

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Damjan ŽGAJNER

**VPLIV KAKOVOSTI ZLEPLJENOSTI GRADNIKOV
NA NABREKANJE IVERNIH IN VLAKNENIH
PLOŠČ**

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Damjan ŽGAJNER

**VPLIV KAKOVOSTI ZLEPLJENOSTI GRADNIKOV
NA NABREKANJE IVERNIH IN VLAKNENIH PLOŠČ**

DIPLOMSKI PROJEKT
Univerzitetni študij - 1. stopnja

**THE IMPACT OF THE QUALITY OF ADHESIVENESS
OF BUILDING BLOCKS ON THE SWELLING OF PARTICLE-
AND FIBREBOARDS**

B. SC. THESIS
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2015

Diplomski projekt je zaključek Univerzitetnega študija Lesarstva – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno 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 je za mentorja diplomskega dela imenoval izr. prof. dr. Sergeja Medveda, za recenzenta pa red. prof. dr. Milana Šerneka.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Damjan Žgajner

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du1
DK	UDK 674.817
KG	razslojna trdnost/debelinski nabrek/konstrukcijska iverna plošča LSB/iverna plošča tipa P2/iverna plošča tipa P5/MDF vlaknena plošča
AV	ŽGAJNER, Damjan
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	2015
IN	VPLIV KAKOVOSTI ZLEPLJENOSTI GRADNIKOV NA NABREKANJE IVERNIH IN VLAKNENIH PLOŠČ
TD	Diplomski projekt (Univerzitetni študij - 1. stopnja)
OP	VII, 31 str., 6 pregl., 21 sl., 8 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Preučevali smo korelacijo med debelinskim nabrekom in razslojna trdnostjo pri lesnih kompozitih oziroma kakšen vpliv ima zlepljenost gradnikov na nabrekanje plošč. Preizkušali smo razslojno trdnost in debelinski nabrek LSB plošče, MDF plošče ter iverne plošče tipa P2 in P5. Debelinski nabrek smo določali s potapljanjem v vodo, izpostavitvijo okolju s povišano vlažnostjo (relativna zračna vlažnost 85%, temperaturo 20 °C) ter ciklično izpostavitvijo (potopitev v vodo, zmrzovanje in sušenje). Po končanem preizkusu smo preizkušancem določili debelinski nabrek ter razslojno trdnost. Ugotovili smo, da imajo v suhem stanju najboljšo razslojno trdnost LSB plošče, najslabše pa so se obnesle iverne plošče tipa P2. Pri izpostavitvi vlažni klimi so imele najmanjši nabrek iverne plošče tipa P5, največji debelinski nabrek pa so imele MDF plošče. Pri potapljanju v vodo so imele najmanjši debelinski nabrek LSB plošče, največji pa pri iverni plošči tipa P2. Opravili smo tudi ciklični test. Ugotovili smo, da so po končanem cikličnem preizkusu razslojne trdnosti in debelinski nabreki v podobnem razmerju kot pri suhih ploščah, z izjemo MDF plošče, ki je imela po cikličnem preizkusu najmanjši nabrek, ker je zadnji korak pri ciklu sušenje v sušilniku, kjer vlaknena plošča hitreje oddaja vlago, kot druge plošče, ker imajo vlakna veliko sposobnost vpijanja in oddajanja vlage. Zato se plošča zelo hitro odziva na spremembo klime v okolici.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Du1

DC UDC 674.817

CX layer thickness/thickness swelling/LSB particle board/ particleboard type P2/
particleboard type P5/MDF fibreboard

AU ŽGAJNER, Damjan

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 2015

TY THE IMPACT OF THE QUALITY OF ADHESIVENESS OF BUILDING
BLOCKS ON THE SWELLING OF PARTICLE- AND FIBREBOARDS

DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)

NO VII, 31 p., 6 tab., 21 fig., 8 ref. .

LA sl

Al sl/en

AB We studied the correlation between the thickness swelling and the layer strength of wood composites, or what impact the adhesiveness of the building blocks has on the swelling of the boards. We tested LSB and MDF boards, particleboards type P2 and particleboards type P5. We tested layer strength and thickness swelling. Thickness swelling was determined by immersion in water, exposure to an environment with increased humidity (relative humidity 85 %, temperature 20 °C), and cyclic exposure (immersion in water, freezing and drying). When the test was completed, layer thickness swelling and sturdiness of the test samples were determined. We established that in the dry state, LSB panels have the best layer strength, whereas the particleboards type P2 have proven to be the least effective. When exposed to a humid climate, particleboards type P5 showed the smallest swelling, whereas MDF boards had the highest thickness swelling. When immersing under the water, LSB boards showed the smallest thickness swelling, while particleboard type P2 the largest. We also performed a cyclic test, where we found that the proportions of layer strengths were similar as those with the dry boards, as well as thickness swelling with the exception of MDF boards. The latter had smaller swelling due to the drying, which was the last step of the cycle. The fibreboard namely submits the moisture quicker than other boards because fibres have the great ability of absorption and dissipation of moisture, which is why the board very rapidly responds to a climate change of the surrounding area.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	II
KAZALO VSEBINE	IV
KAZALO SLIK	VI
KAZALO PREGLEDNIC	VII
1 UVOD	1
1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA	1
1.2 CILJ NALOGE	1
1.3 DELOVNA HIPOTEZA	1
2 PREGLED LITERATURE	2
3 MATERIALI IN METODE	4
3.1 MATERIALI	4
3.1.1 Iverna plošča Tip P2	4
3.1.2 Iverna plošča tip P5	4
3.1.3 Konstrukcijska iverna plošča LSB	5
3.1.4 Vlaknena plošča MDF	6
3.2 METODE DELA	6
3.2.1 Določanje razslojne trdnosti	6
3.2.2 Določanje debelinskega nabreka po izpostavitvi vlažni klimi	8
3.2.3 Določanje debelinskega nabreka po potopitvi v vodo	10
3.2.4 Ugotavljanje odpornosti proti vlagi pri cikličnih pogojih	10
3.2.4.1 Določanje debelinskega nabreka po končanem cikličnem testu	13
3.2.4.2 Določanje razslojne trdnosti po končanem cikličnem testu	13
4 REZULTATI	14
4.1 RAZSLOJNA TRDNOST NETRETIRANIH PREIZKUŠANCEV	15
4.2 DEBELINSKI NABREK PO IZPOSTAVITVI VLAŽNI KLIMI	15
4.3 DEBELINSKI NABREK PO POTOPITVI V VODO	16
4.4 DEBELINSKI NABREK PO KONČANEM CIKLIČNEM TESTU	17
4.5 RAZSLOJNA TRDNOST PO KONČANEM CIKLIČNEM TESTU	18
5 RAZPRAVA	19
5.1 PRIMERJAVA IVERNE PLOŠČE TIPA P2 IN P5	19
5.2 PRIMERJAVA KONSTRUKCIJSKE IVERNE PLOŠČE LSB IN IVERNE PLOŠČE TIPA P5	21

5.3	PRIMERJAVA VLAKNENE PLOŠČE MDF IN IVERNE PLOŠČE TIPA P2	23
5.4	PRIMERJAVA RAZSLOJNE TRDNOSTI IN DEBELINSKEGA NABREKA	25
	PRED IN PO CIKLIČNEM TESTU	25
5.5	ODVISNOST RAZSLOJNE TRDNOSTI IN DEBELINSKEGA NABREKA	27
6	SKLEPI	31
7	POVZETEK	32
8	VIRI	33
	ZAHVALA	

KAZALO SLIK

Slika 1: Iverna plošča tipa P2	4
Slika 2: Iverna plošča tipa P5	5
Slika 3: Konstrukcijska iverna plošča LSB	5
Slika 4: Vlaknena plošča MDF	6
Slika 5: Preizkušanci pripravljeni za testiranje.....	7
Slika 6: Univerzalni testirni stroj ZWICK Z100	8
Slika 7: Vodna kad	10
Slika 8: Zamrzovalnik	11
Slika 9: Sušilna komora.....	11
Slika 10: Primerjava med debelinskim nabrekom iverne plošče tipa P5 in P2 po izpostavitvi vlažni klimi in po potopitvi v vodo.....	19
Slika 11: Primerjava med razslojno trdnostjo iverne plošče tipa P2 in P5.....	20
Slika 12: Primerjava med razslojno trdnostjo iverne konstrukcijske plošče LSB in iverne plošče tipa P5.....	21
Slika 13: Primerjava med debelinskim nabrekom iverne konstrukcijske plošče LSB in iverne plošče tipa P5 po izpostavitvi vlažni klimi in po potopitvi v vodo	22
Slika 14: Primerjava med debelinskim nabrekom iverne plošče tipa P2 in MDF plošče po izpostavitvi vlažni klimi in po potopitvi v vodo.....	23
Slika 15: Primerjava med razslojno trdnostjo iverne plošče tipa P2 in MDF plošče	24
Slika 16: Primerjava med razslojno trdnostjo kompozitov pred in po cikličnem testu.....	25
Slika 17: Primerjava med debelinskimi nabreki kompozitov po končanem cikličnem testu.....	26
Slika 18: Primerjava med razslojno trdnostjo suhih plošč in debelinskim nabrekom plošč izpostavljenim vlažni klimi	27
Slika 19: Primerjava med razslojno trdnostjo suhih plošč in debelinskim nabrekom plošč po potopitvi v vodo.....	28
Slika 20: Primerjava med debelinskim nabrekom plošč izpostavljenih vlažni klimi in plošč potopljenih v vodo	29
Slika 21: Primerjava debelinskih nabrekov plošč med izpostavitvijo vodi, vlagi in cikličnemu testu.....	30

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Povprečne vrednosti in standardni odklon za preskušane materiale	14
Preglednica 2: Povprečne vrednosti pri preskušanju razslojne trdnosti suhih plošč	15
Preglednica 3: Povprečne vrednosti in standardni odklon pri določanju debelinskega nabreka po izpostavitvi vlažni klimi.....	15
Preglednica 4: Povprečne vrednosti in standardni odklon pri določanju debelinskega nabreka po potopitvi v vodo	16
Preglednica 5: Povprečne vrednosti in standardni odklon pri določanju debelinskega nabreka po končanem cikličnem testu.....	17
Preglednica 6: Povprečne vrednosti pri preskušanju razslojne trdnosti po končanem cikličnem testu in vrednosti za suhe plošče.....	18

1 UVOD

Les je naraven, obnovljiv, vsestransko uporaben material. Zaradi naraščajoče populacije in razvoja novih tehnologij, potrebe po lesu in predvsem želja po boljših materialih naraščajo. V postopku predelave lesa prihaja do veliko ostankov, katere so v preteklosti obravnavali kot odpadke in so jih uporabljali večinoma za kurjavo. Ker pa s časom potrebe po lesu naraščajo, so ti ostanki postali surovina za nove lesne proizvode. Le te je omogočil razvoj novih tehnologij in ustreznih lepil. Danes poznamo različne lesne kompozite, kot so plošče iz iveri in vlaken, vezane plošče in slojnat lepljen les. Kompoziti imajo svoje prednosti pred masivnim lesom in sicer:

- dobra dimenzijsko stabilnost (razen debelinski nabrek)
- homogenost
- manjša variabilnost
- enakomernejša porazdelitev napetosti
- večje dimenzije, ...

Lesni kompoziti se izdelujejo iz različno velikih gradnikov. Uporabljajo se lesni ostanki in manj kakovosten les. Ker pa so takšni materiali cenejši, so lesne plošče relativno poceni. Mehanske lastnosti takšnih plošč so razmeroma dobre, lahko pa jih še izboljšamo z dokaj enostavnimi rešitvami, kot so spreminjanje gostote, kar lahko storimo z spreminjanjem tlaka, temperature, vlažnosti, lesne vrste, s spreminjanjem količine in vrste lepila in z usmerjanjem osnovnih gradnikov.

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Uporabnost lesnih ploščnih kompozitov je poleg mehanskih lastnosti odvisna tudi od odpornosti proti delovanju vode oziroma vlage. Delovanje lesnih ploščnih kompozitov, še posebej tistih iz iveri in vlaken, je posledica tako delovanja lesa (reverzibilen nabrek), kakor tudi pogojev stiskanja (ireverzibilen nabrek) ter trdnosti vezi med gradniki.

1.2 CILJ NALOGE

Namen diplomskega projekta je raziskati korelacijo med razslojno trdnostjo, čvrstostjo površine debelinskim nabrekom ivernih in vlaknenih in plošč.

1.3 DELOVNA HIPOTEZA

Predvidevamo, da se bo z naraščanjem razslojne trdnosti, čvrstosti površine in strižne trdnosti debelinski nabrek plošč zmanjševal.

2 PREGLED LITERATURE

Les in lesni kompozit absorbirajo vodo iz zraka (vlago) preko sorpcije, tekočino pa s pomočjo kapilarnih sil. Na sorpcijo lesa vpliva, zraven ostalih dejavnikov, količina ekstraktivov v lesu. Hitrost vpivanja vode je odvisna predvsem od smeri vlaken in anatomske zgradbe lesa. V smeri vlaken je sorpcija bistveno večja, kot v smeri pravokotno na vlakna. Lesni kompoziti absorbirajo več vode preko robov, kot preko ploskev (Niemz, 2010).

Lesni kompoziti, kot so vlaknene plošče, MDF ali OSB imajo nižjo ravnovesno vlažnost (EMC), kot masiven les. Vzrok za to naj bi bil postopek predelave. Pri kompozitih, ki so zlepljeni s fenolnimi smolami pa je zaradi higroskopičnega obnašanja baze ravnovesna vlažnost višja, kot bi bila pri uporabi drugih lepil. Ravnovesna vlažnost ima močan vpliv na vse fizikalne in mehanske lastnosti lesnih materialov (Niemz, 2010).

Na mehanske lastnosti lesnih kompozitov močno vplivajo lepila, zgoščenost ter proizvodna tehnologija (sušenje, razvlaknjevanje in stiskanje pri visoki temperaturi). Ravnovesne vlažnosti lesnih kompozitov so pri enakih pogojih nižje, kot pri masivnem lesu iz katerega so plošče narejene. Odzivanje kompozitov v vlažnem okolju lahko delno pojasnimo s prisotnostjo različnih lepil, katera imajo v primerjavi z masivnim lesom, drugačne sorpcijske lastnosti (Niemz, 2010).

Ravnovesna vlažnost MDF plošč je malenkost nižja kot pri ostalih lesnih kompozitih zaradi hidrotermičnega procesa pri razvlaknjevanju. Ravnovesna vlažnost MDF plošč je povezana s tlakom pare med postopkom razvlaknjevanja, temperaturo in trajanjem razvlaknjevanja (Niemz, 2010).

S spremembo vlažnosti se spreminjajo tudi dimenzije lesa. Do nabrekanja pride, ko les sprejema vodo/vlago, do krčenja pa, ko le-ta vodo/vlago odda. Nabrekanje in krčenje se razlikujeta glede na smer poteka vlaken v lesu. Nabrekanje v longitudinalni smeri je majhno, v radialni smeri je deset do dvajsetkrat večje, v tangencialni smeri pa je nabrekanje petnajst do tridesetkrat večje kot v longitudinalni smeri. Maksimalni nabrek narašča z gostoto lesa, vendar traja dlje časa, da se ga doseže (Niemz, 2010).

Večje nabrekanje pri lesnih kompozitih povzroči nastanek praznih prostorov znotraj plošč, kar pa ne velja za MDF, saj se le-ta v smislu nabrekanja obnaša podobno kot masiven les. Ko se znotraj plošče razvijejo različna območja vlažnosti, pride do ukrivljanja (velja tudi za masiven les), katera upada z večanjem debeline (Niemz, 2010).

Nabrekanje je pri masivnem lesu pretežno reverzibilno, medtem ko je pri lesnih kompozitih ponekod ireverzibilno. Glede na prvotno stanje, se nabrekanje izraža v

odstotkih. Masiven les nabrekne za toliko, kot vpije vode, medtem ko je pri lesnih ploščnih kompozitih nabrek znatno večji (Niemz, 2010; Rowel, 2013), kar je predvsem posledica sprostitve napetosti v plošči (Rowel, 2013). Omenjene napetosti so posledica zgoščevanja gradnikov med stiskanjem plošč. To je tako imenovano ireverzibilno nabrekanje saj se pri sušenju ne povrne v prvotno stanje (debelino pred navlaževanjem). Med postopkom navlaževanja pa pride tudi do reverzibilnega nabrekanja, kar pomeni, da se kompoziti po sušenju povrnejo v prvotno stanje (Rowel, 2013).

Večina ireverzibilnega nabrekanja se pojavi v začetnih fazah navlaževanja. Stopnja nabrekanja je lahko počasna zaradi prisotnosti voskov ali drugih kemikalij, dodanih z namenom zmanjšanja vpijanja vlage (Rowell, 2013).

Za spajanje lesa se uporablja več različnih vrst lepil. (Frihart, 2013: 258, cit. po Frihart in Hunt, 2010). Dejavniki, ki vplivajo na izbiro lepila vključujejo ceno, združljivost s postopkom izdelave plošče, področje uporabe, Največji delež trga predstavljajo lesni kompoziti, pri katerih lepila vežejo manjše delce lesa – gradnike. Moč izdelka je odvisna od učinkovite distribucije vnesenih sil med lepilom in lesom. Lepilo se nanese na gradnike, katere se natresa v preprogo. Nato sledi vroče stiskanje v končni proizvod. Takšen postopek zahteva lepilo, ki ne reagira pri sobni ampak pri povišani temperaturi med stiskanjem. Večina lepil za les vsebuje formaldehid, kar vzbuja skrbi zaradi emisij formaldehida, ki je lahko v večjih koncentracijah škodljiv za zdravje (Frihart, 2013).

Kemijska struktura in interakcije določajo mehanske lastnosti, slednje pa določajo silo, ki je usmerjena na posamezne kemijske vezi. Kemijski in mehanski vidik sta torej povezana in ne moreta biti obravnavana kot popolnoma ločena subjekta (Frihart, 2013).

V mehanskem smislu je trdnost spoja zagotovljena s sidranjem lepila v makro in mikro razpoke ter pore lesa (Frihart, 2013 cit. po Packham, 2003). Mehansko sidranje v pravem pomenu besede ne upošteva kemijske interakcije lepila in substrata, vendar ta interakcija vsekakor nastopi saj mora lepilo dovolj dobro omočiti substrat, tako da potem pride tako do mehanskih kot tudi do kemijskih vezi. Omeniti moramo, da ima mehansko sidranje običajno večji odpor na strižne sile (Frihart, 2013).

Ostale teorije so v glavnem osredotočene na kemijske interakcije, torej se odvijajo na molekularnem nivoju in zahtevajo tesen stik lepila s substratom (Frihart, 2013 cit. po Kinloch, 1987).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

Za izvedbo raziskave smo uporabili iverne in vlaknene plošče dostopne na našem trgu. Plošče smo razžagali na dimenzije, $50 \times 50 \text{ mm}^2$. Takšno velikost preskušancev namreč zahtevajo standardi za ugotavljanje razslojne trdnosti in odpornosti proti delovanju vode/vlage.

3.1.1 Iverna plošča Tip P2

Surove iverne plošče tipa P2 (SIST EN 312) so primerne za uporabo v suhih pogojih (relativna zračna vlažnost okoliškega zraka presega 65% samo nekaj tednov na leto). Običajno so to trislojne plošče, kjer se za zunanji sloj uporabljajo finejše, za srednji sloj pa bolj grobe iveri. Uporablja se urea-formaldehidno lepilo. Odlikuje jih finejši in bolj kompakten zunanji sloj ter homogenejša površina.



Slika 1: Iverna plošča tipa P2

3.1.2 Iverna plošča tip P5

Surove iverne plošče tipa P5 (SIST EN 312) so nosilne plošče primerne za uporabo v vlažnih pogojih (relativna zračna vlažnost okoliškega zraka presega 85% samo nekaj tednov na leto). Plošče odlikuje visoka odpornost proti delovanju vode/vlage, visoka upogibna in razslojna trdnost ter odpornost proti vlagi. Za lepljenje se uporablja predvsem melamin-urea-formaldehidno ali pa melamin-formaldehidno lepilo. Struktura iveri je enaka kot pri iverni plošči tipa P2 (glej 3.1.1).



Slika 2: Iverna plošča tipa P5

3.1.3 Konstrukcijska iverna plošča LSB

Konstrukcijska iverna plošča LSB (SIST EN 312) je plošča s primerljivimi lastnostmi z OSB ploščo. Za zunanji sloj se namreč uporabljajo večje iveri (primerljive tistim za srednji sloj klasične iverne plošče), ki so naključno usmerjene. Namenjene so za uporabo v gradbeništvu, kot samostojni gradbeni elementi ali pa v kombinaciji z drugimi elementi in materiali. Pri obdelavi se obnašajo podobno kot les. Primerne so za uporabo v vlažnih pogojih (relativna zračna vlažnost okoliškega zraka presega 85% samo nekaj tednov na leto). Za lepljenje se uporablja predvsem melamin-urea-formaldehidno ali pa melamin-formaldehidno lepilo.



Slika 3: Konstrukcijska iverna plošča LSB

3.1.4 Vlaknena plošča MDF

MDF vlaknene plošče (SIST EN 622) so enoslojne plošče, ki so izdelane iz vlaken ali skupkov vlaken, zlepljenih z urea-formaldehidnim, melamin-urea-formaldehidnim ali melamin-formaldehidnim lepilom. Plošče so dimenzijsko stabilne, zaradi dodatkov dokaj odporne proti vlagi, odporne so proti udarcem ter dobro držijo vijake in žblje. Vse vrste vlaknenih plošč imajo dobre obdelovalne lastnosti, dobro se stružijo, lepijo, rezbarijo in oblikujejo.



Slika 4: Vlaknena plošča MDF

3.2 METODE DELA

3.2.1 Določanje razslojne trdnosti

Določanje razslojne trdnosti smo opravili po standardu SIST EN 319:1993. Za vsako vrsto lesne kompozitne plošče smo pripravili po 8 preizkušancev kvadratne oblike dimenzije (50 ± 1) mm iz vsake plošče.

Kondicioniranje: preizkušance in kocke smo kondicionirali, vsake posebej do konstantne mase v atmosferi z relativno zračno vlažnostjo $(65 \pm 5)\%$ in temperaturo $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. Konstantna masa je dosežena, ko se masa preizkušancev pri dveh tehtanjih v intervalu 24 ur ne spremeni za več kot 0,1%.

Priprava preizkušancev: preizkušance smo s talilnim lepilom prilepili na podstavek iz furnirnih plošč iz furnirja listavcev. Lepilo smo nanесли po celotni površini, da ne bi med trganjem popustila vez med preizkušancem in podstavkom. Pri lepljenju drugega podstavka smo morali biti pozorni, da se je prvi podstavek ohladil ter, da smo ga prilepili pod kotom 90° glede na prvi podstavek (Slika 5).



Slika 5: Preizkušanci pripravljeni za testiranje

Silo loma smo določili na trgalnem stroju Zwick Z100 (slika 6). Pri samem preskusu smo upoštevali standard SIST EN 319 in sicer:

- čas loma: 60 ± 30 sekund
- do loma mora priti na sredini preizkušanca. Če do loma pride med podstavkom in preizkušancem, rezultata pri tem preizkušancu ne upoštevamo.



Slika 6: Univerzalni testirni stroj ZWICK Z100

Razslojno trdnost smo izračunali po naslednji enačbi:

$$f_t = \frac{F_{loma}}{l \times w} \quad \dots(1)$$

- | | |
|--------------|--|
| - f_t | razslojna trdnost (N/mm ²) |
| - F_{loma} | sila loma (N) |
| - l | dolžina preizkušanca (mm) |
| - w | širina preizkušanca (mm) |

Razslojno trdnost smo določali suhim preizkušancem in po izpostavitvi cikličnim klimatskim pogojem.

3.2.2 Določanje debelinskega nabreka po izpostavitvi vlažni klimi

Za vsako vrsto plošče smo pripravili po 8 preizkušancev kvadratne oblike dimenzije (50 ± 1) mm iz treh različnih plošč ter jih klimatizirali. Najprej smo vsakemu preizkušancu posebej natančno izmerili debelino na sredini preizkušanca (stičišču diagonal ploskve) in maso. Debelino smo merili na 0,01 mm natančno, maso pa na 0,01 g natančno. Preizkušance smo nato postavili v komoro z relativno zračno vlažnostjo 85% ter

temperaturo 20 ± 2 °C. preizkušance smo v komori postavili na rob ter približno za eden preizkušanec narazen.

Debelino in maso preizkušancev (naključno izbrani) smo merili tako dolgo, da smo dosegli konstantne mase, kar pomeni, da se jim masa pri dveh tehtanjih v intervalu 24 ur ne spremeni za več kot 0,1%.

Debelinski nabrek smo izračunali po naslednji enačbi:

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

- G_t debelinski nabrek (%)
- t_1 debelina klimatiziranega preizkušanca (mm)
- t_2 debelina preizkušanca po izpostavitvi vlažnemu okolju (mm)

3.2.3 Določanje debelinskega nabreka po potopitvi v vodo

Določanje debelinskega nabreka po potopitvi v vodo smo opravili po standardu SIST EN 317:1993. Za vsako plošč smo uporabili 8 klimatiziranih preizkušancev velikosti 50×50 mm². Pred samo potopitvijo smo izmerili debelino in maso preizkušancev. Debelino smo merili na 0,01 mm natančno in sicer na sredini preizkušanca, maso pa na 0,01 g natančno. Preizkušance smo potopili v vodo s pH = 7 ± 1 in temperaturo (20 ± 2) °C.

Preizkušance smo v kadi (slika 7) postavili na ploskev, ter jih ločili med sabo in od dna ter stranic kadi. Poskrbeli smo tudi, da so bile zgornje ploskve pokrite z (25 ± 5) mm vode. Po 24 urah smo jih vzeli iz kadi, jih pustili, da se nekoliko odcedi odvečna voda ter jim izmerili debelino in maso.



Slika 7: Vodna kad

Debelinski nabrek smo izračunali po naslednji enačbi:

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad \dots(3)$$

- G_t debelinski nabrek (%)
- t_1 debelina preizkušanca pred potopom (mm)
- t_2 debelina preizkušanca po potopu (mm)

3.2.4 Ugotavljanje odpornosti proti vlagi pri cikličnih pogojih

Preizkušanci so bili izpostavljeni trem ciklom. Vsak je sestavljen iz potapljanja v vodo (slika 7), zamrzovanja (slika 8) in sušenja (slika 9). Po ciklični izpostavitvi smo izmerili debelino, maso in razslojno trdnost.



Slika 8: Zamrzovalnik



Slika 9: Sušilna komora

Izpostavitve preizkušancev je trajala 21 dni in je bila sestavljena iz treh ciklov in sicer:

Prvi cikel:

- preizkušance smo potopili v kad (slika 7) s svežo vodo, ki je imela $\text{pH}=(7\pm1)$ in temperaturo $(20\pm1)^{\circ}\text{C}$,
- preizkušance smo postavili na eden dolg rob (v primeru zvijanja), ter jih med sabo ločili in oddaljili od dna in stranic kadi vsaj 15 mm. Zgornje robove preizkušancev smo pokrili z vsaj (25 ± 5) mm vode skozi celoten postopek.
- potopljeni so bili (70 ± 1) uro,
- preizkušance smo odstranili iz kadi, jih pustili nekaj minut, da so se odcedili ter jih nato postavili v zamrzovalnik (slika 8) pri temperaturi med -12°C in -25°C ,
- preizkušance smo postavili na isti rob, kot so bili v kadi in morajo biti med sabo ločeni vsaj 15 mm
- zamrzovanje je potekalo (24 ± 1) uro,
- preizkušance smo nato vzeli iz zamrzovalnika in jih takoj postavili v sušilno komoro (slika 9) pri temperaturi $(70\pm2)^{\circ}\text{C}$, zopet na isti rob in oddaljene med sabo vsaj 15 mm,
- celoten volumen preizkušancev ne sme preseči 10% volumna sušilne komore,
- sušenje je trajalo (70 ± 1) uro,
- preizkušance smo nato odstranili iz sušilne komore in jih postavili v prostor s temperaturo $(20\pm5)^{\circ}\text{C}$, zopet postavljene na isti rob in 15 mm narazen,
- nato so se ohlajali $(4\pm0,5)$ ure

Drugi cikel:

- po ohlajanju smo preizkušance potopili v kad s svežo vodo, ki je imela $\text{pH}=(7\pm1)$ in temperaturo $(20\pm1)^{\circ}\text{C}$, postavili smo jih na nasprotni rob kot v prvem ciklu, ter jih med sabo ločili in oddaljili od dna in stranic kadi za vsaj 15 mm. Zgornje robove preizkušancev smo pokrili z vsaj (25 ± 5) mm vode skozi celoten postopek.
- potopljeni so bili (70 ± 1) uro,
- preizkušance smo odstranili iz kadi, jih pustili nekaj minut, da so se odcedili ter jih nato postavili v zamrzovalnik pri temperaturi med -12°C in -25°C ,
- preizkušance smo postavili na isti rob, kot so bili v kadi in morajo biti med sabo ločeni vsaj 15 mm
- zamrzovanje je potekalo (24 ± 1) uro,
- preizkušance smo nato vzeli iz zamrzovalnika in jih takoj postavili v sušilno komoro pri temperaturi $(70\pm2)^{\circ}\text{C}$, zopet na isti rob in oddaljene med sabo vsaj 15 mm,
- celoten volumen preizkušancev ne sme preseči 10% volumna sušilne komore,
- sušenje je trajalo (70 ± 1) uro,

- preizkušance smo nato odstranili iz sušilne komore in jih postavili v prostor s temperaturo $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, zopet postavljene na isti rob in 15 mm narazen,
- nato so se ohlajali $(4 \pm 0,5)$ ure

Tretji cikel:

- po ohlajanju smo preizkušance potopili v kad s svežo vodo, ki je imela $\text{pH}=(7 \pm 1)$ in temperaturo $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$, postavili smo jih na nasprotni rob kot v drugem ciklu, ter jih med sabo ločili in oddaljili od dna in stranic kadi za vsaj 15 mm. Zgornje robove preizkušancev smo pokrili z vsaj (25 ± 5) mm vode skozi celoten postopek.
- potopljeni so bili (70 ± 1) uro,
- preizkušance smo odstranili iz kadi, jih pustili nekaj minut, da so se odcedili ter jih nato postavili v zamrzovalnik pri temperaturi med -12°C in -25°C ,
- preizkušance smo postavili na isti rob, kot so bili v kadi in morajo biti med sabo ločeni vsaj 15 mm
- zamrzovanje je potekalo (24 ± 1) uro,
- preizkušance smo nato vzeli iz zamrzovalnika in jih takoj postavili v sušilno komoro pri temperaturi $(70 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, zopet na isti rob in oddaljene vsaj 15 mm,
- celoten volumen vzorcev ne sme preseči 10% volumna sušilne komore,
- sušenje je trajalo (70 ± 1) uro,

Rekondicioniranje:

- preizkušance smo vzeli iz sušilne komore in jih kondicionirali do konstantne mase,
- nato smo izmerili dimenzije preizkušancev (mi smo izmerili samo debelino, ker smo pri testiranju razslojne trdnosti prevzeli da so dimenzije kar 50 x 50 mm),
- preizkušance smo nato testirali na razslojno trdnost po EN 319

3.2.4.1 Določanje debelinskega nabreka po končanem cikličnem testu

Po končanem cikličnem testu in rekondicioniranju smo preizkušancem izmerili debelino na presečišču ploskovnih diagonal. Nato smo izračunali debelinski nabrek po enačbah št. 2 in št. 3.

3.2.4.2 Določanje razslojne trdnosti po končanem cikličnem testu

Po končanem cikličnem testu in rekondicioniranju smo preizkušance pripravili in testirali na univerzalnem testirnem stroju ZWICK Z100 (slika 6) po enakem postopku, ki je naveden v poglavju 3.2.1.

4 REZULTATI

Pri vseh preizkusih smo imeli za vsako vrsto plošče po 8 preizkušancev iz treh različnih plošč, za katere so rezultati predstavljeni v preglednici 1.

Preglednica 1: Povprečne vrednosti in standardni odklon za preskušane materiale

		LSB	P2	P5	MDF
POVPREČNA DEBELINA (mm)		21,89	18,23	18,99	17,85
POVPREČNA GOSTOTA (kg/m³)		668	642	675	717
POVP. RAZSLOJNA TRDNOST SUHIH PLOŠČ (N/mm²)		0,93	0,37	0,87	0,47
DEBELINSKI NABREK - V VLAŽNI KLIMI (%)					
1 TEDEN	POVP(%)	0,96	0,70	0,39	4,01
	ST ODK	0,22	0,19	1,03	0,27
2 TEDEN	POVP(%)	0,37	0,39	-0,11	
	ST ODK	0,15	2,20	1,04	
PO MENJAVI VODE					
3 TEDEN	POVP(%)	3,91	4,76	3,02	
	ST ODK	0,60	0,83	1,07	
4 TEDEN	POVP(%)	3,97	4,64	3,44	
	ST ODK	0,50	0,72	1,23	
5 TEDEN	POVP(%)	4,60	5,51	3,80	
	ST ODK	0,47	0,59	1,14	
DEBELINSKI NABREK - 24 UR V VODI (%)	POVP(%)	7,35	25,99	10,36	12,12
	ST ODK	0,82	2,85	0,82	0,21
POVPREČNA RAZSLOJNA TRDNOST PO CIKLIČNEM TESTU (N/mm²)		0,61	0,01	0,12	0,01
POVPREČNI DEBELINSKI NABREK PO CIKLIČNEM TESTU (%)	POVP(%)	12,23	47,12	26,29	6,75
	ST ODK	1,98	2,63	3,69	0,41

4.1 RAZSLOJNA TRDNOST NETRETIRANIH PREIZKUŠANCEV

V preglednici 2 so zbrane vrednosti, katere smo dobili pri preizkušanju razslojne trdnosti suhih plošč.

Preglednica 2: Povprečne vrednosti pri preizkušanju razslojne trdnosti suhih plošč

KOMPOZIT	POVPREČNA RAZSLOJNA TRDNOST (N/mm ²)
LSB	0,93
P2	0,37
P5	0,87
MDF	0,47

Pri razslojnih trdnostih smo izmerili dokaj velike razlike. Največjo razslojno trdnost smo izmerili pri LSB plošči (slika 3), ki je bila 0,93 N/mm², najmanjšo pa pri iverni plošči tipa P2 (slika 1), kjer je bila 0,37 N/mm², kar je bilo pričakovano, saj imajo iverne plošče P2 manj homogen srednji sloj (v primerjavi z LSB ploščo). Zelo majhno razliko v povprečni razslojni trdnosti smo pa izmerili pri konstrukcijskih ivernih ploščah LSB in ivernih ploščah tipa P5 (slika 2), ki je bila 0,06 N/mm² kar je bilo pričakovano saj sta zlepljeni z enakim lepilom in imata enako namembnost. Razlika med iverno plošč P5 in LSB ploščo je velikost gradnikov ter da ima LSB plošča finejši srednji sloj medtem ko ima iverna plošča tipa P5 finejši zunanji sloj. Obe plošči pa imata podobno gostoto. Razlika med iverno ploščo tipa P2 in MDF (slika 4) pa je razmeroma majhna. Obe plošči sta zlepljeni z enakim lepilom, razlikujeta pa se po velikosti gradnikov. Ivorna plošča je zgrajena iz iveri, MDF plošča pa iz vlaken. Ivorna plošča tipa P2 ima finejši zunanji sloj, medtem ko je MDF plošča v bistvu enoslojna, ampak jo vseeno lahko gledamo kot trislojno ploščo z gostejšima zunanjima slojema.

4.2 DEBELINSKI NABREK PO IZPOSTAVITVI VLAŽNI KLIMI

V preglednici 3 so zbrane vrednosti, katere smo dobili pri določanju debelinskega nabreka po izpostavitvi vlažni klimi.

Preglednica 3: Povprečne vrednosti in standardni odklon pri določanju debelinskega nabreka po izpostavitvi vlažni klimi

					PO MENJAVI VODE					
	1 TEDEN		2 TEDEN		3 TEDEN		4 TEDEN		5 TEDEN	
KOMPOZIT	DN(%)	SO	DN(%)	SO	DN(%)	SO	DN(%)	SO	DN(%)	SO
LSB	0,96	0,22	0,37	0,15	3,91	0,60	3,97	0,50	4,60	0,47
P2	0,70	0,19	0,39	2,20	4,76	0,83	4,64	0,72	5,51	0,59
P5	0,39	1,03	-0,11	1,04	3,02	1,07	3,44	1,23	3,80	1,14
MDF	4,01	0,27								

Preizkušance smo izpostavili vlažni klimi, ker nas je zanimalo njihovo obnašanje v prostoru s povišano zračno vlažnostjo. Preizkus naj bi trajal približno 3 tedne, vendar smo po drugem tednu ugotovili, da se masa in debelina plošč manjšata, zato podatkov za drugi teden nismo upoštevali. Po vzpostavitvi željenih pogojev (20°C in 85%) smo z meritvami nadaljevali. Največji debelinski nabrek smo izmerili pri iverni plošči tipa P2, kateri je bila 4 tedne po menjavi vode 5,51%, najmanjši pa pri iverni plošči P5, kateri je bil 3,80 %. Do te razlike je prišlo zaradi lepila, saj je iverna plošča tipa P2 zlepljena z urea-formaldehidnim lepilom, ki je neodporno na vlago, plošča P5 pa z melamin-urea-formaldehidnim lepilom, ki pa je odporno na vlago. Vlakneno ploščo smo izpostavili vlažni klimi samo za 1 teden, saj je že po enem tednu nabreknila za približno toliko kot LSB v 4 tednih, to pa zaradi vlaken, ki imajo veliko sposobnost vpijanja ali oddajanja vlage, zato se zelo hitro odzivajo na spremembe klime v okolici.

4.3 DEBELINSKI NABREK PO POTOPITVI V VODO

V preglednici 4 so zbrane vrednosti, katere smo dobili pri določanju debelinskega nabreka po potopitvi v vodo.

Preglednica 4: Povprečne vrednosti in standardni odklon pri določanju debelinskega nabreka po potopitvi v vodo

KOMPOZIT	POVPREČNI DEBELINSKI NABREK (%)	STANDARDNI ODKLON
LSB	7,35	0,82
P2	25,99	2,85
P5	10,36	0,82
MDF	12,12	0,21

Najmanjši povprečni debelinski nabrek smo izmerili pri LSB ploščah, kjer je bil 7,35%, največjega pa pri ivernih ploščah tipa P2, kjer je bil 25,99%, medtem ko so imeli preizkušanci iz iverne plošče P5 manjši debelinski nabrek kot MDF plošče. Takšne rezultate smo pričakovali, saj imata plošči LSB in P5 trdnjše lepilne spoje, ker sta zlepljeni z melamin-urea-formaldehidnim lepilom, kjer dodatek melamina daje ploščam odpornost na vlago, medtem ko samo urea-formaldehidno lepilo uporabljeno pri iverni plošči P2 in MDF plošči ni odporno na vlago, zato spoji v vodi hitro začnejo popuščati. LSB ima največje gradnike, ki potrebujejo dlje časa, da se navzamejo vlage, kar je tudi eden od razlogov, da se je najboljša obnesla.

4.4 DEBELINSKI NABREK PO KONČANEM CIKLIČNEM TESTU

V preglednici 5 so zbrane vrednosti, katere smo dobili pri določanju debelinskega nabreka po končanem cikličnem testu.

Preglednica 5: Povprečne vrednosti in standardni odklon pri določanju debelinskega nabreka po končanem cikličnem testu

KOMPOZIT	POVPREČNI DEBELINSKI NABREK (%)	STANDARDNI ODKLON
LSB	12,23	1,98
P2	47,12	2,63
P5	26,29	3,69
MDF	6,75	0,41

Najmanjši povprečni debelinski nabrek smo po končanem cikličnem testu izmerili pri vlaknenih ploščah, kjer je bil 6,75%, največjega pa pri ivernih ploščah tipa P2, kjer je bil 47,12%. Omeniti moramo, da smo pri vlaknenih ploščah opravili samo en cikel: glavni razlog za to je posledica slabe odpornosti, saj je že po prvem ciklu bila prisotna delna razslojitev. Do takšnih razlik med ploščami LSB, P2 in P5 je prišlo predvsem zaradi lepila s katerim so zlepljene in pa zaradi velikosti gradnikov in same zgradbe slojev oz. plošče. Plošča MDF pa je imela najmanjši debelinski nabrek zaradi lastnosti hitrega oddajanja in sprejemanja vlage, zato se je plošča zelo hitro prilagodila vroči klimi v sušilniku, ki je zadnji korak vsakega cikla.

4.5 RAZSLOJNA TRDNOST PO KONČANEM CIKLIČNEM TESTU

V preglednici 6 so zbrane vrednosti, katere smo dobili pri določanju razslojne trdnosti po končanem cikličnem testu in vrednosti, katere smo dobili pri testiranju razslojne trdnosti suhih plošč.

Preglednica 6: Povprečne vrednosti pri preizkušanju razslojne trdnosti po končanem cikličnem testu in vrednosti za suhe plošče

KOMPOZIT	POVPREČNA RAZSLOJNA TRDNOST (N/mm ²)	
	PO CIKLIČNEM TESTU	SUHE PLOŠČE
LSB	0,61	0,93
P2	0,01	0,37
P5	0,12	0,87
MDF	0,01	0,47

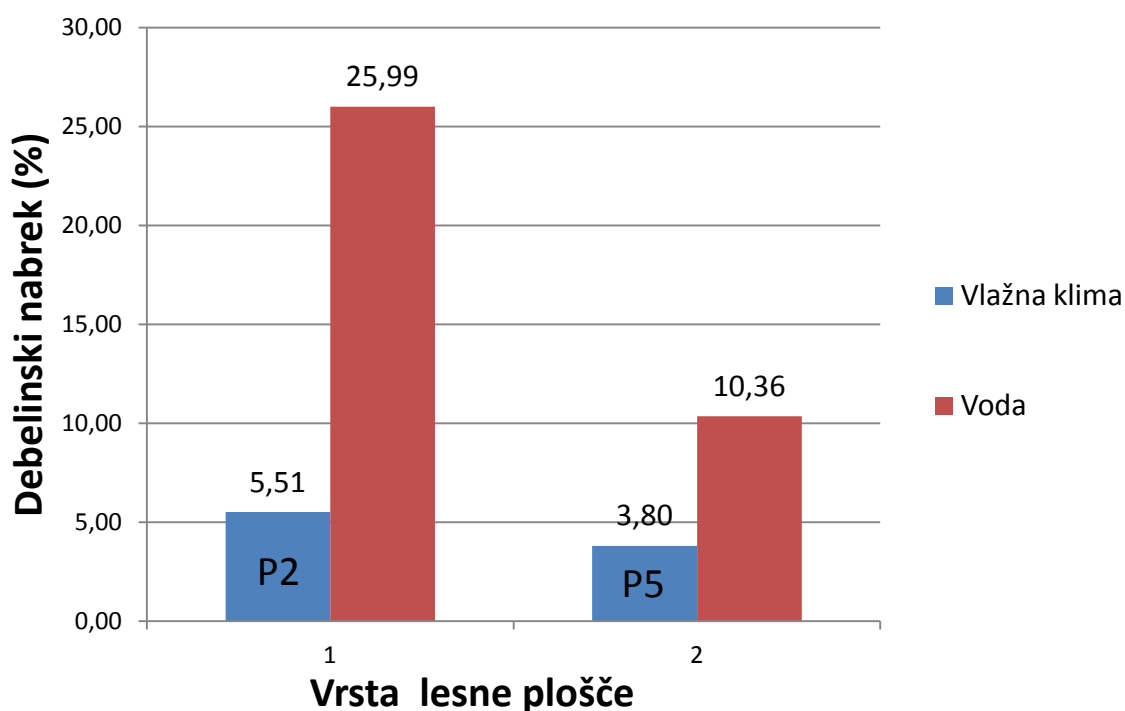
Največjo povprečno razslojno trdnost po končanem cikličnem testu smo izmerili pri LSB plošči, kar smo tudi pričakovali, vrednost pa je bila 0,61 N/mm², kar ni zelo velika razlika od suhih plošč, glede na ostale testirane kompozite. Najmanjšo povprečno razslojno trdnost pa smo izmerili pri MDF in ivernih ploščah tipa P2, pri katerih je le ta bila 0,01 N/mm², kar je bilo pričakovano, saj je urea-formaldehidno lepilo s katerim sta plošči zlepljeni neodporno na vlago, zato je trdnost lepilnih vezi hitro popustila pod vplivom ekstremnih pogojev.

5 RAZPRAVA

Z našim raziskovanjem smo skušali ugotoviti obnašanje različnih lesnih plošč pri izpostavitvi vlažnemu okolju. Ugotavljali smo debelinski nabrek LSB plošč, vlaknenih plošč ter ivernih plošč tipa P2 in P5, tako da smo jih izpostavili vlažni klimi ter jih potopili v vodo. Ugotavljali smo tudi razslojno trdnost omenjenih plošč po izpostavitvi ekstremnim pogojem s cikličnim testom. Plošče smo preskušali na stroju ZWICK Z100 (slika 6).

5.1 PRIMERJAVA IVERNE PLOŠČE TIPA P2 IN P5

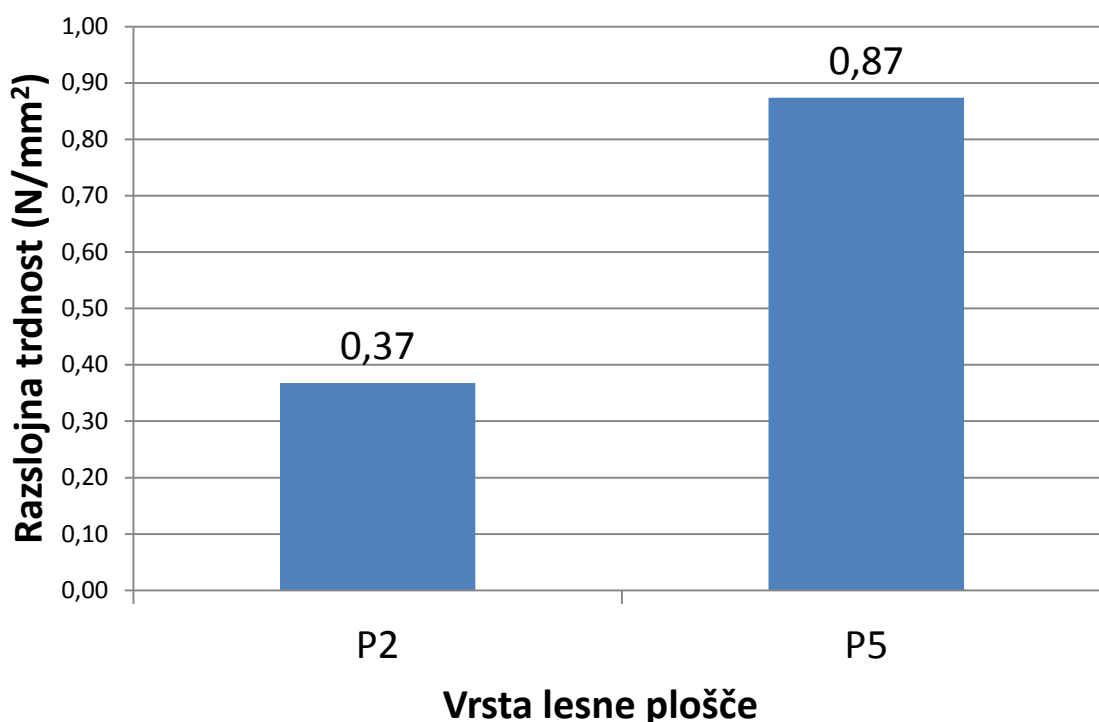
Iverni plošči tipa P2 (slika 1) in P5 (slika 2) smo primerjali zato, ker imata enako zgradbo vendar sta pri izdelavi plošč uporabljeni različni lepili in sicer urea-formaldehidno lepilo pri iverni plošči tipa P2 ter melamin-urea-formaldehidno lepilo pri iverni plošči tipa P5.



Slika 10: Primerjava med debelinskim nabrekom iverne plošče tipa P5 in P2 po izpostavitvi vlažni klimi in po potopitvi v vodo

Iz slike 10 je razvidno, da je debelinski nabrek iverne plošče tipa P5 manjši od nabreka iverne plošče tipa P2, kar je bilo pričakovano saj so plošče tipa P5 namenjene uporabi v vlažnih pogojih, medtem ko so plošče tipa P2 za uporabo v suhih pogojih. Po sestavi sta si plošči podobni – obe imata finejše gradnike v zunanjem sloju ter večje v srednjem sloju, imata podobno gostoto, razlikujeta pa se po lepilu, s katerim so zlepljeni gradniki. Plošča

tipa P2 ima večji debelinski nabrek in s tem slabšo razslojno trdnost, ker zaradi vlage pride do spremembe med gradniki, ki se želijo povrniti v lego pred stiskanjem in nastanejo notranje napetosti med vezmi. Plošča P2 je zlepljena z urea-formaldehidnim lepilom, ki ni odporno na vlago, medtem ko je plošča tipa P5 zlepljena z melamin urea-formaldehidnim lepilom in ima nižji debelinski nabrek, saj melamin poveča odpornost proti vodi/vlagi.

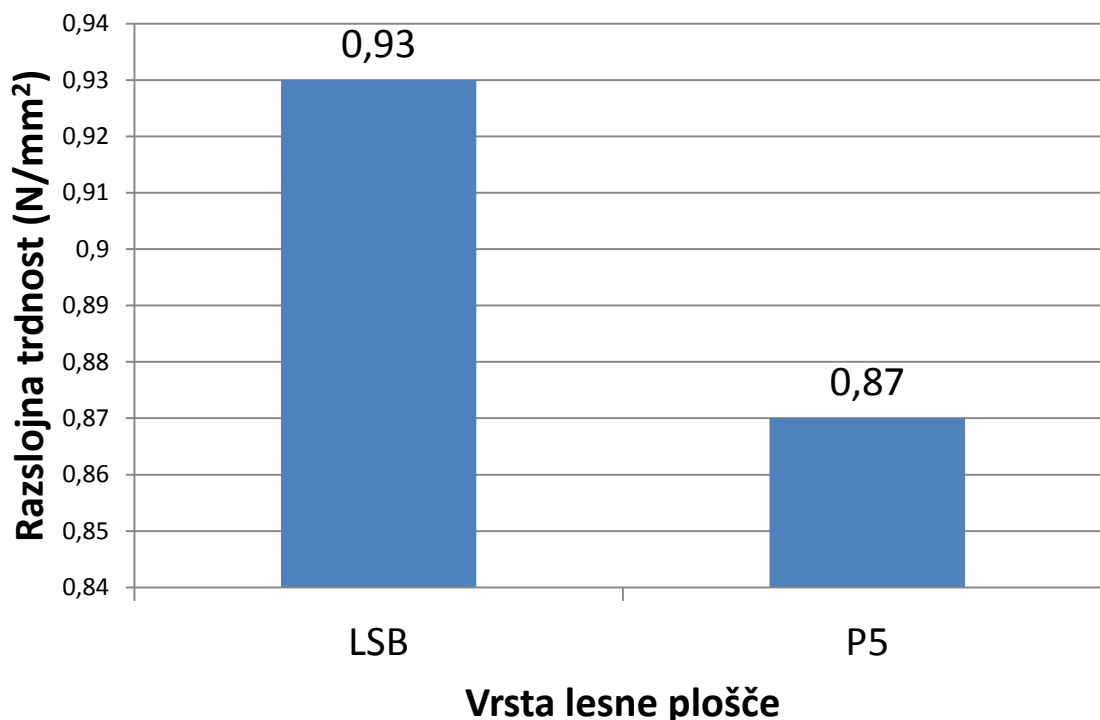


Slika 11: Primerjava med razslojno trdnostjo iverne plošče tipa P2 in P5

Iz slik 10 in 11 je razvidno obratno sorazmerje med debelinskim nabrekom in razslojno trdnostjo plošč. Zaradi izpostavitve vodi oz. vlagi ali cikličnim pogojem pride do spremembe v samih gradnikih. Voda oz. vlaga prodre v gradnike in med gradnike, ti pa se posledično želijo vrniti v lego pred stiskanjem. Če je trdnost spojev dovolj velika, je verjetnost porušitve majhna, če pa ni potem lahko nastopi porušitev vezi in posledično večji nabrek. Zaradi preoblikovanja gradnikov ob nabrekanju nastopijo natezne in strižne obremenitve vezi.

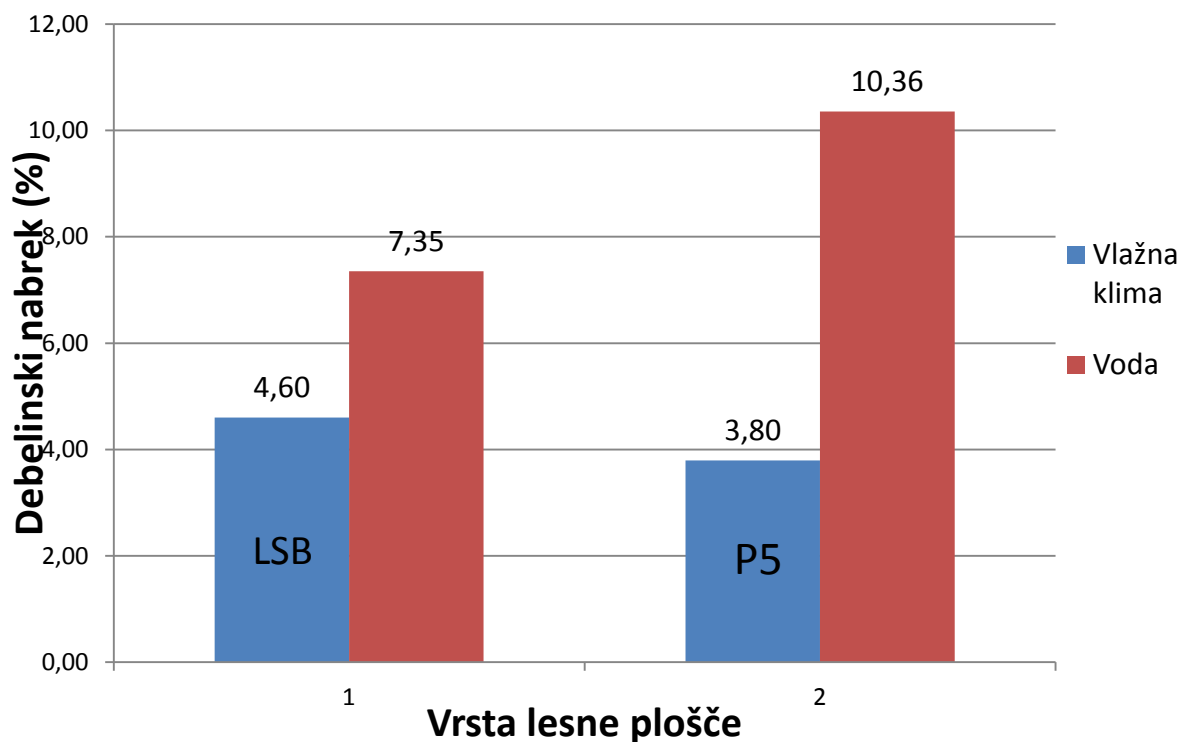
5.2 PRIMERJAVA KONSTRUKCIJSKE IVERNE PLOŠČE LSB IN IVERNE PLOŠČE TIPA P5

Konstruktivsko iverno ploščo LSB (slika 3) in iverno ploščo tipa P5 (slika 2) smo primerjali zato, ker imata enako namembnost, podobno gostoto ter sta obe zlepljeni z melamin-urea-formaldehidnim lepilom.



Slika 12: Primerjava med razslojno trdnostjo iverne konstrukcijske plošče LSB in iverne plošče tipa P5

Iz slike 12 je razvidno, da ima LSB plošča boljšo razslojno trdnost kot iverna plošča tipa P5. Razlog za to se skriva v velikosti gradnikov, predvsem pa v večjem deležu lepila in sami zgradbi plošč. LSB plošča ima večje gradnike kot iverna plošča, kateri imajo večjo stično površino. Pri iverni plošči je pokritost gradnikov z lepilom zaradi njihove majhnosti le 3 – 8%, pri LSB plošči pa kar 50%. Glavni razlog za boljšo oblepljenost gradnikov pri LSB plošči je večji delež lepila, ki se ga doda v ploščo med postopkom izdelave, ter večji delež finejših frakcij v srednjem sloju, medtem ko ima iverna plošča P5 v srednjem sloju večje gradnike. Kot že vemo pa je prav lepilo tisto, ki preprečuje, da bi prišlo med gradniki do popuščanja, se pravi oddaljevanja gradnikov, in posledično do popustitve. Zaradi velikosti gradnikov in boljše oblepljenosti, zaradi katere se tvorijo v LSB plošči trdnejše lepilne vezi, kot v plošči P5, ima LSB plošča v povprečju nižji debelinski nabrek, kjer se že kaže korelacija med razslojno trdnostjo in debelinskim nabrekom.

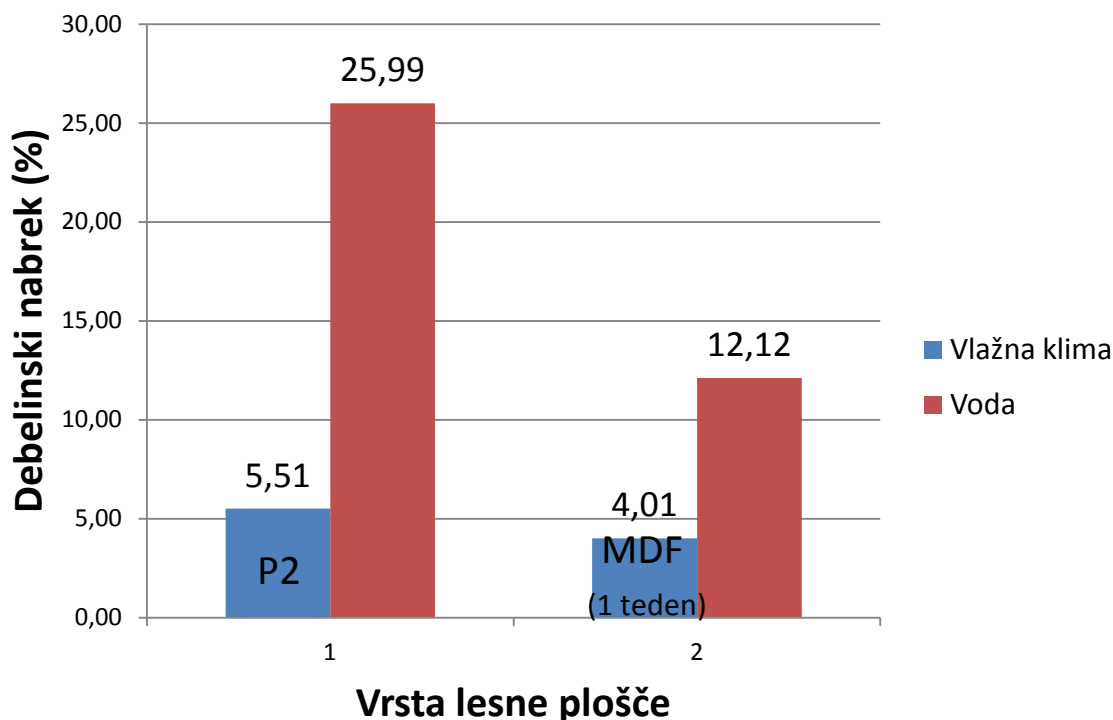


Slika 13: Primerjava med debelinskim nabrekom iverne konstrukcijske plošče LSB in iverne plošče tipa P5 po izpostavitvi vlažni klimi in po potopitvi v vodo

Iz slike 13 je razvidno, da ima po izpostavitvi vlažni klimi LSB plošča večji debelinski nabrek kot iverna plošča tipa P5, medtem ko pa ima po potopitvi v vodo manjšega. Eden od razlogov za takšno obnašanje je velikost gradnikov. LSB plošča ima večje gradnike kot iverna plošča, ki za navzem vode oz. vlage potrebujejo dlje časa kot manjši gradniki pri iverni plošči, hkrati pa potrebujejo dlje časa, da to vlago oddajo. Zato ima LSB plošča večji debelinski nabrek pri 4 tedenski (oz. 6 tedenski) izpostavitvi vlažni klimi in manjšega po 24 urni potopitvi v vodo. Gradniki pri LSB plošči so, kot smo že omenili, bolj oblepljeni, zaradi večjega deleža lepila in finejših frakcij v srednjem sloju. To pomeni da so lepilne vezi med gradniki močnejše in trdnjše. Zato zdržijo večje natezne obremenitve ter začnejo pozneje popuščati pri izpostavitvi vodi/vlagi, kot gradniki iverne plošče tipa P5, in to je razlog da ima LSB plošča nižji debelinski nabrek in višjo razslojno trdnost. Drugi razlog za te razlike pa je ireverzibilni nabrek. Iverna plošča ima po potopitvi v vodo večji debelinski nabrek kot LSB plošča zaradi ireverzibilnega nabrekanja. Med stiskanjem plošč se zaradi tlačenja lesnih elementov v plošči vzpostavijo tlačne sile, ki pa se po prvem navlaževanju sprostijo in pride do ireverzibilnega nabrekanja. Tako pa ga imenujemo, ker se po sušenju plošča ne vrne v prvotno stanje.

5.3 PRIMERJAVA VLAKNENE PLOŠČE MDF IN IVERNE PLOŠČE TIPA P2

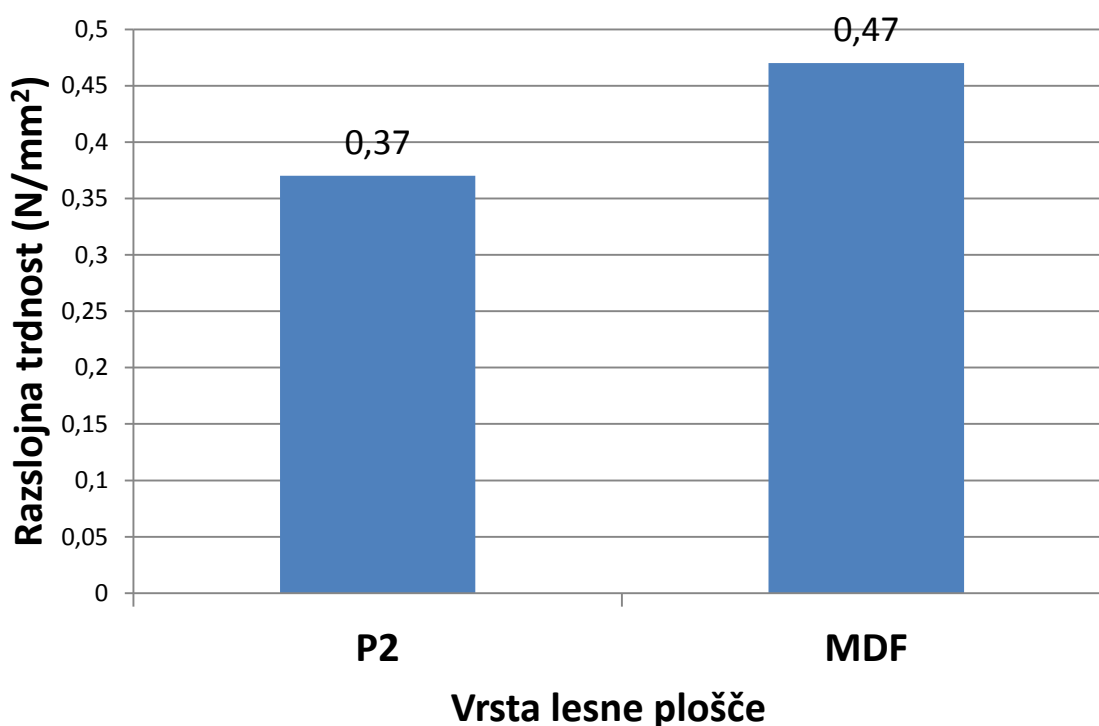
Vlakneno ploščo MDF (slika 4) in iverno ploščo tipa P2 (slika 1) smo primerjali zato, ker sta obe zlepljeni z urea-formaldehidnim lepilom.



Slika 14: Primerjava med debelinskim nabrekom iverne plošče tipa P2 in MDF plošče po izpostavitvi vlažni klimi in po potopitvi v vodo

Za primerjavo debelinskega nabreka pri izpostavitvi vlažni klimi, katerega prikazuje slika 14, smo za ploščo P2 vzeli povprečje, ki smo ga dobili po končanem 4 (oz. 6)tedenskemu preizkusu, za MDF ploščo pa povprečje, ki smo ga dobili po enem tednu, saj je komaj po enem tednu imela debelinski nabrek primerljiv s ploščami, ki so bile izpostavljene 6 tednov. Iz grafa je razvidno, da se je pri izpostavitvi vlažni klimi bolje odnesla iverna plošča tipa P2, zato ker je MDF plošča zgrajena iz vlaken, ki imajo veliko sposobnost vpijanja ali oddajanja vlage, zato pri daljših izpostavitvah bolj nabrekne kot iverna plošča. Pri potapljanju v vodo pa se je bolje odnesla MDF plošča, ki ima višjo gostoto in dolga, tanka, zelo prepletena vlakna ter nima praznih prostorov, katere bi pri 24 urni izpostavitvi lahko zapolnila voda, medtem ko med nabrekanjem znotraj iverne plošče nastajajo praznine, katere zapolni voda. Razlikujeta se tudi po velikosti in vrsti gradnikov ter po sestavi. Iverne plošče so trislojne, zgrajene iz iveri in imajo v zunanjih slojih finejše gradnike ter večje gradnike v srednjem sloju, MDF plošče pa iz vlaken, ki so manjša. Vlaknene plošče nimajo jasnega prehoda med sloji, ker so vsa vlakna enako velika in imajo manj oslabitev na prehodu, vendar pa vseeno prihaja do večje zgostitve na zunanjih

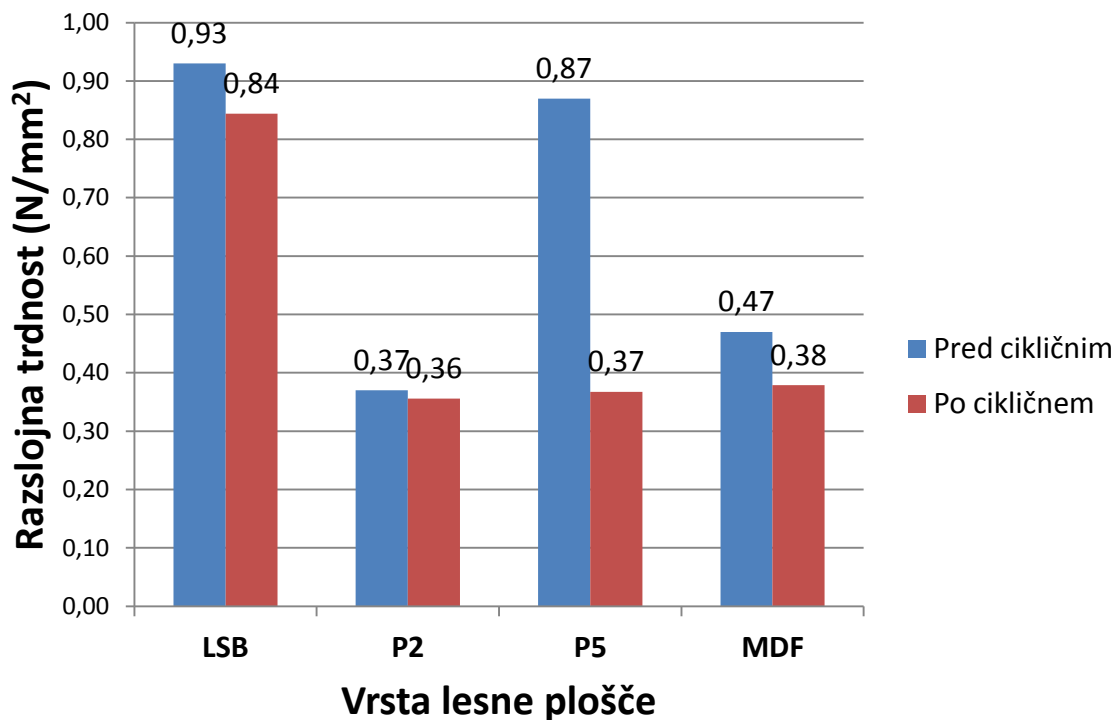
straneh – slojih. Vlaknene plošče imajo tudi večji nanos lepila. Te razlike pa vplivajo tudi na razslojno trdnost, ki je zaradi večjega nanosa lepila in homogenosti vlaknene plošče boljša kot pri iverni plošči tipa P2, ker kot smo že omenili, ima vlaknena plošča enako velike gradnike skozi celoten prerez, zato se pri njej pojavljajo manjše razlike in oslabitve, kot se pojavljajo pri plošči P2 na prehodu iz srednjega v zunanje sloje. Ob vsemu navedenemu pa večji debelinski nabrek iverne plošče tipa P2 pripisujemo predvsem ireverzibilnemu nabreku, pri katerem pride, kot smo že prej omenili, do sprostitve tlačnih sil, plošča pa se pri ponovnem sušenju ne vrne v prvotno stanje.



Slika 15: Primerjava med razslojno trdnostjo iverne plošče tipa P2 in MDF plošče

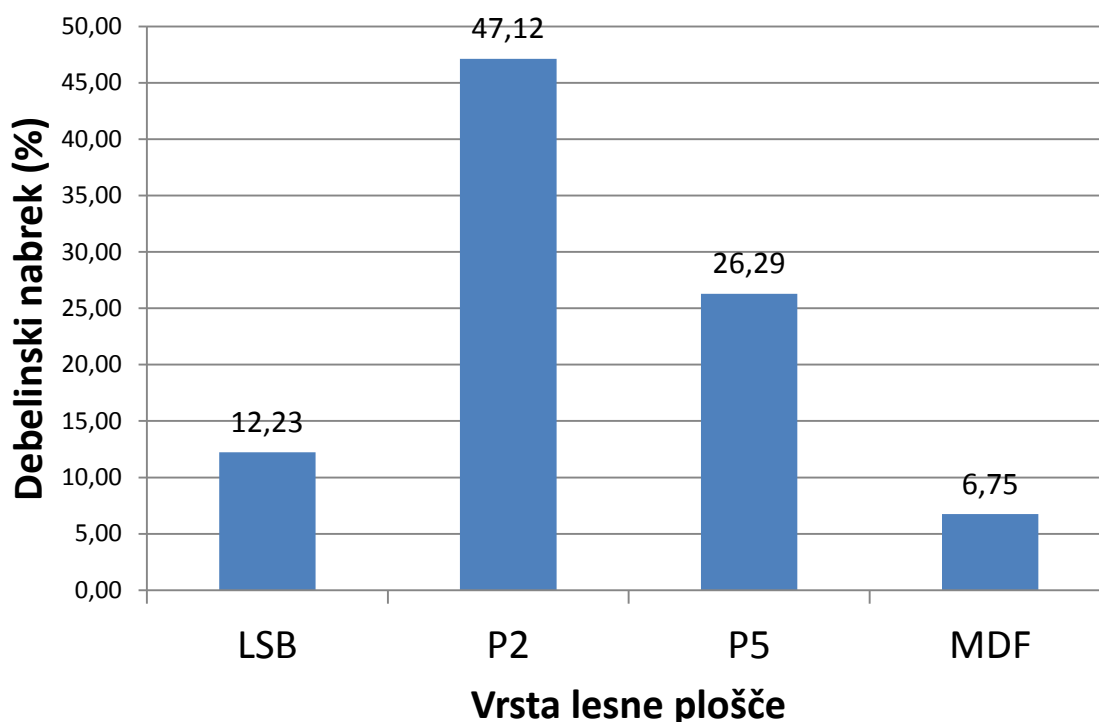
Iz slike 15 je razvidno, da sta MDF plošča in iverna plošča z vidika razslojne trdnosti primerljivi in ima MDF plošča le nekoliko večjo razslojno trdnost kot iverna plošča tipa P2. Razlog se skriva v zgradbi plošče. Kot smo že prej omenili je iverna plošča sestavljena iz med sabo zlepljenih iveri, ki se razlikujejo po velikosti po slojih, zato prihaja do oslabitev na jasno vidnem prehodu iz srednjega v zunanje sloje, medtem ko je MDF plošča bolj homogena in gostejša ter zgrajena iz finih vlaken, ki niso samo površinsko zlepljena ampak se med sabo prepletajo, kar jim daje nekoliko boljšo trdnost in nižji debelinski nabrek pri kratkotrajnih izpostavitvah vlagi/vodi.

5.4 PRIMERJAVA RAZSLOJNE TRDNOSTI IN DEBELINSKEGA NABREKA PRED IN PO CIKLIČNEM TESTU



Slika 16: Primerjava med razslojno trdnostjo kompozitov pred in po cikličnem testu

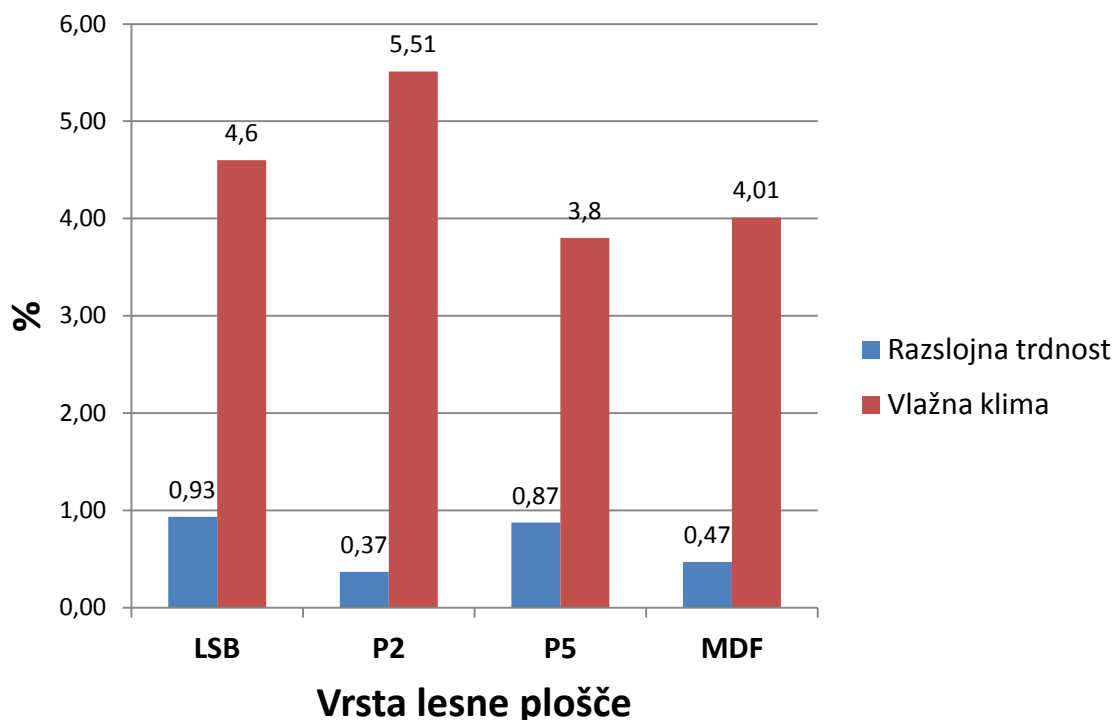
Iz slike 16 je razvidno, da se je pri vseh ploščah razslojna trdnost po cikličnem testu poslabšala, kar je bilo pričakovano. Plošče smo izpostavili ekstremnim pogojem – vodi, mrazu in vročini, katere smo ciklično izmenjevali, pri čemer je prišlo do popuščanja lepilnih in v nekaterih primerih popustitve vezi (preizkušanci so nam v rokah razpadli) in s tem do poslabšanja mehanskih lastnosti.



Slika 17: Primerjava med debelinskimi nabrekli kompozitov po končanem cikličnem testu

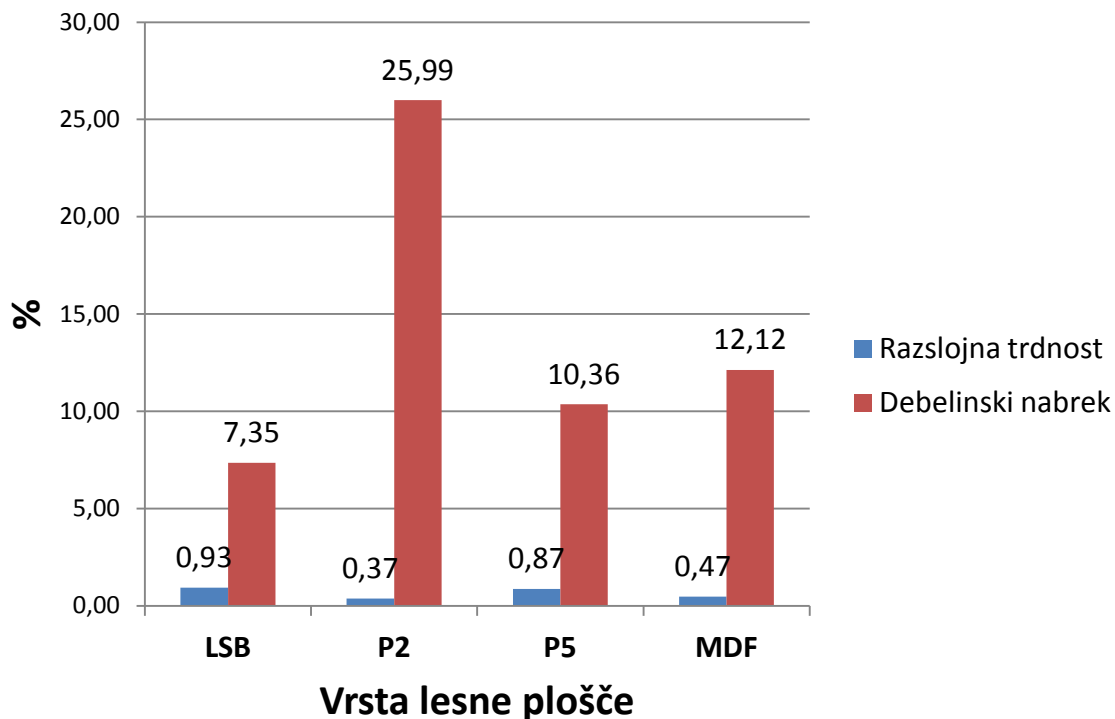
Iz slike 17 je razvidno, da so se z vidika debelinskega nabreka po končanem cikličnem testu najslabše obnesli iverni plošči. Ivorna plošča tipa P5 je imela nekoliko boljši debelinski nabrek kot P2, čeprav sta enako zgrajeni. Razlog se skriva v lepilu uporabljenem za zlepljenje gradnikov. Plošča P2 je zlepljena z urea-formaldehidnim lepilom, ki ni odporno na vlago, medtem ko je plošča P5 zlepljena z melamin-urea-formaldehidnim lepilom, kateremu dodan melamin daje večjo odpornost na vlago. Nekoliko manjši nabrek je imela LSB plošča, zaradi uporabljenega melamin urea-formaldehidnega lepila ter velikosti gradnikov ki, kot smo že prej omenili, potrebujejo dlje časa kot gradniki ostalih preizkušanih kompozitov, da se navzamejo vlage in nabreknejo. MDF plošča pa je imela najmanjši debelinski nabrek, celo boljše kot LSB plošča, ki je se je pri prejšnjih preizkusih boljše odzvala. Razlog se skriva v tem, da se vlaknene plošče zelo hitro odzivajo na spremembo klime okolice. Vlakna imajo veliko sposobnost vpijanja ali oddajanja vlage. Prav ta sposobnost vpijanja in oddajanja vlage je razlog, da so izmed vseh preizkušancev, ki so šli vsak cikel v sušilnik, prav preizkušanci iz MDF plošč oddali največ vlage, prejete pri potapljanju v vodo in zamrzovanju.

5.5 ODVISNOST RAZSLOJNE TRDNOSTI IN DEBELINSKEGA NABREKA



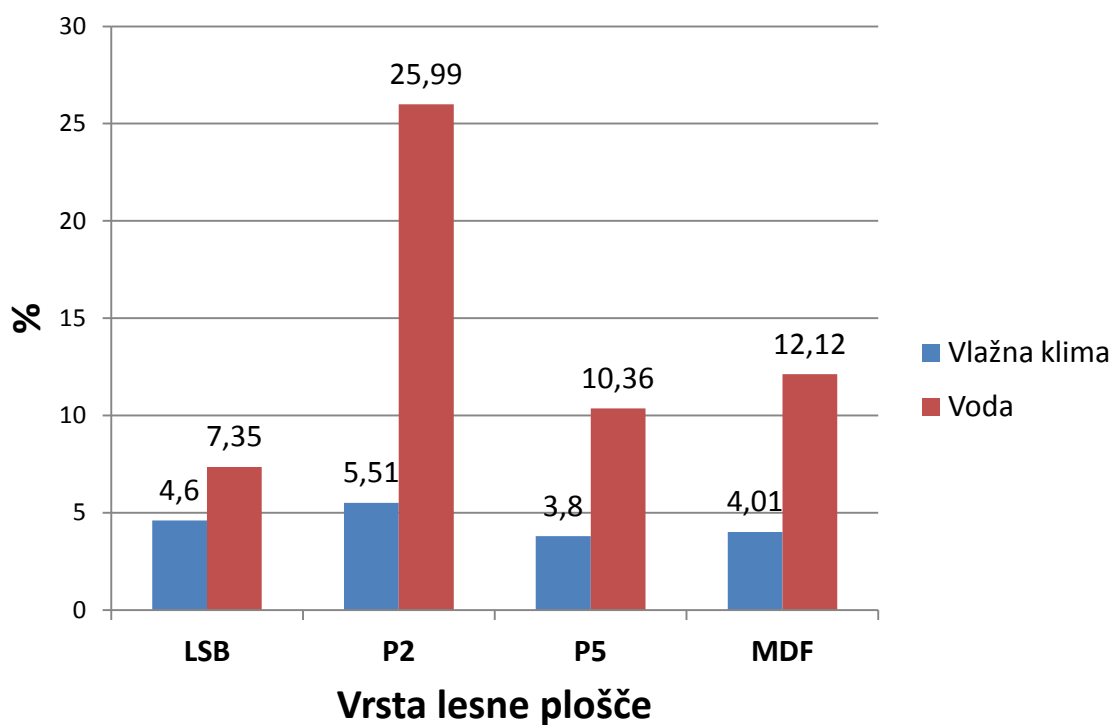
Slika 18: Primerjava med razslojno trdnostjo suhih plošč in debelinskim nabrekom plošč izpostavljenim vlažni klimi

Po drugem tednu izpostavitve vlažnemu okolju smo ugotovili, da so se preizkušanci glede na teden prej posušili, kar je bil nezaželen zaplet. Izmerili smo relativno zračno vlažnost, ki je bila 44% in temperaturo, ki je bila 22°C. Vzrok za to nam ni bil znan, možno pa je, da nam je kdo po pomoti v komoro dodal soli, kar bi povzročilo sušenje preizkušancev in ne nabrekanje. Vodo v komori smo zamenjali, čas preizkusa pa podaljšali, tako da se je končal 4 tedne po menjavi vode. Preizkušanci iz MDF plošče so bili v vlažni klimi samo en teden, saj bi po daljšem času že pričeli razpadati.



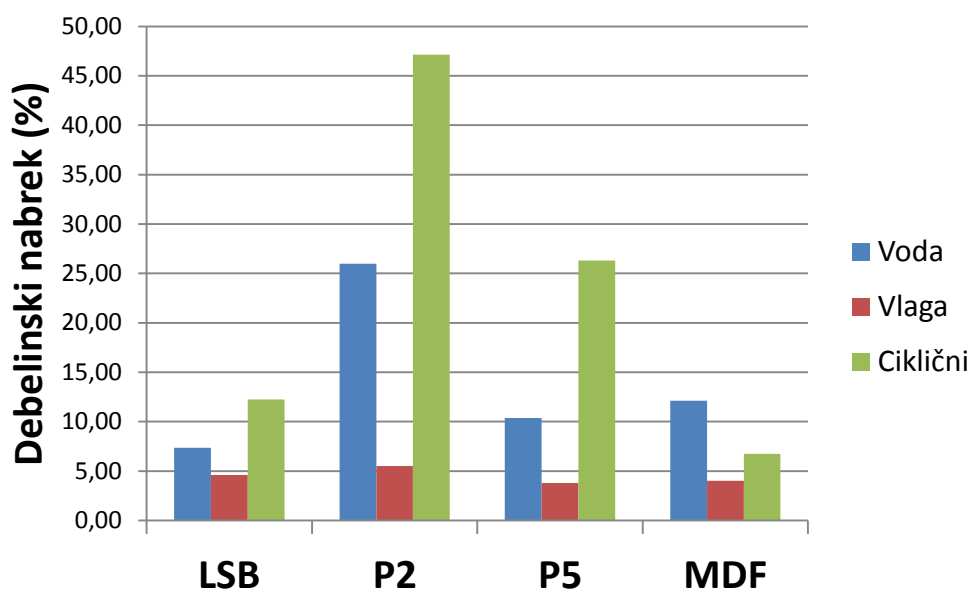
Slika 19: Primerjava med razslojno trdnostjo suhih plošč in debelinskim nabrekom plošč po potopitvi v vodo

Na sliki 19, je razvidno obratno sorazmerje med debelinskim nabrekom in razslojno trdnostjo. Z naraščanjem debelinskega nabreka plošč, njihova razslojna trdnost pada, kar je pričakovano. To lahko pripišemo gostoti srednjega sloja. Vemo, da večja kot je gostota srednjega sloja, večja je razslojna trdnost plošče, ter da z višanjem gostote plošče pada nabrekanje. Razlog za takšen odziv, je manj praznih prostorov, ki bi se lahko zapolnili z vodo. Pomemben dejavnik je tudi oblepljenost gradnikov, na katero nekoliko vpliva velikost samih gradnikov, najbolj pa delež lepila, ki se ga doda v ploščo med postopkom izdelave ter sam delež finih frakcij v srednjem sloju. Najpomembnejše pa je lepilo samo, od katerega je odvisna trdnost lepilnih vez in preprečuje, da bi med gradniki prišlo do popuščanja in do popustitve. Ugotovili smo, da se melamin-urea-formaldehidno lepilo bolje izkazalo, kot urea-formaldehidno lepilo, saj tvori trdnejše lepilne vezi ter je odporno vlago, zaradi melamina.



Slika 20: Primerjava med debelinskim nabrekom plošč izpostavljenih vlažni klimi in plošč potopljenih v vodo

Na sliki 20 je razvidno, da je debelinski nabrek plošč potopljenih v vodo veliko večji, kot nabrek plošč izpostavljenih vlažni klimi, kar je pričakovano, saj z naraščanjem vlage narašča nabrekanje gradnikov, kakovost zlepljenosti pa pada. Tako prihaja do popuščanja med gradniki, ki se pričnejo ločevati oz. razpletati v primeru vlaknene plošče.



Slika 21: Primerjava debelinskih nabrekov plošč med izpostavitvijo vodi, vlagi in cikličnemu testu

Na sliki 21 je razvidno, da je v povprečju prišlo do največjega debelinskega nabreka plošč, v primeru izpostavitve ekstremnim pogojem pri cikličnem testu, do najmanjšega pa pri izpostavitvi vlažni klimi, kar je bilo pričakovano. Kot smo že povedali, z naraščanjem vlage kakovost zlepljenosti pada, nabrekanje gradnikov pa narašča, zato prihaja do popuščanja med gradniki in do popustitve, kar je razlog, da je prišlo pri potopitvi v vodo v povprečju do večjega debelinskega nabreka, kot pri izpostavitvi vlažni klimi. Do največjega debelinskega nabreka pa je prišlo po cikličnem testu. To pa zato, ker smo preizkušance 3 tedne izpostavljali ekstremnim pogojem – vodi, mrazu in vročini, kjer so se plošče pri vsakem ciklu najprej navzele vode, ta voda v ploščah je potem v zamrzovalniku ekspandirala in s tem povzročila razmik med gradniki in dodatno poslabšanje lepilnih vezi. Na koncu cikla pa smo jih dali v sušilnik in jih izpostavili vroči klimi, kjer so plošče na hitro oddale vodo in se nekoliko skrčile, zaradi predhodno zamrznjene vode pa so v ploščah ostali prazni prostorčki in oslabljene vezi. Ker smo to ponavljali znova in znova so plošče vedno bolj nabrekale, z izjemo MDF plošče, ki je zaradi velike sposobnosti oddajanja vlage in zelo hitrega odziva na spremembo klime v okolici vsak cikel v sušilniku oddala bistveno več vlage kot ostale plošče in je imela v primerjavi s suhimi preizkušanci zelo majhen nabrek.

6 SKLEPI

Pri našem raziskovanju smo ugotovili, da sta debelinski nabrek in razslojna trdnost proučevanih lesnih plošč v obratnem sorazmerju. To pomeni, da se z naraščanjem razslojne trdnosti plošč debelinski nabrek zmanjšuje, kar potrjuje našo delovno hipotezo. Ugotovili smo tudi, da če se določen lesni kompozit bolje odnese pri potopitvi v vodo (manjši nabrek), še ne pomeni, da bo nabrek pri izpostavitvi vlažni klimi prav tako nizek.

Ugotovili smo, da na lastnosti plošč vpliva predvsem kombinacija lepila in velikosti gradnikov. Melamin-urea-formaldehidno lepilo je boljše kot urea-formaldehidno, saj dodatek melamina daje plošči večjo odpornost na vlago, med tem ko samo urea-formaldehidno lepilo ni odporno na vlago. Pri kratkotrajnih izpostavitvah vlagi se bolje odnesejo večji gradniki, ker potrebujejo dlje časa, da se navzamejo vlage, pri daljših izpostavitvah pa se odnesejo slabše, ker potrebujejo dlje časa kot majhni gradniki, da pridobljeno vlago oddajo.

Opravili smo tudi ciklični test, kjer smo ugotovili, da so po končanem preizkusu razslojne trdnosti v podobnem razmerju kot pri suhih ploščah, prav tako tudi debelinski nabreki z izjemo MDF plošče, ki je imela najmanjši debelinski nabrek, zaradi hitrega prilagajanja spremembam klime v okolju. Tako je vsak cikel v sušilniku oddala največ vlage ter na koncu posledično imela najmanjši debelinski nabrek.

7 POVZETEK

Zanimalo nas je, v kakšnem odnosu sta debelinsko nabrekanje in razslojna trdnost pri lesnih kompozitih ter kakšen vpliv ima zlepljenost gradnikov oziroma lepilo na nabrekanje plošč. Opravili smo več preizkusov, pri katerih smo za vsako vrsto plošče uporabili po 8 preizkušancev kvadratne oblike dimenzije (50 ± 1) mm, iz treh različnih plošč.

Preizkušance smo natezno obremenjevali s strojem ZWIC Z100. Preizkušali smo razslojno trdnost suhih preizkušancev, katero smo kasneje primerjali z debelinskim nabrekom.

Preizkušance smo izpostavili vlažni klimi z relativno zračno vlažnostjo 85% ter temperaturo 20 ± 2 °C. Preizkus naj bi trajal 3 – 4 tedne, vendar smo po drugem tednu ugotovili da se nam vzorci sušijo in ne nabrekajo, zato smo menjali vodo in preizkus podaljšali za 2 tedna.

Ugotavljali smo tudi kakšno je nabrekanje plošč pri potapljanju v vodo, zato smo preizkušance za 24 ur potopili v vodo, jih nato odcedili ter jim izmerili debelino iz katere smo nato izračunali debelinski nabrek.

Opravili smo tudi ciklični test, kjer smo preizkušance izpostavili ekstremnim pogojem. Po končanem preizkusu smo preizkušancem določili debelinski nabrek ter razslojno trdnost.

Ugotovili smo, da imajo v suhem stanju najboljšo razslojno trdnost LSB plošče, takoj za njimi so iverne plošče tipa P5, najslabše pa so se obnesle iverne plošče tipa P2 in MDF plošče. Pri izpostavitvi vlažni klimi so imele najmanjši nabrek iverne plošče tipa P5, nekoliko večjega LSB in iverne plošče tipa P2, največji debelinski nabrek pa so imele MDF plošče. Pri potapljanju v vodo so imele najmanjši debelinski nabrek LSB plošče, nekoliko večjega iverne plošče tipa P5 in MDF plošče, daleč najslabše pa so bile iverne plošče tipa P2. Opravili smo tudi ciklični test, kjer smo ugotovili, da so po končanem preizkusu razslojne trdnosti v podobnem razmerju kot pri suhih ploščah, prav tako tudi debelinski nabreki z izjemo MDF plošče, ki je imela najmanjši debelinski nabrek.

8 VIRI

Frihart C. 2013. Wood Adhesion and Adhesives. V: Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. Rowell R.M. (ur.) Second Edition. Boca Raton, CRC Press: 255-319.

Iverna plošča tipa P2.

http://shop-ng.frischeis.si/website/var/tmp/image-thumbnails/20000/25325/thumb__productDetailBig/rohspan-p2.png (16. avg. 2015).

Iverna plošča tipa P5.

http://shop-ng.frischeis.si/website/var/tmp/image-thumbnails/0/6236/thumb__productList/fundermax-homogen-e1-p2.png
(16. avg. 2015).

Konstruktivna iverna plošča LSB.

<http://www.lc-novak.si/galerija/LSB%20plo%C5%A1%C4%8Da%203.jpg>
(18. avg. 2015).

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.). Lomdom, Brunel University Press: 95-122.

Rowell R.M. 2013. Moisture properties. V: Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. Rowell R.M. (ur.). Second Edition. Boca Raton, CRC Press: 75-97.

Vlaknena plošča MDF.

<http://en.skladydrzewne.pl/images/galeria/Plyty/MDF/duze/P%B3yta-MDF.jpg>
(16. avg. 2015).

ZAHVALA

Zahvalil bi se mentorju izr. prof. dr. Sergeju Medvedu za vso strokovno pomoč in nasvete med sestavljanjem diplomske naloge ter recenzentu red. prof. dr. Milanu Šerneku za recenzijo diplomske naloge.

Zahvalil bi se tudi svoji družini, ki me je podpirala tekom študija in brez katere ne bi bil kjer sem danes.

Hvala vsem!