken. Želeli smo enako usmerjenost obeh furnirjev (slika 13).



Slika 13: Shematski prikaz sestave plošče B 4.1

### Furnir dodan na meji med slojema (Plošča B 4.2)

Sestava plošče B 4.2 (slika 14) je bila enaka kot pri plošči B 4.1, le da sta furnirja na meji med slojema. Ker usmeritev vlaken v furnirju po izdelavi plošče ne bi bila vidna, smo le-to označili in si olajšali pripravo preizkušancev.



Slika 14: Shematski prikaz sestave plošče B 4.2

#### Furnir dodan na sredini plošče (Plošča B 4.3)

Ob tehtanju iverja za srednji sloj plošče B 4.3 (slika 15) smo le-tega razdelili na dva enaka dela. Prvi del natehtanega iverja za srednji sloj smo natresli na zunanji sloj in čezenj položili list furnirja. Nadalje smo na furnir natresli drugi del iverja srednjega sloja in nanj zunanji sloj. Kljub temu, da usmeritev tu ni bila tako pomembna, smo le-to označili in si olajšali pripravo preizkušancev.



Slika 15: Shematski prikaz sestave plošče B 4.3

#### Industrijsko izdelane plošče (Skupina C):

##### Industrijska iverna plošča (Plošča C 1)

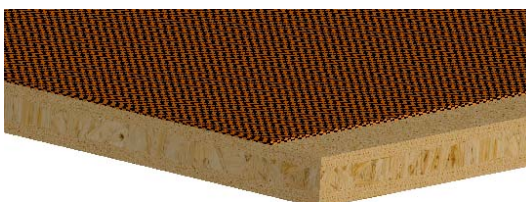
Za potrebe vrednotenja plošč C 2 in C 3 smo pripravili in shranili industrijsko izdelano ploščo (slika 16).



Slika 16: Shematski prikaz sestave plošče C 1

#### Enostransko z juto okrepljena industrijska iverna plošča (Plošča C 2)

Na eno površino smo nanесли lepilo in nanj položili juto v obliki platna. Pred stiskanjem smo juto rahlo pritisnili, da je lepilo prodrlo med vlakna (slika 17).



Slika 17: Shematski prikaz sestave plošče C 2

#### Dvostransko z juto okrepljena industrijska iverna plošča (Plošča C 3)

Postopek je bil enak kot pri plošči C 2, le, da je bil tu ponovljen tudi na spodnji strani plošče (slika 18).



Slika 18: Shematski prikaz sestave plošče C 3

### 3.2.2.5 Stiskanje iverne pogače

Sestavljene iverne pogače smo postavili v laboratorijsko stiskalnico. Ob strani iverne pogače smo dodali dve distančni letvi, s katerima smo določili najmanjšo razdaljo med ploščama stiskalnice. Ta razdalja je zagotovila pravilno debelino iverne plošče.

Čas stiskanja smo določili na osnovi debeline plošče. Vpliva dodanih materialov na čas stiskanja nismo upoštevali. Predpostavili smo, da je njihov vpliv zanemarljivo majhen in da na končni rezultat ne bo imel vpliva.

Ob oblaganju industrijsko izdelanih plošč z juto smo tlak stiskanja prilagodili. Če bi te plošče obravnavali enako, kot tiste iz pogač bi lahko prišlo do porušitve srednjega sloja. Takšna plošča bi lahko vizualno izgledala nepoškodovana, ob obremenitvi pa bi hitro prišlo do porušitve.

Preglednica 3: Parametri stiskanja laboratorijsko in industrijsko izdelanih plošč

	laboratorijsko izd.	Industrijsko izd.	
p	3	1,5	N/m <sup>2</sup>
t	3	1,5	min
T	180		°C

### 3.2.3 Izdelava preizkušancev

Pred izrezom preizkušancev smo plošče primerno kondicionirali. Preizkušanci za upogibni preizkus so bili dolžine 250 mm in širine 50 mm. Za določanje gostote smo pripravili tudi preizkušance dolžine in širine 50 mm. Debelina vseh preizkušancev je bila pogojena z debelino plošče.

Pri pripravi preizkušancev smo izbrali le osrednji del plošč, obrobja zaradi zagotovitve reprezentativnega vzorčenja nismo uporabili. Poleg mesta odvzema smo upoštevali tudi usmeritev furnirja v ploščah. Iskali smo najboljše lastnosti, zato smo preizkušance izrezali v vzdolžni smeri poteka vlaken.

### 3.2.3 Preizkušanje preizkušancev

Preizkušanje preizkušancev je potekalo v laboratoriju Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Uporabili smo univerzalni preizkuševalni stroj Zwick Z100, ki je bil računalniško upravljan preko programa Zwick/Roell testXpertII.

Parametri preizkušanja so bili skladni s standardom SIST EN 310 (slika 19). Vsak posamezni preizkušen element smo skrbno premerili. Njegovo širino in debelino smo vnesli v program Zwick/Roell testXpertII pred postopkom obremenjevanja. Program je na podlagi prejetih meritev z univerzalnega preizkuševalnega stroja Zwick Z100 in vnesenih vrednostih dimenzij preizkušanca prikazal njegove karakteristike. Vhodni podatki so se v izhodne pretvorili preko enačb za:

- upogibno trdnost:

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_1}{2 \cdot b \cdot l_1} \quad \dots(1)$$

- in elastični modul:

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

Kjer je:

$F_{max}$  [N] – najvišja izmerjena sila

$f_m$  [N/mm<sup>2</sup>] – upogibna trdnost

$l_1$  [mm] – razdalja med podpornima točkama

$b$  [mm] – širina preizkušanca

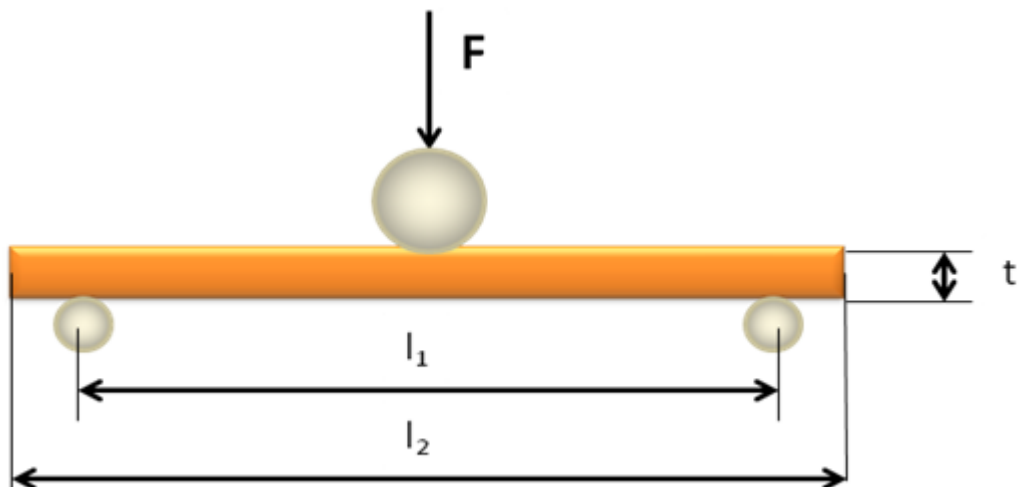
$d$  [mm] – debelina preizkušanca

$E_m$  [N/mm<sup>2</sup>] – elastični modul

$F_2 - F_1$  [N] – razlika obremenitve na elastičnem delu karakteristične krivulje ( med 10 % in 40 %  $F_{max}$  )

$a_2 - a_1$  [mm] – poves, merjen na istem mestu kot obremenitev





Slika 19: Shema upogibnega preizkusa

Ugotavljanje gostote preizkušancev je potekalo v skladu s standardom SIST EN 323. Na osnovi izmere in tehtanja preizkušanca smo določili njegovo gostoto z matematično enačbo:

$$\rho = \frac{m}{d \cdot b \cdot t} \cdot 10^6 \quad \dots(3)$$

Kjer je:

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] – gostota preizkušanca

$d$  [mm] – debelina preizkušanca

$b$  [mm] – širina preizkušanca

$t$  [mm] – debelina preizkušanca

## 4 REZULTATI

Povprečne vrednosti meritev za vse plošče so prikazane v preglednici 4:

Preglednica 4: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev

		$\rho$	$f_m$	$E_m$
A		[kg/m <sup>3</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
	A 1.1	918	21,81	2699
	A 1.2	955	18,65	2369
	A 1.3	488	4,13	733
	A 2.1	764	13,38	2485
	A 2.2	803	22,63	3522
<b>B</b>				
	B 1	730	19,91	3178
	B 2	748	18,64	2948
	B 3	754	32,40	3822
	B 4.1	715	63,36	7262
	B 4.2	719	39,52	4661
	B 4.3	739	20,33	2987
<b>C</b>				
	C 1		15,10	3285
	C 2		18,04	3037
	C 3		18,04	3374

Lastnosti kot so upogibna trdnost, modul elastičnosti in gostota plošč so odvisne od sestave, torej od iverja, vrste okrepitve ter od mesta nahajanja le-te v iverni plošči. Z meritvami pridobljeni rezultati so prikazani za vsako sestavo plošč posebej. V nadaljevanju so podane povprečne vrednosti, najmanjše in največje dosežene vrednosti, standardni odklon ter koeficient variacije za upogibno trdnost, modul elastičnosti in gostoto uporabljenih preskušancev. Rezultati za posamezne preskušance so prikazani v prilogah.

## 4.1 PLOŠČE BREZ OKREPITVE (Skupina A)

### 4.1.1 Plošče A 1

Iverna plošča je sestavljena iz različnih slojev. Sloji imajo različno sestavo in zato različne mehanske lastnosti.

#### 4.1.1.1 Plošča A 1.1

Uporabili smo iverje zunanjšega sloja. Plošča z zelo visoko gostoto in dobrimi mehanskimi lastnostmi, ki pa po posameznih preizkušancih zelo nihajo. Plošča po lomu ob nadaljnjem povečevanju povesa ne nudi veliko upora in se kmalu razdvoji.

Preglednica 5: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev A 1.1

<b>A 1.1</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Aritmetična sredina	918	2699	21,8
Najmanjša vrednost	709	1867	15,1
Največja vrednost	1059	3505	26,9
Standardni odklon	120	599	4,4
Koeficient variacije (%)	13,1	22,2	20,4

#### 4.1.1.2 Plošča A 1.2

Uporabili smo dvojno količino iverja zunanjšega sloja. Gostota je nekoliko višja kot pri enojnem sloju, vendar pa so mehanske lastnosti slabše. Pridobljene vrednosti med preizkušanci manj nihajo.

Preglednica 6: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev A 1.2

<b>A 1.2</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Aritmetična sredina	955	2369	18,6
Najmanjša vrednost	930	2009	15,8
Največja vrednost	1008	2764	22,5
Standardni odklon	25	302	2,6
Koeficient variacije (%)	2,7	12,7	13,8

#### 4.1.1.3 Plošča A 1.3

Uporabili smo le iverje srednjega sloja. Mehanske lastnosti so v primerjavi s predhodnima ploščama zelo slabe. Ob za polovico nižji gostoti so nihanja vrednosti zelo majhna. Plošča se zaradi večjih vlaken od povečevanju povesa po lomu odziva bolje in nudi večjo mero upora.

Preglednica 7: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev A 1.3

<b>A 1.3</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Aritmetična sredina	488	733	4,1
Najmanjša vrednost	462	667	3,5
Največja vrednost	507	821	4,7
Standardni odklon	17	52	0,4
Koeficient variacije (%)	3,6	7,1	10,0

#### 4.1.2 Plošče A 2

##### 4.1.2.1 Plošča A 2.1

Plošča z oznako A 2.1, ki predstavlja troslojno iverno ploščo, nam služi kot osnova za vrednotenje spremenjenih vrednosti mehanskih lastnosti plošč, ki smo jih spremljali z namenom izboljšanja le-teh. V primerjavi s ploščami, izdelanimi na osnovi materialov, ki sestavljajo posamezne sloje, troslojna iverna plošča dosega vmesne mehanske lastnosti. Kljub temu, da jo sestavlja 60 % srednjega sloja, so njene mehanske lastnosti bolj podobne zunanjemu sloju. Ob znatno nižji gostoti je ugotovljena vrednost elastičnega modula le nekoliko nižja od plošče, izdelane iz ene plasti iverja za zunanji sloj, ploščo dvojne debeline pa malo presega.

Preglednica 8: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev A 2.1

<b>A 2.1</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Aritmetična sredina	764	2485	13,4
Najmanjša vrednost	717	1774	7,6
Največja vrednost	801	2910	17,1
Standardni odklon	31	438	3
Koeficient variacije (%)	4,0	17,6	26,0

Rezultate mehanskih lastnosti, pridobljene pri plošči A 2.1, smo primerjali z rezultati mehanskih lastnosti posamezne plošče z dodano okrepitevijo. V preglednicah je prikazano izboljšanje v %.

#### 4.1.2.2 Plošča A 2.2

Plošči z oznako A 2.2 smo namesto enega srednjega sloja dali dvojni srednji sloj. Ob relativno majhnem 5 % povečanju gostote se modul elastičnosti izboljša za 42 %, upogibna trdnost pa kar za 69 % v primerjavi s ploščo A 2.1. Izboljša se tudi raztros vrednosti po posameznih preizkušancih. Način loma se od osnovne plošče z normalno gostoto ne razlikuje. Takoj po lomu ostane preizkušanelec v enem kosu, ob nadaljnjem povečevanju upogiba pa zelo hitro pride do razdvojitve.

Preglednica 9: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev A 2.2

<b>A 2.2</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Aritmetična sredina	803	3522	22,6
Najmanjša vrednost	703	3030	20,8
Največja vrednost	851	3801	24,3
Standardni odklon	42	210	1,1
Koeficient variacije (%)	5,2	6,0	4,8
Izboljšanje (%)	5	42	69

Za pravilno razumevanje pridobljenih rezultatov okrepljenih plošč je potrebno predhodno dobro razumeti lastnosti in njihov izvor pri osnovni troslojni iverni plošči. Plošče skupine A smo izdelali prav s tem namenom.

Lastnosti zunanjšega sloja so poleg sestave povezane tudi s termično obdelavo, ki se izvrši med postopkom stiskanja. Dokaz je v nekoliko slabših lastnostih plošče A 1.2, ki se je od A 1.1 razlikovala le po debelini. Tanjša (A 1.1) je vsebovala večji delež takšnega lesa in kljub njeni nekoliko nižji gostoti je imela višje ugotovljene vrednosti mehanskih lastnosti.

Ob združitvi vseh slojev v ploščo A 2.1 ugotovimo, da so lastnosti zunanjšega sloja bolj poudarjene, kljub temu, da srednji sloj sestavlja kar 60 % celotne plošče. Modul elastičnosti in upogibna trdnost dosejata vrednosti plošče A 1.1, medtem ko je gostota na

sredini med A 1.1 in A 1.3. Ugotovljeni rezultati se skladajo s teorijo, da je nosilni sloj plošče njen zunanji sloj. Nanj se prenaša največji delež obremenitev. Razmeroma enostavna modifikacija osnovne plošče z dodatkom še enega srednjega sloja se pri A 2.2 izkaže z zmernim porastom gostote in mehanskimi lastnostmi na ravni zahtev plošč tipa OSB3. Ob tem je nezanemarljivo tudi dejstvo, da OSB plošča takšne vrednosti dosega v vzdolžni smeri, prečno pa le polovične vrednosti. Iverna plošča ima lastnosti neodvisne od smeri, saj so vlakna usmerjena naključno.

## 4.2 PLOŠČE Z OKREPITVIJO (Skupina B)

### 4.2.1 Plošča B 1

Dodatek slame na površini plošče zniža gostoto le-te za 4 %. Slama v obliki vitkih in dobro prepletenih vlaken tvori močno plast, ki omogoča stabilno ploščo z dobrimi mehanskimi lastnostmi. Po poružitvi plast slame na zgornji strani preskušanca zadrži oba dela skupaj, ne nudi pa znatnejšega upora.

Preglednica 10: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev B 1

<b>B 1</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Aritmetična sredina	730	3178	19,9
Najmanjša vrednost	615	2451	14,2
Največja vrednost	775	3564	22,7
Standardni odklon	52	356	2,8
Koeficient variacije (%)	7,2	11,2	13,8
Izboljšanje (%)	-4	28	49

### 4.2.2 Plošča B 2

Plošči z oznako B 2 smo dodali juto na obeh mejah srednjega sloja z zunanjim slojem. Ob relativno majhni spremembi gostote se modul elastičnosti in upogibna trdnost dvigneta na raven plošč, okrepljenih s slamo. Po poružitvi se dolga vlakna jute ne pretrgajo v celoti in nudijo znaten upor nadaljnji deformaciji.

Preglednica 11: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev B 2

<b>B 2</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Aritmetična sredina	748	3066	19,5
Najmanjša vrednost	719	2815	17,1
Največja vrednost	766	3228	20,6
Standardni odklon	17	157	1,3
Koeficient variacije (%)	2,3	5,1	6,6
Izboljšanje (%)	-2	23	46

#### 4.2.3 Plošča B 3

PVC mrežo smo vgradili le na spodnjo stran plošče, zato smo preskušance obremenjevali le z zgornje strani. Izmenično obremenjevanje, kot ga zahteva standard ob enostranski vgradnji, ne bi imelo nikakršne uporabne vrednosti. Ob komajda spremenjeni gostoti se modul elastičnosti pri plošči z rumeno mrežo dvigne na 3822 N/mm<sup>2</sup>, kar pa je le nekoliko višja vrednost kot pri plošči s povečano gostoto. Veliko povečanje je opazno pri upogibni trdnosti, ki se podvoji in sicer na 32 N/mm<sup>2</sup>. Dolga vlakna v mreži se po lomu ne pretrgajo in nudijo sorazmerno velik upor proti nadaljnji deformaciji.

Preglednica 12: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev B 3 (rumena)

<b>B 3 (rumena)</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Aritmetična sredina	753	3822	32,4
Najmanjša vrednost	689	3554	29,2
Največja vrednost	801	4137	35,1
Standardni odklon	41	236	2,3
Koeficient variacije (%)	5,4	6,2	7,1
Izboljšanje (%)	-1	54	142

Bela mreža je mehanske lastnosti izboljšala za pol manj, kar je pričakovano, saj je bila redkejša in brez impregnacije. Dosežene mehanske lastnosti so na ravni plošče, ki ji je bila na površini dodana slama.

Preglednica 13: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev B 3 (bela)

<b>B 3 (bela)</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Aritmetična sredina	754	3139	23,2
Najmanjša vrednost	701	2725	20,4
Največja vrednost	781	3357	25,4
Standardni odklon	28	219	2,2
Koeficient variacije (%)	3,7	7,0	9,3
Izboljšanje (%)	-1	26	74

V zbiru rezultatov je upoštevana le boljša izmed plošč B 3.

#### 4.2.4 Plošče B 4

##### 4.2.4.1 Plošča B 4.1

Plošči B 4.1 smo na površino dodali furnir. Lom je večinoma potekal skozi material, le v enem primeru je prišlo do razplastitve na meji med zunanjim slojem iverja in furnirjem. Preizkušane, ki se je razplastil, je po vrednostih rahlo odstopal navzdol. Dobljenih vrednosti tega preizkušanca nismo upoštevali pri nadaljnji analizi. Po lomu sta dela preizkušanca ostala skupaj. Upor po lomu je majhen.

Preglednica 14: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev B 4.1

<b>B 4.1</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Aritmetična sredina	707	7405	65,5
Najmanjša vrednost	677	6927	57,5
Največja vrednost	746	7662	69,5
Standardni odklon	27	257	4,7
Koeficient variacije (%)	3,8	3,5	7,2
Izboljšanje (%)	-7	198	390

##### 4.2.4.2 Plošča B 4.2

S postavitvijo furnirja na mejo med srednjim in zunanjim slojem se vrednosti mehanskih lastnosti v primerjavi s troslojno ploščo znatno izboljšajo. Stopnja izboljšanja je približno za polovico nižja kot pri ploščah s površinsko umeščenim furnirjem. Naknadni upor po lomu je sorazmerno visok. Lom napreduje po meji med furnirjem in notranjim slojem.



Preglednica 15: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev B 4.2

<b>B 4.2</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Aritmetična sredina	719	4661	40,2
Najmanjša vrednost	683	3942	33,5
Največja vrednost	743	5085	48,1
Standardni odklon	21	364	4,8
Koeficient variacije (%)	3,0	7,8	11,9
Izboljšanje (%)	-6	88	201

#### 4.2.4.3 Plošča B 4.3

Postavitev furnirja v center plošče na mehanske lastnosti nima takšnega vpliva, kot pri ostalih dveh različicah. Izboljšanje komaj dosega izboljšanje plošč, okrepljenih s slamo ali juto. Ugodnejši je odziv materiala po lomu. Po lomu preizkušanec nudi upor nadaljnji deformaciji.

Preglednica 16: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev B 4.3

<b>B 4.3</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Aritmetična sredina	739	2870	19,1
Najmanjša vrednost	711	2372	16,1
Največja vrednost	818	3346	24,4
Standardni odklon	37	367	3,6
Koeficient variacije (%)	5,0	12,8	19,1
Izboljšanje (%)	-3	15	43

Plošče B 1, B 2 in B 3 dosežejo zmerno izboljšanje mehanskih lastnosti. Ob minimalnem znižanju gostote izboljšanje mehanskih lastnosti ne preseže plošče A 2.2. Slama v plošči B 1 se na površini dobro poveže, vendar je plast pretanka. Izboljšanje mehanskih lastnosti je premajhno, da bi upravičilo dodatno postrojenje za pripravo, oblepljanje in natresanje slame. Pri ploščah B 2 in B 3 se pokaže slabost mrežnega materiala, ki je sestavljen iz velikega števila tankih vlaken. Vlakna v nitih, ki sestavljajo mrežo, med seboj niso povezana. Juta pred sestavo pogače ni dodatno oblepljena. Lepilo, preneseno iz sosednjih iveri, je prešlo le na zunanja vlakna, vlakna v sredini preseka niti so ostala prosta. Ob obremenitvi prosta vlakna predstavljajo šibki člen. Obremenitve ne prevzamejo, nanje se prenese šele po poružitvi okoliškega materiala.

V ploščo B 3 smo vgradili oblepljeno PVC mrežo. Dosegli smo podoben efekt kot pri neoblepljeni juti. Vzrok za neustrezno vezavo PVC vlaken med seboj bi lahko iskali v lepilu, ki morda ni sposobno dovolj dobro vezati tega materiala. Plošča B 3 je bila izvedena z dvema različnima PVC mrežama. Obe mreži smo pred vgradnjo v ploščo prepojili z lepilom. Rumena mreža, ki je že imela impregnacijo, je dosegla boljše mehanske lastnosti kot bela mreža, ki ni bila impregnirana.

Furnir se je izkazal kot zelo dober okrepitveni material. Plošče, okrepljene s furnirjem, so dosegale zelo dobre vrednosti mehanskih lastnosti. Njegova umestitev v ploščo je bila hitra in enostavna.

Plošča B 4.1 dosega izrazito izboljšane lastnosti. Ob najnižji ugotovljeni gostoti, ki je 7 % nižja kot pri osnovni iverni plošči, se modul elastičnosti izboljša za skoraj 400 %, upogibna trdnost pa 200 %. S takšnimi lastnostmi se lahko primerja s ploščo tipa OSB4, ki je namenjena za uporabo v konstrukcijske namene v težjih pogojih. Gostota OSB4 je le okoli 10 % nižja.

Razloge za tako dobre rezultate lahko iščemo v sloju, s katerim je zlepljen. Drobni delci, ki sestavljajo zunanji sloj, imajo velik delež lepila, prav tako jih veliko pride v stik s furnirjem. Lepilo na stiku s furnirjem prehaja iz iveri in ob utrditvi se tvori veliko število vezi. Ker je povezava s slojem iveri trdna, se obremenitev prenese na furnir, ki ima boljše trdnostne lastnosti.

Kako pomembna je kakovost sosednjega sloja, se pokaže pri ploščah B 4.2 in B 4.3. Plošča B 4.2 kljub furnirju blizu površine dosega le polovico izboljšanja, kot plošča B 4.1. Furnir se stika z dvema različnima slojema. Zunanji sloj iverja se dobro oprime površine furnirja, medtem ko srednji sloj nima tako dobrih vezivnih sposobnosti. V srednjem sloju so večji gradniki z manjšim deležem lepila, kar pomeni manj stikov iveri s furnirjem in ob tem tudi manjši delež oblepljenih mest. Ker srednji sloj ni sposoben obremenitev prenesti na furnir, pride na meji do porušitve.

V B 4.3 se nezmožnost srednjega sloja iverja za dobro vezavo s furnirjem pokaže še bolj očitno. Lom poteka na meji med furnirjem in ivermi. Ugotovljene vrednosti so na ravni plošč A 2.2 , B 1 ter B 2.

#### 4.3 INDUSTRIJSKE IVERNE PLOŠČE (Skupina C)

##### 4.3.1 Plošča C 1

Mehanske lastnosti industrijsko izdelanih ivernih plošč smo določili za potrebe vrednotenja spremenjenih mehanskih lastnosti z juto naknadno oblepljenih ivernih plošč. Vrednosti različnih preizkušancev industrijsko izdelanih ivernih plošč so zelo konstantne (KV=1,2 %), za razliko od laboratorijsko izdelanih testnih plošč, katerih vrednosti posameznih preizkušancev so bile bolj variabilne (KV=2.3-13,1 %).

Preglednica 17: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev C 1

C 1	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Aritmetična sredina	3285	15,1
Najmanjša vrednost	3242	13,7
Največja vrednost	3343	16,4
Standardni odklon	38	0,97
Koeficient variacije (%)	1,2	6,4

##### 4.3.2 Plošča C 2

Plošče z oznako C 2 predstavljajo industrijske iverne plošče, okrepljene z juto na eni zunanji površini. Pri vseh preizkušancih plošč z oznako C 2 je preizkušanje potekalo z oblepljeno površino, obrnjeno navzdol. Spodnja stran je pri upogibnem testu natezno obremenjena in ker juta prenaša le natezne obremenitve, postavitev na zgornjo stran, v kateri se generirajo tlačne sile, ni smotrna. Dobljeni rezultati so v primerjavi z osnovno ploščo mnogo bolj variabilni po posameznih preizkušancih. Opazen je 8 % padec elastičnega modula in 19 % izboljšanje upogibne trdnosti. Pregled po poružitvi potrди sum slabega oprijema, ki se nam je pojavil že ob nanašanju lepila na iverno ploščo. Lepilo je v ploščo slabo sidrano zaradi njene neaktivne površine, zato se plast jute delno ali pa v celoti odlepi od plošče. Preizkušanci so po prelomu povezani z nekaj nitmi, ne nudijo pa odpora.

Preglednica 18: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev C 2

<b>C 2</b>	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Aritmetična sredina	3037	18,0
Najmanjša vrednost	2865	15,9
Največja vrednost	3175	19,2
Standardni odklon	111	1,3
Koeficient variacije (%)	3,6	7,0
Izboljšanje (%)	-8	19

### 4.3.3 Plošča C 3

Plošče z oznako C 3 predstavljajo industrijske iverne plošče, okrepljene z juto na dveh zunanjih površinah. Dvostranska oblepitev z juto izboljša modul elastičnosti za 3 % in upogibno trdnost za 19 %. Tudi pri tej plošči je prišlo do porušitev po lepilnem spoju, kar se odraža v veliki variabilnosti dobljenih vrednosti. Zgornja plast zadrži prelomljen preizkušanelec skupaj, vendar le-ta ne nudi več upora.

Preglednica 19: Rezultati meritev upogibne trdnosti, modula elastičnosti in gostote preskušancev C 3

<b>C 3</b>	$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Aritmetična sredina	3374	18,0
Najmanjša vrednost	3274	15,0
Največja vrednost	3496	19,8
Standardni odklon	86	1,7
Koeficient variacije (%)	2,6	9,2
Izboljšanje (%)	3	19

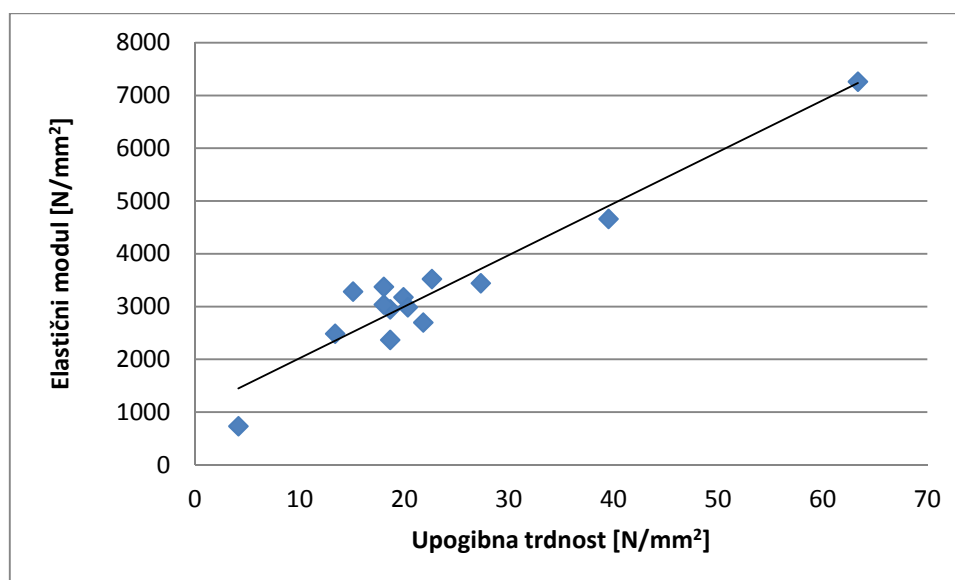
Juta se kot okrepitev industrijsko izdelanih plošč (plošče C) ni pretirano izkazala. Izboljšanje upogibne trdnosti za 18 % je daleč od zmožnosti takšne kombinacije materialov. Lepilo se v ploščo ni sidralo, ker je površina plošče povsem zaprta. Zaprta površina plošče je posledica termično obdelane površine tekom stiskanja plošče in utrjenega lepila. Tako je otežen prehod tekočin v ploščo. Ta efekt je zaželen v primeru, ko želimo, da takšen vgrajen element kljubuje vdoru vode. V primeru oblepljanja ni zaželen.

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

S projektom smo želeli ugotoviti, kako dodatek naravnih in sintetičnih vlaken vpliva na nekatere lastnosti ivernih plošč. Izdelali smo več ivernih plošč z različno sestavo. Kot okrepitveni material smo uporabili: furnir, slamo, juto in PVC mrežo. Izdelanim ploščam smo določili upogibno trdnost, modul elastičnosti in gostoto.

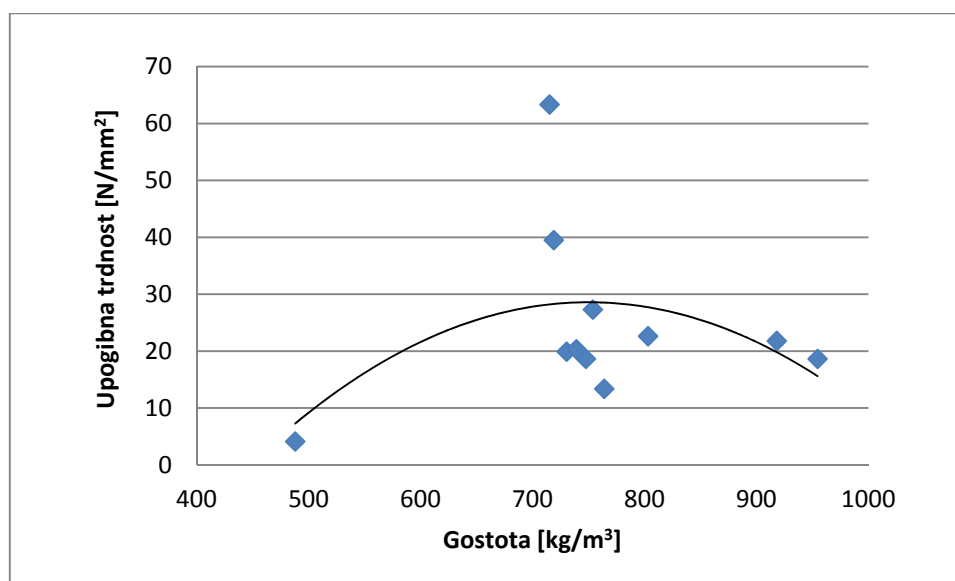
Slika 20 prikazuje povezavo elastičnega modula in upogibne trdnosti ivernih plošč.



Slika 20: Povezava med elastičnim modulom in upogibno trdnostjo plošč

Na grafu odvisnosti elastičnega modula od upogibne trdnosti je dobro vidna linearna povezava mehanskih lastnosti.

Vpliv gostote na upogibno trdnost je razviden na sliki 21.

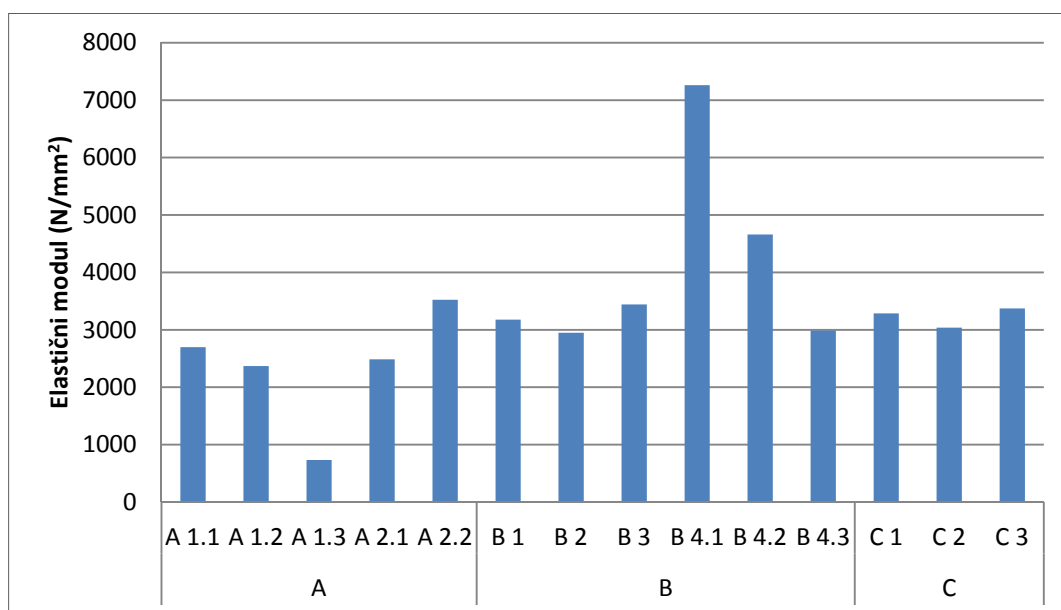


Slika 21: Graf odvisnosti upogibne trdnosti od gostote

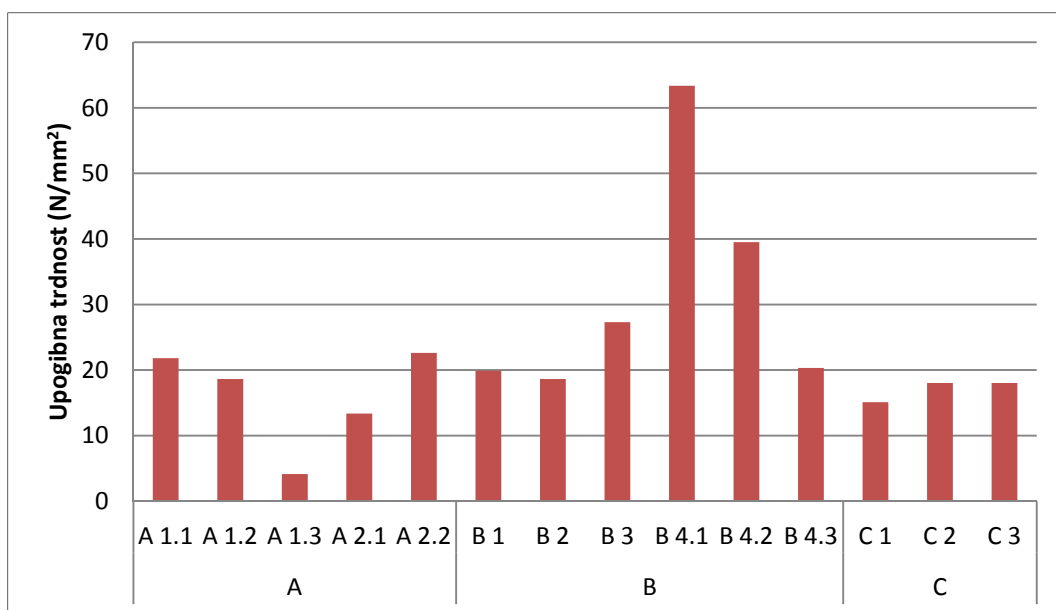
Z grafa je razvidno, da višanju gostote sprva sledijo tudi mehanske lastnosti. V območju zelo visokih gostot se trend obrne in pričnejo upadati. Pri nižjih gostotah so, zaradi manjše količine materiala in nižjega deleža lepila, slabše lastnosti pričakovane. Za doseganje višjih gostot je potrebno v enak volumen spraviti več materiala, kar se pri izdelavi ivernih plošč dosega z visokimi tlaki, vlago in temperaturo. Pri preveliki zgostitvi pride do mehanskih poškodb gradnikov, ki v izdelani plošči niso sposobni prenašati obremenitev. Posledično so mehanske lastnosti takšne plošče slabše.

Za doseganje boljših lastnosti so bili namesto le delno učinkovitega povečevanja gostote uporabljeni okrepitveni materiali. Ti materiali so bili dodani z namenom izboljšanja mehanskih lastnosti ob nespremenjeni gostoti ivernih plošč. Njihov vpliv je lepo viden na slikah 22 in 23. Uspešnost prenosa obremenitve na okrepitve in mehanske lastnosti le-te določajo stopnjo izboljšanja mehanskih lastnosti okrepljenih ivernih plošč.

Vpliv dodatka okrepitev k iverni plošči je viden na slikah 22 in 23.



Slika 22: Vpliv sestave plošče na modul elastičnosti



Slika 23: Vpliv sestave plošče na upogibno trdnost

Najnižji elastični modul in upogibno trdnost doseže plošča, sestavljena le iz iverja za srednji sloj. Plošče iz iverja za zunanji sloj imajo veliko boljše lastnosti. Troslojna plošča je po mehanskih lastnostih bližje ploščam zunanjega sloja. Z zmernim povečanjem gostote s podvojitvijo srednjega sloja doseže mehanske lastnosti OSB3 plošč.

V mrežnih materialih so posamezne niti sestavljene iz večjega števila vlaken. Vlakna med seboj niso trdno povezana. Ko jih vgradimo v ploščo, se vlakna na površini niti oblepijo in vežejo z iverjem. V notranjosti preseka niti ostanejo vlakna prosta. Ko takšno ploščo obremenjujemo, se napetosti ne prenašajo na celoten presek niti. Po lomu preprečijo razdvojitve plošče.

Varianta s furnirjem na površini plošče bi, ob nadgradnji z ustreznim sredstvom za impregnacijo, lahko uspešno konkurirala ploščam OSB4. Izkazan je visok potencial z vidika mehanskih lastnosti, ki bi ga bilo potrebno nadgraditi tudi z vidika ekonomičnosti, predno bi bilo smiselno apliciranje v proizvodnjo.

Ugotovitve, podobne našim, je podal tudi Tröger (1998), saj je ugotovil 50 % izboljšanje elastičnega modula ivernih plošč, okrepljenih z naravnimi vlakni. Cai (2006) je pri vgradnji steklenih vlaken na površino plošč MDF in OSB ugotovil porast elastičnega modula do 19 % in upogibne trdnosti do 16 %. Ob tem je ugotovil tudi izboljšanje ostalih lastnosti. Mohebbi (2009) je v MDF ploščah, okrepljenih z jekleno mrežo, ugotovil manjše izboljšanje kot smo ga dosegli s postavitvijo furnirja na površino ali na mejo med sloje iverne plošče. Ob tem furnir ni imel negativnih učinkov na rezila ob razrezu plošč.

## 5.2 SKLEPI

V raziskavi je bil ugotovljen pozitiven doprinos dodanih materialov k mehanskim lastnostim iverne plošče. Okrepitev s furnirjem je najbolj izboljšala mehanske lastnosti, še posebno ob postavitvi na površino. Vgradnja materiala v obliki mreže, namesto v obliki posameznih vlaken, ne da boljših rezultatov, če vlakna, ki sestavljajo mrežo, niso predhodno medsebojno povezana. Oblepljanje industrijsko izdelanih ivernih plošč z juto ne prinese izboljšanja. Zaradi zaprte oziroma neaktivne površine plošč lepilo slabo prodira in se ne sidra v ploščo.



## VIRI

### Alabastru

[www.alabastru.ro](http://www.alabastru.ro) (26. feb. 2013)

Biblis E. J. 1965. Analysis of wood-fiberglass composite beams within and beyond the elastic region. *Forest Products Journal*, 15,2:81-88

Cai Z. 2006. Selected properties of MDF and flakeboard overlaid with fiberglass mats. *Forest Products Journal*, 56, 11-12, 142-146

Grobovšek B. 2009. Ekološki gradbeni materiali.

[http://www.evip.si/index.php?option=com\\_content&task=view&id=188&Itemid=169](http://www.evip.si/index.php?option=com_content&task=view&id=188&Itemid=169) (25. feb. 2013)

Kitipornchai S. 1986. Reinforcing timber. United states patent no 458655

Lindal S. 1981. Metal reinforced wood truss and tie means. United states patent no 4274241

Malcolm HD 1992. Reinforced fiberboard. British patent GB2248246

Maloney M. T. 1996. The family of wood composite materials. *Forest Products Journal*, 46,2:19-26

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

Mohebbi B., Tavassoli F., Kazemi-Najaf S. 2011. Mechanical properties of medium density fiberboard reinforced with metal and woven synthetic nets. *European Journal of Wood Products*, 69: 199-206

Mura IJ., Mura I. 2001. Reinforced particle board and method for manufacturing thereof. World intellectual property organization patent no WO/2001/081056

Obrien M. 1991. Reinforced laminated beam. United states patent no 5026593

### Pd fibreglass

[http://www.pd-fibreglass.com/cms/index.php?option=com\\_content&view=article&id=58&Itemid=65&lang=en](http://www.pd-fibreglass.com/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=65&lang=en) (26. feb. 2013)

Petrivčič G. 2007. Kako izgraditi kucu od slame.

<http://www.h-alter.org/vijesti/ekologija/kako-izgraditi-kucu-od-slame>

(26. feb. 2013)

SIST EN 310. Lesne plošče –Določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti. Wood-based panels –Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. 1993

SIST EN 313-1. Vezan les –Razvrstitev in terminologija –1. del: Razvrstitev. Plywood – Classification and terminology –Part 1: Classification. 2000

SIST EN 323. Lesne plošče –Določanje gostote. Wood-based panels –Determination of density. 1993

SIST EN 323: 1993 Lesne plošče –Določanje gostote. Wood-based panels - Determination of density. 1993

SIST EN 326-1. Lesne plošče –Vzorčenje, Izrez in pregled lesnih plošč–1. del: Vzorce, izrez in izražanje rezultatov preizkušanja. Wood-based panels –Sampling, cutting and inspection –Part 1: Sampling and cutting of test pieces and expression of test results. 1994

Skubo H. OSB technical information

<http://www.osb-info.org/technical.html>

(12. mar. 2013)

Svet metraže

<http://www.svetmetraze.si/aklovina-4714-p-1493.html>

(26. feb. 2013)

Tröger F., Wegener G., Seemann C. 1998. Miscanthus and flax as raw material for reinforced particleboards. Industrial Crops and Products 113–121

Wangard F.F. 1964. Elastic deflection of wood-fiberglass composite beams. Forest Products Journal, 14,6:256-260

Xiong G. 1998. Long term behavior of steel-strip reinforced wood shaving-cement board roof panel. Cement and Concrete Composites 20,4:329–334

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se doc. dr. Sergeju Medvedu za pomoč in nasvete pri nastanku diplomskega projekta. Zahvala gre tudi recenzentu prof. dr. Milanu Šerneku za strokovno recenzijo diplomskega projekta.

Posebno zahvalo dolgujem družini, ki mi je nudila vsestransko podporo skozi vsa študijska leta ter s tem omogočila nastanek tega dela.

Hkrati se za vso podporo in nasvete zahvaljujem še vsem sorodnikom, prijateljem in sošolcem.

## PRILOGE

Priloga A:

### Osnovni podatki ivernih plošč

osnovni podatki		
dolžina	500	mm
širina	500	mm
debelina	16	mm
prostornina plošče	4000	cm <sup>3</sup>
gostota	0,70	g/m <sup>3</sup>
masa	2800	g

zunanji sloj			srednji sloj		
delež	40	%	delež	60	%
masa	1120	g	masa	1680	g
lepilo	UF		lepilo	UF	
delež lepila	11	%	delež lepila	8	%
delež utrjevalca	0	%	delež utrjevalca	3	%
delež parafinske emulzije	0	%	delež parafinske emulzije	0	%
suha snov - lepilo	61	%	suha snov - lepilo	61	%
suha snov - utrjevalec	10	%	suha snov - utrjevalec	10	%
suha snov - parafinske emulzije	60	%	suha snov - parafinske emulzije	60	%
vlažnost iverja	2,50	%	vlažnost iverja	3,20	%
vlažnost oblepljenega iverja	11	%	vlažnost oblepljenega iverja	8	%
faktor	1,11		faktor	1,08	

Priloga B:

Rezultati meritev, izračunov za gostoto in upogibno obremenitev preskušancev skupine A

zunANJI sloj:

Enojni

A 1.1	a	b	c	m	gostota (kg/m <sup>3</sup> )
11	50,00	50,15	2,43	4,32	709
12	49,73	50,17	2,44	5,11	839
13	50,28	50,16	2,41	6,17	1015
14	50,22	50,36	2,41	6,1	1001
15	50,18	50,12	2,48	5,52	885
16	50,18	50,09	2,42	6,44	1059
					918
	a	b	f <sub>m</sub>	E <sub>m</sub>	
11	49,40	2,43	18,28	2312	
12	50,26	2,59	15,11	1867	
13	50,25	2,71	25,58	3235	
14	49,75	2,35	23,20	2574	
15	49,73	2,33	26,86	3505	
			21,81	2699	

Dvojni

A 1.2	a	b	c	m	gostota (kg/m <sup>3</sup> )
21	50,26	50,30	5,42	13,81	1008
22	50,33	50,19	5,34	12,82	950
23	50,28	50,25	5,38	12,64	930
24	50,33	50,28	5,43	13,03	948
25	50,11	50,08	5,49	13,17	956
26	50,25	50,25	5,55	13,1	935
					955
	a	b	f <sub>m</sub>	E <sub>m</sub>	
21	50,21	5,31	18,70	2434	
22	50,14	5,27	22,46	2764	
23	49,86	5,36	16,47	2206	
24	49,99	5,33	15,78	2009	
25	50,15	5,39	16,82	2061	
26	50,24	5,29	21,66	2737	
			18,65	2369	

## srednji sloj

A 1.3	a	b	c	m	gostota (kg/m <sup>3</sup> )
31	50,00	50,10	13,02	16,11	494
32	50,18	50,30	13,04	16,50	501
33	50,30	50,00	12,96	16,19	497
34	50,27	50,29	12,93	15,11	462
35	50,27	50,29	12,94	15,23	466
36	50,16	50,31	12,97	16,60	507
					488
	a	b	f <sub>m</sub>	E <sub>m</sub>	
31	50,19	12,82	3,86	729	
32	50,23	12,90	3,48	716	
33	49,98	12,72	4,05	689	
34	50,05	12,72	4,12	667	
35	50,10	12,99	4,64	775	
36	49,74	12,91	4,65	821	
			4,13	733	

## troslojna iverna plošča

A 2.1	a	b	c	m	gostota (kg/m <sup>3</sup> )
41	50,27	50,37	15,68	31,53	794
42	50,25	50,27	15,57	31,52	801
43	50,31	50,31	15,62	29,82	754
44	50,21	50,25	15,68	29,13	736
45	50,29	50,25	15,74	28,51	717
46	50,24	50,23	15,56	30,64	780
					764
	a	b	f <sub>m</sub>	E <sub>m</sub>	
41	50,11	15,49	17,09	2910	
42	50,20	15,46	13,14	2585	
43	50,02	15,54	16,85	2886	
44	50,18	15,39	10,32	2009	
45	50,72	15,49	15,31	2748	
46	50,09	15,39	7,59	1774	
			13,38	2485	

A 2.2	a	b	c	m	gostota (kg/m <sup>3</sup> )
501	50,36	50,24	16,39	29,14	703
502	50,29	50,32	16,38	33,68	813
503	50,24	50,30	16,17	33,69	824
504	50,25	50,33	16,01	33,02	815
505	50,27	50,22	16,01	34,38	851
506	50,33	50,33	16,25	34,15	830
507	50,40	50,28	16,05	33,61	826
508	50,28	50,29	15,99	32,32	799
509	50,33	50,35	16,19	31,43	766
					803
	a	b	f <sub>m</sub>	E <sub>m</sub>	
501	50,20	16,24	20,76	3518	
502	50,13	16,06	24,27	3651	
503	50,16	16,28	22,64	3620	
504	50,03	16,08	23,94	3801	
505	50,14	16,13	21,52	3030	
506	49,88	16,08	21,63	3529	
507	49,97	16,20	23,06	3459	
508	50,02	16,07	22,99	3696	
509	49,99	16,20	22,88	3393	
			22,63	3522	

Priloga C:

Rezultati meritev, izračunov za gostoto in upogibno obremenitev preskušancev skupine B

slama na površini

B 1	a	b	c	m	gostota (kg/m <sup>3</sup> )
601	50,25	50,21	16,01	29,06	719
602	50,11	50,28	15,96	30,71	764
603	50,22	50,31	16,08	26,94	663
604	50,21	50,22	15,98	30,96	768
605	50,23	50,41	16,00	31,40	775
606	50,22	50,31	15,99	30,40	752
607	50,18	50,21	16,00	31,00	769
608	50,12	50,27	15,98	30,07	747
609	50,34	50,30	16,11	25,08	615
					730
	a	b	f <sub>m</sub>	E <sub>m</sub>	
601	50,08	15,95	16,50	2713	
602	50,16	15,87	18,98	3550	
603	50,19	15,95	22,68	3564	
604	50,13	15,92	21,99	3460	
605	49,66	15,96	14,24	2451	
606	50,10	15,83	19,28	3096	
607	50,10	15,82	22,10	3221	
608	50,15	15,80	21,69	3301	
609	50,24	15,90	21,74	3246	
			19,91	3178	

ojačitev z juto med sloji

B 2	a	b	c	m	gostota (kg/m <sup>3</sup> )
401	50,13	50,70	16,83	32,15	752
402	50,02	50,55	16,96	32,83	766
403	50,22	50,63	17,06	31,69	731
404	50,24	50,50	16,68	32,25	762
405	50,24	50,53	16,67	30,43	719
406	48,76	50,55	16,84	31,39	756
					748



	a	b	f <sub>m</sub>	E <sub>m</sub>
401			20,60	3090
402			20,48	3228
403			19,41	3223
404			17,05	2815
405			19,97	2973
406			14,33	2359
			18,64	2948

mreža na površini (samo spodnja stran)

B 3	a	b	c	m	gostota (kg/m <sup>3</sup> )
701(b)	50,29	50,30	15,52	29,89	761
702(b)	50,28	50,31	15,82	28,07	701
703(b)	50,49	50,43	15,55	30,61	773
704(b)	50,37	50,26	15,57	29,74	754
705(b)	50,31	50,22	15,59	30,76	781
706(ru)	50,29	50,32	15,82	27,57	689
707(ru)	50,23	50,31	15,59	31,57	801
708(ru)	50,30	50,25	15,62	30,06	761
709(ru)	50,25	50,38	15,56	29,97	761
					754
	a	b	f <sub>m</sub>	E <sub>m</sub>	
701(b)	50,15	15,52	25,38	3131	
702(b)	50,12	15,60	25,15	3224	
703(b)	50,07	15,64	24,40	3260	
704(b)	50,10	15,62	20,43	2725	
705(b)	49,95	15,65	20,78	3357	
706(ru)	50,04	15,53	29,16	4137	
707(ru)	50,17	15,47	35,09	3958	
708(ru)	50,12	15,51	33,92	3554	
709(ru)	50,40	15,50	31,44	3638	
b-bela	ru-rumena		27,31	3443	

ojačitev s furnirjem

površina					
B 4.1	a	b	c	m	gostota (kg/m <sup>3</sup> )
101	50,25	50,43	18,96	36,35	757
102	50,24	50,39	18,82	32,68	686
103	50,53	50,20	18,95	33,32	693
104	50,28	50,52	19,07	36,16	746
105	50,26	50,50	18,60	34,51	731
106	50,22	50,51	18,66	32,05	677
					715
	a	b	f <sub>m</sub>	E <sub>m</sub>	707
101			52,46	6547	
102			62,90	7662	
103			68,49	7366	
104			69,25	6927	
105			57,49	7544	
106			69,54	7525	
			63,36	7262	
			65,534	7404,8	

med sloji

B 4.2	a	b	c	m	gostota (kg/m <sup>3</sup> )
201	50,50	50,22	18,74	33,32	701
202	50,51	50,31	19,22	33,37	683
203	50,53	50,32	18,89	35,25	734
204	50,60	50,26	18,63	35,18	743
205	50,52	50,22	18,93	34,32	715
206	50,50	50,30	18,68	35,00	738
					719
	a	b	f <sub>m</sub>	E <sub>m</sub>	
201			36,49	3942	
202			40,02	4735	
203			33,48	4602	
204			39,19	4645	
205			44,09	4959	
206			48,09	5085	
			40,23	4661	

sredica					
B 4.3	a	b	c	m	gostota (kg/m <sup>3</sup> )
301	50,37	50,57	16,57	30,02	711
302	50,29	50,53	16,42	30,85	739
303	50,30	50,51	16,37	34,04	818
304	50,31	50,51	16,55	30,03	714
305	50,07	50,50	16,64	30,47	724
306	50,22	50,52	16,74	30,85	726
					739
	a	b	f <sub>m</sub>	E <sub>m</sub>	
301			22,64	3236	
302			16,16	2754	
303			16,08	2372	
304			16,30	2642	
305			24,41	3346	
306			26,39	3571	
			20,33	2987	

## Priloga D:

Rezultati meritev, izračunov za gostoto in upogibno obremenitev preskušancev skupine C

industrijske plošče (d=10mm)				
neoblepljene				
C 1	a	b	f <sub>m</sub>	E <sub>m</sub>
801	50,63	10,02	14,43	3242
802	50,64	10,01	16,38	3343
803	50,65	10,01	13,68	3244
804	50,62	10,01	15,87	3292
805	50,66	10,02	15,13	3302
			15,098	3284,6
oblepljene z juto z ene strani				
C 2	a	b	f <sub>m</sub>	E <sub>m</sub>
901	50,61	10,63	15,87	2865
902	50,64	10,58	17,35	2975
903	50,61	10,56	19,22	3175
904	50,59	10,50	18,82	3040
905	50,58	10,44	18,93	3131
			18,038	3037,2
oblepljene z juto z obeh strani				
C 3	a	b	f <sub>m</sub>	E <sub>m</sub>
1001	50,67	11,24	17,82	3320
1002	50,66	11,17	19,78	3322
1003	50,63	11,19	15,04	3274
1004	50,67	11,12	18,22	3496
1005	50,56	11,12	19,34	3456
			18,04	3373,6