

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Boštjan ŠPORAR

**VPLIV CIKLIČNIH KLIMATSKIH POGOJEV NA  
NEKATERE MEHANSKE LASTNOSTI PLOŠČ IZ  
IVERI IN VLAKEN**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Boštjan ŠPORAR

**VPLIV CIKLIČNIH KLIMATSKIH POGOJEV NA NEKATERE  
MEHANSKE LASTNOSTI PLOŠČ IZ IVERI IN VLAKEN**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

**INFLUENCE OF CYCLIC CLIMATIC CONDITIONS ON SOME  
MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICLE AND FIBER BASED  
BOARDS**

GRADUATION THESIS

University Studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija Lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja imenoval prof. dr. Sergeja Medveda in za recenzenta prof. dr. Željka Goriška.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora: 30.9.2016

Diplomsko delo 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.

Boštjan ŠPORAR

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn
- DK UDK 630\*862
- KG iverna plošča/vlaknena plošča/klimatski pogoji/mehanske lastnosti
- AV ŠPORAR, Boštjan
- SA MEDVED, Sergej (mentor)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
- KZ SI-1000 LJUBLJANA, Rožna dolina, c. VIII/34
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- LI 2016
- IN VPLIV CIKLIČNIH KLIMATSKIH POGOJEV NA NEKATERE MEHANSKE  
LASTNOSTI PLOŠČ IZ IVERI IN VLAKEN
- TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
- OP X, 35 str., 9 pregl., 15 sl., 3 pril., 12 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Ugotavljali smo vpliv cikličnih klimatskih pogojev na nekatere mehanske lastnosti ivernih in vlaknenih plošč. Uporabili smo vlakneno ploščo, iverno ploščo, konstrukcijsko iverno ploščo in ploščo z usmerjenim ploščatim iverjem, ki smo jih za 12 mesecev izpostavili cikličnim klimatskim pogojem. Posamezen cikel je trajal 5 tednov in sicer so bili preskušanci 4 tedne izpostavljeni klimi z visoko relativno zračno vlažnostjo ( $85\pm 5\%$ ) in 1 teden klimi z ( $35 \pm 5\%$ ) relativno zračno vlažnostjo. Temperatura je bila  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Po izpostavljenosti smo zopet ugotavljali nabrek, strižno, razslojno in upogibno trdnost. Ugotovili smo, da je dolga izpostavljenost negativno vplivala na mehanske lastnosti preizkušanih plošč. Najbolj so se zmanjšale lastnosti pri vlakneni plošči, najmanj pa pri konstrukcijski iverni plošči.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn  
DC UDC 630\*862  
CX particleboard/fibreboard/climatic conditions /mechanical properties  
AU ŠPORAR, Boštjan  
AA Medved, Sergej (supervisor)/GORIŠEK, Željko (reviewer)  
PP SI-1000 LJUBLJANA, Rožna dolina, c. VIII/34  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology  
PY 2016  
TI INFLUENCE OF CYCLICAL CLIMATE CONDITIONS ON SOME MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICLE AND FIBER BASED BOARDS  
DT Graduation thesis (University studies)  
NO X, 35 p., 9 tab., 15 fig., 3 ann., 12 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB Thesis researches how cyclical climate conditions affects some mechanical properties of particle and fiber based boards. We used four different boards; fibreboard, particleboard, structural particleboard and oriented strand board. Boards were exposed 12 months to cyclic climate conditions. Every cycle lasted 5 weeks, 4 weeks test samples were exposed to high relative humidity ( $85\pm 5\%$ ) and 1 week to relative humidity ( $35\pm 5\%$ ). Temperature was  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ . After exposure thickness swelling, shear strength, internal bond and bend strength was measured. We found out that long exposure had negative effect on mechanical properties of tested boards. We noticed the highest loss of mechanical properties at fiberboard and the lowest loss at structural particleboard.

## KAZALO VSEBINE

str.

<b>Ključna dokumentacijska informacija (KDI)</b> .....	<b>III</b>
<b>Key Words Documentation (KWD)</b> .....	<b>IV</b>
<b>Kazalo vsebine</b> .....	<b>V</b>
<b>Kazalo slik</b> .....	<b>VII</b>
<b>Kazalo preglednic</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Kazalo prilog</b> .....	<b>IX</b>
<b>Okrajšave in simboli</b> .....	<b>X</b>
<b>1 UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA .....	2
1.2 DELOVNA HIPOTEZA .....	2
1.3 CILJI NALOGE .....	2
<b>2 PREGLED OBJAV</b> .....	<b>3</b>
<b>3 MATERIAL IN METODE</b> .....	<b>6</b>
3.1 MATERIAL .....	6
3.1.1 <b>Vlakna plošča MDF</b> .....	<b>6</b>
3.1.2 <b>Iverna plošča tip P2</b> .....	<b>6</b>
3.1.3 <b>Konstruktivna iverna plošča P5</b> .....	<b>7</b>
3.1.4 <b>Iverna plošča z usmerjenim ploščatim iverjem OSB</b> .....	<b>7</b>
3.2 METODE DELA .....	7
3.2.1 <b>Izpostavljanje ciklični klimi</b> .....	<b>7</b>
3.2.2 <b>Ugotavljanje debeline in gostote</b> .....	<b>8</b>
3.2.3 <b>Določanje strižne trdnosti</b> .....	<b>9</b>
3.2.4 <b>Določanje razslojne trdnosti</b> .....	<b>10</b>
3.2.5 <b>Določanje upogibne trdnosti</b> .....	<b>12</b>
<b>4 REZULTATI</b> .....	<b>14</b>
4.1 Gostota, debelina in nabrek .....	14

<b>4.1.1</b>	<b>Razmerje med nabrekom in absorbirano vodo .....</b>	<b>15</b>
4.2	STRIŽNA, RAZSLOJNA IN UPOGIBNA TRDNOST .....	15
<b>4.2.1</b>	<b>Strižna trdnost .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Razslojna trdnost.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Upogibna trdnost in modul elastičnosti.....</b>	<b>18</b>
4.3	PRIMERJAVA STRIŽNE TRDNOSTI MED PLOŠČAMI.....	19
<b>4.3.1</b>	<b>Primerjava strižne trdnosti plošč MDF in IP P2 .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Primerjava strižne trdnosti plošč KIP P5 in OSB.....</b>	<b>20</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Primerjava strižne trdnosti plošč IP P2 in KIP P5 .....</b>	<b>21</b>
4.4	PRIMERJAVA RAZSLOJNE TRDNOSTI MED PLOŠČAMI.....	22
<b>4.4.1</b>	<b>Primerjava razslojne trdnosti plošč MDF in IP P2.....</b>	<b>22</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Primerjava razslojne trdnosti plošč KIP P5 in OSB.....</b>	<b>23</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Primerjava razslojne trdnosti plošč IP P2 in KIP P5 .....</b>	<b>24</b>
4.5	PRIMERJAVA UPOGIBNE TRDNOSTI MED PLOŠČAMI.....	25
<b>4.5.1</b>	<b>Primerjava upogibne trdnosti plošč MDF in IP P2.....</b>	<b>25</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Primerjava upogibne trdnosti plošč KIP P5 in OSB.....</b>	<b>26</b>
<b>4.5.3</b>	<b>Primerjava upogibne trdnosti plošč IP P2 in KIP P5 .....</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI.....</b>	<b>28</b>
5.1	PRIMERJAVA NABREKA IN GOSTOTE VZORCEV .....	28
5.2	ODVISNOST TRDNOSTI KOMPOZITNIH PLOŠČ OD RAZMERJA MED NABREKOM IN ABSORBIRANO VODO .....	29
5.3	SKLEPI.....	32
<b>6</b>	<b>POVZETEK .....</b>	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>VIRI .....</b>	<b>34</b>
	<b>ZAHVALA</b>	

## KAZALO SLIK

Slika 1: Shema komore.....	8
Slika 2: Shema preizkusa strižne trdnosti.....	9
Slika 3: Primer loma preizkušanca na stroju ZWICK.....	10
Slika 4: Vpenjalna glava za razslojevanje preskušancev.....	11
Slika 5: Preskušanec na testirnem stroju ZWICK Z100.....	12
Slika 6: Grafični prikaz strižne trdnosti MDF in IP P2 pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej.....	19
Slika 7: Grafični prikaz strižne trdnosti KIP P5 in OSB pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej.....	20
Slika 8: Grafični prikaz strižne trdnosti plošč IP P2 in KIP P5 pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej.....	21
Slika 9: Grafični prikaz razslojne trdnosti plošč MDF in IP P2 pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej.....	22
Slika 10: Grafični prikaz razslojne trdnosti plošč KIP P5 in OSB pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej.....	23
Slika 11: Grafični prikaz razslojne trdnosti plošč IP P2 in KIP P5 pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej.....	24
Slika 12: Grafični prikaz upogibne trdnosti plošč MDF in IP P2 pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej.....	25
Slika 13: Grafični prikaz upogibne trdnosti plošč KIP P5 in OSB pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej.....	26
Slika 14: Grafični prikaz upogibne trdnosti plošč IP P2 in KIP P5 pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej.....	27
Slika 15: Grafični prikaz odvisnosti trdnosti od razmerja med nabrekom in absorbirano vodo.....	30



## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Povprečna gostota, debelina in nabrek preskušancev pred in po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem.....	14
Preglednica 2: Razmerje med nabrekom in absorbirano vodo .....	15
Preglednica 3: Sprememba strižne, razslojne in upogibne trdnosti po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem .....	15
Preglednica 4: Strižna trdnost plošč pred in po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem.....	16
Preglednica 5: Razslojna trdnost plošč pred in po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem.....	17
Preglednica 6: Upogibna trdnost in modul elastičnosti pred in po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem .....	18
Preglednica 7: Nabrek, gostota in razmerje med nabrekom in absorirano vodo po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem pri ploščah MDF in IP P2 .....	28
Preglednica 8: Nabrek, gostota in razmerje med nabrekom in absorirano vodo po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem pri ploščah KIP P5 in OSB .....	29
Preglednica 9: Sprememba strižne, razslojne in upogibne trdnosti in razmerje med nabrekom in absorbirano vodo po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem.....	29

## KAZALO PRILOG

### PRILOGA A

Rezultati meritev za določanje strižne trdnosti s strižno trdnostjo

### PRILOGA B

Rezultati meritev za ugotavljanje razslojne trdnosti z razslojno trdnostjo

### PRILOGA C

Rezultati meritev za ugotavljanje upogibne trdnosti z modulom elastičnosti in upogibno trdnostjo

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

RZV	Relativna zračna vlažnost
OSB	Oriented strand board (plošča z usmerjenim iverjem)
MDF	Medium density board (vlaknena plošča)
RV	Relativna vlažnost
IP P2	Iverna plošča tip P2
KIP P5	Konstruktivna iverna plošča tip P5
UF	Urea-formaldehidno lepilo
MUF	Melaminsko-urea-formaldehidno lepilo

## 1 UVOD

Ploščni kompoziti so izdelani iz lesa ali drugih lignoceluloznih materialov in zlepljeni s pomočjo lepila, visoke temperature in visokega tlaka. Odlikuje jih predvsem dimenzijska stabilnost, ploskovitost in homogenost, njihova prednost pa je tudi možnost uporabe manjvredne surovine (veje, ostanki, krajniki...), kar močno poveča izkoristek lesa kot surovine.

Lesni ploščni kompoziti so vsestransko uporabljen material. Zaradi dobrih mehanskih lastnosti niso namenjeni samo uporabi za pohištveno industrijo, vendar se jih vedno pogosteje uporablja tudi v gradbeništvu za izdelavo strešnih konstrukcij, sten, podov, opaževanje betonskih konstrukcij itn., kakor tudi v spreminjajočih klimatskih pogojih.

Spremembe relativne zračne vlažnosti in s tem relativne vlažnosti ploščnih kompozitov so dejavnik, ki ga moramo upoštevati pri uporabi lesnih ploščnih kompozitov, še posebej, če so namenjeni za nosilne elemente.

Mehanske lastnosti ploščnih kompozitov so poleg klimatskih pogojev odvisne tudi od morfoloških značilnosti gradnikov, števila slojev, gostote posameznih slojev, vrste in količina dodanega lepila ter pogojev izdelave.

Zanimalo nas je, kako na najpomembnejše mehanske lastnosti različnih kompozitnih plošč vpliva dolgotrajna izpostavljenost ciklični klimi kjer prevladuje visoka relativna zračna vlažnost.

## 1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Iverne in vlaknene plošče so zaradi sprememb relativne zračne vlažnosti dimenzijsko nestabilne, kar je njihova velika pomanjkljivost. Najpomembnejša posledica, ki jo povzroča sprememba relativne vlažnosti plošč je nabrekanje in krčenje lignoceluloznih iveri in vlaken. Ob nabreku pride tudi do sproščanja notranjih napetosti. Zaradi nabrekanja gradnikov, sproščanja napetosti in krčenja gradnikov ob izpostavitvi kompozitov cikličnim klimatskim pogojem, pride do popuščanja lepilne vezi med gradniki in s tem posledično do sprememb mehanskih lastnosti.

## 1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Predvidevamo, da se bodo zaradi cikličnih klimatskih pogojev spremenile oz. poslabšale pomembne mehanske lastnosti.

## 1.3 CILJI NALOGE

Namen naloge je ugotoviti kako ciklični klimatski pogoji vplivajo na strižno, razslojno in upogibno trdnost na različne plošče iz iveri in vlaken.

## 2 PREGLED OBJAV

Halligan in Schniewind (1972) sta ugotovila, da so mehanske lastnosti ploščnih kompozitov povezane z dimenzijskimi spremembami in spremembami vlažnosti materiala, ki se pri higroskopskih materialih uravnoveša s klimo oziroma relativno zračno vlažnostjo (RZV), v kateri se nahaja. Vpliv vlažnosti lesnih ploščnih kompozitov na mehanske lastnosti ploščnih kompozitov je večji kot na mehanske lastnosti masivnega lesa. Ugotovila sta, da ob izpostavitvi določeni relativni vlažnosti vsaka vrsta ploščnega kompozita vzpostavi svojo, drugačno relativno vlažnost. Ploščne kompozite sta primerjala tudi z masivnim lesom in ugotovila, da masivni les in iverna plošča pri nizki zračni vlažnosti vzpostavita podobno ravnovesno vlažnost, medtem ko pri visoki relativni zračni vlažnosti masivni les vzpostavi precej višjo relativno vlažnost. Raziskala sta tudi vpliv količine lepila na ravnovesno vlažnost in nabrek ploščnih kompozitov in ugotovila, da se pri večjem deležu lepila relativna vlažnost plošč in nabrek zmanjšata.

Bekhta in Niemz (2009) sta raziskovala vpliv povišanih relativnih vlažnosti na upogibno trdnost in modul elastičnosti ploščnih kompozitov. Ugotovila sta, da se modul elastičnosti vseh vrst ploščnih kompozitov rahlo zmanjša pri izpostavitvi v območju 35% – 65% relativne zračne vlažnosti in opazno zmanjša, ko relativna zračna vlažnost preseže 65%. Pri izpostavitvi plošč nad 80% RZV sta zaznala zmanjšanje modula elastičnosti, kar naj bi bila posledica kapilarne kondenzacije v celičnih stenah. Podoben trend zmanjšanja kot pri modulu elastičnosti sta ugotovila tudi pri upogibni trdnosti. Preučila sta tudi vpliv gostote plošč na njihovo relativno vlažnost in ugotovila, da plošče z nižjo gostoto vzpostavijo višjo ravnovesno vlažnost kot plošče z višjo gostoto.

Niemz (2010) je ugotovil, da ploščni kompoziti vzpostavijo nižjo ravnovesno vlažnost kot masiven les. Na ravnovesno vlažnost in posledično na mehanske lastnosti lesnih kompozitov vplivajo postopek iverjenja in razvlaknjevanja, sušenje, vrsta lepila in dodatkov, postopek in pogoji stiskanja ter gostota kompozita.

McNatt (1974) je ugotovil, da sušenje lesnih kompozitov na vlažnost približno 0% znižuje trdnost in trdoto kompozitov. Edina izjema pri tem je tlačna trdnost. Ugotavljal je tudi mehanske lastnosti ivernih plošč s povišano vlažnostjo in ugotovil, da so plošče, ki so vsebovale urea-formaldehidno lepilo, dosegle podobne rezultate kot plošče s fenol-formaldehidnim lepilom. Mehanske lastnosti plošč je primerjal tudi po različnem času izpostavljenosti visoki relativni zračni vlažnosti. Dolga izpostavljenost 90% relativni zračni vlažnosti je minimalno poslabšala mehanske lastnosti plošč v primerjavi s kratko izpostavljenostjo.

Wu in Suchsland (1997) sta ugotovila, da ima nabrek OSB plošč kot posledica izpostavljenosti vodi oz. vlagi, negativen vpliv na mehanske lastnosti zaradi oslabitve oz. porušitve vezi lepila med gradniki. Ugotovila sta, da so mehanske lastnosti bolj povezane z nabrekom plošče kot z ravnovesno vlažnostjo plošče, torej je nabrek boljši napovedovalec oz. pokazatelj kakšna bo sprememba mehanskih lastnosti plošč.

Barnes in Lyon (1978) sta ugotavljala mehanske lastnosti plošč pri katerih so uporabili različno vrsto lepila. Ugotovila sta, da imajo plošče, ki vsebujejo urea formaldehidno (UF) lepilo pri izpostavljenosti 90% RZV slabše mehanske lastnosti kot tiste s fenol formaldehidnim (FF) lepilom. Po mnenju avtorjev je takšno obnašanje posledica oslabitve vezi in parafinske emulzije zaradi porušitve ter deloma tudi razpada vodikove vezi med lepilom in lesom. Ugotovila sta, da ima parafinska emulzija zgolj kratkotrajni zaščitni učinek pred delovanjem vode oz. vlage.

Na University of Cambridge, (Anonymous) (2006) so zapisali, da visoka relativna zračna vlažnost vpliva na ravnovesno vlažnost lesa in mehanske lastnosti lesa. Ko se les navlažuje do točke nasičenosti celičnih sten, se v celične stene veže voda. To povzroči, da se celične stene razširijo, kar povzroči spremembe dimenzij in nabrekanje lesa. Prisotnost vode v celični steni vpliva tudi na zmeščanje celične stene. Popuščati začnejo vodikove vezi med različnimi polimernimi verigami v kristalini celuloznih mikrofibril. Posledica je, da se med vodo in celulozo ustvarijo močnejše vodikove vezi kot med celulozo samo, saj se vodik lažje veže z vodo. To zmešča mikrofibrile celuloze in ker niso več tako močno povezane med seboj, se vlakna lažje razpletejo in raztegnejo. Posledica so slabše mehanske lastnosti

lesa. Ker voda celično steno razširi, to pomeni tudi manjše število celuloznih fibril glede na debelino celične stene. Ob obremenitvi so tako vlakna bolj obremenjena kar pomeni večjo verjetnost porušitve in posledično hitrejšo porušitev lesa ob obremenitvi.



### **3 MATERIAL IN METODE**

#### **3.1 MATERIAL**

V raziskavi smo uporabili komercialno dostopno vlakneno ploščo (MDF), iverno ploščo (P2), konstrukcijsko iverno ploščo (KIP P5) in iverno ploščo z usmerjenim ploščatim iverjem (OSB). Za vsako vrsto plošče smo pripravili po 10 vzorcev dimenzij 50mm x 50mm za merjenje debeline, gostote, debelinskega nabreka, razslojne in strižne trdnosti, ter po 12 vzorcev dolžine 360-380 mm in širine 50mm za merjenje upogibne trdnosti.

##### **3.1.1 Vlaknena plošča MDF**

Vlaknena plošča MDF je izdelana iz lesnih vlaken, ki so lahko zlepljena med seboj z urea-formaldehidnim, melamin-urea-formaldehidnim ali melamin-formaldehidnim lepilom. Ploščo odlikuje visoka dimenzijska stabilnost in dobre obdelovalne lastnosti kot so rezkanje, brušenje, lepljenje. Uporablja se predvsem v pohištveni industriji za kuhinje, kopalnice in podobno. Pri preizkusu smo uporabili testne vzorce iz plošče pri kateri je bilo uporabljeno urea-formaldehidno lepilo. Povprečna debelina preskušancev je bila 19,3 mm, povprečna gostota pa 705 kg/m<sup>3</sup>.

##### **3.1.2 Iverna plošča tip P2**

Surova iverna plošča tipa P2 (SIST EN 312) je trislojna plošča, kjer se v zunanem sloju uporabljajo bolj fine, v notranjem sloju pa bolj grobe iveri, zlepljene z urea-formaldehidnim lepilom. Uporabljajo se za notranjo opremo in so primerne za uporabo v suhih pogojih. V pohištveni industriji se jo uporablja kot osnovo za furniranje, oblepljanje s folijami, oblepljanje z laminati in podobno. Povprečna debelina uporabljenih preskušancev je bila 17,67 mm, povprečna gostota pa 630 kg/m<sup>3</sup>.

### **3.1.3 Konstrukcijska iverna plošča P5**

Konstrukcijska iverna plošča P5 je plošča pri kateri se za zunanji sloj uporabljajo naključno usmerjene večje iveri, zlepljene z melamin-urea-formaldehidnim ali pa melamin-formaldehidnim lepilom. V naši raziskavi smo uporabili ploščo z melamin-urea-formaldehidnim lepilom. Plošča ima primerljive lastnosti kot OSB plošča. Ker je primerna za uporabo v vlažnih pogojih, se jo uporablja v gradbeništvu za nosilne elemente, predelne stene, talne obloge itd. Povprečna debelina preskušancev je bila 18,18 mm, povprečna gostota pa  $622 \text{ kg/m}^3$ .

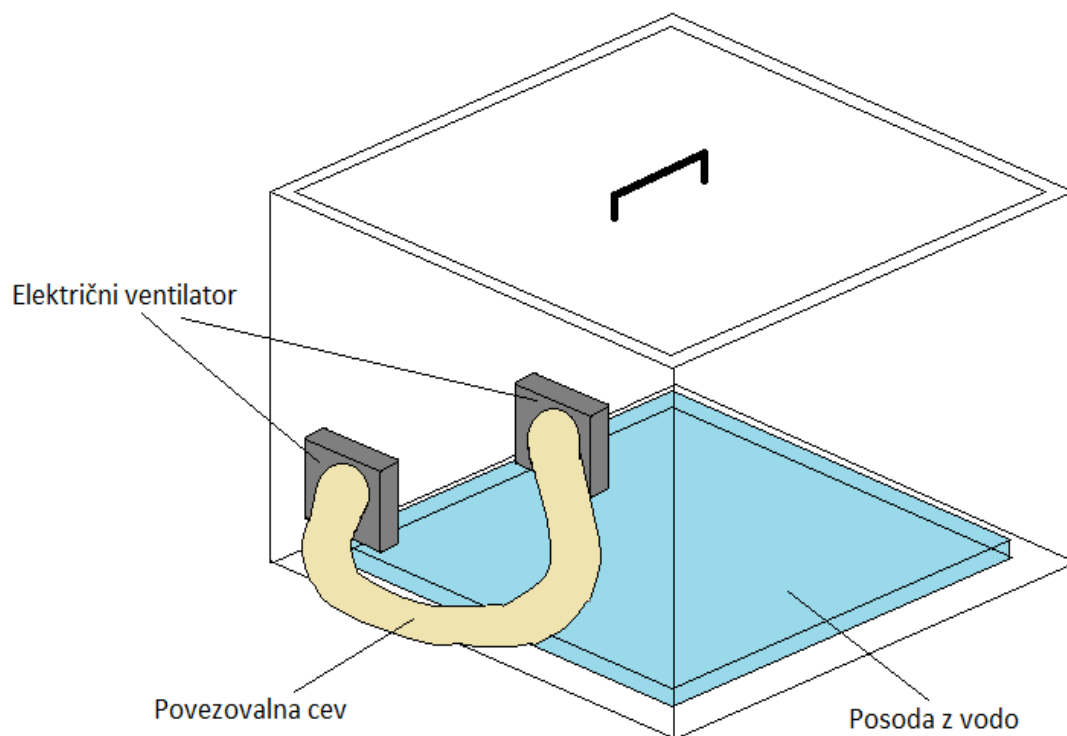
### **3.1.4 Iverna plošča z usmerjenim ploščatim iverjem OSB**

OSB plošče so izdelane iz večslojno lepljenih iveri. Te so v zunanjih slojih plošč usmerjene vzporedno z dolžino in širino plošče, iveri v srednjem sloju pa so usmerjene pravokotno na zunanji sloj ali naključno. Za oblepljenje iveri se uporablja predvsem melamin-formaldehidno lepilo. Uporabljajo se v gradbeništvu, za izdelavo strešnih konstrukcij, podov, stropov, notranjih ali zunanjih sten, pri montažni gradnji ali za opaževanje betonskih konstrukcij. Primerna je tudi za reklamne panoje, embalažo, itd. Pri preskušancih smo izmerili povprečno debelino 17,98 mm in izračunali povprečno gostoto  $617 \text{ kg/m}^3$ .

## **3.2 METODE DELA**

### **3.2.1 Izpostavljanje ciklični klimi**

Preskušance smo za 12 mesecev izpostavili cikličnim klimatskim pogojem (slika 1), in sicer nizki ( $35 \pm 5\%$ ) in visoki ( $85 \pm 5\%$ ) relativni zračni vlažnosti pri temperaturi  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Posamezen cikel je trajal 5 tednov, 4 tedne je bila vlažnost visoka, 1 teden pa nizka, skupaj je bilo torej 9 ciklov. Za vzpostavitev suhe klime smo v posodo natresli magnezijevo sol  $\text{MgCl}_2$  (magnezijev klorid), za vlažno klimo pa smo v posodo nalili destilirano vodo. Za kroženje zraka v komori smo uporabili ventilator.



Slika 1: Shema komore

### 3.2.2 Ugotavljanje debeline in gostote

Preskušancem smo z mikrometrom izmerili debelino, širino in dolžino pa smo izmerili s pomičnim merilom na dve decimalki natančno. Maso smo izmerili na tehtnici na dve decimalki natančno.

Gostoto (1) smo izračunali po formuli:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \dots \dots \dots (1)$$

m – masa [kg]

V – volumen [m<sup>3</sup>]

### 3.2.3 Določanje strižne trdnosti

Maksimalno silo striga (tlačni strig) smo ugotavljali na testirnem stroju ZWICK. Za test smo uporabili po 5 preskušancev velikosti 50 x 50 mm in jim s kljunastim merilom izmerili dolžino in širino preskušancev na dve decimalki natančno. Preskušanec smo nastavili v stroj tako, da je linija striga potekala po sredini preskušanca (slika 2). Hitrost preskušanja je bila 4 mm/min.

Strižno trdnost (2) smo izračunali po formuli:

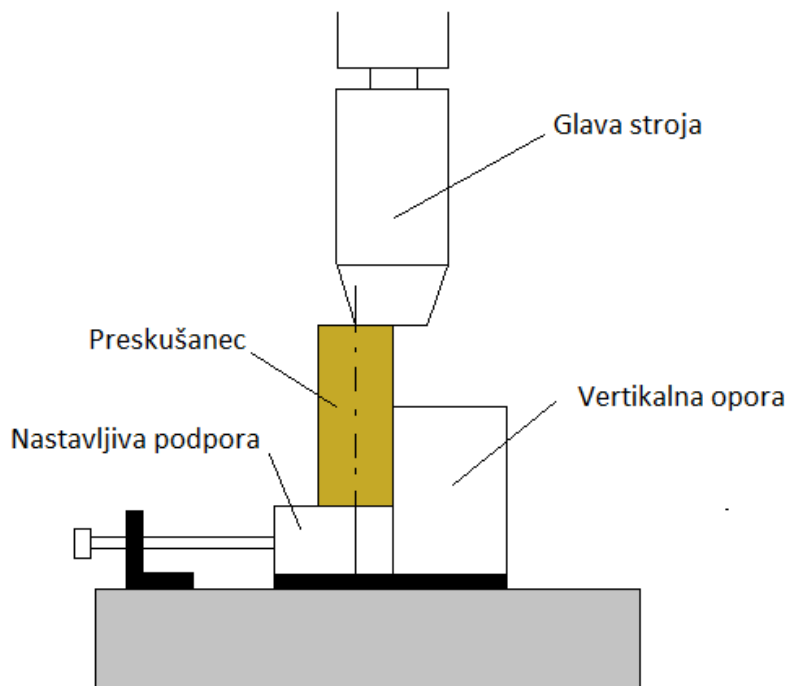
$$f_v = \frac{F_{loma}}{l \cdot w} \text{ [N/mm}^2\text{]} \dots\dots\dots (2)$$

$f_v$  - strižna trdnost [N/mm<sup>2</sup>]

$F_{loma}$  – sila loma [N]

$l$  – dolžina vzorca [mm]

$w$  – širina vzorca [mm]



Slika 2: Shema preizkusa strižne trdnosti



Slika 3: Primer loma preizkušanca na stroju ZWICK

### 3.2.4 Določanje razslojne trdnosti

Za test smo uporabili po 5 preskušancev 50 x 50 mm (SIST EN 319) in jim s kljunastim merilom izmerili dolžino in širino na dve decimalki natančno. Preskušance smo pripravili tako, da smo na obe ploskvi preskušanca s poliuretanskim lepilom prilepili dve prijemali iz 19 mm debele furnirne plošče. Prijemali sta bili zamaknjeni za 90°, da smo jih lahko vpeli v vpenjalno glavo testirnega stroja (slika 4). Pri preizkušanju mora do loma priti na sredini preizkušanca. Hitrost obremenitve je bila 1,5 mm/min.



Slika 4: Vpenjalna glava za razslojevanje preskušancev

Razslojno trdnost (3) smo izračunali po formuli:

$$f_t = \frac{F_{loma}}{l * w} \text{ [N/mm}^2\text{]} \dots \dots \dots (3)$$

$f_t$  - razslojna trdnost [N/mm<sup>2</sup>]

$F_{loma}$  – sila loma [N]

$l$  – dolžina vzorca [mm]

$w$  – širina vzorca [mm]

### 3.2.5 Določanje upogibne trdnosti

Upogibno trdnost smo določili po direktivi standarda SIST EN 310. Za določanje maksimalne sile trotočkovnega upogiba (slika 5) smo uporabili preskušance velikosti 360×50 mm. Za vsako ploščo smo uporabili 12 preskušancev in sicer 6 v vzdolžni smeri in 6 v prečni smeri (glede na smer proizvodnje). Preskušancem smo najprej z mikrometrom izmerili debelino na dve decimalki natančno in s kljunastim merilom širino, prav tako na dve decimalki natančno. Merili smo na sredini preskušanca, kjer je pri preskušanju prišlo do loma. Hitrost obremenitve je bila 12 mm/min. Do loma preskušanca je moralo priti v času 60±30 sekund. Pri meritvah smo vsak drugi preskušanec obrnili, da smo enkrat preskusili spodnjo, drugič pa zgornjo stran plošče.



Slika 5: Preskušanec na testirnem stroju ZWICK Z100

Upogibno trdnost (4) smo izračunali po formuli:

$$f_m = \frac{3 * F_{loma} * l_1}{2 * w * t^2} \text{ [N/mm}^2\text{]} \dots \dots \dots (4)$$

$f_m$  - razslojna trdnost [N/mm<sup>2</sup>]

$F_{loma}$  – sila loma [N]

$l_1$  – dolžina vzorca [mm]

$w$  – širina vzorca [mm]

$t$  – debelina vzorca

Modul elastičnosti (5) smo izračunali po formuli:

$$E_M = \frac{l_1^3 * (F_2 - F_1)}{4 * w * t^3 * (a_2 - a_1)} \text{ [N/mm}^2\text{]} \dots \dots \dots (5)$$

$E_M$  – modul elastičnosti [N/mm<sup>2</sup>]

$l_1$  – razdalja med podporama [mm]

$l_1$  – dolžina vzorca [mm]

$F_2$  – 40% sile porušitve

$F_1$  – 10% sile porušitve

$w$  – širina vzorca [mm]

$t$  – debelina vzorca [mm]

$a_1$  - poves vzorca pri sili  $F_1$  [mm]

$a_2$  - poves vzorca pri sili  $F_2$  [mm]



## 4 REZULTATI

### 4.1 GOSTOTA, DEBELINA IN NABREK

Podatki o gostoti, debelini in nabreku preskušancev pred in po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem so prikazani v preglednici 1.

Preglednica 1: Povprečna gostota, debelina in nabrek preskušancev pred in po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem

Vrsta plošče	Gostota (kg/m <sup>3</sup> )			Debelina (mm)		Nabrek	
	Kontrolni vzorci	Po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem	Sprememba (%)	Kontrolni vzorci	Po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem	(mm)	(%)
<b>MDF</b>	705	665	-5,7	20,06	21,21	1,15	5,4
<b>IP P2</b>	630	629	-0,2	18,90	20,28	1,39	6,8
<b>KIP P5</b>	622	620	-0,3	18,64	19,89	1,25	6,3
<b>OSB</b>	617	579	-6,2	18,46	20,11	1,65	8,2

Gostota ima pomemben vpliv na mehanske lastnosti. Na nabrek plošč vpliva njihova gostota, sestava in sposobnost absorpcije vode. Pri vseh ploščah lahko ugotovimo, da se je po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem gostota zaradi spremembe mase in debeline preskušancev znižala. Razlike med ploščami nastanejo zaradi odzivnosti plošč na klimatske pogoje.

Iz rezultatov lahko ugotovimo, da je pri vseh ploščah prišlo do nabreka. Razlike med nabrekom pri ploščah nastanejo zaradi gostote, pogojev izdelave, morfologije gradnikov in vrste uporabljenega lepila.

#### 4.1.1 Razmerje med nabrekom in absorbirano vodo

Podatki o razmerju med nabrekom in absorbirano vodo so prikazani v preglednici 2.

Preglednica 2: Razmerje med nabrekom in absorbirano vodo

Vrsta plošče	Razmerje $\Delta t/\Delta m$ (mm/g)
<b>MDF</b>	8,17
<b>IP P2</b>	2,02
<b>KIP P5</b>	1,22
<b>OSB</b>	1,79

Najbolj dovzetna za nabrek je vlaknena plošča MDF, saj je bila sprememba debeline glede na količino absorbirane vode/vlage največja. Pri plošči MDF pride do največjega nabreka zaradi večjega sproščanja napetosti kot posledice stiskanja med postopkom izdelave plošče in zaradi dobrega absorbiranja vode v vlakna.

#### 4.2 STRIŽNA, RAZSLOJNA IN UPOGIBNA TRDNOST

Podatki o spremembi strižne, razslojne in upogibne trdnosti so prikazani v preglednici 3.

Preglednica 3: Sprememba strižne, razslojne in upogibne trdnosti po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem

Vrsta plošče	Sprememba (%)		
	Strižna trdnost	Razslojna trdnost	Upogibna trdnost
<b>MDF</b>	-70,4	-75,1	-82,1
<b>IP P2</b>	-29,9	-17,1	-43,1
<b>KIP P5</b>	-10,5	-1,7	-31,8
<b>OSB</b>	-43,4	-57,1	-48,7

Pri vseh ploščah opazimo zmanjšanje mehanskih lastnosti. Predvidevamo, da je razlog za zmanjšanje posledica delovanja gradnikov zaradi cikličnih klimatskih sprememb, kar povzroči popuščanje lepilnih vezi med njimi.

#### 4.2.1 Strižna trdnost

Rezultati preizkusa strižne trdnosti so predstavljeni v preglednici 4.

Preglednica 4: Strižna trdnost plošč pred in po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem

Vrsta plošče	Strižna trdnost (N/mm <sup>2</sup> )		Sprememba (%)
	Kontrolni vzorci	Po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem	
<b>MDF</b>	1,13	0,33	-70,4
<b>IP P2</b>	1,47	1,03	-29,9
<b>KIP P5</b>	1,81	1,62	-10,5
<b>OSB</b>	1,73	0,98	-43,4

Iz rezultatov lahko ugotovimo, da se je strižna trdnost pri vseh ploščah zmanjšala. Do razlik v spremembah med njimi pride zaradi drugačne velikosti in oblike gradnikov, drugačne prepletenosti oz. razporejenosti gradnikov (bolj prepleteni in dolgi naključno usmerjeni gradniki zvišujejo strižno trdnost), vplivajo pa tudi drugačni pogoji stiskanja plošč med proizvodnjo (večja sila stiskanja pomeni večjo relaksacijo oz. nabrek gradnikov ob absorpciji vode), kar pomeni oslabitev vezi med njimi in s tem zmanjšanje mehanskih lastnosti. Zaradi omenjenih faktorjev pride pri nekaterih ploščah do večje absorpcije vode med gradnike in v celice, kar ob njihovem posledičnem nabreku pomeni poškodbe lepilnih vezi med gradniki, ki ob obremenitvi hitreje popustijo.

#### 4.2.2 Razslojna trdnost

Rezultati preizkusa razslojne trdnosti so predstavljeni v preglednici 5.

Preglednica 5: Razslojna trdnost plošč pred in po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem

Vrsta plošče	Razslojna trdnost (N/mm <sup>2</sup> )		Sprememba (%)
	Kontrolni vzorci	Po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem	
<b>MDF</b>	0,37	0,09	-75,1
<b>IP P2</b>	0,41	0,34	-17,1
<b>KIP P5</b>	0,59	0,58	-1,7
<b>OSB</b>	0,56	0,24	-57,1

Razslojna trdnost se je pri vseh ploščah po izpostavljenosti cikličnim klimatskim pogojem znižala. Kot lahko vidimo v preglednici 5, se med spremembami razslojne trdnosti po izpostavljenosti pojavijo velike razlike. Razlog za to je sestava sredice plošč. Podobno kot pri strižni trdnosti na razlike med ploščami na razslojno trdnost po izpostavitvi vplivajo velikosti in oblike gradnikov, prepletenost gradnikov, usmerjenost gradnikov, gostota, pogoji stiskanja med proizvodnjo in posledično sproščanje napetosti ob absorpciji vode med gradnike in v celice. Zaradi dislokacije gradnikov ob obremenitvi pride do popuščenja lepilnih vezi. Kakor pri strižni trdnosti tudi pri razslojni ugotavljamo kakovost vezi med gradniki, zato opazimo enaka trenda pri strižni kakor tudi pri razslojni trdnosti.

### 4.2.3 Upogibna trdnost in modul elastičnosti

Rezultati preizkusa upogibne trdnosti in modula elastičnosti so predstavljeni v preglednici 6.

Preglednica 6: Upogibna trdnost in modul elastičnosti pred in po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem

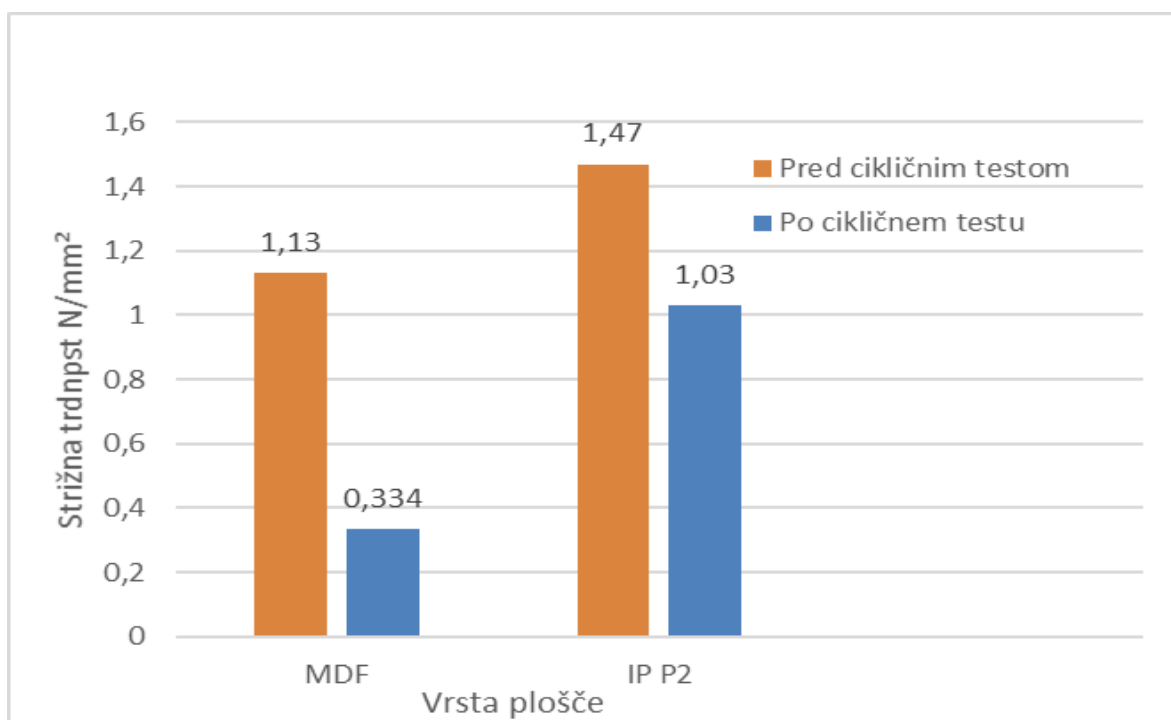
Vrsta plošče	Upogibna trdnost (N/mm <sup>2</sup> )			Modul elastičnosti (N/mm <sup>2</sup> )		
	Kontrolni vzorci	Po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem	Sprememba (%)	Kontrolni vzorci	Po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem	Sprememba (%)
<b>MDF</b>	26,55	4,74	-82,1	3207	760	-76,3
<b>IP P2</b>	11,59	6,59	-43,1	2368	1137	-52,0
<b>KIP P5</b>	13,88	9,46	-31,8	2396	1412,5	-41,0
<b>OSB</b>	22,38	11,47	-48,7	3645	1952	-46,4

Iz rezultatov lahko ugotovimo, da se je upogibna trdnost pri vseh preizkušanih ploščah zmanjšala. Pri določanju upogibne trdnosti se pojavijo tako strižne, kakor tudi natezne napetosti in pride do t.i. vzajemnega delovanja med njimi. V nasprotju s strižno in razslojno trdnostjo se pri upogibni trdnosti največje napetosti pojavljajo na zunanjih straneh, to je na zunanjih slojih plošče, zgornji del je obremenjen na tlak, spodnji pa na nateg. Srednji sloj prenaša sicer nižje, strižne obremenitve. Na upogibno trdnost po izpostavljenosti cikličnim klimatskim razmeram torej vpliva sestava zunanjih slojev in sredice plošč, ki je pri vseh testiranih ploščah drugačna, zato tudi nastanejo razlike v zmanjšanju upogibne trdnosti med njimi. Po ugotavljanju opazimo večje zmanjšanje upogibne trdnosti v primerjavi s strižno in razslojno trdnostjo. Predvidevamo, da je razlog za to večja izpostavljenost zunanjih slojev plošče cikličnim klimatskim razmeram v primerjavi s srednjim slojem, kar pomeni bolj oslABLJENE lepilne vezi med gradniki v teh slojih.

### 4.3 PRIMERJAVA STRIŽNE TRDNOSTI MED PLOŠČAMI

#### 4.3.1 Primerjava strižne trdnosti plošč MDF in IP P2

Rezultati primerjave strižne trdnosti med ploščama MDF in IP P2 so prikazani na sliki 6.

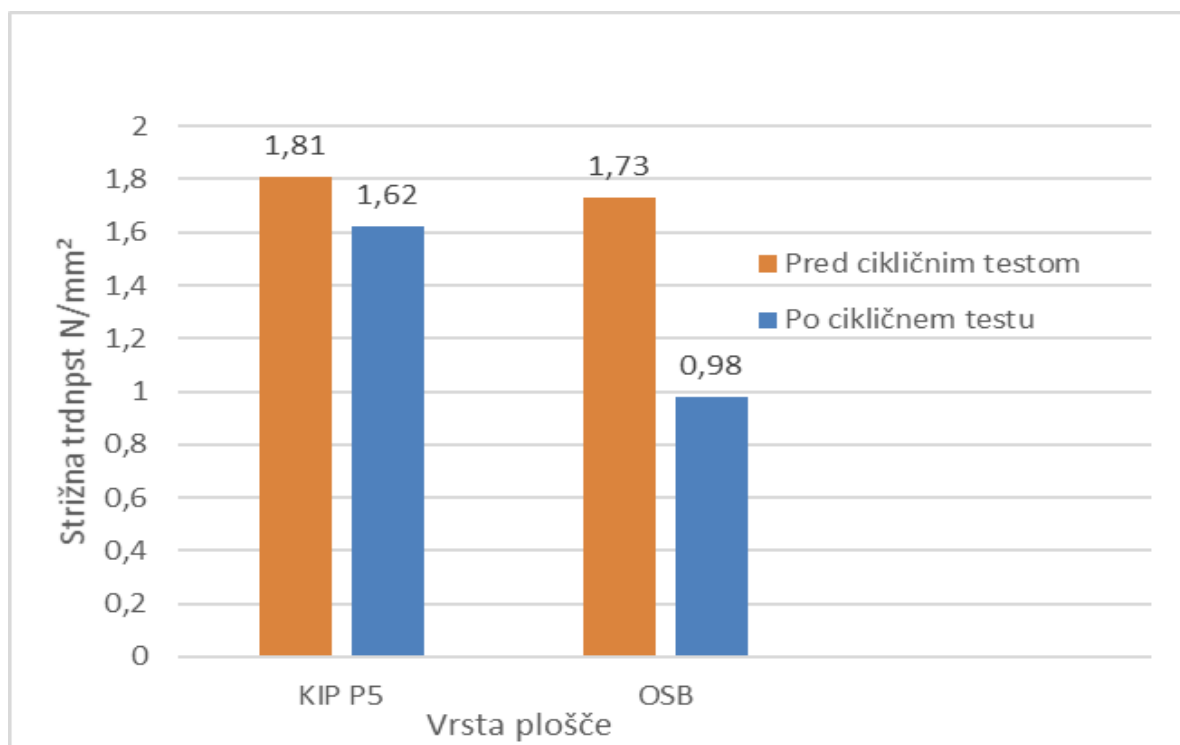


Slika 6: Grafični prikaz strižne trdnosti MDF in IP P2 pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej

Obe plošči sta vsebovali UF lepilo. Pri plošči MDF, v primerjavi s ploščo IP P2 (preglednica 4), ugotovimo večje zmanjšanje, saj zaradi njenih finih gradnikov - vlaken, pride ob izpostavitvi visoki in nizki vlažnosti do večjega delovanja, kar je v svoji raziskavi o gradnikih navajal že Miyamoto et al. (2002). Takšno delovanje pa lahko povzroči prelom vezi in posledično nižje trdnosti.

### 4.3.2 Primerjava strižne trdnosti plošč KIP P5 in OSB

Rezultati primerjave strižne trdnosti med ploščama KIP P5 in OSB so prikazani na sliki 7.

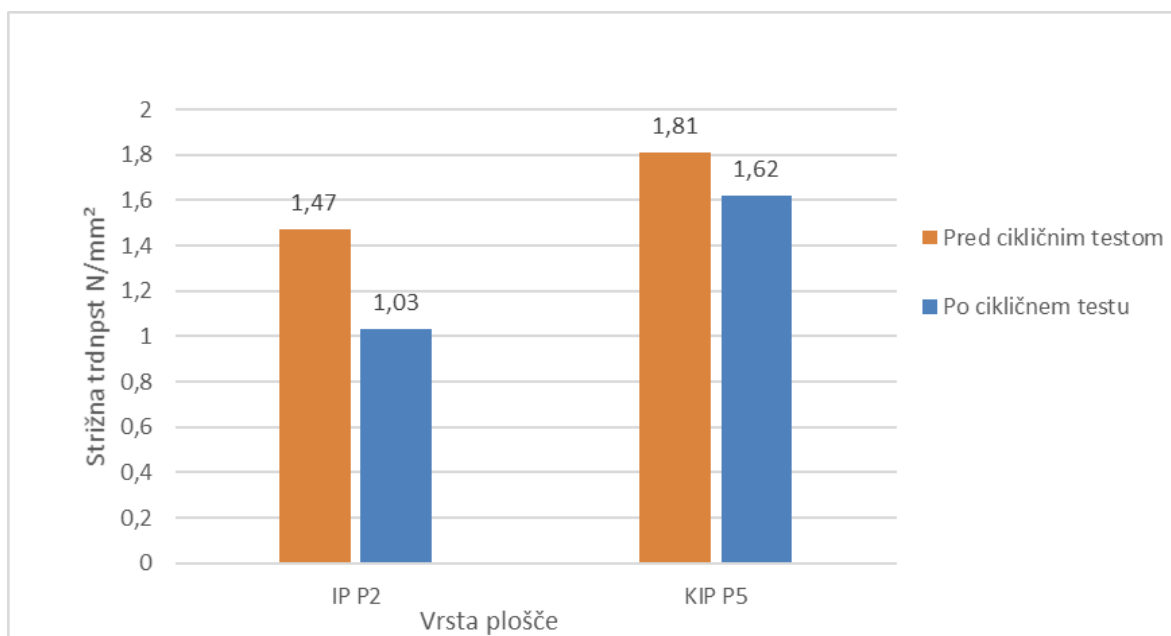


Slika 7: Grafični prikaz strižne trdnosti KIP P5 in OSB pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej

Obe plošči sta vsebovali MUF lepilo. V grafičnem prikazu vidimo, da ima po končani ciklični izpostavitvi plošča KIP P5 večjo strižno trdnost, kakor plošča OSB. Do razlike pride zaradi sestave sredice plošč. Pri KIP P5 plošči so iveri v sredici sicer manjše, vendar naključno usmerjene v vse smeri, kar zagotavlja boljšo povezanost med njimi tudi po nabreku (preglednica 2) in posledični oslavitvi vezi med njimi. Pri plošči OSB so ploščate iveri sicer večje in daljše, vendar so usmerjene vzporedno s površino plošče, in ko pride do povišanja vlažnosti, močneje nabreknejo, kar povzroči močno oslabitev vezi med njimi in posledično do lažjega zdrsa med njimi.

### 4.3.3 Primerjava strižne trdnosti plošč IP P2 in KIP P5

Rezultati primerjave strižne trdnosti med ploščama IP P2 in KIP P5 so prikazani na sliki 8.



Slika 8: Grafični prikaz strižne trdnosti plošč IP P2 in KIP P5 pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej

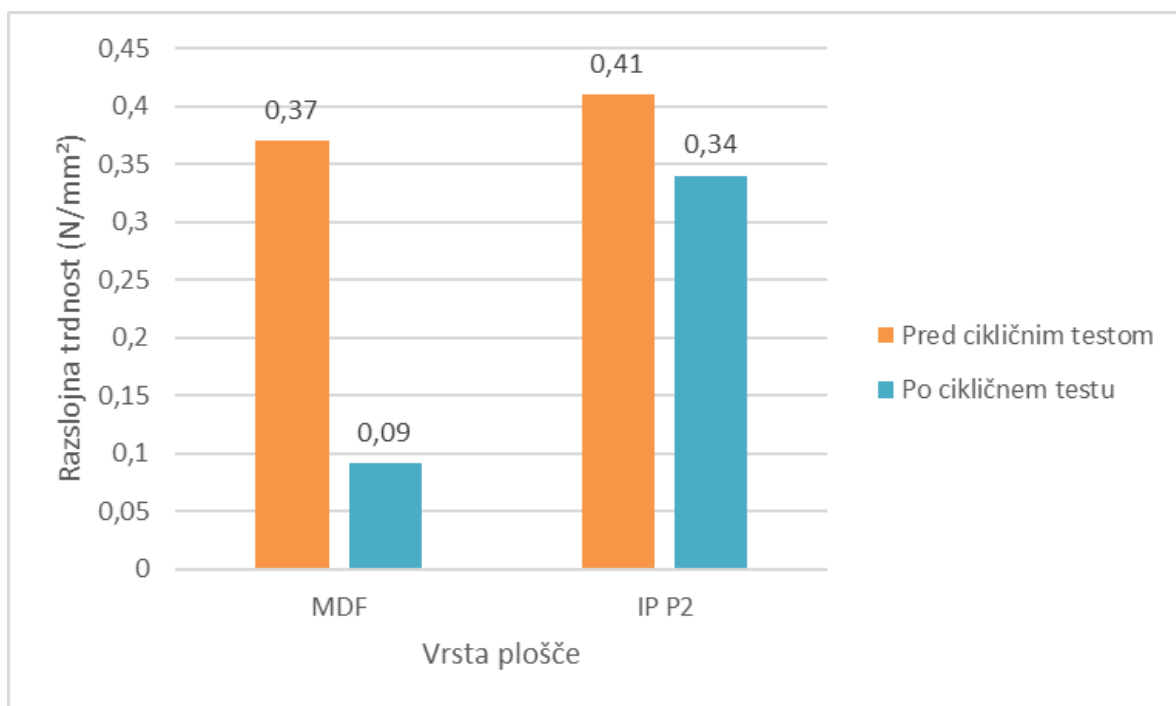
Plošči vsebujeta podobne gradnike, vendar s to razliko, da ima plošča KIP P5 poleg sredice tudi na zunanjih slojih grobe gradnike, medtem ko ima plošča IP P2 v zunanjih slojih bolj fine gradnike. Plošči sta vsebovali drugačno lepilo (IP P2-UF lepilo) in (KIP P5-MUF lepilo) in ugotovili smo, da je vrsta lepila značilno vplivala na poslabšanje strižne trdnosti. UF-lepilo je gotovo pustilo negativne posledice, saj je slabše odporno na vlago kot MUF lepilo. Poleg lepila pa je večji padec strižne trdnosti (pri IP-P2) tudi posledica nižje gostote srednjega sloja in velikosti gradnikov v srednjem sloju.



#### 4.4 PRIMERJAVA RAZSLOJNE TRDNOSTI MED PLOŠČAMI

##### 4.4.1 Primerjava razslojne trdnosti plošč MDF in IP P2

Rezultati primerjave razslojne trdnosti med ploščama MDF in IP P2 so prikazani na sliki 9.

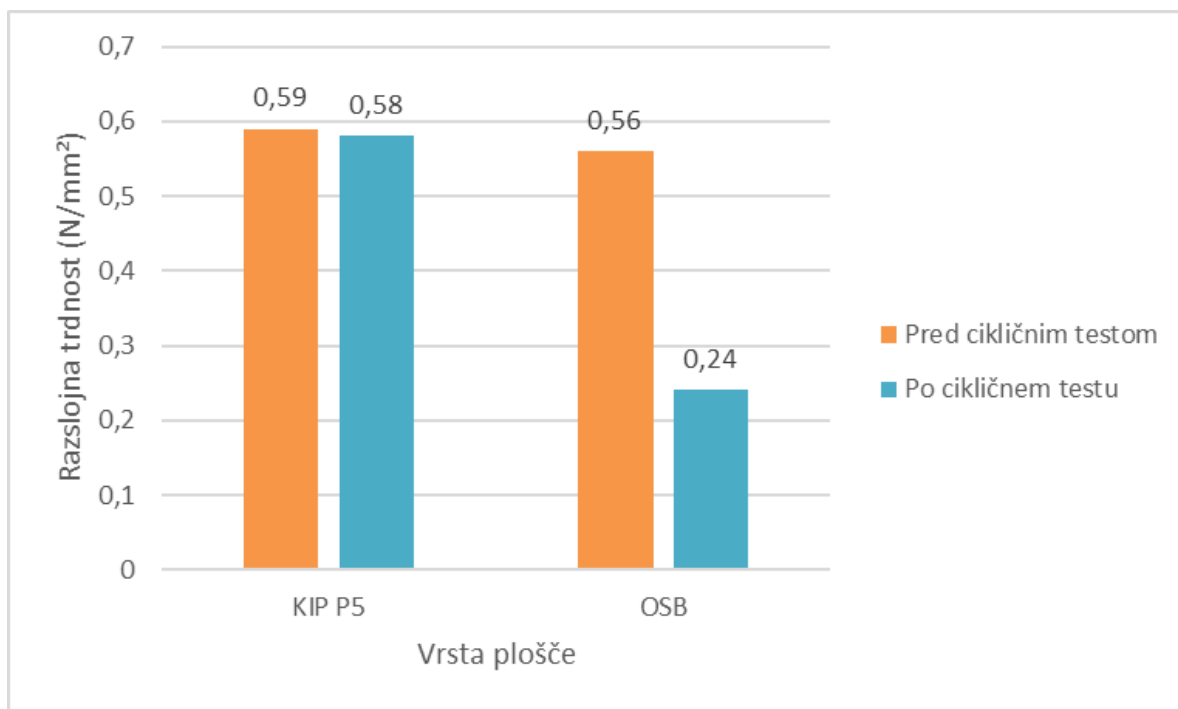


Slika 9: Grafični prikaz razslojne trdnosti plošč MDF in IP P2 pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej

Obe plošči sta vsebovali UF lepilo. V grafičnem prikazu lahko vidimo, da pride do večjega zmanjšanja razslojne trdnosti pri plošči MDF. Pri obeh ploščah je prišlo do razsloja v sredinskem sloju. Vzrok za razliko v zmanjšanju razslojne trdnosti med ploščama je podoben kakor pri strižni trdnosti, (poglavje 4.3.1).

#### 4.4.2 Primerjava razslojne trdnosti plošč KIP P5 in OSB

Rezultati primerjave razslojne trdnosti med ploščama KIP P5 in OSB so prikazani na sliki 10.

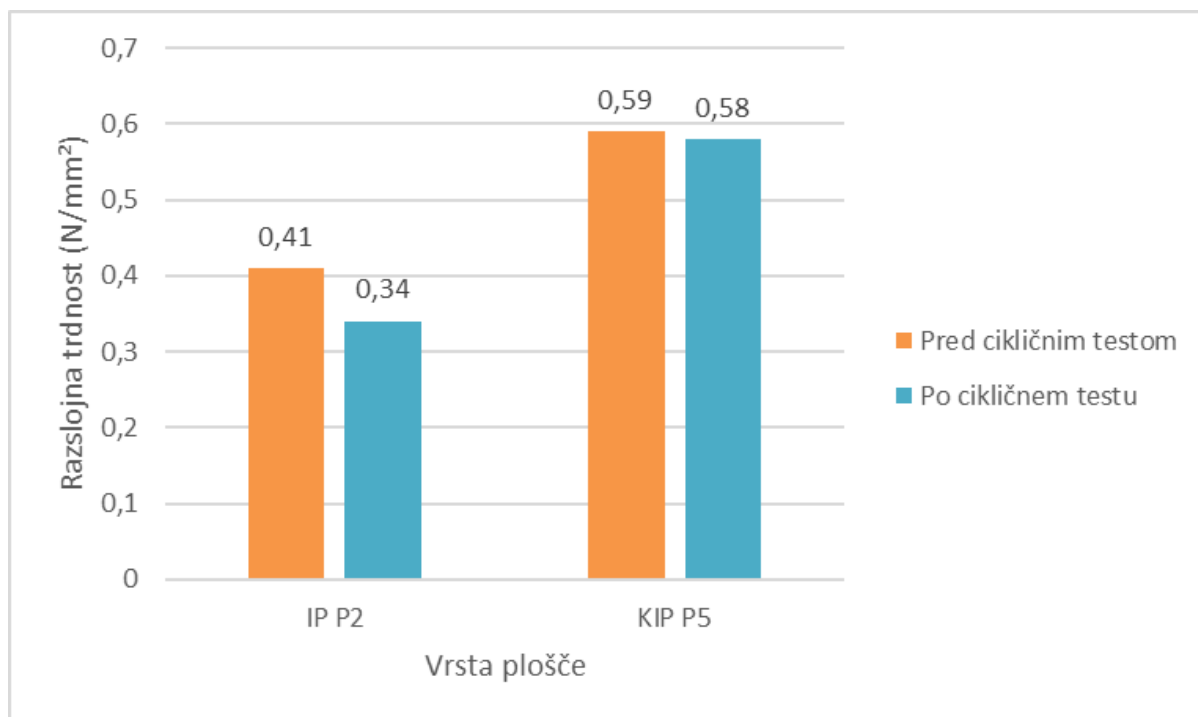


Slika 10: Grafični prikaz razslojne trdnosti plošč KIP P5 in OSB pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej

Obe plošči sta vsebovali MUF lepilo. Glede na predstavljene rezultate lahko ugotovimo, da je stopnja poškodovanja vezi med gradniki pri OSB plošči večja, kot pri KIP P5 (večja sprememba razslojne trdnosti). Razlog za večji padec razslojne trdnosti pri OSB plošči je nižja gostota srednjega sloja in velikost gradnikov v srednjem sloju.

#### 4.4.3 Primerjava razslojne trdnosti plošč IP P2 in KIP P5

Rezultati primerjave razslojne trdnosti med ploščama IP P2 in KIP P5 so prikazani na sliki 11.



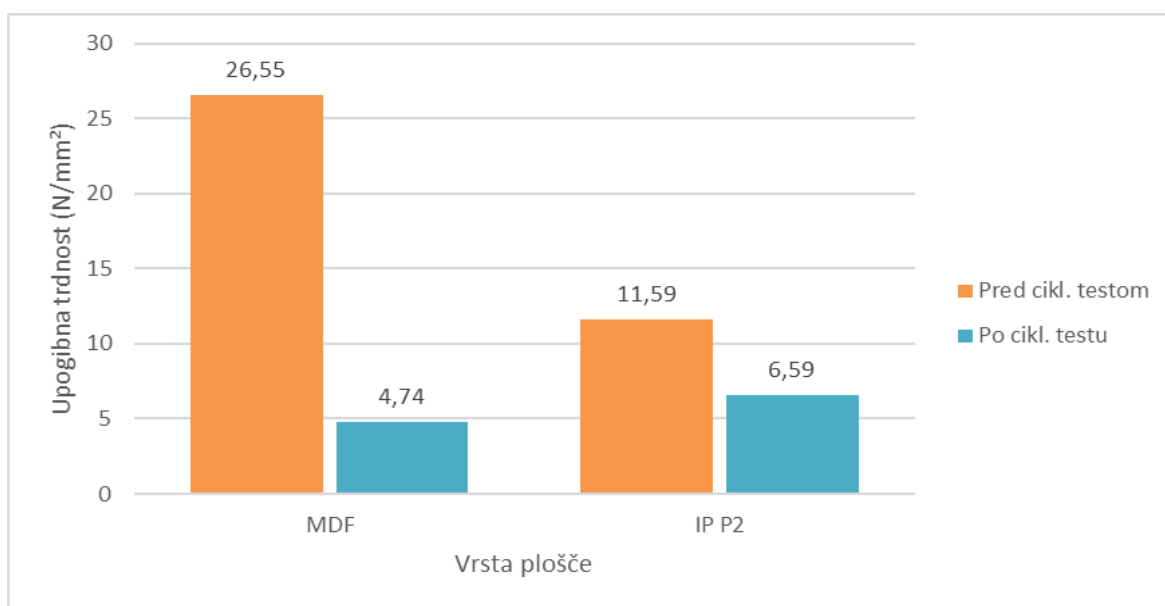
Slika 11: Grafični prikaz razslojne trdnosti plošč IP P2 in KIP P5 pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej

Plošča IP P2 je vsebovala UF lepilo, plošča KIP P5 pa MUF lepilo, zato je razslojna trdnost signifikantno nižja.

## 4.5 PRIMERJAVA UPOGIBNE TRDNOSTI MED PLOŠČAMI

### 4.5.1 Primerjava upogibne trdnosti plošč MDF in IP P2

Rezultati primerjave upogibne trdnosti med ploščama MDF in IP P2 so prikazani na sliki 12.

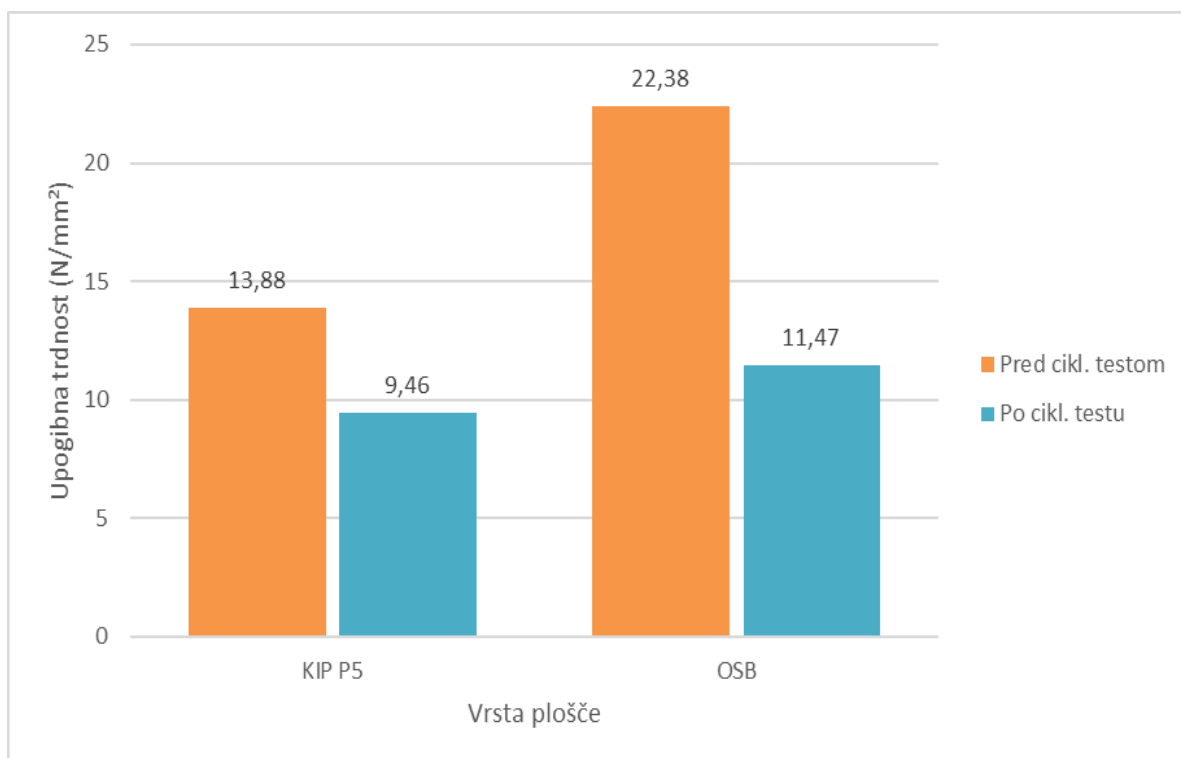


Slika 12: Grafični prikaz upogibne trdnosti plošč MDF in IP P2 pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej

Po končanem cikličnem testu ugotovimo večje zmanjšanje upogibne trdnosti pri MDF plošči, ki je posledica slabše odpornosti MDF plošč proti delovanju vode (večji debelinski nabrek, slabša kakovost vezi).

#### 4.5.2 Primerjava upogibne trdnosti plošč KIP P5 in OSB

Rezultati primerjave upogibne trdnosti med ploščama KIP P5 in OSB so prikazani na sliki 13.

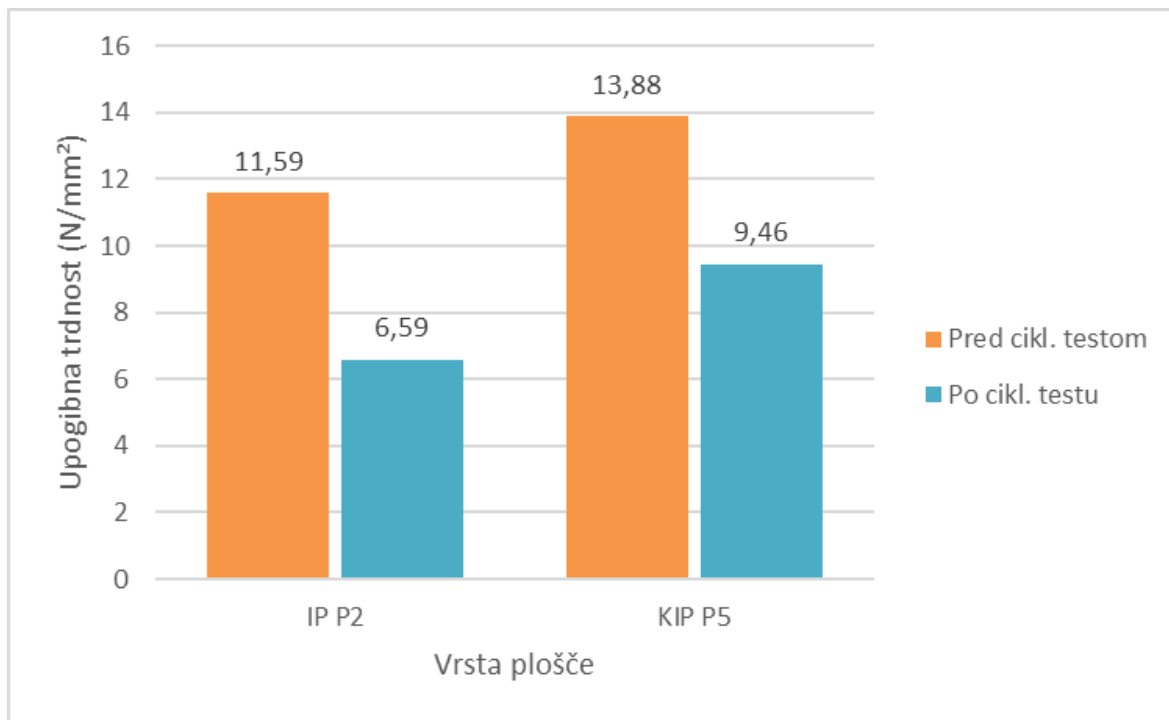


Slika 13: Grafični prikaz upogibne trdnosti plošč KIP P5 in OSB pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej

Obe plošči vsebujeta MUF lepilo. Pri OSB plošči pride do večje razlike po izpostavitvi ciklični klimi zaradi večjega nabreka in posledično nižje trdnosti lepilnega spoja. Ker pri ugotavljanju upogibne trdnosti pride do delovanja nateznih in strižnih napetosti razliko pojasnujejo tudi komentarji o strižni trdnosti (poglavje 4.3.2) in razslojni trdnosti (poglavje 4.4.2)

### 4.5.3 Primerjava upogibne trdnosti plošč IP P2 in KIP P5

Rezultati primerjave upogibne trdnosti med ploščama IP P2 IN KIP P5 so prikazani na sliki 14.



Slika 14: Grafični prikaz upogibne trdnosti plošč IP P2 in KIP P5 pred izpostavitvijo cikličnim klimatskim pogojem in po njej

Plošča IP P2 je vsebovala UF lepilo, plošča KIP P5 pa MUF lepilo. K manjšemu zmanjšanju upogibne trdnosti KIP P5 plošče pripomore tudi bolj homogena zgradba plošče, predvsem pa vrsta lepila.

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Z raziskavo smo ugotavljali kako ciklični klimatski pogoji vplivajo na nekatere mehanske lastnosti različnih ivernih in vlaknenih plošč. Ugotavljali smo strižno trdnost, razslojno trdnost, upogibno trdnost in modul elastičnosti po 12 mesečni ciklični izpostavitvi v klimah  $85 \pm 5\%$  in  $35 \pm 5\%$  in temperaturo  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .

### 5.1 PRIMERJAVA NABREKA IN GOSTOTE VZORCEV

Podatki o nabreku, gostoti in razmerju med nabrekom in absorbirano vodo so prikazani v preglednici 7 in 8.

Preglednica 7: Nabrek, gostota in razmerje med nabrekom in absorbirano vodo po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem pri ploščah MDF in IP P2

<b>VRSTA PLOŠČE</b>	<b>Nabrek (%)</b>	<b>Gostota (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Razmerje <math>\Delta t/\Delta m</math> (mm/g)</b>
<b>MDF</b>	5,4	665	8,17
<b>IP P2</b>	6,8	629	2,02

Obe plošči sta vsebovali UF lepilo. Iverna plošča P2 ima zaradi manj homogene strukture manj zgoščen srednji sloj (nižja gostota in večja poroznost), kar omogoča lažje prodiranje vlage v ploščo in posledično tudi večji nabrek.

Razlika med zmanjšanjem gostote med ploščama nastane zaradi sposobnosti absorpcije, plošča P2 je absorbirala več vode ob podobnem nabreku, to je zaradi manj homogenega srednjega sloja s praznimi prostori okrog gradnikov, zato se je tej plošči gostota manj znižala, kakor pri plošči MDF. Glede na razmerje med nabrekom in absorbirano vodo v preglednici, lahko vidimo, da je plošča MDF ob absorpciji bolj dovzetna za nabrek kot IP P2 plošča.

Preglednica 8: Nabrek, gostota in razmerje med nabrekom in absorbirano vodo po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem pri ploščah KIP P5 in OSB

<b>VRSTA PLOŠČE</b>	<b>Nabrek (%)</b>	<b>Gostota (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Razmerje <math>\Delta t/\Delta m</math> (mm/g)</b>
<b>KIP P5</b>	6,3	620	1,22
<b>OSB</b>	8,2	579	1,79

Obe plošči sta vsebovali MUF lepilo. Iz rezultatov lahko vidimo, da je nabrek plošče OSB večji kakor pri plošči KIP P5, kar je posledica morfologije gradnikov in njihovega položaja v plošči, kar so ugotovili tudi Suchsland (1972), Niemz (1982), Miyamoto et al. (2002) in Brochmann et al. (2004).

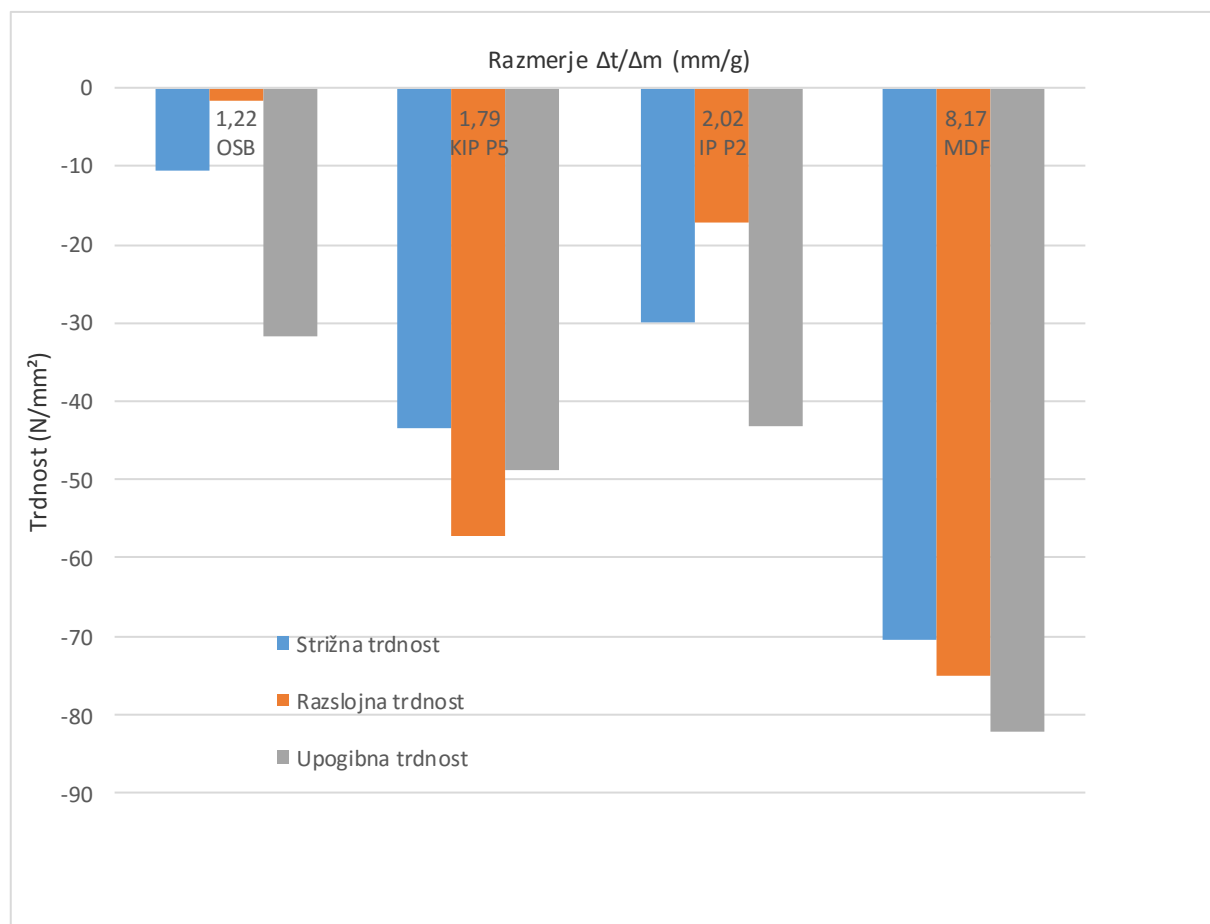
## 5.2 ODVISNOST TRDNOSTI KOMPOZITNIH PLOŠČ OD RAZMERJA MED NABREKOM IN ABSORBIRANO VODO

Podatki o spremembi strižne, razslojne in upogibne trdnosti in razmerje med nabrekom in absorbirano vodo so predstavljeni v preglednici 9.

Preglednica 9: Sprememba strižne, razslojne in upogibne trdnosti in razmerje med nabrekom in absorbirano vodo po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem

<b>Vrsta plošče</b>	<b>Sprememba (%)</b>				<b>Razmerje <math>\Delta t/\Delta m</math> (mm/g)</b>
	<b>Strižna trdnost</b>	<b>Razslojna trdnost</b>	<b>Upogibna trdnost</b>	<b>Povprečje trdnosti:</b>	
<b>MDF</b>	-70,4	-75,1	-82,1	-75,9	8,17
<b>IP P2</b>	-29,9	-17,1	-43,1	-30,0	2,02
<b>KIP P5</b>	-10,5	-1,7	-31,8	-14,7	1,22
<b>OSB</b>	-43,4	-57,1	-48,7	-49,7	1,79





Slika 15: Grafični prikaz odvisnosti trdnosti od razmerja med nabrekom in absorbirano vodo

Iz grafičnega prikaza lahko ugotovimo, da se s povečanjem razmerja med nabrekom in absorbirano vodo mehanske lastnosti poslabšajo. V primerjavi s strižno in razslojno trdnostjo ugotovimo nekoliko manjšo spremembo upogibne trdnosti zaradi vzajemnega delovanja nateznih, tlačnih in strižnih napetosti.

Haelvoet in Medved (2009) sta zapisala, da je nabrek seštevek dveh vrst nabrekov, to je nabreka samih gradnikov ali t.i. reverzibilnega nabreka in nabreka, ki nastane zaradi sproščanja napetosti zaradi stiskanja, to je t.i. ireverzibilnega nabreka. Posledica stiskanja med proizvodnim procesom plošč so stisnjene celice gradnikov. Ker celične stene med izpostavljenostjo visoki relativni zračni vlažnosti absorbirajo vodo, se celice poskušajo oblikovati nazaj v prvotno obliko, kar pomeni sproščanje napetosti in posledično nabrek plošče. K nadaljnemu nabrekanju prispevajo tudi sami gradniki, to so iveri in vlakna, ki se

skušajo poravnati nazaj v prvotno obliko pred stiskanjem plošče. Pred stiskanjem so namreč gradniki večinoma ravni, po stiskanju pa se prilagodijo en drugemu in so večinoma ukrivljeni. Ko pride do povišanja RZV in posledično do nabreka gradnikov, se ti torej vrnejo v prvotno obliko in pride do povečanja deleža praznih prostorov med njimi, kar obenem pomeni porušitev ali oslabitev lepilnih vezi. K ireverzibilnemu nabreku prispevajo tudi različni nabrek gradnikov zaradi drugačnih velikosti, različnih lesnih vrst in gostote. S povišanjem relativne vlažnosti je lepilna vez med njimi torej obremenjena, največkrat na strig in nateg. Če so obremenitve enako močne ali šibkejše od lepilne vezi in se ta ne pretrga, ne pride do ireverzibilnega nabreka, če pa so močnejše, se lepilna vez pretrga in pride do ireverzibilnega nabreka.

Pri vseh preskušanih ploščah je v obdobju visoke vlažnosti prišlo do ireverzibilnega nabreka. Predvidevamo lahko, da se je zaradi nabreka gradnikov delež praznih prostorov med njimi povečal, ob tem pa je prišlo do porušitve in do oslabitve lepilnih vezi med njimi. Zaradi ciklične izpostavljenosti vlažnemu in suhemu zraku je prišlo do nihanja relativne vlažnosti preskušancev in s tem do večkratnega krčenja in nabrekanja gradnikov, kar je še dodatno oslabilo lepilne vezi in zmanjšalo mehanske lastnosti, v največji meri pri vlaknjeni MDF plošči.

Glede na stopnjo spremembe mehanskih lastnosti lesnih ploščnih kompozitov lahko ugotovimo, da izpostavitve delovanju vlagi oz. vodi najbolj vpliva na upogibno trdnost.

### 5.3 SKLEPI

Iz pridobljenih rezultatov in razprave lahko ugotovimo naslednje:

- spreminjajoči klimatski pogoji (menjavanje visoke relativne zračne vlažnosti in nizke relativne zračne vlažnosti) negativno vplivajo na lastnosti lesnih ploščnih kompozitov
- največje spremembe lastnosti smo ugotovili pri MDF plošči
- najmanjše spremembe lastnosti smo ugotovili pri KIP P5
- med lastnostmi se, zaradi cikličnih klimatskih sprememb, najbolj spremeni upogibna trdnost
- ugotovimo lahko, da je glavni razlog za poslabšanje lastnosti posledica slabše kakovosti vezi med gradniki do katere pride zaradi cikličnih klimatskih sprememb in z njo povezanih sprememb dimenzij gradnikov

## 6 POVZETEK

V diplomski nalogi smo ugotavljali, kako vplivajo ciklični klimatski pogoji na strižno trdnost, razslojno trdnost in upogibno trdnost plošč iz iveri in vlaken. Plošče smo 12 mesecev izpostavljali ciklično visoki in nizki vlažnosti. En cikel je trajal 5 tednov, od tega 4 tedne visoka  $85 \pm 5\%$  vlažnost in en teden nizka  $35 \pm 5\%$  vlažnost.

Preskusili smo štiri različne tipe komercialno dobavljivih plošč in sicer vlakneno MDF ploščo, iverno ploščo P2, konstrukcijsko iverno ploščo P5 in iverno ploščo z usmerjenim iverjem OSB. MDF plošča in plošča P2 sta vsebovali urea-formaldehidno lepilo, konstrukcijska plošča P5 in OSB pa melamin-urea-formaldehidno lepilo.

Iz plošč smo izrezali vzorčke dimenzij 50x50mm za testiranje strižne in razslojne trdnosti in 360x50 mm za testiranje upogibne trdnosti. Vzorčkom smo pred izpostavitvijo ciklični klimi izmerili dimenzije in maso ter strižno, razslojno in upogibno trdnost. Po 12 mesečni izpostavitvi ciklični klimi smo ponovno izmerili vse dimenzije, maso in trdnosti in ugotavljali spremembe pred in po izpostavitvi ciklični klimi.

Ugotovili smo, da imajo ciklični klimatski pogoji na mehanske lastnosti najmanjši vpliv pri konstrukcijski plošči P5, (sprememba -14,7%) povprečja strižne, razslojne in upogibne trdnosti, sledi iverna plošča P2 (sprememba -30%), na tretjem mestu je OSB plošča (sprememba -49,7%) in na zadnjem mestu je plošča MDF (sprememba -75,9%).

Ugotavljamo, da izpostavitve cikličnim klimatskim pogojem negativno vpliva na mehanske lastnosti ploščnih kompozitov. Najbolje sta se obnesli konstrukcijska iverna plošča P5 in iverna plošča P2, nekoliko slabše plošča z usmerjenim iverjem OSB, najslabše pa vlaknena plošča MDF.

## 7 VIRI

- Barnes H. M., Lyon D. E. 1978. Effect of aging on the mechanical properties of particleboard decking. Wood and fiber, 3: 164-174
- Bekhta, Niemz. 2009. Effect of relative humidity on some physical and mechanical properties of different types of fibreboard. Holz als roh-und werkstoff, 67, 3: 339-342
- Brochmann J., Edwardson C., Shmulsky R., 2004. Influence of resin type and flake thickness on properties of OSB. Forest Prod. J., 54, 3: 51-55
- Haelvoet W., Medved S. 2009. Moisture resistance of wood-based panels. Performance in use and new products of wood-based composites. London, Brunel University press: 23-46
- Halligan A .F., Schniewind A. P. 1972. Effect of moisture on physical and creep properties of particleboard. Forest Prod. J., 22, 4: 41-48
- McNatt J. D. 1974. Properties of particleboards at various humidity conditions. Forest products laboratory, Forest service, U.S, department of agriculture.  
<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=umn.31951d02988707q;view=1up;seq=15>  
(15.jun. 2016)
- Miyamoto K, Suzuki S, Nakahara S. 2002. Effect of particle shape on linear expansion of particleboard. Journal of Wood Science, 48, 3: 185–190.
- Niemz P. 1982. Untersuchungen zum Einfluß der Struktur auf die Eigenschaften von Spanplatten – Teil 1: Einfluß von Partikelformat, Rohdichte, Festharzanteil und Fastparaffinanteil. Holztechnologie, 23: 206–213

Niemz P. 2010. Water absorption of wood and wood-based panels – Significant influencing factors. V: Wood-based panels: An introduction for specialists. Thoemen H., Irle M. in Sernek M. (ur.). London, Brunel University Press: 95-122

Suchsland O. 1972. Linear hygroscopic expansion of selected commercial particleboards. Forest. Prod J., 22, 11: 28- 32.

University of Cambridge, Anonymous. 2006  
[http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/wood/water\\_effect.php](http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/wood/water_effect.php) (8. jul. 2016)

Wu Q., Suchsland O. 1997. Exural properties of commercial strandboards. Wood and fiber science, 29, 1: 47-57

## **ZAHVALA**

Rad bi se zahvalil mentorju, izr. prof. dr. Sergeju Medvedu, za vse strokovne nasvete pri nastajanju diplomske naloge, ter recenzentu, prof. dr. Željku Gorišku, za recenzijo diplomske naloge.

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

Hvala vsem!

## PRILOGA A

### Podatki za določanje strižne trdnosti z strižno trdnostjo

VZOREC	l [mm]	w [mm]	Floma [N]	$f_v$ [N/mm <sup>2</sup> ]
MDF1	50,26	50,12	779	0,31
MDF3	50,07	50,16	901	0,36
MDF5	50,26	50,12	839	0,34
MDF7	50,08	50,4	887	0,35
MDF9	50,43	50,27	777	0,31
		<b>Povpr. vred. :</b>	<b>836,6</b>	<b>0,33</b>

VZOREC	l [mm]	w [mm]	Floma [N]	$f_v$ [N/mm <sup>2</sup> ]
P2 1	50,16	49,96	2580	1,03
P2 3	50,24	49,87	2970	1,19
P2 5	49,96	50,18	2750	1,1
P2 7	50,2	50,05	2300	0,92
P2 9	50,4	50,01	2280	0,91
		<b>Povpr. vred. :</b>	<b>2576</b>	<b>1,03</b>

VZOREC	l [mm]	w [mm]	Floma [N]	$f_v$ [N/mm <sup>2</sup> ]
LSB1	50,37	50,39	3660	1,44
LSB3	50,4	50,01	4830	1,92
LSB5	50,4	49,78	5010	2,0
LSB7	50,07	50,35	2720	1,08
LSB9	50,13	50,4	4160	1,65
		<b>Povpr. vred. :</b>	<b>4076</b>	<b>1,62</b>



VZOREC	l [mm]	w [mm]	Floma [N]	$f_v$ [N/mm <sup>2</sup> ]
OSB1	50,45	49,91	2700	1,07
OSB3	50,34	50,19	2670	1,06
OSB5	50,36	49,9	2270	0,9
OSB7	50,36	50,31	2760	1,09
OSB9	49,77	50,25	1960	0,78
		<b>Povpr. vred. :</b>	<b>2472</b>	<b>0,98</b>

## PRILOGA B

Podatki za ugotavljanje razslojne trdnosti z razslojno trdnostjo

VZOREC	l [mm]	w [mm]	Floma [N]	$f_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
MDF2	50,34	50,24	347	0,14
MDF4	50,08	50,22	332	0,13
MDF6	50,49	50,28	144	0,06
MDF8	50,38	50,21	154	0,06
MDF10	50,43	50,24	191	0,08
		<b>Povpr. vred. :</b>	233,6	0,09

VZOREC	l [mm]	w [mm]	Floma [N]	$f_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
P2 2	50,26	50,01	933	0,37
P2 4	50,05	50,14	761	0,30
P2 6	50,11	50,15	863	0,34
P2 8	50,02	50,12	842	0,34
		<b>Povpr. vred. :</b>	849,75	0,34

VZOREC	l [mm]	w [mm]	Floma [N]	$f_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>LSB2</b>	50,05	50,42	1570	0,62
<b>LSB4</b>	50,39	50,05	1600	0,63
<b>LSB6</b>	50,39	50,04	1380	0,55
<b>LSB8</b>	50,41	50,03	1560	0,62
<b>LSB10</b>	50,43	50,1	1190	0,47
		<b>Povpr. vred. :</b>	1460	0,58

VZOREC	l [mm]	w [mm]	Floma [N]	$f_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>OSB2</b>	50,33	49,94	624	0,25
<b>OSB4</b>	49,75	49,93	600	0,24
<b>OSB6</b>	50,14	50,23	611	0,24
<b>OSB8</b>	50,27	50,35	595	0,24
<b>OSB10</b>	50,33	50,25	569	0,22
		<b>Povpr. vred. :</b>	599,8	0,24

## PRILOGA C

### Podatki za ugotavljanje upogibne trdnosti z modulom elast. in upogibno trdnostjo

	VZOREC	t [mm]	w [mm]	Floma [N]	E <sub>L</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
Vzdolžno	MDF11	20,58	50,22	234	865	6,26
	MDF12	21,12	50,27	199	702	5,05
	MDF13	20,5	50,2	108	-	2,54
	MDF14	21,95	50,31	215	664	5,06
	MDF15	20,85	50,17	225	808	5,88
	MDF16	20,22	50,35	117	-	3,24
			<b>Povp. vr.:</b>	<b>183</b>	<b>759,75</b>	<b>4,671667</b>
Prečno	MDF21	21,1	50,45	106	-	2,53
	MDF22	21,75	50,4	208	630	4,97
	MDF23	21,9	50,41	119	-	2,81
	MDF24	20,68	49,82	223	793	5,97
	MDF25	20,82	50,32	246	830	6,43
	MDF26	20,72	50,34	233	789	6,15
			<b>Povp. vr.:</b>	<b>189,1667</b>	<b>760,5</b>	<b>4,81</b>

	VZOREC	t [mm]	w [mm]	Floma [N]	E <sub>L</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
Vzdolžno	P2 11	20,1	49,7	277	1140	7,44
	P2 12	20,63	50,2	204	950	5,16
	P2 13	20,1	50,05	230	1080	6,15
	P2 14	19,87	49,45	232	1250	6,4
	P2 15	20,2	50,23	227	1150	5,99
	P2 16	20	50,1	259	1240	6,99
			<b>Povp. vr.:</b>	<b>238,1667</b>	<b>1135</b>	<b>6,355</b>
Prečno	P2 21	20,15	50,06	231	1160	6,14
	P2 22	19,82	49,88	275	1320	7,58
	P2 23	20,86	50,12	233	902	5,76
	P2 24	19,87	49,76	269	1200	7,39
	P2 25	19,83	50,22	292	1270	7,97
	P2 26	19,41	50,08	239	979	6,16
			<b>Povp. vr.:</b>	<b>257</b>	<b>1139</b>	<b>6,83</b>

	VZOREC	t [mm]	w [mm]	Floma [N]	E <sub>L</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>Vzdolžno</b>	<b>LSB11</b>	20,43	50,1	336	1320	8,67
	<b>LSB12</b>	20,16	50,15	320	1550	9,21
	<b>LSB13</b>	19,36	50,03	373	1500	10,7
	<b>LSB14</b>	19,67	50,07	378	1560	10,5
	<b>LSB15</b>	19,63	50,02	373	1550	10,4
	<b>LSB16</b>	19,54	50,3	323	1330	9,08
			<b>Povp. vr.:</b>	<b>350,5</b>	<b>1468,333</b>	<b>9,76</b>
<b>Prečno</b>	<b>LSB21</b>	19,55	50,06	337	1370	9,52
	<b>LSB22</b>	19,53	50,06	323	1370	9,15
	<b>LSB23</b>	19,37	49,92	293	1370	8,45
	<b>LSB24</b>	19,63	50,1	343	1320	9,59
	<b>LSB25</b>	19,3	50	342	1470	9,92
	<b>LSB26</b>	19,82	49,77	304	1240	8,38
			<b>Povp. vr.:</b>	<b>324</b>	<b>1357</b>	<b>9,17</b>

	VZOREC	t [mm]	w [mm]	Floma [N]	E <sub>L</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>Vzdolžno</b>	<b>OSB11</b>	19,53	50,32	802	3580	22,6
	<b>OSB12</b>	19,32	50,32	501	2960	14,4
	<b>OSB13</b>	19,95	50,15	532	2760	14,4
	<b>OSB14</b>	19,12	50,17	566	3130	16,7
	<b>OSB15</b>	20,55	50,4	496	2740	14
	<b>OSB16</b>	19,08	50,07	774	3360	21,8
			<b>Povp. vr.:</b>	<b>573,8</b>	<b>2990</b>	<b>16,26</b>
<b>Prečno</b>	<b>OSB21</b>	20,55	50,4	255	860	6,47
	<b>OSB22</b>	19,26	49,62	253	1170	7,41
	<b>OSB23</b>	19,43	49,92	282	1110	8,07
	<b>OSB24</b>	19,5	50,03	242	1000	6,87
	<b>OSB25</b>	19,32	49,92	270	1040	7,82
	<b>OSB26</b>	19,17	49,83	281	1340	8,27
			<b>Povp. vr.:</b>	<b>264</b>	<b>1087</b>	<b>7,49</b>