

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jernej JAZBEC

**LASTNOSTI IVERNIH PLOŠČ NAREJENIH IZ
TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2013

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jernej JAZBEC

**LASTNOSTI IVERNIH PLOŠČ IZ TERMIČNO MODIFICIRANEGA
LESA**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**PROPERTIES OF PARTICLEBOARDS MADE OF THERMALLY
MODIFIED WOOD**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2013

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva. Praktični del naloge le bil opravljen na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je odobril naslov diplomskega dela in je za mentorja imenoval doc. dr. Sergeja Medveda, za recenzenta pa prof. dr. Franca Pohlevna.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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.

Jernej Jazbec

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 630*862.2
KG	termično modificiran les/iverne plošče/mehanske lastnosti
AV	JAZBEC, Jernej
SA	MEDVED, Sergej (mentor)/ POHLEVEN, Franc (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za lesarstvo
LI	2013
IN	LASTNOSTI IVERNIH PLOŠČ IZ TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	IX, 40 str., 15 pregl., 13 sl., 58 vir.
IJ	sl
Jl	sl/en
AI	

Termično modificiran les je dimenzijsko obstojnejši, vendar so mehanske lastnosti slabše. Zaradi boljše dimenzijske obstojnosti pa je lahko termično modificiran les primeren za izdelavo iveri in ivernih plošč, pri katerih so sorpcijske lastnosti največja pomanjkljivost. Izdelali smo 4 plošče z različno vsebnostjo termično modificiranega lesa 0, 30, 60 in 100 %. Ugotavljali smo čvrstost površine, razslojno, upogibno trdnost, debelinski nabrek ter gostoto in vsebnost vlage. Povprečne gostote med ploščami se ne razlikujejo veliko. Debelinski nabrek in vsebnost vlage sta bila najnižja pri iverni plošči s 100 % iverja termično modificiranega lesa. Lastnosti kot so upogibna in razslojna trdnost ter čvrstost površine so bile najvišje pri kontrolni plošči (0 % iverja termično modificiranega lesa), kar je bilo pričakovano, saj je termično modificirani les mehansko oslabiljen. Modul elastičnosti je bil največji pri iverni plošči, izdelani iz 100 % iverja termično modificiranega lesa, kar nas je presenetilo.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	UDC 630*862.2
CX	thermal modified wood/particleboard/mechanical properties
AU	JAZBEC, Jernej
AA	MEDVED, Sergej (supervisor)/ POHLEVEN, Franc (co-advisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za lesarstvo
PY	2013
TI	PROPERTIES OF PARTICLEBOARD MADE FROM THERMALLY MODIFIED WOOD
DT	Graduation thesis (University studies)
NO	XI, 40 p., 15 tab., 13 fig., 58 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	<p>Thermally modified wood is more dimensionally-lasting; that is why its mechanical properties are worse. Because of its reduced sorption characteristics the thermally modified timber is more suitable because of its better dimensional stability when used as a raw material for the production of particles and particleboards. We produced 4 plates with different proportions of thermally modified wood 0, 30, 60 and 100 %. We determined the strength surface perpendicular to the board, internal bonding (IB), bending strength, modulus of rupture, thickness swelling (TS), density and moisture content (MC). The average density among the plates does not differ much. TS and MC were the lowest in the particle board with 100 % of thermally modified wood particles. Properties such as bending strength, IB and the strength of surface perpendicular to the board were the highest in the panel without particles of thermally modified wood (0%), which was expected; the thermally modified wood being mechanically weakened. Unexpectedly, the modulus of elasticity was the largest in the particle board with 100 % of thermally modified wood particles.</p>

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	II
Key words documentation.....	III
KAZALO SLIK.....	VIII
1 UVOD	9
1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA.....	9
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	10
1.3 CILJI NALOGE	10
2 PREGLED OBJAV	11
2.1 LASTNOSTI IVERNIH PLOŠČ.....	11
2.2 VPLIVNI DEJAVNIKI NA LASTNOSTI IVERNIH PLOŠČ.....	12
2.2.1 Drevesna vrsta	12
2.2.2 Kislost	12
2.2.3 Vsebnost vlage	12
2.2.4 Veziva	13
2.2.5 Dodatki	13
2.2.6 Struktura iverja.....	13
2.2.7 Usmerjenost iverja	13
2.2.8 Stiskanje	14
2.3 MEHANSKO FIZIKALNE LASTNOSTI IN DIMENZIJSKA STABILNOST	14
2.4 MODIFIKACIJA LESA.....	15
2.5 TERMIČNA MODIFIKACIJA	15
2.6 PARAMETRI TERMIČNE MODIFIKACIJE.....	15
2.6.1 Drevesna vrsta	15
2.6.2 Temperatura	16
2.6.3 Čas modifikacije	16
2.7 MEHANSKO FIZIKALNE IN DRUGE LASTNOSTI MODIFICIRANEGA LESA	16
2.7.1 Mehanske lastnosti	16
2.7.2 Dimenzijska stabilnost	17
2.7.3 Izguba mase	17
2.7.4 Lepljenje modificiranega lesa	17
2.7.5 Vrednost pH.....	17

2.8	UPORABA TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA ZA IZDELAVO IVERNIH PLOŠČ IN OSTALIH KOMPOZITOV	18
3	MATERIALI IN METODE	20
3.1	MATERIALI	20
3.1.1	Iverje.....	20
3.1.2	Lepilna mešanica	20
3.2	METODE DELA.....	22
3.2.1	Izdelava iverja in plošč	22
3.2.2	Merjenje debelinskega nabreka.....	24
3.2.3	Določanje gostote.....	24
3.2.4	Določanje vsebnosti vlage	25
3.2.5	Merjenje upogibne trdnosti in modula elastičnosti.....	25
3.2.6	Določanje razslojnosti.....	26
3.2.7	Ugotavljanje čvrstosti površine.....	27
3.2.8	Analiza sejanja.....	28
3.2.9	Merjenje pH vrednosti iverja.....	29
4	REZULTATI	30
4.1	ANALIZA SEJANJA	30
4.2	pH IVERJA.....	31
4.3	GOSTOTA IN GOSTOTNI PROFIL IVERNIH PLOŠČ.....	32
4.4	DEBELINSKI NABREK	33
4.5	VSEBNOST VLAGE.....	33
4.6	UPOGIBNA TRDNOST IN E-MODUL	34
4.7	RAZSLOJNA TRDNOST	34
4.8	ČVRTSOST POVRŠINE	35
5	RAZPRAVA IN SKLEP	36
5.1	RAZPRAVA.....	36
5.1.1	Struktura iverja.....	36
5.1.2	Vpliv iverja termično modificiranega lesa na pH, gostoto in gostotni profil plošče	37
5.1.3	Vpliv iverja termično modificiranega lesa na mehanske in dimenzijske lastnosti plošč.....	38

SKLEPI	42
6 POVZETEK	43
VIRI	44
ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Sestava lepilne mešanice	21
Preglednica 2: Osnovni podatki iverne plošče	22
Preglednica 3: Količine materialov za iverno ploščo	22
Preglednica 4: Iverne plošče z različnim deležem iverja termično modificiranega lesa.....	22
Preglednica 5: Analiza sejanja termično modificiranega lesa.....	30
Preglednica 6: Analiza sejanja nemodificiranega lesa	30
Preglednica 7: pH iverja termično modificiranega lesa	31
Preglednica 8: pH iverja nemodificiranega lesa.....	31
Preglednica 9: Gostota ivernih plošč.....	32
Preglednica 10: Debelinski nabrek ivernih plošč	33
Preglednica 11: Vsebnost vlage ivernih plošč.....	33
Preglednica 12: Upogibna trdnost in modula elastičnosti ivernih plošč	34
Preglednica 13: Razslojna trdnost ivernih plošč	34
Preglednica 14: Čvrstost površine ivernih plošč	35
Preglednica 15: Rezultati mehanskih in fizikalnih lastnosti ivernih plošč.....	38

KAZALO SLIK

Slika 1: Shema enoetažne laboratorijske stiskalnice.....	23
Slika 2: Tritočkovni test upogibnosti	25
Slika 3: Pritrjen čep na vzorcu za merjenje površinske čvrstosti.....	27
Slika 4: Sejalni stroj	28
Slika 5: Filtriranje vode.....	29
Slika 6: Merjenje pH vode s pH metrom Mettler Toledo (Seven Easy)	29
Slika 7: Gostotni profili ivernih plošč	32
Slika 8: Sejalna analiza iverja	36
Slika 9: Vsebnost vlage in debelinski nabrek ivernih plošč.....	41
Slika 10: Upogibna trdnost v primerjavi s povprečno gostoto ivernih plošč.....	38
Slika 11: Elastični modul v primerjavi s povprečno gostoto ivernih plošč.....	39
Slika 12: Razslojna trdnost v primerjavi s povprečno gostoto ivernih plošč.....	40
Slika 13: Čvrstost površine v primerjavi s povprečno gostoto ivernih plošč.....	40

1 UVOD

Les je naraven, obnovljiv vendar nehomogen (anizotropen) material, z dolgo zgodovino človekove uporabe, predvsem v gradbeni in pohištveni industriji. Ima dobre mehanske in fizikalne lastnosti, še zlasti, če upoštevamo njegovo gostoto. Ustvarja ga narava, tehnike predelave in obdelave pa so relativno enostavne ter okolju prijazne. Več kot dovolj je razlogov za njegovo uporabo.

Ima pa les tudi slabe lastnosti, med katere spada predvsem njegovo nabrekanje ob prisotnosti vlage/vode, kar se kaže v dimenzijski nestabilnosti. Zaradi anizotropije lesa, je nabrekanje precej nepredvidljivo. Največje razlike v dimenzijah, so v tangencialni smeri, najmanjše v vzdolžni. To je bolj prisotno pri zunanji uporabi lesa, kjer so izdelki izpostavljeni spreminjajočim se klimatskim pogojem.

Da bi omejili nabrekanje lesa in izboljšali mehanske lastnosti, so pričeli strokovnjaki razmišljati o predelavi in modifikaciji lesa, tako da bi lesni izdelki čim bolj služili svojemu namenu.

Tako so uvedli iverne plošče, kot enega od produktov kompozitnih plošč, pri katerih je dimenzijska obstojnost v horizontalni smeri boljša, kot pri masivnem lesu. Poglavitna negativna lastnosti ivernih plošč pa je debelinski nabrek, torej delovanje v vertikalni smeri.

Na lastnosti ivernih plošč lahko v veliki meri vplivamo s pravo izbiro gradnikov iz katerih plošče naredimo. Iverje, ki predstavlja gradnike, lahko pridobimo iz različnih drevesnih vrst, s svojimi specifičnimi lastnostmi (gostota, kemična sestava, vsebnost vlage...), lahko pa tudi iz modificiranega lesa.

Termično modificiran les ima boljšo dimenzijsko in biološko odpornost, poslabšajo pa se mehanske lastnosti. Zaradi boljše dimenzijske obstojnosti, je termično modificiran les primerna surovina za izdelavo ivernih plošč.

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Iverne plošče so občutljive na spreminjajoče se klimatske pogoje. Problem je predvsem debelinski nabrek do katerega prihaja, ko iverna plošča absorbira vodo. Na molekularni ravni prihaja do vezave molekul vode na sorpcijska mesta hemiceluloz. Plošča tako nabrekne ter izgubi svoje prvotne mehanske in dimenzijske lastnosti. Strokovnjaki iščejo načine s katerimi bi ta debelinski nabrek omejili na okolju bolj prijazen način, saj vemo, da je uporaba formaldehidnih veziv vse bolj nezaželena. Eden od naravnih načinov zmanjšanja debelinskega nabreka dosežemo s termično modifikacijo iverja. Pri tem je potrebno paziti, da se mehanske lastnosti ne poslabšajo.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Ker je termično modificiran les manj dovzeten za sprejemanje vlage, lahko trdimo, da se ob povečanem deležu iverja termično modificiranega lesa izboljša dimenzijska stabilnost ivernih plošč, torej plošče z večjim deležem termično modificiranega lesa bodo imele nižji nabrek.

Predvidevamo, da povečan delež iverja termično modificiranega lesa poslabša mehanske lastnosti ivernih plošč, saj je termično obdelan les mehansko oslabljen, in so taki verjetno tudi gradniki (iverje), iz katerih je izdelana iverna plošča.

1.3 CILJI NALOGE

Namen raziskovalnega dela je ugotoviti vpliv deleža iverja termično modificiranega lesa na mehanske in dimenzijske lastnosti ivernih plošč. Bistvo naloge je ugotoviti ali je možno iverni plošči z deležem iverja termično modificiranega lesa povečati dimenzijsko stabilnost oziroma zmanjšati dovzetnost na nabrekanje, pri čemer ne sme priti do večjih oslabitev mehanskih lastnosti.

2 PREGLED OBJAV

Ideja, da bi lesne ostanke, predvsem žagovino in iverje, z lepilom povezali v ploščo, katera bi nadomestila desko iz masivnega lesa, je že zelo stara. Zаметki ivernih plošč segajo namreč v daljno preteklost. Patentiral jo je Fred Fahrni leta 1943, pod imenom "Novopan". Vzporedno z razvojem kakovostnih sintetičnih lepil (predvsem urea-formaldehidnega lepila) je proizvodnja ivernih plošč skokovito naraščala, zlasti v Nemčiji, Švici in ZDA. V drugi polovici 20. stoletja so iverne plošče postale osnovno tvorivo v industriji pohištva.

Iverne plošče izdelujemo predvsem iz manj kakovostnega lesa in ostankov, ki nastanejo pri njegovi obdelavi. Les in ostanke predhodno predelamo v osnovne elemente plošč, tako imenovane iveri. Lahko uporabimo tudi druge lignocelulozne materiale, kot so olesenela stebelca konoplje in lanu. Seveda potrebujemo vezivna sredstva, da se iveri med seboj povežejo in tvorijo trden spoj ter razne dodatke s katerimi izboljšamo nekatere lastnosti. Iverne plošče ločimo glede na zgradbo (enoslojne in večslojne), glede na položaj iverja (vzporedno ali pravokotno na površino), glede na mesto uporabe (interierne, eksterierne), po gostoti (lahke, normalne, zelo goste).

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

Zadnje čase izdelujejo predvsem troslojne iverne plošče, sestavljene iz dveh zunanjih in enega notranjega sloja. Srednji sloj sestavlja v glavnem grobo iverje debeline od 0,4 do 0,8 mm, zunanji sloj pa bolj fino iverje debeline med 0,1 in 0,3 mm.

Razvoj ivernih plošč poteka v smeri njihove vse večje specializacije. Poizkuša se izdelovati plošče z vedno boljšimi mehanskimi in dimenzijskimi lastnostmi, za raznovrstne tipe vgradnje (protipožarne, protitermitske,...).

2.1 LASTNOSTI IVERNIH PLOŠČ

Pri uporabi ivernih plošč, je potrebno upoštevati zlasti njihove mehansko-fizikalne lastnosti, kajti te določajo primerno uporabo. Iverna plošča, ki ima slabšo dimenzijsko stabilnost, očitno ne bo primerna za mesto vgradnje, kjer je veliko vlage. Ravno tako iverne plošče s slabšimi mehanskimi lastnostmi, niso primerne za uporabo v konstrukcijske namene. Med pomembnejše lastnosti, ki jih določamo ivernim ploščam, prištevamo:

- gostoto,
- dimenzijsko stabilnost,
- upogibno trdnost in modul elastičnosti,
- čvrstost površine,
- razslojno trdnost.

2.2 VPLIVNI DEJAVNIKI NA LASTNOSTI IVERNIH PLOŠČ

Po Maloneyu (1977), med glavne dejavnike, ki vplivajo na lastnosti ivernih plošč, prištevamo:

- drevesno vrsto
- strukturo iveri
- vezivo
- vsebnost in porazdelitev vlage
- strukturo plošče, glede na velikosti iveri
- gostoto in gostotni profil
- usmeritev iveri

2.2.1 Drevesna vrsta

Eden pomembnejših dejavnikov, ki vpliva na končne lastnosti ivernih plošč, je drevesna vrsta katero uporabimo za izdelavo plošč. Na podlagi drevesne vrste se predvideva, kakšna je gostota plošče, kakšna naj bo formulacija veziva, kakšno strukturo iverja lahko izdelamo itd. Pri nekaterih drevesnih vrstah je potrebno bolj kontrolirati vsebnost vlage, ker drugače lahko pride do neželenega nabreka ali skrčka pri končnih ploščah (Maloney, 1977).

2.2.2 Kislost

Vsaka drevesna vrsta ima značilno kislost, ki lahko niha v določenem obsegu. Kislost drevesne vrste in kasneje tudi iverja izdelanega iz te vrste, je predvsem pomembna zaradi formulacije veziva. Za določene drevesne vrste so nekateri strokovnjaki, razvili veziva, ki primerno reagirajo znotraj območja kislosti nekaterih drevesnih vrst. To se lahko doseže z aditivi ali celo brez njih. Bolj kislo kot je iverje, hitreje začne lepilo utrjevati (Maloney, 1977).

2.2.3 Vsebnost vlage

Vsebnost vlage drevesnih vrst je pomembna predvsem iz vidika obdelave lesa pri proizvodnji plošč. Ekstremno vlažen les je težje obdelovati in več energije je potrebno, da se tak les primerno posuši. To podraži proces, v nekaterih primerih pa povzroči slabo površino iverja, ki ni primerna za lepljenje, kar se odraža v večji porabi veziva. Drevesne vrste z višjo vsebnostjo vlage dajejo manjši delež finega iverja, ker se pri mletju tak les manj lomi. Les drevesnih vrst z ekstremno nizko vsebnostjo vlage ima nasprotne karakteristike (Maloney, 1977).

2.2.4 Veziva

Za veziva se uporablja različna lepila in njihove mešanice. Za izdelavo ivernih plošč se uporablja predvsem urea-formaldehidna lepila (UF) (85 - 90 %), melamin-formaldehidna (MF) (5 - 10 %), modificirana in izocianatna lepila (3 %). Prevladujejo veziva na osnovi uree, fenolna pa so primerna predvsem za zunanjo uporabo.

K mešanici veziva se, za boljšo kvaliteto spoja, dodaja katalizator, ki pospeši reakcijo utrjevanja. Poleg tega so dejavniki, ki vplivajo na nastanek lepilne vezi tudi čas, temperatura, tlak, vrsta lepila, vrsta lesa, velikost in oblika delcev (Maloney, 1977).

2.2.5 Dodatki

Kompozitnim ploščam se lahko v postopku izdelave dodaja številne aditive, s katerimi se izboljša končne lastnosti plošč. Najbolj pogosta je parafinska emulzija, s katero dosežemo povečano odpornost proti vpijanju vode. Poznamo še dodatke, s katerimi povečujemo ognje odpornost in obstojnost (Maloney, 1977).

2.2.6 Struktura iverja

Pri izdelavi ivernih plošč je priporočljivo, da zunanji sloj zapolni fino iverje, kar se kasneje odraža v bolj gladki površini, ki je zaželena pri nanosih površinskih premazov. Visokokakovostno iverje v zunanjem sloju plošč doprinaša visoke upogibne in trdnostne lastnosti. Kockasto iverje v sredici plošče, se odraža z boljšim notranjim spojem.

Niemz in Bauer (1991) in Niemz in sodelavci (1992) so ugotavljali povezave med strukturo enoslojne plošče in njenimi lastnostmi. Izdelali so enoslojne plošče iz različno debelega iverja, z različnim deležem lepila, različnih gostot in z različnim deležem lesnega prahu. Ugotovili so, da se upogibna trdnost plošč manjša z uporabo debelejšega iverja ter slabša s povečanjem deleža lepila in gostote plošč. Prišli so še do spoznanja, da se modul elastičnosti z večanjem gostote plošč veča ter da se do debeline iverja 0,45 mm modul elastičnosti veča, nato pa začne padati.

2.2.7 Usmerjenost iverja

Predvsem na upogibno trdnost in togost plošče vpliva usmerjenost iveri. Ta je lahko usklajena ali naključna. Usklajena usmerjenost iveri daje večjo upogibno trdnost končni plošči, kar pomeni, da so iveri poravnane v eno smer glede na njihovo dolžino. Bolj cilindrično oblikovane iveri imajo naključno usmeritev. Pri usmerjenosti, se upoštevata predvsem dva dejavnika, razmerje med dolžino in debelino (vitkost) ter razmerje med dolžino in širino (ozkost) iveri. Višji kot je faktor razmerja, bolj vitko in ozko je iverje, kar zagotavlja večjo urejenost (Maloney, 1977).

2.2.8 Stiskanje

Chung in sod. (2008) so ugotovili, da je debelinski nabrek in adsorpcija vode v močni povezavi s časom stiskanja in pH vrednosti lepilne mešanice. Plošče, ki so stiskali štiri minute, so imele mnogo manjše debelinske nabreke in adsorpcijo vode v primerjavi s ploščami, ki so stiskali samo 2 minuti. Prišli so tudi do ugotovitev, da so imele plošče, ki so bile lepljene v kislem mediju, hitrejše utrjevanje lepila, trdnejše spoje, nižje emisije formaldehida, manjši debelinski nabrek in adsorpcijo vode, kot plošče lepljene v alkalnem okolju (pH 8).

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

2.3 MEHANSKO FIZIKALNE LASTNOSTI IN DIMENZIJSKA STABILNOST

Plošče s povišano gostoto imajo boljše mehansko-fizikalne lastnosti. Izjema je le debelinski nabrek, saj gostejše plošče nabrekajo bolj kot srednje goste (Maloney, 1977).

Mnogo dejavnikov vpliva na zgostitev (gostotni profil) iverne plošče med procesom stiskanja. Med te spada temperatura med stiskanjem, vlažnost iveri in vlažnost srednjega ter zunanjega sloja natresenih iveri, lesna vrsta, geometrija iverja, vrsta lepila, temperatura iverne pogače, čas stiskanja, čas zapiranja stiskalnice in tlak stiskanja (Moura in sod., 2005).

Za izdelavo ivernih plošč srednjih gostot se uporablja drevesne vrste z nižjo specifično gostoto, ker pri stiskanju zagotavljajo večji kontakt med iverjem in posledično boljši spoj. Iverje drevesnih vrst z višjo specifično gostoto preprosto ne moremo stisniti v plošče srednjih gostot, saj bi imele preslab spoj. Plošče s povišano gostoto vsebujejo iveri drevesnih vrst nižjih gostot ($0,3 - 0,5 \text{ g/cm}^3$), ker je tak les bolj stisljiv, pri čemer se doseže večjo zgostitev materiala. Plošča z gostoto 1 g/cm^3 ima tako lahko faktor stiskanja 1:2,9 glede na gostoto samega iverja. To se odraža v višji upogibni trdnosti in togosti v primerjavi z navadnimi ploščami (Maloney, 1977).

Debelinski nabrek je neželena lastnost ivernih plošč, ki je odvisna od številnih dejavnikov kot so: uporabljena drevesna vrsta, velikost iverja, vrsta lepilnega sredstva, delež lepila, delež parafinske emulzije ter drugih dejavnikov. Na intenzivnost debelinskega nabreka, lahko vplivamo z različnimi postopki izdelave ivernih plošč.

Velikost nabreka pri ivernih ploščah, pri potapljanju, je v veliki meri posledica napetosti lesa, ki hoče nazaj v prvotno stanje (Klauditz 1956).

Pri ivernih ploščah prihaja do pojava reverzibilnega in/ali ireverzibilnega nabreka. Po Sekinu (1998), je ta dimenzijska variabilnost odvisna od kompleksnih procesov, ki temeljijo na težnji plastificiranega iverja da nabreka in na oslabitvi mreže lepilnega sloja.

2.4 MODIFIKACIJA LESA

Modifikacijo lesa lahko opredelimo kot obdelavo lesa na takšen način, da se spremeni struktura njegovih osnovnih gradnikov. Poznamo različne načine modifikacije lesa, med katere štejemo *termično*, *kemično* in *encimsko*.

2.5 TERMIČNA MODIFIKACIJA

Termična modifikacija lesu poveča odpornost in dimenzijsko stabilnost, poslabšajo pa se mehanske lastnosti lesa. Lastnosti modificiranega lesa lahko uravnavamo s spreminjanjem parametrov termične modifikacije. Glavna dejavnika sta višina temperature in čas izpostavitve tej temperaturi. Višja ko je temperatura, večja je odpornost in slabše so mehanske lastnosti ter obratno. Obstaja tudi jasna povezava med izgubo mase in želenimi lastnosti modificiranega lesa (Rep in Pohleven, 2002).

Sekino (1998) omenja tri vrste termične modifikacije: termična modifikacija lesa pred stiskanjem; stiskanje s paro, kjer para učinkuje na les in vezivo; in modifikacija s paro po stiskanju ploščnih kompozitov. Najbolj učinkovita metoda za izboljšavo dimenzijske stabilnosti se je izkazala termična modifikacija s paro pred samim stiskanjem plošče. Ta metoda ne omejuje izbire veziva, kot je to pri ostalih metodah.

Kollmann in Fengel (1965), Bourgois in Guyonnet (1988), Garrote in sodelavci (2001), in drugi avtorji opisujejo mehanizem termične modifikacije. Ko je les izpostavljen visoki temperaturi, se termično nestabilni polimeri, kot je hemiceluloza in celuloza, pričnejo degradirati, predvsem amorfni deli. Delež kristalinične celuloze naraste (Cerc Korošec in sodelavci, 2009). Proces termične degradacije se nadaljuje z deacetilacijo, depolimerizacijo in dehidracijo. Pri temperaturi nad 200 °C prihaja do demetoksilacije lignina, reaktivna mesta reagirajo in ustvarijo hidrofobično mrežo.

2.6 PARAMETRI TERMIČNE MODIFIKACIJE

2.6.1 Drevesna vrsta

Les se razlikuje zaradi anatomskih in kemičnih struktur, zato so pogoji za vsako drevesno vrsto drugačni. Ponavadi je za iglavce strožji režim kot za listavce, predvsem zaradi različnega načina uporabe modificiranega lesa (Syrjanen, 2001).

2.6.2 Temperatura

Temperatura je glavni dejavnik intenzivnosti modifikacije. Na proces modifikacije vpliva tudi vrsta lesa in postopek. Pri nižjih temperaturah je razgradnja lesnih substanc še sorazmerno nizka, pri temperaturi nad 170 °C, pa so opazne že večje spremembe na gradnikih celične stene. Visoke temperature povečajo odpornost lesa, obratno pa zmanjšajo njegove mehanske lastnosti. Les iglavcev se modificira pri višjih temperaturah, kot les listavcev, pri katerem so temperature modifikacije običajno pod 200 °C (Patzelt in sod., 2002).

2.6.3 Čas modifikacije

Zaradi enakomernejše modifikacije po celotnem profilu lesa, mora biti čas segrevanja ustrezno dolg. Trajanje je odvisno tudi od vrste lesa in postopka (Rapp in Sailer, 2001).

Večji vpliv od časa modifikacije lesa ima temperatura modifikacije, saj daljši čas modificiranja pri nižjih temperaturah, ne daje enakih rezultatov, kot krajši čas modifikacije pri višjih temperaturah (Sailer in sod., 2000).

2.7 MEHANSKO FIZIKALNE IN DRUGE LASTNOSTI MODIFICIRANEGA LESA

2.7.1 Mehanske lastnosti

Termična modifikacija spremeni mehanske lastnosti lesa. Sprememba je odvisna od višine temperature modifikacije. Višja kot je ta, bolj se lesu poslabšajo mehanske lastnosti. Raziskave kažejo, da se modificiranemu lesu zmanjša trdnost od 5 do 50%, kar je odvisno od uporabljenega procesa (Raggers, 2007).

Nezaželeni posledici termično modificiranega lesa sta povečana krhkost ter znatno zmanjšanje upogibne in natezne trdnosti, medtem ko se tlačna trdnost, udarna žilavost in trdota površine spremenijo minimalno. Zato je uporaba termično modificiranega lesa v bolj obremenjenih konstrukcijah omejena (Sailer in sod., 2000).

Nekatere lastnosti lahko proizvajalci uravnavajo s spreminjanjem parametrov pri procesu modifikacije. Visoka temperatura zelo poveča odpornost, obenem pa se močno poslabšajo mehanske lastnosti. Z znižanjem parametrov lahko dobimo manj odporen les, ki pa ima boljše mehanske lastnosti (Rep in Pohleven, 2002).

2.7.2 Dimenzijska stabilnost

Termična obdelava učinkovito izboljša dimenzijsko stabilnost lesa (Seborg in sod., 1953; Stamm, 1964; Kollmann in Fengel, 1965; Burmester, 1973; Burmester, 1975; Giebeler, 1983; Hillis, 1984; Bourgois in Guyonnet, 1988).

Higroskopnost termično modificiranega lesa je odvisna predvsem od pogojev, pri katerih poteka modifikacija. Proces modifikacije je potrebno optimizirati, tako da dosežemo maksimalno dimenzijsko stabilnost ob minimalnem poslabšanju mehanskih lastnosti. (Tjeerdsma in sod., 1998).

Dimenzijska stabilnost termično modificiranega lesa je v veliki meri odvisna od izgube mase. Odvisno od vrste postopka, predvsem pa od parametrov modifikacije, lahko dosežemo omejeno sprejemanje vode, tudi do 70 % (Teischinger in Stingl, 2002; Rep in sod., 2004).

2.7.3 Izguba mase

Na izgubo mase lesa vpliva več dejavnikov, med katerimi ima največji vpliv sama višina temperature modificiranja in pa čas modifikacije (Rep in sod., 2004). Ostali dejavniki so še vrsta lesa, zračna vlažnost in medij s katerim prenašamo toploto na les (Patzelt in sod., 2002). Običajno je izguba mase večja, pri visokih temperaturah modifikacije.

2.7.4 Lepljenje modificiranega lesa

Običajno so lepilni spoji termično modificiranega lesa nekoliko slabši, kot so ti pri navadnem lesu. Po raziskavah je delež trdnosti lepilnega spoja modificiranih vzorcev giblje od 66 do 95 % trdnosti lepilnega spoja nemodificiranega lesa. Termično modificiran les počasneje absorbira vodo, zato je pri lepilih na vodni osnovi potreben daljši čas stiskanja (Teischinger in Stingl, 2002).

2.7.5 Vrednost pH

Sprememba vrednosti pH modificiranega lesa je sorazmerna z izgubo njegove mase. Večja kot je temperatura modifikacije, večja je izguba mase in s tem je opaznejše znižanje pH vrednosti. Znižanje pH ima negativen vpliv na lepljenje modificiranega lesa. Vendar so proizvajalci za svoje proizvode večino teh problemov že raziskali in razrešili (Rep in Pohleven, 2002).

2.8 UPORABA TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA ZA IZDELAVO IVERNIH PLOŠČ IN OSTALIH KOMPOZITOV

Termična modifikacija s paro lahko izboljša dimenzijsko stabilnost lesnih kompozitov, kot so iverne plošče, vlaknene plošče in OSB plošče (Heebink in Hefty, 1969; Shen, 1973; Tomimura in Matsuda, 1986; Hsu in sod., 1988; Subyanto in sod., 1991; Sekino in sod., 1997; Goroyias in Hale, 2002; Ohlmeyer in Lukowsky, 2004).

Ena od možnosti, kako zmanjšati debelinski nabrek in znižati absorpcijo vode pri ivernih ploščah je uporaba termično modificiranega iverja. S postopkom termične modifikacije lahko vplivamo na vsebnost vlage in visko-elastičnost gradnikov (iverje). Glavni namen je znižanje hidroksilnih skupin s termično degradacijo in s tem zmanjšati hidrofilitno lesa (Rep in sod., 2001; Paul in sod., 2006).

Del Menezzi in sodelavci (2009) omenjajo, da je pri lesu izpostavljenemu temperaturi, ki je nižja od temperature viskoelastičnega prehoda (T_g), polimer kot je lignin nad to temperaturo preide v viskoelastično stanje. Ta pojav omogoča manj togo matrico gradnikov in s tem zmanjšuje napetosti, ki se ustvarijo pri stiskanju ter tako pripomore k manjšemu nabreku.

Winandy in Krzysik (2007) in Militz (2008) so ugotovili, da se pri termičnem stikanju lesnih ploščnih kompozitov izboljša njihova vodna dovzetnost in omeji debelinski nabrek.

Več publikacij (Boonstra in sod., 1998; Santos, 2000; Bekhta in Niemz, 2003; Mayer in sod., 2011) omenja izboljšanje dimenzijske stabilnosti termično modificiranega lesa. Bächle in Niemz (2007) omenjata zmanjšanje notranjih napetosti kot posledico termične modifikacije. Goroyias in Hale (2002a; 2002b), Ohlmeyer in Lukowsky (2004), Paul in sodelavci (2006), Bonigut in sodelavci (2012) omenjajo izboljšanje vodoodpornosti MDF in OSB plošč, ki so narejene iz termično modificiranih gradnikov.

Taylor (1987) navaja, da se lahko izboljša dimenzijska stabilnost plošč iz lesnih kompozitov s termično modifikacijo osnovnih gradnikov z dovajanjem pare pod visokim pritiskom.

Večji vpliv na lastnosti, kot so upogibna trdnost in absorpcija vlage ivernih plošč, ima termična modifikacija z vročim oljem v nasprotju s termično modifikacijo v suhem mediju (Gupta in sod., 1980; Rapp in Sailer, 2001).

Goroyias in Hale (2002) sta ugotovila, da termična modifikacija lesnih iveri pri temperaturi, ki je pred stiskanjem večja od $235\text{ }^{\circ}\text{C}$, vodi do občutnega povečanja dovzetnosti na vlago, vendar pride tudi do očitne oslabitve v trdoti in trdnosti.

Termična modifikacija vlaknenih plošč nad $160\text{ }^{\circ}\text{C}$, omogoča večje upogibne trdnosti, manjšo absorpcijo vode in manjši debelinski nabrek v vlažni klimi ali v vodi (Ogland, 1949).

Glavni vzrok vpliva termične modifikacije na lastnosti kompozitnih plošč je očitno sprememba lastnosti hemiceluloz. Tretiranje iverja s paro v temperaturnem intervalu 230 do $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, zmanjša debelinski nabrek ivernih plošč visoke gostote za 45 do 50 % (Tomek, 1965; 1966).

Redukcija debelinskega nabreka je bila manj opazna pri ivernih ploščah iz lesa iglavcev. Hemiceluloze hidrolizirajo pri termični modifikaciji (200 °C, 20 min.) in te spremembe povzročijo redukcijo higroskopnosti termično modificiranega iverja (Solecnik in Siskina 1964).

Ugotovljeno je, da so termično modificirane plošče zgrajene iz krajših vlaken in vsebujejo celulozo z manjšo stopnjo polimerizacije kot nemodificirane plošče. Verjetno edini vzrok za višje trdnostne vrednosti termično modificiranih plošč je upogibni efekt poliuronidnega dela hemiceluloz (Winandy in Smith, 2006).

Winandy (2002) poudarja, da je pri vplivih termične modifikacije na lastnosti, potrebno upoštevati pogoje kot so temperatura in čas modifikacije ter pH okolje v katerem modifikacija poteka. Poblete in Roffael (1985) sta ugotovila, da sama termična modifikacija pri stiskanju plošč vodi do znižanja vrednosti pH lesa. S termično modifikacijo je možno vplivati na fizikalno-kemične lastnosti iveri in s tem zmanjšati higroskopične lastnosti plošč (Antoine in sod., 1971). Ob zmanjšanju gostote iverne plošče je opazna manjša izboljšava, kot je zmanjšanje nabreka in povečanje trdnosti lepilnega spoja (Roffael in sod., 1973).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Iverje

Osnovni material za izdelavo ivernih plošč je predstavljalo iverje, ki smo ga pridobili iz termično modificiranega lesa smreke. Iverjenje in izdelava plošč je potekala v laboratorijskih pogojih.

Vlažnost iverja je znašala $H=4\%$.

Iverje termično modificiranega lesa

Uporabili smo les smrekovine, katerega smo predhodno termično obdelali. Termična modifikacija lesa je potekala pri naslednjih pogojih v vakuumski komori (Rep in sod., 2004):

- temperatura: $190\text{ }^{\circ}\text{C}$
- čas 180 minut

Iverje nemodificiranega lesa

Uporabili smo les smrekovine, katerega predhodno nismo modificirali. Plošča izdelana iz nemodificiranega lesa je bila tudi referenčna plošča.

3.1.2 Lepilna mešanica

Pri izvedbi naloge smo uporabili urea-formaldehidno lepilo (UF lepilo). Lepilno mešanico za oblepljanje iverja smo pripravili po recepturi, ki temelji na absolutno suhi masi iverja in je sestavljena iz:

- uf lepilne smole LENDUR, proizvajalca NAFTA LENDAVA, v kateri je bila vsebnost suhe snovi 65% ,
- utrjevalca (amonijev sulfat), z vsebnostjo suhe snovi 20% in
- vode

Vsebnost suhe snovi L-200 lepila je 65% in gostota 1280 kg/m^3 . Vsebnost prostega formaldehida je max. $1,5\%$. Želiranje pri $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ je pri 34 ± 7 sekundah. Lepilo ima pH med 8 in 9 ter je mlečno do svetlo rjave barve in ima vonj po formaldehidu. Pri sobni temperaturi je lepilo obstojno 21 dni, z višjo temperaturo pa se obstojnost lepila krajša (Tehnična specifikacija Lendur – 200, 2007).

UF lepilo je vodna suspenzija polikondenzata sečnine in formaldehida. Delež lepila pri ivernih ploščah je znašal 11% .

Lepilo potrebuje za normalen potek reakcije dodatek katalizatorja. UF lepilu smo dodali 20% raztopino amonijevega sulfata $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Delež komponent, ki smo jih uporabili pri izdelavi lepilne mešanice prikazuje preglednica 1.

Preglednica 1: Sestava lepilne mešanice

	Delež [%]	Suha snov [%]
Lepilo (UF)	11,00	65,00
Utrjevalec (amonijev sulfat)	2,00	20,00

3.2 METODE DELA

3.2.1 Izdelava iverja in plošč

Za izdelavo štirih ivernih plošč smo potrebovali iverje termično modificiranega lesa in iverje nemodificiranega lesa. Iverje iz termično modificiranega in nemodificiranega lesa smreke smo izdelali v laboratorijskem iverilniku.

Iverje smo nato v laboratorijskem sušilniku 24 ur sušili pri temperaturi 70 °C. Posušeno iverje smo oblepili z 11 % deležem lepila. Oblepljeno iverje smo nato natresli v okvir dimenzij 500×500 mm.

Osnovni podatki za izračun materiala so prikazani v preglednici 2.

Preglednica 2: Osnovni podatki iverne plošče

Dolžina	500,00 mm
Širina	500,00 mm
Debelina	16,00 mm
Prostornina	4000,00 cm ³
Gostota	0,65 g/cm ³
Masa	2600,00 g

Količine materialov, ki ga potrebujemo so prikazane v preglednici 3.

Preglednica 3: Količine materialov za iverno ploščo

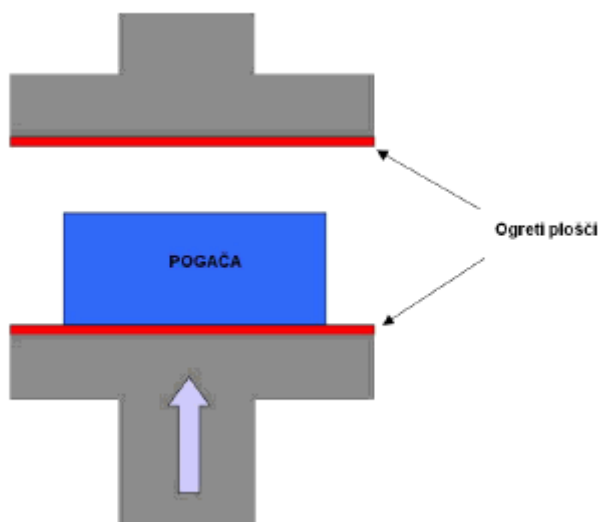
Vlačnost iverja	0% (suho) [g]	4% (vlažno) [g]	14% (oblepljeno) [g]
Iverje	2337,71	2431,22	2674,34
Lepilo	257,15	395,61	435,17
Utrjevalec	5,14	25,71	28,29
Parafinska emulzija	0,00	0,00	0,00
Σ	2600	2852,54	3137,8
Voda	0,00	111,46	122,60

Za izdelavo štirih ivernih plošč smo pripravili mešanice iverja (modificirano, nemodificirano) v razmerjih, ki jih prikazuje preglednica 4.

Preglednica 4: Iverne plošče z različnim deležem iverja termično modificiranega lesa

	1.	2.	3.	4.
Iverje ter. mod. lesa	(0 %)	802g (30 %)	1604g (60 %)	2674g (100 %)
Iverje navadnega lesa	2674g (100 %)	1872g (70 %)	1070g (40 %)	(0 %)

Stiskanje je potekalo v laboratorijski stiskalnici pri 190 °C, tlaku 3 N/mm² in času treh minut. Na koncu je bilo še 30 sekund popuščenja, zaradi odvajanja vodne pare iz plošče. Shematski prikaz stiskanja je prikazan na sliki 1.



Slika 1: Shema enoetažne laboratorijske stiskalnice

Po stiskanju smo vse plošče ohlajali in sicer 60 minut pri sobnih pogojih, nakar smo jih kondicionirali pri temperaturi 20 °C in 65 % relativni zračni vlažnosti. Kondicioniranje je trajalo pet dni.

3.2.2 Merjenje debelinskega nabreka

Določanje debelinskega nabreka smo opravili po standardu SIST EN 317. Iz vsake izdelane plošče smo uporabili osem vzorcev velikosti (LxH):50 mm × 50 mm in z mikrometrom izmerili debelino vsakega preizkušanca na dve decimalki natančno. Vse vzorce smo označili s številko in deležem termično modificiranega lesa.

Vzorci smo za 24 ur potopili v vodno kopel s temperaturo 20 ± 2 °C, pH vode 7 ± 1 . Med poskusom so bili vzorci nameščeni v kadi vertikalno, med seboj pa se niso dotikali. Nad njimi je bilo 25 ± 5 mm vode.

Po 24 urah smo preizkušance vzeli iz vodne kopeli, jih obrisali in z mikrometrom ponovno izmerili njihovo debelino na dve decimalki natančno. Razlika med prvo in drugo meritvijo nam je dala podatke o debelinskem nabreku, ki smo ga izrazili v [%].

Debelinski nabrek smo računali po naslednji enačbi:

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

t_1 debelina klimatiziranega preizkušanca [mm]

t_2 debelina preizkušanca po potopitvi [mm]

G_t debelinski nabrek [%]

3.2.3 Določanje gostote

Merjenje gostote vzorcev smo izvajali v skladu s standardom SIST EN 323 in sicer v g/cm^3 . Razžaganim preizkušancem smo izmerili :

- debelino t [mm] z mikrometrom na 0,01 mm natančno
- dolžino L [mm] in širino H [mm] z elektronskim kljunastim merilom na 0,01 mm natančno
- maso m [g] z elektronsko tehtnico na 0,01 g natančno

Gostoto smo računali po enačbi:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{[g]}{[\text{cm}^3]}$$

3.2.4 Določanje vsebnosti vlage

Merjenje vsebnosti vlage vzorcev smo izvajali v skladu s standardom EN 13183-1:2002. Zračno suhe vzorce smo očistili drobnega iverja, jih stehali in dali v sušilnik za 24 ur, pri temperaturi 103 ± 2 °C. Preizkušance smo v absolutnem suhem stanju zopet stehali ter tako pridobili vse potrebne podatke za izračun vsebnosti vlage. Rezultate smo dobili na podlagi enačbe:

$$u = \frac{m_{v1}}{m_0} \times 100 = \frac{m_{v1} - m_0}{m_0} \times 100 [\%]$$

u	vlačnost lesa [%]
m_{v1}	masa vlažnega lesa [g]
m_v	masa vode [g]
m_0	masa absolutno suhega lesa [g]

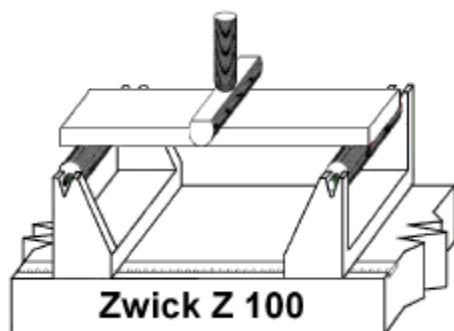
3.2.5 Merjenje upogibne trdnosti in modula elastičnosti

Upogibno trdnost in modul elastičnosti smo določali po standardu SIST EN 310. Merjenje tri-točkovne upogibne trdnosti prikazuje slika 2.

Iz vsake plošče smo izžagali po pet vzorcev dimenzij:

$$L = 20 \times t + 50 \times 50 \text{ mm}$$

t pomeni debelina iverne plošče v [mm].



Slika 2: Tritočkovni test upogibnosti

Enačba za izračun upogibne trdnosti:

$$f_m = \frac{3 \times F_{max} \times l_1}{2 \times b \times t^2}$$

f_m upogibna trdnost [N/mm²]

F_{max} sila loma [N]

l_1 oporiščna razdalja [mm]

b širina preizkušanca [mm]

t debelina preizkušanca [mm]

Enačba za izračun modula elastičnosti:

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

E_m modul elastičnosti [N/mm²]

F_2 40 % maksimalne sile [N]

F_1 10 % maksimalne sile [N]

b širina preizkušanca [mm]

t debelina preizkušancev [mm]

a_2 poves pri 40 % maksimalne sile [mm]

a_1 poves pri 10 % maksimalne sile [mm]

3.2.6 Določanje razslojnosti

Razslojno trdnost smo merili po standardu SIST EN 319. Pri meritvah smo potrebovali osem vzorcev dimenzij 50 × 50mm iz vsake plošče.

Preizkušance smo s talilnim lepilom prilepili na kovinski podstavek, pri čemer je moralo biti lepilo nanoseno po celotni površini, da ni prihajalo do popuščanja vezi med preizkušancem in podstavkom. Pred lepljenjem drugega podstavka se je moral prvi ohladiti. Pri lepljenju drugega podstavka smo morali paziti na usmerjenost utaora (90°) glede na prvega. Po ohladitvi smo nato določali silo, ki je potrebna za razslojitev preizkušancev.

Razslojno trdnost smo določali po enačbi:

$$f_s = \frac{F_{loma}}{l \times w}$$

F_{loma} sila loma [N]

l dolžina preizkušanca [mm]

w širina preizkušanca [mm]

3.2.7 Ugotavljanje čvrstosti površine

Čvrstost površine smo ugotavljali v skladu s standardom SIST EN 311. Izžagali smo po osem vzorcev iz vsake plošče, dimenzij ($l \times w$) : 50×50 mm.

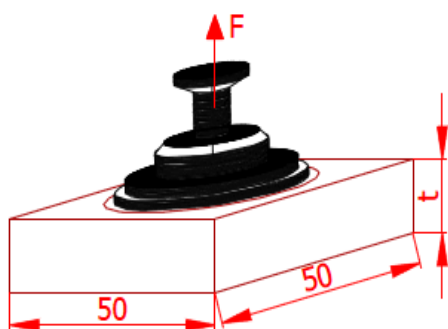
Na površine vseh vzorcev smo prilepili pečate s termoplastičnim lepilom (slika 3). Ko se je spoj lepila učvrstil in ohladil, smo začeli s preizkusom čvrstosti površine.

Določali smo silo loma glede na površino loma po enačbi:

$$SS = \frac{F_{\text{loma}}}{A}$$

F_{loma} sila loma v N

A površina loma (1000 mm^2)



Slika 3: Pritrjen čep na vzorcu za merjenje površinske čvrstosti

3.2.8 Analiza sejanja

Da bi preveril razliko v strukturi oziroma velikosti iveri med modificiranim in navadnim lesom, smo 100g vzorca iveri termično modificiranega in nemodificiranega lesa presejali v sejalnem stroju z rešeti različnih velikosti. Sejalni stroj prikazuje slika 4. To smo storili tri× za vsak vzorec. Eno sejanje je trajalo 10 minut. Vzorce, ki so ostali na vsakem od rešet smo nato stehali in tako dobili strukturo iveri po velikosti oz. deleže velikosti. Na podlagi sejalne analize smo določili razlike v velikosti nemodificiranega in modificiranega iverja.



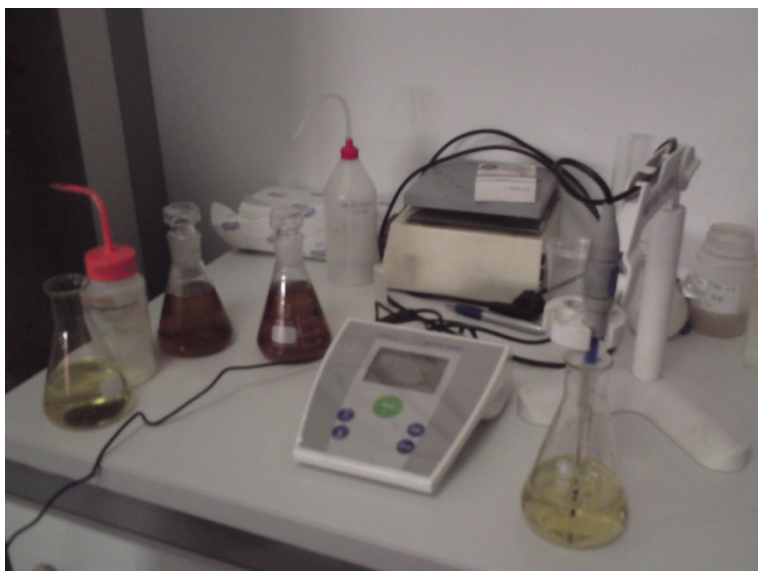
Slika 4: Sejalni stroj

3.2.9 Merjenje pH vrednosti iverja

V dve čaši smo zatehtali po 30g iveri termično modificiranega lesa in jih prelil z destilirano vodo (300ml) ter pustili stati en dan. Nato smo suspenzijo prefiltrirali, kot prikazuje slika 5. Vrednost pH smo merili vodni raztopini s pH metrom (slika 6). Meritev smo izvajali izmenično (1. nato 2. čaša) tri serije. Pred vsakim merjenjem smo tipalo merilca izprali z destilirano vodo.



Slika 5: Filtriranje vode



Slika 6: Merjenje pH vode s pH metrom Mettler Toledo (Seven Easy)

4 REZULTATI

4.1 ANALIZA SEJANJA

Sejalna analiza je pokazala, da so pri iverju termično modificiranega lesa dokaj enakomerno razporejeni deleži iverja frakcij od 2,00 mm do 0,237 mm. Najvišji odstotek smo ugotovili pri frakciji 0,60 mm (preglednica 5).

Preglednica 5: Analiza sejanja termično modificiranega lesa

Frakcije [mm]	1.serija	2.serija	3.serija	Vsota	Delež [%]
6,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,00	0,62	0,64	0,51	1,77	0,59
2,00	15,37	16,79	15,90	48,06	16,00
1,50	16,60	16,91	15,95	49,46	16,47
1,27	11,36	11,42	11,49	34,27	11,42
1,00	13,00	13,70	14,15	40,85	13,60
0,60	20,05	18,62	18,9	57,57	19,18
0,237	17,35	15,8	16,27	49,42	16,46
NM-dno	6,00	6,06	6,73	18,79	6,26
Σ	100,35	99,94	99,99	300,19	100,00

Pri sejalni analizi iverja nemodificiranega lesa smo ugotovili večji delež iverja večjih frakcij, dokaj enakomerno pa so razporejeni deleži frakcij od 1,27 mm do 0,237 mm. Največji delež smo ugotovili pri frakciji velikosti 2,00 mm (preglednica 6).

Preglednica 6: Analiza sejanja nemodificiranega lesa

Frakcije [mm]	1.serija	2.serija	3.serija	Vsota	Delež [%]
6,14	4,21	3,36	4,57	12,14	4,15
4,00	19,20	21,16	22,05	62,41	21,35
2,00	34,38	34,37	34,63	103,38	35,39
1,50	12,34	12,03	11,61	35,98	12,31
1,27	5,23	5,03	4,69	14,95	5,12
1,00	7,01	4,80	4,34	16,15	5,53
0,60	7,52	6,95	6,30	20,77	7,11
0,237	7,66	6,92	6,49	21,07	7,21
NM-dno	2,00	1,63	1,73	5,36	1,83
Σ	99,55	96,25	96,41	292,21	100

4.2 pH IVERJA

Rezultati pH meritev so pokazali razliko v vrednosti pH med termično modificiranim in nemodificiranim iverjem. Vrednost pH je pri iverju termično modificiranega lesa nižja, kar prikazujeta preglednici 7 in 8.

Preglednica 7: pH iverja termično modificiranega lesa

<i>Ter. mod. iverje</i>	Vzorec 1	Vzorec 2
Seriya 1	3,66	3,63
Seriya 2	3,62	3,63
Seriya 3	3,67	3,64
Pov.	3,65	3,63

Preglednica 8: pH iverja nemodificiranega lesa

<i>Nemod. iverje</i>	Vzorec 1	Vzorec 2
Seriya 1	5,33	5,32
Seriya 2	5,35	5,33
Seriya 3	5,37	5,36
Pov.	5,35	5,33

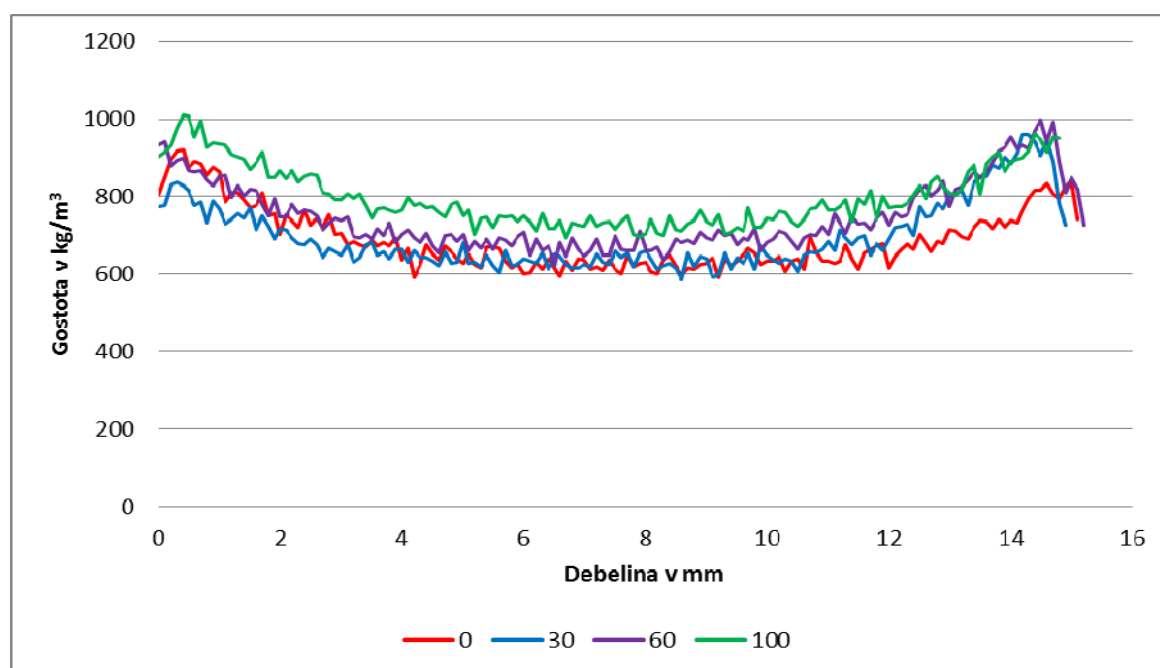
4.3 GOSTOTA IN GOSTOTNI PROFIL IVERNIH PLOŠČ

Rezultati meritev so pokazali, da med ivernimi ploščami ni velikih razlik v gostoti. Najvišjo povprečno gostoto smo izmerili pri iverni plošči s 30 % vsebnostjo iverja termično modificiranega lesa. Nižjo gostoto smo ugotovili pri iverni plošči s 60 % deležem iverja termično modificiranega lesa. Najnižjo povprečno gostoto smo izračunali pri vzorcih iz iverne plošče brez vsebnosti iverja termično modificiranega lesa (preglednica 9).

Preglednica 9: Gostota ivernih plošč

Vzorci / Plošče	0% [g/cm ³]	30% [g/cm ³]	60% [g/cm ³]	100% [g/cm ³]
1.	0,686	0,756	0,734	0,761
2.	0,657	0,708	0,694	0,654
3.	0,613	0,660	0,713	0,736
4.	0,690	0,692	0,646	0,674
5.	0,716	0,755	0,745	0,594
6.	0,711	0,678	0,702	0,715
Pov.	0,679	0,708	0,706	0,689
Stand. odklon	0,038	0,040	0,035	0,061

Poleg povprečne gostote smo na vzorcih izmerili tudi gostotni profil, s katerim lahko vidimo kako se skozi celotno debelino iverne plošče spreminja njena gostota. Med gostotnimi profili vseh ivernih plošč smo najvišje zgostitve ugotovili pri iverni plošči s 100 % iverja termično modificiranega lesa, vendar ne skozi celoten profil, saj je zgostitev v vrhnjem sloju približno enaka ali celo nižja kot pri plošči s 60 % in 30 % deležem iverja termično modificiranega lesa (slika 7).



Slika 7: Gostotni profili ivernih plošč

4.4 DEBELINSKI NABREK

Vzorci plošče brez vsebnosti iverja termično modificiranega lesa so imeli največji debelinski nabrek, najnižji nabrek pa je bil pri plošči izdelani zgolj iz termično modificiranega iverja (preglednica 10).

Preglednica 10: Debelinski nabrek ivernih plošč

Vzorci / Plošče	0% [%]	30% [%]	60% [%]	100% [%]
1.	11,9	11,8	9,3	6,6
2.	11,2	10,2	10,0	6,0
3.	10,8	11,5	9,5	5,7
4.	10,8	10,6	9,1	8,1
5.	11,9	10,2	9,6	7,2
6.	12,0	11,2	9,5	7,2
7.	11,1	9,6	9,2	6,7
8.	11,0	10,2	9,5	7,3
Pov.	11,3	10,7	9,5	6,8
Stand. odklon	0,513	0,761	0,277	0,769

4.5 VSEBNOST VLAGE

Po pričakovanjih smo najmanjšo povprečno vsebnost vlage izmerili vzorcem plošče, katera je bila izdelana povsem iz iverja termično modificiranega lesa. Najvišjo vsebnost vlage smo izmerili vzorcem iz plošče s 30 % deležem iverja termično modificiranega lesa (preglednica 11).

Preglednica 11: Vsebnost vlage ivernih plošč

Vzorci / Plošče	0 % [%]	30 % [%]	60 % [%]	100 % [%]
1.	6,9	7,8	7,4	5,6
2.	7,1	7,4	7,3	5,8
3.	7,0	6,7	6,3	5,8
4.	6,5	6,8	6,5	5,5
Pov.	6,9	7,2	6,9	5,7
Stand. odklon	0,263	0,519	0,556	0,150

4.6 UPOGIBNA TRDNOST IN E-MODUL

Pri meritvah upogibne trdnosti smo ugotovili, da ima najnižjo vrednost plošča s 100 % deležem iverja termično modificiranega lesa. Vrednost E-modula pa je bila pri teh ugotovljena kot najvišja. Najvišjo vrednost upogibne trdnosti smo ugotovili pri plošči z 0 % deležem iverja termično modificiranega lesa. Vrednost E-modula je bila pri isti plošči ugotovljena kot druga najvišja (preglednica 12).

Preglednica 12: Upogibna trdnost in modula elastičnosti ivernih plošč

Plošče	0 %		30 %		60 %		100 %	
Vzorci	f_m [N/mm ²]	E_m [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]	E_m [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]	E_m [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]	E_m [N/mm ²]
1.	10,3	2300	13,27	2722	10,98	2346	13	3113
2.	11,26	2676	12,86	2845	11,49	2502	8,42	2137
3.	10,18	2233	9,5	2368	11,35	2384	8,55	2255
4.	11,18	2570	7,82	2185	11,72	2298	9,25	2565
5.	11,62	2512	10,81	2025	8,94	2016	10,39	2867
Pov.	10,91	2458	10,85	2429	10,90	2309	9,92	2587
St.odklon	0,633	186,127	2,286	348,345	1,126	180,425	1,890	408,743

4.7 RAZSLOJNA TRDNOST

Najvišjo povprečno vrednost smo ugotovili pr plošči brez deleža iverja termično modificiranega lesa, najnižjo vrednost pa pri iverni plošči s 60 % vsebnostjo iverja termično modificiranega lesa (preglednica 13).

Preglednica 13: Razslojna trdnost ivernih plošč

Vzorci / Plošče	0 % [N/mm ²]	30 % [N/mm ²]	60 % [N/mm ²]	100 % [N/mm ²]
1.	0,53	0,46	0,31	0,24
2.	0,76	0,48	0,45	0,45
3.	0,88	0,77	0,3	0,4
4.	0,86	0,57	0,54	0,62
5.	0,78	0,73	0,38	0,52
6.	0,88	0,52	0,54	0,51
7.	0,86	0,58	0,33	0,55
8.	0,63	0,55	0,53	0,48
Pov.	0,77	0,58	0,42	0,47
Stand. odklon	0,130	0,112	0,106	0,114

4.8 ČVRTSOST POVRŠINE

Povprečne vrednosti čvrstosti površine so pokazale, da smo najvišjo vrednost dosegli pri plošči brez vsebnosti iverja termično modificiranega lesa, najnižjo pa pri plošči s 60 % deležem iverja termično modificiranega lesa (preglednica 14).

Preglednica 14: Čvrstost površine ivernih plošč

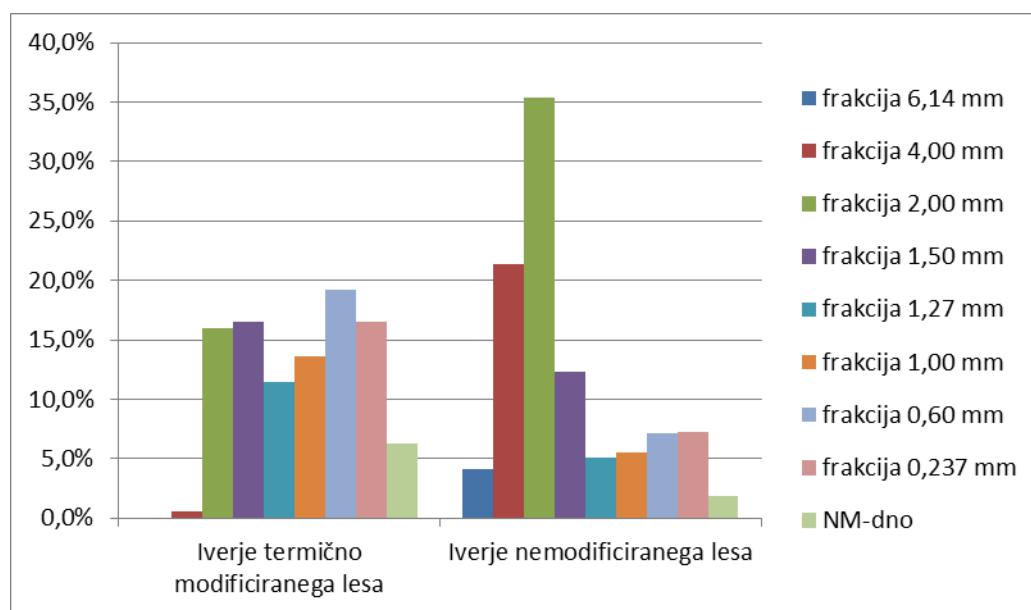
Vzorci / Plošče	0 % [N/mm ²]	30 % [N/mm ²]	60 % [N/mm ²]	100 % [N/mm ²]
1.	0,8	0,83	0,95	1,05
2.	1,18	0,72	0,78	1
3.	0,84	1,13	0,77	0,79
4.	1,5	0,83	0,76	0,88
5.	1,15	1,35	0,98	1,3
6.	1,36	0,96	1,22	1,07
7.	1	1,32	1,02	0,96
8.	1,7	1,23	0,69	1,3
Pov.	1,19	1,05	0,9	1,04
Stand. odklon	0,316	0,244	0,178	0,182

5 RAZPRAVA IN SKLEP

5.1 RAZPRAVA

5.1.1 Struktura iverja

Deleži frakcij iverja termično modificiranega lesa so bolj enakomerno porazdeljeni, kot pri iverju neobdelanega lesa, kjer očitno izstopa delež frakcije velikosti 2,00 mm. Ravno tako lahko trdimo, da je iverje termično modificiranega lesa bolj fino, saj so prisotni večji deleži frakcij pod 2,00 mm (slika 8).



Slika 8: Analiza sejanja iverja

Razlog za ugotovljeno razliko lahko najdemo pri modifikaciji lesa, kjer se lahko močno spremenijo njegove mehanske lastnosti. Višja kot je temperatura med procesom modifikacije, bolj se lesu znižajo mehanske lastnosti. Raziskave kažejo, da se modificiranemu lesu trdnost zmanjša od 5 do 50 %, kar je odvisno od uporabljenega procesa (Raggers, 2007).

Tako lahko povzamemo, da je termično modificiran les bolj krhek, zaradi nižje gostote in nižje vsebnosti vlage. Vzrok za nižjo gostoto je predvsem razgradnja hemiceluloze v hlapne produkte in izhlapevanje ekstraktivov. Zmanjša se tudi razslojna trdnost lesa in hkrati poveča njegova krhkost (Esteves in Pereira, 2009).

Glede na to, da je iverje termično modificiranega lesa praviloma krajše kot običajno (Winandy and Smith, 2006) ter je zaradi izgube mase med procesom termične modifikacije lažje, lahko rečemo, da je plošča, ki vsebuje tako iverje, bolj stisljiva, zunanji sloji pa so bolj zapolnjeni s finejšim iverjem. To se je odražalo v bolj gladki površini plošče.

5.1.2 Vpliv iverja termično modificiranega lesa na pH, gostoto in gostotni profil plošče

Vzrok za nižji pH pri iverju termično modificiranega lesa je segrevanje, kjer prihaja do hidrolize ekstraktivov, katere produkti so različne kisline, predvsem očetna. Količina kisline je odvisna od kemijske sestave lesa, kar določa drevesna vrsta. Pri listavcih je nekoliko višja (3 do 5 %), pri iglavcih nekoliko nižja (1 do 2 %) (Tišler in Malnarič, 2002) (preglednici 7 in 8).

Pri dodajanju deleža iverja termično modificiranega lesa nismo ugotovili neposredne povezave vpliva na gostoto plošč. Pričakovali bi, da se bo gostota z večjim deležem višala, vendar temu ni tako (preglednica 15).

Med vsemi ploščami smo pri kontrolni plošči ugotovili najnižjo povprečno gostoto. Predvidevamo, da je razlog za nižjo gostoto manjša stisljivost gradnikov. Po samem stiskanju se med gradniki ustvari več praznih prostorov kot pri ostalih ploščah. Dodatna potrditev se kaže v povprečni debelini plošče, ki smo jo pri tej plošči ugotovili kot najvišjo. Ravno tako nam slika gostotnega profila kaže nižjo zgoščenost v primerjavi z ostalimi ploščami (preglednica 15).

Plošči s 30 in 60 % iverja termično modificiranega lesa imata zelo podobni povprečni gostoti. Če rezultata primerjamo s sliko gostotnega profila lahko vidimo, da je plošča s 30 % manj zgoščena kot plošča s 60 %. Predpostavljamo, da se je v plošči s 30 % deležem iverja termično modificiranega lesa zapolnilo manj praznih prostorov kot pri plošči s 60 %. Obratno je pri slednji plošči zapolnjenih več praznih prostorov, vendar je delež iverja iz modificiranega lesa toliko večji, da se gostoti nekako izenačita. Vemo, da termično modificiran les med procesom modifikacije izgubi del svoje mase. Debelini plošč sta približno enaki (preglednica 15).

Med ploščami z deleži iverja termično modificiranega lesa smo ugotovili najnižjo povprečno gostoto pri iverni plošči s 100 % deležem, vendar nam gostotni profil kaže drugačne rezultate. Vidimo lahko, da je zgoščenost tako srednjega kot zunanjih slojev najvišja. Glede na debelino plošč, so si med seboj zelo podobne, zato bi nižjo gostoto lahko pripisali izgubi mase lesa med samim procesom termične modifikacije in večji relaksaciji iverja, do katere pride po samem stiskanju. Iverje termično modificiranega lesa je zaradi nižje gostote bolj stisljivo in zato, ima tudi večji »spring-back« efekt po samem stiskanju (preglednica 15).

Očiten padec vlage je viden le pri vzorcih plošče s 100 % iverja termično modificiranega lesa. Pri plošči s 30 % iverja ta celo rahlo naraste. Kot razlog bi lahko navedli višjo specifično gostoto plošče, saj vsebuje več sorpcijskih mest, ki nase vežejo molekule vode. Pri sliki gostotnega profila (slika 7, preglednica 15) lahko opazimo manjšo zgostitev vrhnjega sloja plošče, kar omogoča lažji dostop vodi, ki se nato veže na sorpcijska mesta (slika 13).

Preglednica 15: Rezultati mehanskih in fizikalnih lastnosti ivernih plošč

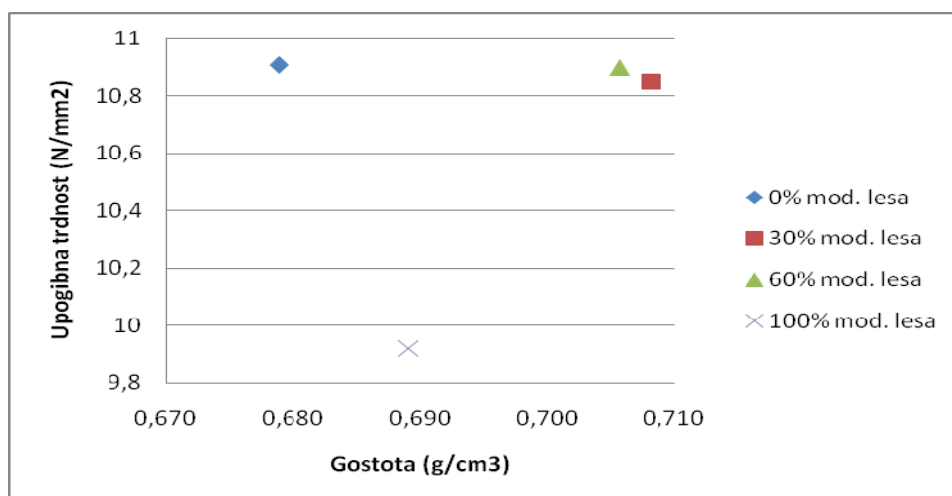
Lastnosti / Plošče	GOSTOTA [g/cm ³]	DEBELINSKI NABREK [%]	VSEBNOST VLAGE [%]	UPOGIBNA TRDNOST [N/mm ²]	MODUL ELASTIČNOSTI [N/mm ²]	RAZSLOJNA TRDNOST [N/mm ²]	ČVRSTOST POVRŠINE [N/mm ²]
0%	0,679	11,3	6,9	10,91	2458	0,77	1,19
30%	0,708	10,7	7,2	10,85	2429	0,58	1,05
60%	0,706	9,5	6,9	10,90	2309	0,42	0,9
100%	0,689	6,8	5,7	9,92	2587	0,47	1,04

5.1.3 Vpliv iverja termično modificiranega lesa na mehanske in dimenzijske lastnosti plošč

Z dodajanjem deleža iverja termično modificiranega lesa ni opaziti trenda naraščanja ali padanja vrednosti upogibne trdnosti, zato lahko trdimo, da iverje termično modificiranega lesa nima neposrednega vpliva na upogibno trdnost plošč. Razlike ugotovljenih vrednosti v primerjavi s kontrolno ploščo niso velike. Plošča s 100 % iverja termično modificiranega lesa ima sicer najnižjo ugotovljeno vrednost, a kljub temu dosega standardne zahteve.

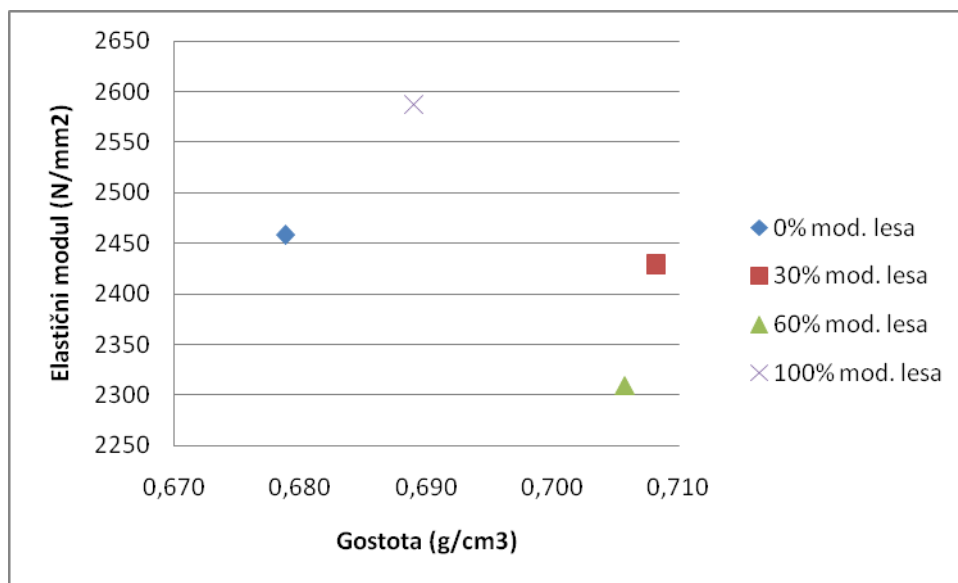
Če pogledamo vrednosti upogibne trdnosti plošč s 30 in 60% iverja termično modificiranega lesa, lahko opazimo, da sta približno enaki. Imata tudi približno enako vrednost povprečne gostote, po čemer lahko sklepamo, da na njuno upogibno trdnost vpliva predvsem gostota plošče ter povezanost gradnikov in ne delež iverja termično modificiranega lesa (preglednica 9).

Po Maloneyu (1977) imajo plošče z gradniki nižjih gostot običajno boljše mehanske lastnosti, zaradi večje stisljivosti. V našem primeru bi to trditev lahko ovrgli, saj ima plošča s 100% deležem iverja termično modificiranega lesa najnižjo vrednost upogibne trdnosti, čeprav so tu gradniki praviloma manjših oblik, z nižjo gostoto. Nižjo vrednost bi lahko pripisali obliki iverja termično modificiranega lesa. Tako iverje je praviloma krajše in bolj krhko, zato je tudi slabše povezano med seboj. Kljub najnižji ugotovljeni vrednosti povprečne gostote, je imela kontrolna plošča višjo vrednost upogibne trdnosti od preostalih plošč. To bi lahko pripisali daljši obliki iverja (preglednica 9).



Slika 9: Upogibna trdnost v primerjavi s povprečno gostoto ivernih plošč

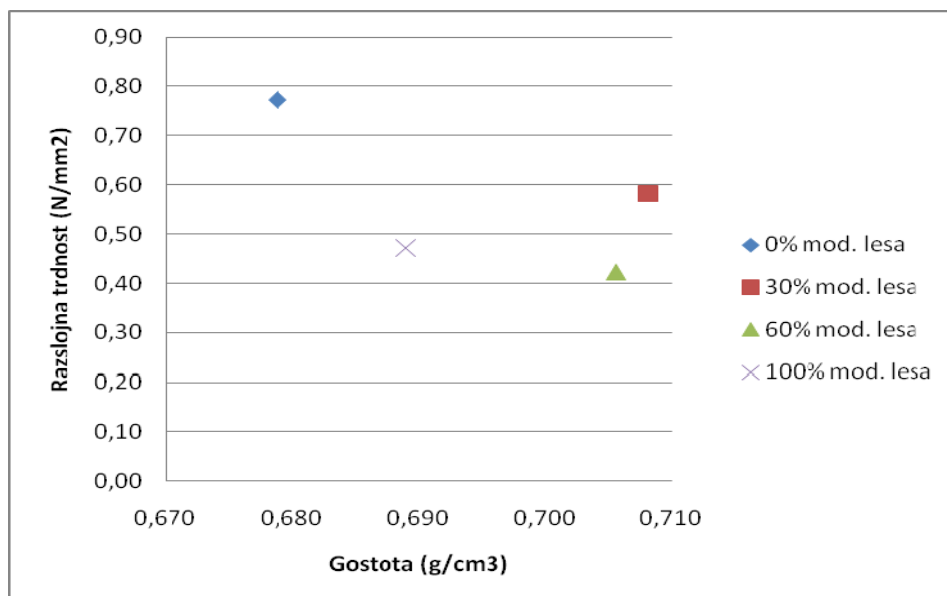
Pri meritvah E modula nismo opazili neposredne povezave z gostoto plošč in deležem iverja termično modificiranega lesa. Vrednosti E-modula z dodatkom iverja termično modificiranega lesa varirajo glede na vrednost, ki smo jo ugotovili pri kontrolni plošči. Razlike niso velike, vse plošče pa zadostujejo zahtevam standarda. Presenetila nas je ugotovljena vrednost pri plošči s 100 % iverja termično modificiranega lesa, ki je bila izmerjena kot najvišja (slika 10). Višjo vrednost bi lahko pripisali večji zgoščenosti zunanjih slojev, kar lahko opazimo na sliki 7, ki prikazuje gostotne profile plošč.



Slika 10: Elastični modul v primerjavi s povprečno gostoto ivernih plošč

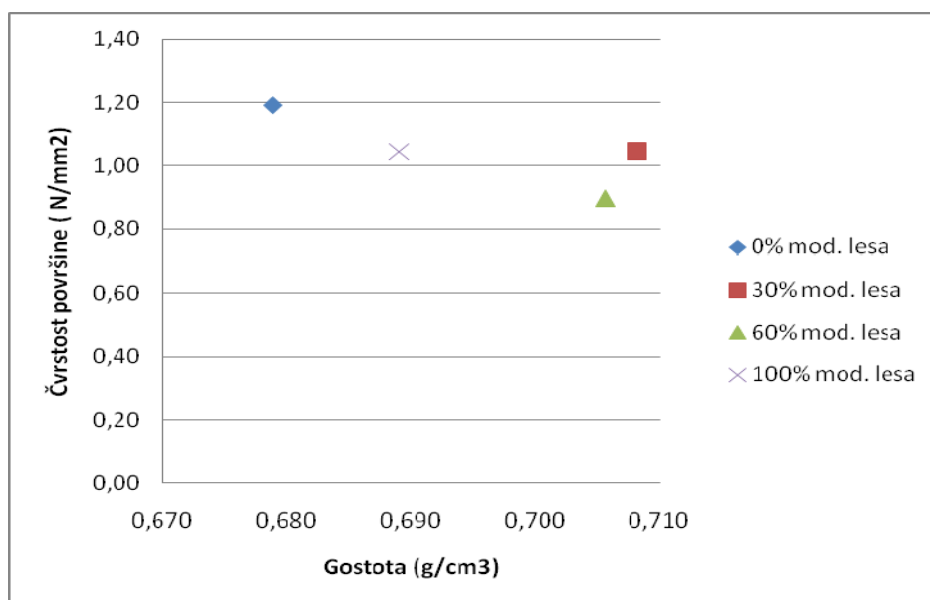
Z dodajanjem deleža iverja termično modificiranega lesa lahko opazimo trend padanja razslojne trdnosti, le da je pri plošči s 100% deležem iverja termično modificiranega lesa opazen rahel dvig vrednosti. Kontrolna plošča je imela najvišjo ugotovljeno vrednost, kar nakazuje na večjo zlepljenost med gradniki srednjega sloja in trdnejši lepilni spoj (preglednica 11).

Trend padanja razslojne trdnosti lahko povežemo s slabšim utrjevanjem lepila, saj termično modificiran les počasneje absorbira vodo. Če primerjamo plošči s 30 in 60 % iverja termično modificiranega lesa, opazimo pri slednji nižjo vrednost razslojne trdnosti. Glede na zelo podobno vrednost povprečne gostote lahko trdimo, da je razlog za nižjo vrednost v večjem deležu iverja termično modificiranega lesa, ki se slabše lepi. Plošča s 100 % iverja termično modificiranega lesa ima višjo zgoščenost srednjega sloja, zato so verjetno medsebojni stiki gradnikov večji, kar lahko vpliva na rahlo zvišanje razslojne trdnosti v primerjavi s ploščo s 60 % iverja termično modificiranega lesa.



Slika 11: Razslojna trdnost v primerjavi s povprečno gostoto ivernih plošč

S povečevanjem deleža iverja termično modificiranega lesa lahko opazimo trend padanja čvrstosti površine. Očitno je imela kontrolna plošča najtrdnjši lepilni spoj na površini. Pri plošči s 100 % iverja termično modificiranega lesa opazimo dvig vrednosti, kar lahko povežemo z večjo zgoščenostjo zunanega sloja (slika 7) in boljšim stikom med gradniki v tem sloju (bolj gladka površina) (preglednica 12). Glede na standardni odklon kontrolne plošče (preglednica 14), pa lahko trdimo, da ni razlike.

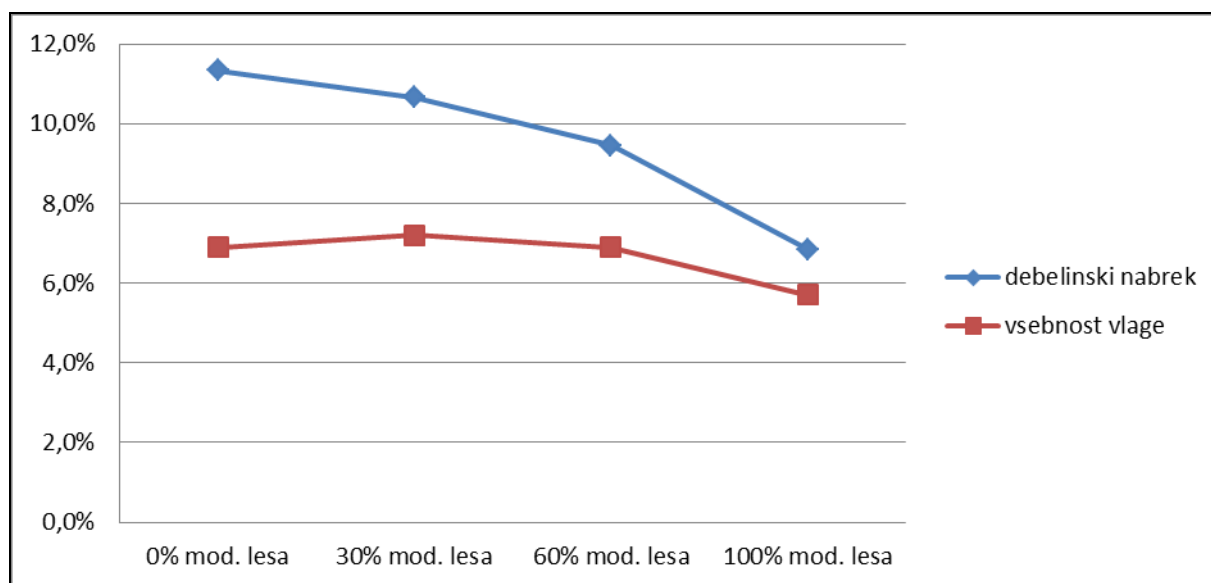


Slika 12: Čvrstost površine v primerjavi s povprečno gostoto ivernih plošč

Izrazitejši vpliv dodatka termično modificiranega lesa smo ugotovili pri določanju debelinskega nabreka. Z večanjem deleža iverja termično mod. lesa, se manjša debelinski nabrek. Glede na višjo gostoto in vsebnost vlage pri vzorcih iz plošče s 30 % iverja termično modificiranega lesa bi lahko pričakovali povečan nabrek. Vendar se to ni zgodilo, saj je zgoščenost zunanjega sloja nižja, kar je razvidno iz gostotnega profila (slika 7). Zunanji sloji z nižjo gostoto nabrekajo manj. Najmanjši nabrek smo izmerili iverni plošči s 100 % iverja termično modificiranega lesa, kar je bilo pričakovano, saj je zaradi večje zgostitve zunanjega sloja in finejšega iverja obenem otežen dostop vode v samo ploščo, vendar je glavni razlog verjetno manjše število sorpcijskih mest, kar pomeni, da nase veže manj vode kot ostale plošče.

Na debelinski nabrek lahko vpliva degradacija hemiceluloz, ki se pri višjih temperaturah topijo. Ker hemiceluloze predstavljajo hidrofilne komponente v celični steni, lahko z njihovo odstranitvijo vplivamo na dimenzijsko stabilnost plošče (Moheby in sod., 2008).

Povečanje kristaliničnosti celuloze, je dodaten razlog zmanjšanja debelinskega nabreka in vsebnost vlage, saj se s tem zmanjša dostopnost -OH skupin vodnim molekulam (Esteves in Pereira, 2009).



Slika 13: Vsebnost vlage in debelinski nabrek ivernih plošč

Iz raziskave bi lahko povzeli, da so pri iverju termično modificiranega lesa manjše notranje napetosti, zaradi termične obdelave. Posledično je manjši tudi debelinski nabrek iverne plošče izdelane iz modificiranega iverja.

5.2 SKLEPI

S sejalno analizo smo ugotovili, da je iverje termično modificiranega lesa manjše velikosti v primerjavi z iverjem neobdelanega lesa. Vrednost pH iverja termično modificiranega lesa je bila ugotovljena kot nižja.

Ugotovili smo, da iverje termično modificiranega lesa vpliva na mehanske in fizikalne lastnosti ivernih plošč. Pozitiven vpliv smo ugotovili na dimenzijsko stabilnost plošče (debelinski nabrek) in na znižanje sprejema vlage. Debelinski nabrek je bil najmanjši pri plošči s 100 % iverja termično modificiranega lesa, ravno tako tudi vsebnost vlage.

Gostotni profil nam je pokazal zgoščenost notranjega sloja in zunanjih slojev. Plošča s 100% deležem iverja termično modificiranega lesa je imela najvišjo zgoščenost, tako zunanjih slojev kot tudi notranjega sloja.

Mehanske lastnosti (razslojna trdnost in čvrstost površine) se z večanjem deleža iverja termično modificiranega lesa manjšajo. Pri upogibni trdnosti je bil opazen vpliv le pri plošči izdelani povsem iz termično modificiranega iverja, pri ostalih ploščah ni bilo razlik. Presenetila nas je višja vrednosti E-modula pri iverni plošči s 100 % iverja termično modificiranega lesa. To pripisujemo večji zgoščenosti zunanjih slojev. Kljub poslabšanju mehanskih lastnosti, plošče iz modificiranega lesa zadostujejo standardnim zahtevam.

6 POVZETEK

V diplomski nalogi smo ugotavljali kakšen vpliv na mehanske in fizikalne lastnosti ivernih plošč ima iverje termično modificiranega lesa. Izdelali smo štiri iverne plošče z deleži (0, 30, 60, 100 %) iverja termično modificiranega lesa. Ugotavljali smo lastnosti kot so: povprečna gostota, debelinski nabrek, vsebnost vlage, upogibna trdnost, elastični modul, razslojna trdnost, čvrstost površine. Cilj raziskave je povečati dimenzijsko stabilnost iverne plošče z iverjem termično modificiranega lesa, ne da bi pri tem znatno oslabili mehanske lastnosti.

Plošče smo izdelali pod enakimi pogoji (tlak, čas in temperatura stiskanja) z enakimi parametri (delež lepilne mešanice) z izjemo deleža iverja termično modificiranega lesa, kot edine zelene spremenljivke. Po izdelavi in kondicioniranju plošč smo pripravili vzorce za ugotavljanje mehansko-fizikalnih lastnosti. Z analizo sejanja smo ugotovili, da je iverje termično modificiranega lesa manjših frakcij, verjetno zaradi večje krhkosti in nižje vsebnosti vlage termično modificiranega lesa. Po standardu SIST EN 310 smo ugotavljali upogibno trdnost in E-modul ivernih plošč. Ugotovili smo, da je padec vrednosti upogibne trdnosti opazen le pri plošči s 100 % iverja termično modificiranega lesa, kar smo povezali s krajšo dimenzijo iverja. Vrednot E-modula je opazno višja le pri plošči s 100 % iverja termično modificiranega lesa, kar smo povezali z večjo zgoščenostjo zunanjih slojev. Po standardu SIST EN 319 smo ugotavljali razslojno trdnost ivernih plošč in ugotovili, da večanje deleža iverja termično modificiranega lesa niža omenjeno lastnost. Po standardu SIST EN 311 smo ugotavljali čvrstost površine ivernih plošč in ugotovili, da večanje deleža iverja termično modificiranega lesa niža omenjeno vrednost. Po standardu SIST EN 323 smo ugotavljali povprečno gostoto ivernih plošč. Ugotovili smo, da plošča s 100 % iverja ni dosegla višje vrednosti, kot smo predvidevali. Razlog je verjetno večja stisljivost iverja nižje gostote in zato večji »spring-back« efekt. Po standardu SIST EN 317 smo ugotavljali debelinski nabrek ivernih plošč in prišli do ugotovitev, da se z večanjem deleža iverja termično modificiranega lesa debelinski nabrek niža. Po standardu EN 13183-1:2002 smo ugotavljali vsebnost vlage ivernih plošč in ugotovili, da se z večanjem deleža iverja termično modificiranega lesa vsebnost vlage niža.

VIRI

Antoine R., Andre P., Naveau H. P. 1971. Thermal treatment and its influence on self-bonding of spruce particles (*Picea abies*). *Holzforschung*, 25, 1: 8-15

Bächle F., Niemz P. 2007. Termisch vergütetes Laubholz – unkler und weniger quellend. *Wald Holz*, 4: 37-40

Bekhta P., Niemz P. 2003. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung*, 57: 539- 546.

Bonigut J., Krug D., Stephani B. 2012. Properties of thermally modified medium density fiberboards. *Holzforschung*, 66, 79-83.

Boonstra M.J., Tjeerdsma B.F., Groeneveld H. A. C. 1998. Thermal modification of non-durable wood species. 1. The PLATO technology: *thermal modification of wood*. *International Research Group on Wood Preservation, Document no. IRG/WP, 98- 40123*.

Bourgois J., Guyonnet R. 1988. Characterization and analysis of torrefied wood. *Wood Science and Technology*, 22, 143-155.

Burmester A. 1973 Einfluß einer Wärme-Druck-Behandlung halbtrockenen Holzes auf seine Form-beständigkeit. *Holz Roh- Werkstoff*, 31:237–243.

Burmester A. 1975 Zur Dimensionsstabilisierung von Holz. *Holz Roh- Werkstoff*, 33:333–335.

Cerc Korošec R., Lavrič B., Rep G., Pohleven F., Bukovec P. 2009. Thermogravimetry as a possible tool for determining modification degree of thermally treated Norway spruce wood. V: *Symposium at the Michel Ollivions memorial : Faculty of pharmacy, University Paris-Sud XI in Chatenay.Malabry, 2nd and 3rd october 2008, Journal of thermal analysis and calometry*, 98, 1: 189-195.

Chung Y., Feng F., Hui P. 2008. Melamine- modified urea-formaldehyde Resin for bonding Particleboards. *Forest Products Journal*, 58, 4: 56-61.

Del Menezzi C.H.S., Tomaselli I., Okino E. Y. A., Teixeira D.E., Santana M.A.E. 2009. Thermal modification of consolidated oriented strandboards: effects on dimensional stability, mechanical properties, chemical composition and surface colour. *European journal of Wood Products*, 67, 383-396.

Esteves B.M., Pereira H.M. 2009. Wood modification by heat treatment: a review. *BioResources*, 4: 370-404.

Giebeler E. 1983 Dimensionsstabilisierung von Holz durch eine Feuchte/Warme/Druck-Behandlung. *Holz Roh- Werkstoff*, 41: 87–94

Garrote G., Dominiguez H., Parajo J.C. 2001. Study on the deacylation of hemicelluloses during the hydrothermal processing of *Eucalyptus* wood. *Holz Roh- Werkst*, 59: 53–59.

Goroyias G. J., Hale M.D. 2002a. Heat treatment of wood strands for OSB production: Effect on mechanical properties, water absorption and dimensional. IRG/WP, 02-40238. *IRG Secretariat, Stockholm, Sweden*. 18.

Goroyias G.J., Hale M.D. 2002. Heat Treatment of Wood Strands for OSB Production: Effect on the Mechanical Properties, Water Absorption and Dimensional Stability. In: *Annual Meeting International Research Group on Wood Preservation, Proceedings*, 33, Cardiff, Wales, U.K.

Gupta R. C., Singh S.P., Nautiyal S.N. 1980. Studies on tempering of phenolic bonded particle board. *J. Timber Development Association of India*, 26, 4: 16-18.

Heebink B.G., Hefty F.V. 1969. Treatment to reduce thickness swelling of phenolic bonded particleboard. *Forest Products Journal*, 19, 11: 17-29.

Hillis W.E. 1984. High temperature and chemical effects on wood stability. Part 1. General considerations. *Wood Science and Technology*, 18: 281-293.

Hsu W.E., Schwald W., Schwald J., Shields A. 1988. Chemical and physical changes required for producing dimensionally stable wood-based composites. Part 1: Steam pre-treatment. *Wood Science Technology*, 22: 281-289.

Klauditz W. 1956. Zehn Jahre Tätigkeit und Forschung 1946-1956. Verein für technische Holzfragen E. V. Braunschweig, *Institut für Holzforschung an der Technischenn Hochschule Braunschweig*

Kollmann F., Fengel D. 1965. Changes in the chemical composition of wood by heat treatment. *Holz Roh- Werkstoff*, 23: 461-468.

Maloney T. 1977. Modern particleboard and dry-process fibreboard manufacturing. San Francisco, Miller Freeman: 672 str.

Medved S. 2000. Določanje velikosti lesnih iveri. *Les: Revija za lesno gospodarstvo*, 52, 4: 97-102.

Mohebbi B., Ilbeighi F., Katzemi-Najafi S. 2008. Influence of hydrothermal modification of fibers on some physical and mechanical properties of medium density fiberboard (MDF). *Holz Roh- Werkstoff*, 66: 213-218.

Moura F. D., Fatima M., Martinez M., Rocco A., Valarelli I. 2005. Relation between Compaction rate and Physical and Mechanical properties of Particleboard. *Materials Research*, 8, 3: 329-333.

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

Niemz P., Bauer S. 1991. Beziehungen zwischen Struktur und Eigenschaften von Spanplatten.– Teil 2: Schubmodul, Scherfestigkeit, Biegefestigkeit, Korrelation der Eigenschaften untereinander. *Holzforschung und Holzverwertung*, 43, 3: 68–70

Niemz P., Bauer S., Fuchs I. 1992. Beziehungen zwischen Struktur und Eigenschaften von Spanplatten– Teil 3: Zerspanungsverhalten. *Holzforschung und Holzverwertung*, 44, 1: 12-14.

Ogland N.J. 1949. Hot-air treatment of hardboard. *Transl. For. Prod. Aug.* 10.

Ohlmeyer M., Lukowsky D. 2004. Wood-based panels produced from thermal- treated materials: Properties and perspectives. *Conference on Wood Frame Housing Durability and Disaster Issue*, 4–6th Oct, Las Vegas, str. 127–131.

Patzelt M., Stingel R., Teischinger A. 2002. Thermische Modifikation von Holz und deren Einfluss auf ausgewählte Holzeigenschaften, V: *Modifiziertes Holz: Eigenschaften und Märkte*. Teischinger A., Stingel R. (ed.). Wein, Lignovisinen: 101-147

Paul W., Ohlmeyer M., Leithoff H., Boonstra M.J., Pizzi A. 2006. Optimizing the properties of OSB by one step heat pre-treatment process. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 64: 227-234.

Poblete H., Roffael E. 1985. On chemical changes in wood particles during pressing with urea-formaldehyde resins as binder. *Holz Roh- Werkst*, 43, 1:57-62.

Raggers J. 2007. Proces /Durability, Larenstein, Velp, Nederland. <http://www.ivalsa.cnr.it/euris/english/4/4.pdf> (18. dec. 2012)

Rapp A.O., Sailer M. 2001. Oil heat treatment of wood in Germany – state of the art. V: Review on heat treatments of wood. Rapp A.O. (ed.) Luxemborg, *Office for Official Publications of the European Communities*: 45-59.

Rep G., Pohleven F. 2001. Wood modification – a promising method for wood preservation = Modifikacija drva – obećavajuća metoda za zaštitu drva. In: *Wood in construction industry- International conference*. Despot, R. (ed.), Zagreb: Šumarski fakultet: 19-26.

Rep G., Pohleven F. 2002. Wood modification – a promising method for wood preservation = Modifikacija drva – obećavajuća metoda za zaštitu drva. *Drvna industrija*, 52, 2: 71-76.

Rep G., Pohleven F., Bučar B. 2004. Characteristics of thermally modified wood in vacuum. *IRG/WP 04-40287*: 8.

Roffael E., Rauch W. 1973. Influence of temperature and thermal after-treatment on some physical properties of di-isocyanate-bonded particle boards. *Holz Roh- Werkst*, 31, 10: 402 - 405.

Sailer M., Rapp A.O., Leithoff H. 2000. Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment. *IRG/WP 00-40162*: 12.

Santos J. 2000. Mechanical behaviour of Eucalyptus wood modified by heat. *Wood Sci Technol*, 34: 39 - 43.

Seborg RM, Tarkow H, Stamm A.J. 1953. Effect of heat upon the dimensional stabilisation of wood. *Journal Forest Products Research Society*, 3, 9: 59-67.

Sekino N., Inoue M., Irle M.A. 1997. Thickness swelling and internal bond strength of particles made of steam-pretreated particles. *Mokuzai Gakkaishi*, 43, 12: 1009- 1015.

Sekino N., Inoue M., Irle M.A. 1998. The bond quality of steam pre-treated particles. In: *The 2nd European Panel Products Symposium*: 30-38.

Shen K.C. 1973. Steam-press process for curing phenolic-bonded particleboard. *Forest Products Journal*, 23, 3: 21-29.

Solecnik N.J., Siskina A.P. 1964. The influence of decomposition products of wood constituents on the production technology and properties of wood fibreboards made by dry and semi-dry methods. *Lesn-Z,-Arhangel-sk.*, 7, 3: 144-52.

Stamm A.J. 1964. Wood and cellulose science. *The Ronald Press Company*. USA

Subiyanto B., Takino S., Kawai S., Sasaki H. 1991 Production of thick low-density particleboard with a semi-continuous steam-injection press. *Mokuzai Gakkaishi*, 37, 1: 24.

Syrjanen T., Oy K., 2001. Production and Classification of Heat Treated Wood in Finland. Proceedings of Special Seminar Held in Antibes, Cost Action E22, *Review on Heat Treatments of Wood*, France: 11-19.

Taylor J.D. 1987. Commercial aspects of producing dimensionally stable wood composites. 22th Prod. Wash. State Univ. Inter.Particleboard/Compos. Materials Symposium.

Tišler V., Malnarič A. 2002. pH vrednosti lesa. *Les*, 54, 10: 320–324.

Tjeerdsma B.F., Boonstra M., Pizzi A., Tekely P., Militz H. 1998. Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 56: 149-153.

Tomek A. 1965. Reducing the hygroscopicity of chipsboards by subsequent chemical treatment of boards or heat treatment of the raw material. *Faipari-Kutatasok*, Budapest. 2: 3-52.

Tomek A. 1966. Decreasing chipboard hygroscopicity by heat treatment of the elementary parts (chips). *Faipari-Kutatasok*, Sopron. 2: 189-209.

Tomimura Y., Matsuda T. 1986. Particleboard made of steamed flakes. *Mokuzai Gakkaishi*, 32, 3:170-175.

Winandy J. E., Krzysik A. M. 2007. Thermal degradation of wood Fibers during hot pressing of mdf composites□: part 1 . Relative Effects and benefits of thermal exposure, 39, 3: 450–461.

Winandy J.E. Smith W.R. 2006. Enhancing Composite Durability: Using Thermal Treatments. *Wood Protection 2006-Session IVB*

ZAHVALA