

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Janez ZUPANČIČ

**DIMENZIJSKA OBSTOJNOST IVERNIH PLOŠČ S
POVIŠANO GOSTOTO**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Janez ZUPANČIČ

**DIMENZIJSKA OBSTOJNOST IVERNIH PLOŠČ S POVIŠANO
GOSTOTO**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

DIMENSIONAL STABILITY OF HIGH DENSITY PARTICLEBOARD

GRADUATION THESIS

University studies

Ljubljana, 2010

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

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Sergeja Medveda, za recenzenta pa izr. prof. dr. Milana Šerneka.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Janez ZUPANČIČ

KLJUČNA INFORMACIJSKA DOKUMENTACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 630*862.2
KG	iverna plošča/debelinski nabrek/delež lepila/UF lepilo/MF lepilo
AV	ZUPANČIČ, Janez
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	2010
IN	DIMENZIJSKA OBSTOJNOST IVERNIH PLOŠČ S POVIŠANO GOSTOTO
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	VIII, 48 str., 13 pregl., 16 sl., 32 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Ugotavljali smo dimenzijsko obstojnost enoslojnih ivernih plošč s povišano gostoto. V preizkusu smo uporabili 3 vrste lepila: urea-formaldehidno (UF), melamin-urea-formaldehidno (MUF) ter melamin-formaldehidno (MF) lepilo. Izdelane plošče so se razlikovale glede na vrsto lepila, delež lepila (od 15 do 25%), debelino in gostoto. Ugotavljali smo debelinski nabrek ter mehanske lastnosti izdelanih ivernih plošč. Na debelinski nabrek plošč s podobno gostoto zelo vpliva delež in vrsta uporabljenega lepila; ob povečevanju deleža lepila do 25 % se debelinski nabrek manjša. Prav tako se debelinski nabrek zmanjša, če uporabimo modificirano UF ali MF lepilo. Melamin-formaldehidno lepilo se je izkazalo za zelo učinkovito pri zmanjševanju debelinskega nabreka. Ob uporabi UF lepila in deleža lepila 15 % smo zagotovili minimalen debelinski nabrek tako, da smo ivernim ploščam zmanjšali gostoto in povečali debelino. S tem so se poslabšale nekatere druge lastnosti kot je upogibna trdnost, povečala pa se je adsorpcija vode.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	UDC 630*862.2
CX	particleboard/thickness swelling/bonding factor/UF resin/MF resin
AU	ZUPANČIČ, Janez
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	2010
TI	DIMENSIONAL STABILITY OF HIGH DENSITY PARTICLEBOARDS
DT	Graduation Thesis (University studies)
NO	VIII, 48 p., 13 tab., 16 fig., 32 refs.
LA	sl
AL	sl/en
AB	Thesis shows how to improve dimensional stability of high density particleboards. Many types of single layer particleboards were produced. Resin type (UF, MUF, MF), resin content (15 %, 20 % and 25 %), board density (861- 1030 kg/m³) and board thickness (5.3 - 19.8 mm) were variable factors. Pressing temperature (180 °C) and pressing time (7 min.) were constant. Particleboards were investigated for dimensional stability (thickness swelling) according to the SIST EN 317 standard. Panels were tested for their mechanical properties including modulus of elasticity and bending strength according to the SIST EN 310 standard. Overall results show resin content and resin type used in particleboards have a great influence on particleboard properties. Dimensional stability was improved as the resin content increased from 15 % to 20 %. Where MUF and MF resin were used the thickness swelling was reduced. Melamine formaldehyde resin proved to be very effective in reducing thickness swelling of particleboards. The use of UF resin type and resin content 15 % causes minimum thickness swelling if the density of particleboards is reduced and thickness increased; some other features like bending strength diminish, and water absorption augments.

KAZALO VSEBINE

	str
KLJUČNA INFORMACIJSKA DOKUMENTACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VI
KAZALO SLIK	VII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	2
1.3 CILJI NALOGE	2
2 PREGLED LITERATURE	3
2.1 DEBELINSKI NABREK	3
2.2 MEHANSKO FIZIKALNE IN DRUGE LASTNOSTI	4
2.3 HIDROTERMIČNA OBDELAVA IVERI	6
2.3.1 Prenos toplote med procesom stiskanja	7
2.3.2 Nastanek gostotnega profila	9
3 MATERIAL IN METODE	11
3.1 MATERIAL	11
3.1.1 Vezivo in aditivi	11
3.1.2 Iverje	11
3.2 METODE DELA	11
3.2.1 Zasnova dela	11
3.2.2 Oblepjanje	12
3.2.3 Natresanje iveri	13
3.2.4 Stiskanje	13
3.2.5 Ohlajevanje, kondicioniranje in razžagovanje plošč	14
3.2.6 Debelinski nabrek	15
3.2.7 Gostota	16
3.2.8 Upogibna trdnost in modul elastičnosti	16
4 REZULTATI	18
4.1 GOSTOTA IVERNIH PLOŠČ	18
4.2 DEBELINSKI NABREK	19
4.3 UPOGIBNA TRDNOST IN MODUL ELASTIČNOSTI	20
5 RAZPRAVA IN SKLEPI	23
5.1 RAZPRAVA	23
5.1.1 Vpliv debeline in gostote na debelinski nabrek in mehanske lastnosti ...	23
5.1.2 Navzem vode	25
5.1.3 Modul elastičnosti	27
5.1.4 Upogibna trdnost	29
5.1.5 Vpliv deleža lepila na debelinski nabrek ivernih plošč	30
5.1.6 Vpliv vrste lepila na debelinski nabrek ivernih plošč	31
5.2 SKLEPI	33
6 POVZETEK	34
7 VIRI	37
8 ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Primer recepture za pripravo iverne plošče A.	12
Preglednica 2: Količina materiala za izdelavo plošč	12
Preglednica 3: Povprečne vrednosti mehanskih in fizikalnih lastnosti glede na vrsto in delež lepila.....	18
Preglednica 4: Gostota in faktor stisljivosti plošč A, B, C, D, E, F	18
Preglednica 5: Gostota in faktor stisljivosti (CR) plošč G, H	19
Preglednica 6: Gostota in faktor stisljivosti (CR) plošč I, J	19
Preglednica 7: Debelinski nabrek in gostota za plošče izdelane z UF lepilom	19
Preglednica 8: Debelinski nabrek in gostota za plošči G, H (MF 20%).....	20
Preglednica 9: Debelinski nabrek in gostota plošč I ter J (MF 20%).....	20
Preglednica 10: Prikaz mehansko-fizikalnih lastnosti ivernih plošč.	22
Preglednica 11: Debelinski nabrek ivernih plošč v odvisnosti od gostote in debeline.....	24
Preglednica 12: Prikaz navzema vode glede na gostoto iverne plošče.....	26
Preglednica 13: Razlike med lepilnimi sredstvi razvrščene po zmanjševanju debelinskega nabreka.....	32

KAZALO SLIK

Slika 1: Natezna trdnost glede na pH in molarno razmerje F/U/M.....	6
Slika 2: Prenos toplote v začetni fazi stiskanja (Torrey 2001)	7
Slika 3: Nastanek gostotnega profila (Torrey 2001)	9
Slika 4: Shema laboratorijske stiskalnice	13
Slika 5: Diagram stiskanja ivernih plošč v laboratorijski stiskalnici.....	14
Slika 6: Shematski načrt razžagovanja plošč.....	15
Slika 7: Shema naprave za preskušanje upogibne trdnosti.....	17
Slika 8: Značilna krivulja upogibnega testa	21
Slika 9: Prikaz modula elastičnosti vse izdelane plošče.....	21
Slika 10: Povezava debelinskega nabreka in gostote iverne plošče ob neupoštevanju debeline preizkušancev	23
Slika 11: Navzem vode v odvisnosti od gostote ivernih plošč	25
Slika 12: Primerjava debeline plošče in modula elastičnosti	27
Slika 13: Gostotni profili pri različnih hitrostih zapiranja stiskalnice.....	28
Slika 14: Prikaz upogibne trdnosti za plošče D, G, I.....	29
Slika 15: Vpliv deleža lepila na debelinski nabrek	30
Slika 16: Debelinski nabrek v odvisnosti od vrste lepila.....	31

1 UVOD

V zadnjih letih se je uporaba ivernih plošč povečala. Njihova uporaba ni omejena le na izdelavo pohištva v normalnih klimatskih razmerah ampak jih pogosto uporabljamo tudi v spreminjajočih klimatskih pogojih.

Pred razvojem ivernih plošč se je za izdelavo pohištva kakor tudi v gradbeništvu uporabljal masivni les. Ker ima les kot naravni material svoje pomanjkljivosti (dimenzijska nestabilnost) so se skozi čas pojavljala vprašanja o njegovi predelavi, da bi les čim bolj služil namenom uporabe.

Predvsem iznajdba sintetičnih lepil je povzročila masovno proizvodnjo ivernih plošč, ki so po svojih mehansko-fizikalnih lastnostih primernejše od masivnega lesa. V začetku je bila uporaba lepil omejena le na urea-formaldehidna (UF) lepila, ki so bila neodporna na vlago, kasneje pa se je pričela izdelava ivernih plošč z uporabo melamin-formaldehidnega (MF) lepila. Takšne plošče so bile odporne na povišano toploto in vlago.

Iverne plošče so v splošnem dimenzijsko bolj stabilne kot masivni les, njihova negativna lastnost je le nabrekanje v debelini.

Mnogo raziskav je bilo že opravljenih na temo zmanjšanja debelinskega nabreka, vendar noben avtor ni dokončno rešil problema nabrekanja ivernih plošč, zato je omenjeni problem še vedno aktualen.

Tudi nas je zanimalo, kateri dejavnik ima večji vpliv na zmanjšanje debelinskega nabreka ivernih plošč. Proučevali smo vpliv vrste lepila, deleža lepila in gostote na debelinski nabrek ivernih plošč.

V času, kjer ima vedno večji pomen skrb za okolje, smo se spraševali ali je smiselno proizvajati plošče s povišano gostoto (kjer je zahtevan večji delež vhodne surovine) in, če izboljšane lastnosti ivernih plošč opravičujejo večjo porabo sintetičnih lepil ter lesne mase in s tem onesnaževanje okolja in krčenje gozdov.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Spreminjajoča se klima oz. vlažni klimatski pogoji predstavljajo ivernim ploščam težavo, ki se kaže v povečanem debelinskem nabreku. Takšne plošče so najpogosteje izdelane z uporabo urea-formaldehidnega lepila (UF). Zahteva po vodoodpornem izdelku iverne plošče, s čim manjšim debelinskim nabrekom nas sili v razvoj in raziskovanje novih proizvodov. V tem raziskovalnem delu bomo ugotovili na kakšen način in s katerimi sredstvi je smiselno zmanjšati debelinski nabrek ivernih plošč.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Za izvedbo raziskovalnega preizkusa smo se odločili izdelati enoslojne iverne plošče s povišano gostoto. Uporabili smo mešano (bukovo in smrekovo) iverje, urea-formaldehidno lepilo,(UF) melamin-urea-formaldehidno lepilo (MUF), ter melamin-formaldehidno lepilo.(MF) Vsaka plošča je imela različno debelino, različno gostoto, različno lepilno mešanico ter različen delež lepila, zato domnevamo:

- Iverne plošče z nižjim deležem lepila imajo večji debelinski nabrek kakor plošče z višjim deležem lepila.
- Uporaba melamin-formaldehidnega lepila povzroča odpornejše spoje kot uporaba urea-formaldehidnega lepila, zato bodo plošče izdelane z melamin-formaldehidnim lepilom imele manjši debelinski nabrek.
- Plošče zlepljene z melamin-formaldehidnim lepilom bodo imele manjši debelinski nabrek kot plošče zlepljene z melamin-urea-formaldehidnim lepilom.
- Plošče z enakim deležem lepila bodo imele večji debelinski nabrek pri uporabi urea-formaldehidnega lepila, kot pri uporabi melamin-formaldehidnega lepila.
- Plošče z višjo gostoto bodo imele večji debelinski nabrek kot plošče z nižjo gostoto ob uporabi enakega lepila ter pogojev stiskanja.

1.3 CILJI NALOGE

Namen raziskovalnega dela je prikazati vpliv različnih vrst in deleža lepila na debelinski nabrek iverne plošče .

Poskušali bomo dokazati še v kakšni povezavi je gostota ivernih plošč z debelinskim nabrekom.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 DEBELINSKI NABREK

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

Pirkmaier in Medved (1996) sta ugotovila, da različne drevesne vrste povzročajo različne debelinske nabreke v iverni plošči. Iveri bukovine bolj nabrekajo kot smrekove iveri.

Velikost nabreka pri ivernih ploščah pri potapljanju se v veliki meri odraža zaradi napetosti lesa, ki hoče nazaj v prvotno pozicijo (Klauditz 1956).

Wang in Winistorfer (2001) sta ugotovila, da v iverni plošči, ki je izpostavljena delovanju vode, popuščajo lepilne vezi, kar se kaže v povečanem debelinskem nabreku.

Stegmann in Kratz (1967) sta raziskala nabrek, z urea-formaldehidnim lepilom lepljene iverne plošče različnih gostot ($0,45 - 0,75 \text{ g/cm}^3$) in z različnimi deleži lepila (7,4 – 13,8%). Pri potapljanju preizkušancev sta ugotovila, da tako gostota, kot vsebnost vezivnega sredstva vplivata na nabrek iverne plošče v vodi. Gostota naj bi imela večji vpliv na debelinski nabrek kot vsebnost veziva. S povečevanjem gostote iverne plošče se je povečal tudi nabrek, medtem, ko je dodajanje vezivnega sredstva povzročilo zmanjšanje debelinskega nabreka.

Večji delež lepila v iverni plošči se odraža v manjšem debelinskem nabreku (Beech 1975, Halligan 1970, Lehman 1965).

Gatchell in sod. (1966) sklepajo, da ima delež lepila najpomembnejši vpliv na debelinski nabrek in odpornost na zunanje vplive. Naredili so test, kjer so uporabili fenolno vezivo in izdelali plošče z različnimi deleži lepila, nato pa jih izpostavili pogojem 90% relativne zračne vlažnosti. Rezultati, ki potrjujejo njihove domneve, se kažejo v zmanjšanju debelinskega nabreka iz 16,4% na 11,6% pri uporabi deleža lepila od 2% do 10%.

Colak in sod. (2004) so ugotovili, da lahko s povečevanjem razmerja melamin/urea v vezivu iz 45/55 na 50/50 povečamo odpornost plošč proti delovanju vode. Zavedajo se tudi, da izdelava takih plošč ni ekonomsko upravičena.

Debelinski nabrek je večji pri ploščah s povišano gostoto, predvsem pri tistih s gostoto nad 850 kg/m^3 (Ayrilmis 2007).

Gatchell s sodelavci (1966), kot tudi Halligan in Schneiwind (1972) so ugotovili, da se šele pri zračni vlažnosti nad 80% kaže pomemben vpliv gostote na debelinski nabrek iverne plošče. Na tem področju se je nabrek zviševal premo sorazmerno z višanjem gostote.

Xu in Winistorfer (1995) in Xu in sod. (1996) so raziskovali vpliv gostotnega profila na debelinsko nabrekanje in adsorpcijo vode v 3- slojni iverni plošči. Gostotni profil sta določila z napravo za določanje gostotnega profila, ki je bila zasnovana na principu tanjšanja gama žarkov skozi preizkušanec. Uporabljala sta radioaktiven miricij 241 z energijo 60KeV. Gostotni profil sta merila pred potopom preskušancev v vodno kopel, ter po potopu.

Ugotovila sta, da zunanji sloj vrhnje plošče, ki je bolj zgoščen, pripomore večji delež k celotnemu debelinskemu nabreku, kot srednji sloj z nižjo gostoto.

Wang in Winistorfer (2001) sta raziskala povezavo med stisljivostjo iverja in debelinskim nabrekom. Ugotovila sta, da se z večanjem zgostitve iverja večja tudi debelinski nabrek iverne plošče. Poleg uporabljene vrste lesa, velikosti iverja in stopnje oblepljenosti iverja omenjeni avtorji, kot pomemben dejavnik izpostavljajo tudi stisljivost iverja. Ugotovili so, da so lesne vrste nižjih gostot bolj stisljive kot lesne vrste z višjo gostoto. Avtorji so tudi mnenja, da lahko s povečanjem tlaka stiskanja dosežemo boljše lastnosti plošč, vendar opozarjajo, da lahko prevelik tlak stiskanja povzroči porušitev celičnih sten.

Pri razmerju med nabrekom, vrsto lepila in deležem lepila, je bilo ugotovljeno, da je vez med lepilom in iverjem močnejša, če povečamo delež lepila, medtem ko se debelinski nabrek in adsorpcija vode zmanjšata (Schneider in sod. 1996).

Mnogo dejavnikov vpliva na zgostitev iverne plošče med procesom stiskanja: temperatura plošč v stiskalnici, vlažnost iveri in vlažnost srednjega in 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).

Boehme in Hora (1996) sta ugotavljala vpliv vrste lesa na vpijanje vode in kot omočitev. Najmanjše vpijanje sta ugotovila pri hrastu, temu sledi smreka, največje pa je bilo pri bukvi. Ugotovila sta, da na vpijanje vode vpliva delež ekstrakcijskih komponent, kar vpliva tudi na kakovost lepljenja. Boljše lastnosti lepljenih spojev sta zaznala pri preskušancih, pri katerih so bile predčasno odstranjene ekstrakcijske komponente. Najmanjši kot omočitve in največjo dinamiko vpijanja sta ugotovila pri smreki, sledila je bukev, medtem ko sta največji kot omočitve ter najmanjšo dinamiko vpijanja ugotovila pri hrastu. Hrast vsebuje tudi največ ekstrakcijskih komponent. Med kontaktnim kotom in gostoto nista ugotovila soodvisnosti.

2.2 MEHANSKO FIZIKALNE IN DRUGE LASTNOSTI

Plošče s povišano gostoto vsebujejo iveri mehkih lesnih vrst z gostoto 0,3 do 0,5 g/ cm³ ker s tem dosežemo večjo zgostitev materiala, kot z ivermi gostejših lesnih vrst. Plošča z gostoto 1 g/ cm³ ima tako lahko faktor stiskanja celo 2,9:1. Tako izdelana plošča ima v primerjavi z običajnimi ploščami višjo upogibno trdnost in togost (Maloney 1977).

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

Plath (1971) in Hänsel in sod. (1988) so ugotavljali korelacije med vertikalno porazdelitvijo gostote ter mehanskimi in fizikalnimi lastnostmi. Za izdelavo plošč so uporabili iverje hrasta in bora. Vertikalno porazdelitev gostote so določili s skobljanjem. Ugotovili so, da se z večanjem debeline iverja srednjega sloja večja povratna deformacija (springback) srednjega sloja, kar je povzročilo močnejšo zgostitev zunanjega sloja in s tem tudi večjo gostoto le- tega. Ugotovili so tudi, da se s povečanjem razmerja debeline iverja srednjega in zunanjega sloja manjša upogibna trdnosti plošč.

Niemz in Bauer (1991) in Niemz in sod. (1992) so ugotavljali povezave med strukturo enoslojne plošče in njenimi lastnostmi. Izdelali so enoslojne iverne plošče iz različno debelega iverja, različnega deleža lepila, različnih gostot in z različnim deležem lesnega prahu. Ugotovili so, da se upogibna trdnost plošč manjša z uporabo debelejšega iverja in večja z povečevanjem deleža lepila in gostote plošč. Na upogibno trdnost je najbolj vplivala sprememba gostote plošč. Ugotovili so še, da se modul elastičnosti z večanjem gostote plošč večja, ter, da se do debeline iverja 0,45 mm modul elastičnosti večja, nato pa začne padati.

Medved in Resnik (2003) sta raziskovala, kako zgostitev iverja vpliva na relaksacijo iverja po odprtju stiskalnice. Ugotovila sta, da se z večanjem zgostitve večja tudi relaksacija in nabrek iverja.

Medved in Resnik (2003) sta ugotavljala obnašanje borovega iverja v pogojih vročega stiskanja. Iverje, pri katerem sta simulirala pogoje stiskanja v zunanjem sloju, sta stisnila pri temperaturi 200°C na gostoto 0,770 g/cm³. Iverje pri katerem sta simulirala pogoje stiskanja srednjega sloja, pa pri temperaturi 105°C na gostoto 0,770 g/cm³. Maksimalen tlak stiskanja je bil dosežen po 30 sekundah, nakar je v fazi konstantnega tlaka prišlo do relaksacije iverja. Porušitev celične stene zaradi delovanja visokega tlaka in temperature sta ugotovila predvsem pri iverju pri katerem sta simulirala pogoje zunanjega sloja. Večje zmehčanje celične stene sta dosegla pri višji temperaturi, s čemer je omogočeno stiskanje na višjo gostoto. Pri iverju, kjer sta simulirala pogoje srednjega sloja, je bila povratna deformacija večja. Večji reverzibilni nabrek sta ugotovila pri iverju zunanjega sloja.

Chung in sod (2008) so proučevali kakšen vpliv ima povečevanje razmerja formaldehid/urea/ melamin na debelinsko nabrekanje in absorpcijo vode v ivernih ploščah.

Izdelali so 18 plošč po sistemu dveh časov stiskanja in dveh vrednosti pH. Najprej so izdelali serijo plošč, ki je imela pH 4,5. Prvi del plošč so stiskali 2 minuti, drugi del pa 4 minute. V vsakem časovnem intervalu so oblikovali 4 različne lepilne mešanice z različnim molarnim razmerjem.

Razmerja so bila naslednja F/U/M

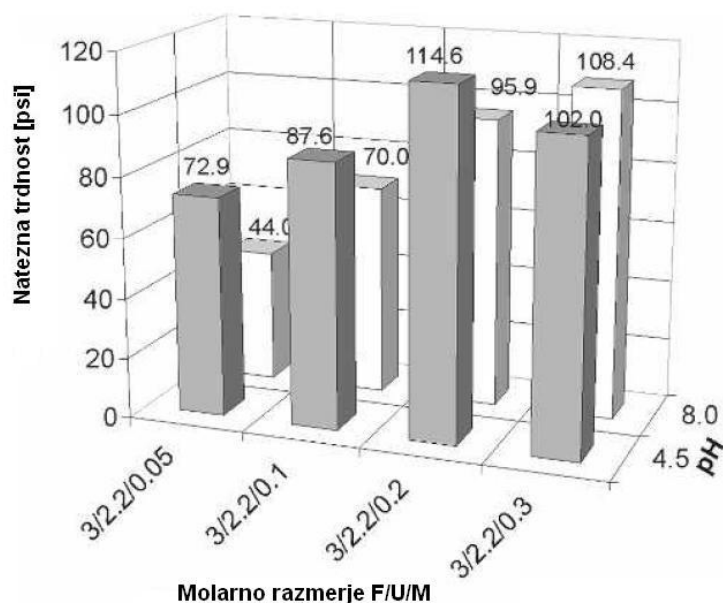
- 3/2,2/0,3
- 3/2,2/0,2
- 3,2/2,2/0,1
- 3/2,2/0,05

Na takšen način so zlepili 4 plošče, nato pa so po istem postopku izdelali še dodatne 4 plošče, ki so se stiskale 4 minute ter še dodatno en kontrolni preizkušane, ki ni vseboval melamina. Skupno torej 9 plošč za pH 4.5

Kasneje so celoten postopek ponovili z razliko, da je pH narasel na 8 oz. iz kislega utrjevanja so prešli na alkalno. Skupno so torej izdelali 18 plošč.

Ugotovili so, da je debelinski nabrek in absorpcija vode v močni povezavi s časom stiskanja in pH vrednosti lepilne mešanice. Plošče, ki so se stiskale 4 minute so imele mnogo manjše debelinske nabreke in absorpcijo vode v primerjavi z ploščami, ki so se stiskale samo 2 minuti. Nenazadnje so prišli tudi do ugotovitve, da so imele plošče, ki so bile lepljene v kislem mediju hitrejšo utrjevanje lepila, višje trdnosti, nižje emisije formaldehida, manjši debelinski nabrek in absorpcijo vode kot tiste plošče lepljene v alkalnem okolju (pH 8).

Chung in sod. (2008) so ugotovili, da povečevanje molarne razmerja melamina nima vedno pozitivnega učinka na karakteristike ivernih plošč. Ima pa pozitiven učinek na zmanjševanje debelinskega nabreka, vsebnost prostega formaldehida in absorpcijo vode. Ugotovili so tudi, da povečevanje vsebnosti melamina nad 0,2 mol, nima večjega vpliva pri zmanjševanju debelinskega nabreka ivernih plošč. Njihovi rezultati so prikazani na sliki 1. (1 psi predstavlja 6,894,757 N/m²)



Slika 1: Natezna trdnost glede na pH in molarno razmerje F/U/M
(Chung 2008)

2.3 HIDROTERMIČNA OBDELAVA IVERI

Fengel in Wegener (1989) sta ugotovila, da visoka temperatura, okoli 180°C, ob prisotnosti vlage (vlažnost iverja v zunanem sloju sta uravnala na cca. 13%), povzroči v iveri pogači hidrotermično obdelavo lesa oz. zmehčanje lesa. Pri temperaturi nad 100°C in prisotnosti vlage se iz lesa pričneta sproščati mravljična (HCOOH) in očetna kislina (CH₃COOH).

Zaradi spremembe pH vrednosti lesa, ki jo povzroči prisotnost kislega utrjevalca in sproščanje kislin, se sproži razgradnja hemiceluloze in delno tudi razgradnja lignina, kar povzroči zmečkanje lesa.

Pri parjenju z naraščanjem temperature elastičnost lesa pada, večja pa se plastičnost. Do tega pride zato, ker pri višjih temperaturah poteka razgradnja najbolj higroskopnih in nestabilnih polioz. Tako les postaja plastičen že pri temperaturi 80°C. Za plastifikacijo uporabljamo temperaturo do 150°C (Geršak in sod. 1986).

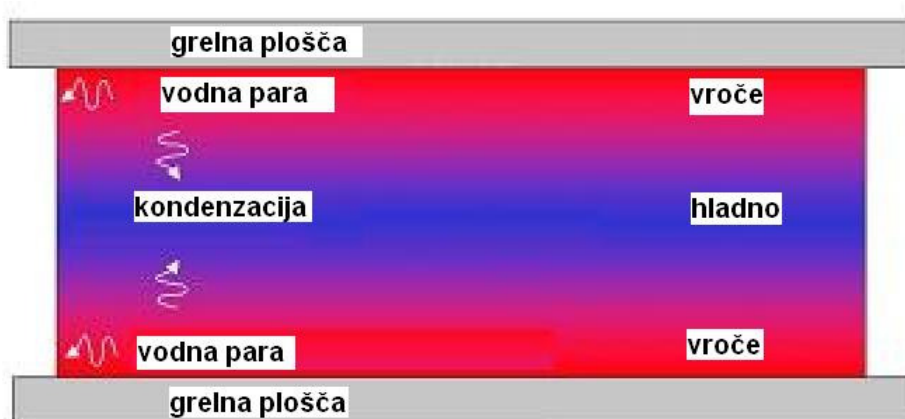
Temperatura je ključnega pomena pri stiskanju ivernih plošč, saj povzroči mehčanje oz. plastifikacijo iveri. Brez povečane temperature bi se med procesom stiskanja iverje zdrobilo.

2.3.1 Prenos toplote med procesom stiskanja

V trenutku, ko položimo oblepljeno iverje na vročo ploščo stiskalnice se že prične proces utrjevanja oz. segrevanja. Ta proces je v proizvodnji ivernih plošč zelo pomemben. V osnovi poteka prenos toplote s pomočjo konvekcije ali migracije vodne pare skozi iverno pogačo med procesom stiskanja.

Kondukcija je zelo pomembna za prenos toplote med ploščami stiskalnice in ploskvijo iverne pogače (Humphrey in Bolton 1987). Pomembnost kondukcije med procesom stiskanja je eden izmed razlogov zakaj iveri ne sušimo pod 5%. Brez zadostne količine vlage v pogači ne bo popolnega prenosa toplote iz zunanjih slojev na notranje sloje iverne pogače, posledica bo največkrat pregret zunanji sloj in dolgi časi stiskanja.

Slika 2 nam prikazuje prenos toplote v začetni fazi stiskanja



Slika 2: Prenos toplote v začetni fazi stiskanja
(Torrey 2001)

V začetni fazi stiskanja, ko tlak še ne deluje na iverno pogačo, le plošči stiskalnice se dotikata površine, se prične segrevanje zunanjega sloja, medtem ko je srednji sloj še hladen. Primarno segrevanje opravlja kondukcija, toplota se iz vročih plošč stiskalnice prenaša na zunanje sloje iverne plošče. Ko so zunanje plasti iverja dovolj segrete se prične iz njih izločati vodna para. V iverni pogači se ustvari gradient temperature in vlažnostni

gradient, ki hitro najde pot proti hladnejši sredini iverne plošče, kjer na hladnejših iverah vlaga kondenzira in na tak način odda latentno toploto (Humphrey in Bolton 1987). Sedaj primarno vlogo segrevanja znotraj pogače opravlja konvekcija. Vodna para izhaja iz robov iverne plošče proti koncu stiskanja, ko se srečata zgornji in spodnji vlažnostni gradient. Vodna para si utre pot proti okoliškemu zraku, saj jo v to sili tlačni gradient (Kelly 1977). Kondenzacija vodne pare iz zunanjih slojev iverne pogače v notranji del ustvari gradient vlažnosti, kar postane zelo izrazito ob koncu stiskanja plošče. Vlaga, ki je v začetni fazi segrevanja prehajala iz zunanjih slojev v notranji del iverne pogače, se je, ko se je segrela celotna iverna pogača, zaustavila v srednjem sloju iverne plošče (Kelly, 1977).

Humphrey in Bolton (1987) sta mnenja, da je kondukcija najpomembnejši način prenosa toplote v območjih kjer je vlažnost zelo majhna zaradi izgub, ki jih je povzročila konvekcija.

Interakcija med kondukcijo in konvekcijo vpliva na termično prevodnost, gostoto in permeabilnost iverne pogače. Da se iz plošče izloči vsa odvečna vodna para, moramo ploščo ohlajati in kondicionirati.

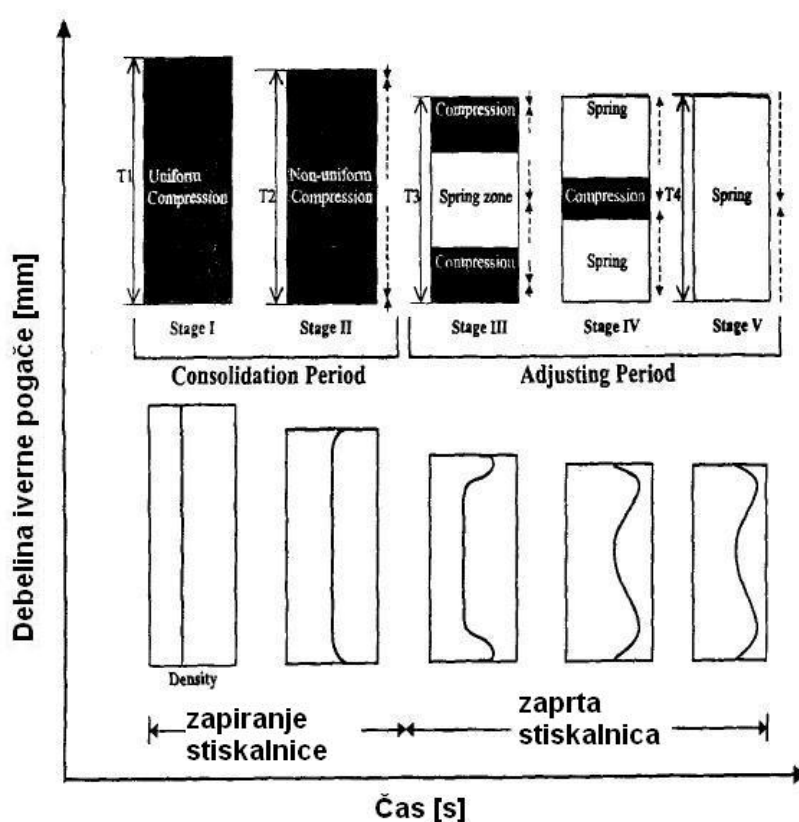
Temperatura med procesom stiskanja opravlja več funkcij, poleg že omenjene plastifikacije lesa in odvajanja odvečne vode, temperatura odigra pomembno vlogo pri utrjevanju lepila.

Lepilo, ko pride v stik s toploto se prične segrevati, zmanjša se mu viskoznost, kar pomeni, da se zmanjša odpornost proti tečenju. Lepilo se tako lažje razliva in poveča se mu penetracija oz. prodor v iveri. Polikondenzacija lepila najprej poteče v zunanjih slojih iverne plošče ob koncu pa še v srednjem sloju. Takrat je lepilo utrjeno, stiskalnico odpremo ploščo pa začnemo ohlajati in kondicionirati.

2.3.2 Nastanek gostotnega profila

Gostotnega profila v našem preskusu nismo proučevali, poznavanje nastanka gostotnega profila pa je pomembno za proučevanje lastnosti kompozitov, zato ga na kratko tudi opisujemo v tem diplomskem delu.

Gostota lesnih kompozitov ni enakomerno porazdeljena skozi debelino. Tipična porazdelitev gostote je prikazana na sliki 3.



Slika 3: Nastanek gostotnega profila
(Torrey 2001)

Prva faza (stage I) na sliki 3 (consolidation period) se pojavi ko se stiskalnica začne zapirati. Iverna pogača se začne enakomerno zgoščevati. Zunanji sloji iverne pogače se zgostijo enako kot srednji sloji. V prvi fazi se iz iverne pogače iztisne velik del praznih prostorov med ivermi.

Druga faza (stage II) nastopi, ko stiskalnica prične izvajati svoj mehanski del stiskanja, oz. tik preden stiskalnica doseže svojo končno lego. Prične se zgoščevanje zunanjega sloja, medtem ko je srednji sloj še nezgoščen. Na koncu te periode je gostota zunanjega sloja največja, kjer intenzivno poteka plastifikacija iveri (Wang in sod. 2001).

»Adjusting period« se pojavi, ko stiskalnica doseže končno pozicijo.

Tretja faza (stage III) je nadaljevanje zgoščevanja zunanega sloja zaradi visoke temperature in vlage. Gostota v zunanjem sloju narašča. Tlak stiskalnice pade, srednji sloj začne pritiskati ob zunanega. Srednji sloj se obnaša kot »vzmet«. Pojavi se tako imenovan »springback efekt«.

Četrta faza nastopi, ko se prične zgoščevati tudi srednji sloj pogače. Faza se pojavi, ko temperatura v srednjem sloju prične naraščati, vlaga pa je v srednjem sloju večja kot v zunanjem sloju, zaradi vlažnostnega gradienta. Gostota zunanega sloja med to fazo pade ker se zunanji sloj obnaša kot »vzmet« (Wang in sod. 2001).

Zadnja peta faza stiskanja se pojavi, ko odpremo stiskalnico in ko vodna para odpari iz iverne pogače. Celotna plošča se obnaša kot »vzmet«. »Springback« ni enoten po celotnem preseku, ampak je večji v notranjem sloju, zaradi razlik v temperaturi, vlagi, gostoti in utrjevanju lepila (Wang in sod. 2001).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIAL

3.1.1 Vezivo in aditivi

Uporabili smo 3 vrste lepila in sicer:

- Urea-formaldehidno lepilo (UF)
- Melamin-urea-formaldehidno lepilo (MUF)
- Melamin-formaldehidno lepilo (MF)

Vsa lepila so vsebovala 65.5 ± 2 % suhe snovi.

Vezivni mešanici smo dodali tudi nekatere aditive kot so:

- pospeševalec vezanja, amonijev klorid (20% raztopina NH_4Cl)
- hidrofobno sredstvo, parafinsko emulzijo (60% S.S)

3.1.2 Iverje

V raziskavi smo uporabili industrijsko iverje. Plošče so vsebovale mešano iverje bukovine (25%) ter smrekovine (75%) vlažnosti $H = 2\%$, gostota $\sigma = 0,55 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

3.2 METODE DELA

3.2.1 Zasnova dela

Izdelali smo 10 ivernih plošč z različnimi parametri izdelave.

Preglednica 1: Primer recepture za pripravo iverne plošče A.

	%		Atro [g]	m ₂ [g]	H ₂ O [g]
H=13%	0,13	m_IP	3982,301		
H=2%	1,02	m_iveri	3420,853	3489,27	68,417
delež lepila	0,15	m_lepilo	513,128	783,402	270,274
delež Ut.	0,028	m_utrjevalec	14,111	70,555	56,444
delež P.E.	0,01	m_parafinska emulzija	34,209	57,014	22,806
		Vsota		4400,241	417,94
		m_voda		99,759	

4500

V preglednici 1 so predstavljene izračunane vrednosti za: količino iveri za ploščo A. [H=2%] 3489,27g, delež lepila [s.s.=65,5] 783,40g, delež utrjevalca [s.s.= 20%] 70,55g, delež parafinske emulzije [s.s.=60%] 57,04g. Ciljna vlažnost oblepljenih iveri je H=13% zato moramo lepilni mešanici dodati še 99,76g vode.

Preglednica 2 nam prikazuje zbir celotnih podatkov za izvedbo poskusa.

Preglednica 2: Količina materiala za izdelavo plošč

Plošča	Iverje [g]	Lepilo	Delež Lepila [%]	Lepilo [g]	Parafin [g]	Utrjevalec [g]	Voda [g]	Σ [g]
A	3489,27	MUF	15%	783,4	57,1	70,56	99,76	4500
B	2326,18			522,27	38	47,04	66,51	3000
C	1500,46			336,88	24,52	30,34	42,9	1935,09
D	1856,55		20%	555,77	30,34	50,05	7,3	2500
E	2599,17			778,08	42,47	70,08	10,205	3500
F	2455,74		25%	918,93	40,126	82,761	2,451	3500
G	2153,59	MUF	20%	644,69	35,19	58,06	8,46	2900
H	1188,19			355,69	19,41	32,04	4,665	1600
I	2153,59	MF		644,69	35,19	58,06	8,46	2900
J	1336,72			400,155	21,84	36,04	5,25	1800

3.2.2 Oblepljanje

Lepilna mešanica je pomemben dejavnik pri proizvodnji ivernih plošč. Poleg lepila in utrjevalca smo v lepilno mešanico vključili še parafinsko emulzijo kar je odlično in zanesljivo hidrofolno sredstvo, dodali pa smo tudi izračunano količino vode tako, da je vlažnost oblepljenih iveri narasla na 13%.

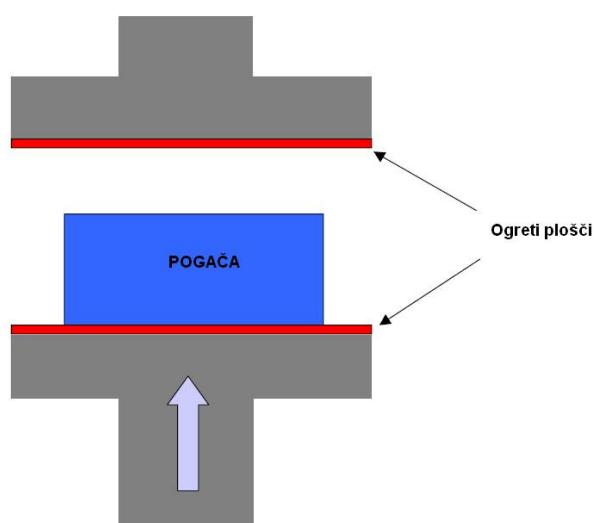
Iveri smo oblepljali z različnim deležem lepila (od 15-25%) v laboratorijskem stroju za oblepljanje 10 minut.

3.2.3 Natresanje iveri

Oblepljene iveri smo zatehtali ter jih nato enakomerno porazdelili v okvir dimenzij 500 mm x 500 mm. Pazili smo le, da so bile iveri čimbolj enakomerno porazdeljene po okvirju kajti le- to nam zagotavlja homogenost plošče.

3.2.4 Stiskanje

Primarna naloga stiskalnice je, da zgosti iverno pogačo v trden in trajen kompozit.

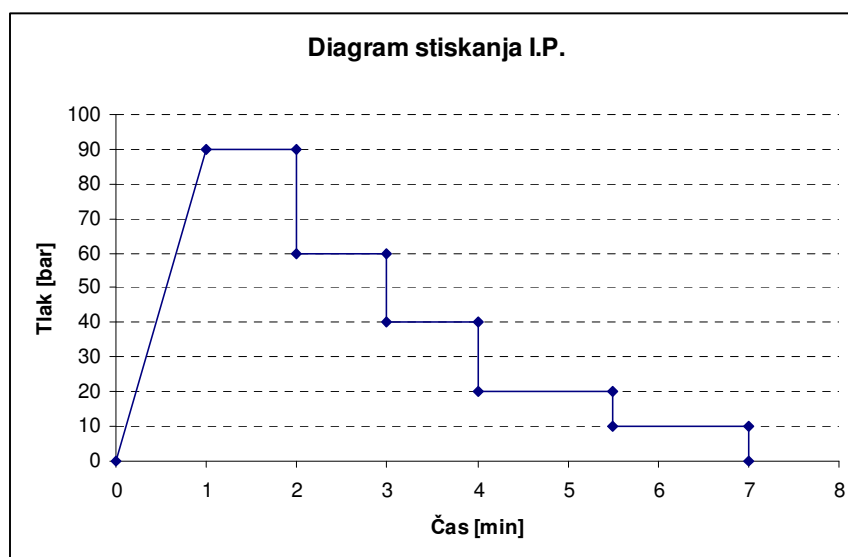


Slika 4: Shema laboratorijske stiskalnice

Po Boltonu (1988) se iverna pogača med procesom stiskanja zgosti približno dvakrat toliko kolikor znaša gostota iveri, kar pa povzroči visoke napetosti med ivermi lesa.

Natreseno iverje smo stisnili v laboratorijski stiskalnici. Shema stiskalnice je prikazana na sliki 4. Plošče stiskalnice so bile ogrete na delovno temperaturo 180 °C. Tlak je znašal 90 bar.

Čas stiskanja z zapiranjem in odpiranjem je bil 7 minut, največji tlak smo dosegli pri 90 bar v začetni fazi in ga postopoma zniževali (slika 5) zaradi odvajanja vodne pare iz plošče. Če tega ne bi storili, bi se kmalu lahko pojavila razslojitev oz. delaminacija plošče.



Slika 5: Diagram stiskanja ivernih plošč v laboratorijski stiskalnici

3.2.5 Ohlajevanje, kondicioniranje in razžagovanje plošč

Po končanem stiskanju smo plošče morali ohladiti. Postavili smo jih vertikalno tako, da je zrak lahko krožil okrog cele plošče, s tem smo preprečili izhlapevanje vlage zgolj iz ene strani plošče, kar bi se odražalo s spremembo notranjih napetosti, posledično bi se izdelana plošča ukrivila v obliki loka.

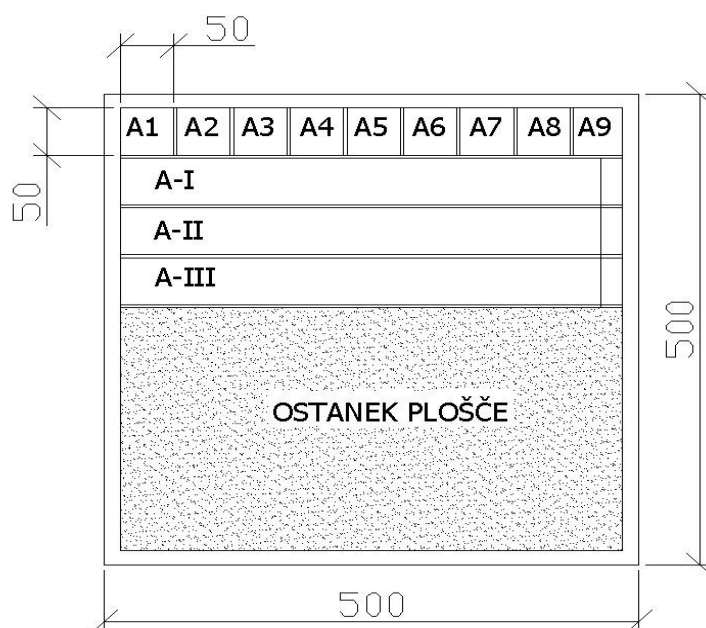
Ohlajevanje je nujno, ker urea-formaldehidne smole pri temperaturi na 70°C v prisotnosti vlage razpadajo in pride do sproščanja formaldehida. Z ohlajevanjem preprečimo poškodbe lepilnega spoja in padec razslojne trdnosti, ki lahko pade tudi do 40% (Čermak, 1992).

Ko iverna plošča zapusti stiskalnico, ima zaradi visokih temperatur stiskanja precej presušeno površino, ki hitro vpija vlago iz zraka in iz sredine plošče, kjer je vlažnost višja. Posledica neenakomerne vlažnosti so notranje napetosti med zunanjsima slojema, ki se raztezata in sredico, ki se krči. Če te napetosti niso v ravnovesju, se plošča deformira. V času kondicioniranja dosežemo higroskopično ravnotežje z vlago iz zraka, napetosti v plošči se izenačijo, to pa je tudi eden od namenov kondicioniranja. Kondicioniranje je tudi čas zorenja lepila v katerem se stabilizirajo mehansko - fizikalne lastnosti plošč (Čermak, 1992).

Temperatura zraka v prostoru, kjer smo izvajali kondicioniranje, je bila 24°C, relativna zračna vlaga je bila 37.2 %.

Kondicioniranje je trajalo 2-3 dni.

Po končanem kondicioniranju smo vse izdelane plošče razžagali po shemi razžagovanja na sliki 6.



Slika 6: Shematski načrt razžaganja plošč

Izžaganim preizkušancem smo določili:

- G_T (24h) [%]-debelinski nabrek preizkušanca
- t [mm]-debelina preizkušanca
- ρ $\frac{g}{cm^3}$]-gostota preizkušanca

3.2.6 Debelinski nabrek

Preskus debelinskega nabreka smo opravili po standardu SIST EN 317.

Iz vsake izdelane plošče smo izžagali 9 vzorcev velikosti (LxH): 50 mm x 50 mm in z mikrometrom izmerili debelino vsakega preizkušanca na dve decimalki natančno. Vsak preizkušanelec smo označili z arabsko številko od 1-9.

Nato smo preizkušance potopili v vodno kopel s temperaturo 20 ± 2 °C, pH vode 7 ± 1 , za 24 h.

Med poskusom so bili vzorci nameščeni v kad vertikalno in ločeno med seboj, niso se dotikali sten, nad njimi pa je bilo 25 ± 5 mm vode.

Po 24h smo preizkušance vzeli iz vodne kopeli, jih obrisali in ponovno izmerili njihovo debelino z mikrometrom na dve decimalki natančno.

Na takšen način smo pridobili vse potrebne podatke za izračun debelinskega nabreka v [%].

Debelinski nabrek smo izračunali po naslednji enačbi:

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \cdot 100 \quad \dots(1)$$

t_1	debelina klimatiziranega preizkušanca [mm]
t_2	debelina preizkušanca po potopitvi [mm]
G_t	debelinski nabrek [%]

3.2.7 Gostota

Ugotavljanje gostote smo izvedli v skladu z evropskim standardom SIST EN 323. Gostota je količnik med maso in volumnom. Izražamo jo v enotah g/cm³.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{[g]}{[cm^3]} \quad \dots(2)$$

Razžaganim preizkušancem smo izmerili:

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

Debelino smo merili na središču preizkušanca, oz. na diagonali kvadrata. Dolžino in širino pa smo izmerili pod kotom 45° glede na zgornjo ploskev preizkušanca.

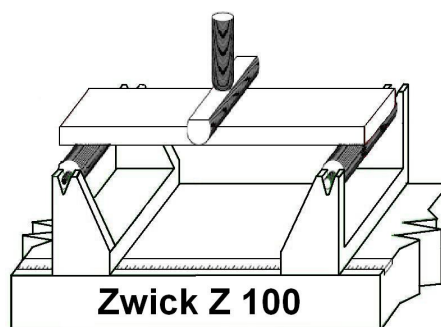
3.2.8 Upogibna trdnost in modul elastičnosti

Upogibno trdnost in modul elastičnosti smo ugotavljali po standardu SIST EN 310.

Iz vsake plošče smo izžagali 3 preskušance dimenzij:

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

t debelina iverne plošče v [mm]



Slika 7: Shema naprave za preskušanje upogibne trdnosti

Enačba za izračun upogibne trdnosti:

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

f_m	Upogibna trdnost [N/mm ²]
F_{MAX}	Sila loma [N]
l_1	Oporiščna razdalja [mm]
b	Širina preizkušanca [mm]
t	Debelina preizkušanca [mm]

Enačba za izračun modula elastičnosti:

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

E_m	Modul elastičnosti [N/mm ²]
F_2	40 % maksimalne sile [N]
F_1	10 % maksimalne sile [N]
b	Širina preizkušanca [mm]
t	Debelina preizkušanca [mm]
a_2	Poves pri 40 % maksimalne sile [mm]
a_1	Poves pri 10 % maksimalne sile [mm]

4 REZULTATI

Preizkušali smo lastnosti ivernih plošč s povišano gostoto. Ugotavljali smo kako se spreminja debelinski nabrek glede na uporabo različnih vrst in deleža lepila.

4.1 GOSTOTA IVERNIH PLOŠČ

V preglednici 3 je zbir podatkov, ki smo jih pridobili s testiranjem izdelanih ivernih plošč.

Preglednica 3: Povprečne vrednosti mehanskih in fizikalnih lastnosti glede na vrsto in delež lepila

Plošča	Vrsta lepila	Delež lepila [%]	t [mm]- debelina	ρ g/cm ³	G_r [%]	f_m [N/mm]	E-modul [N/mm ²]
A	UF	15	19,82	0,861	7,7	19,3	4326
B	UF	15	11,35	0,892	11	19,1	3847
C	UF	15	6,11	0,1026	28	14,7	4126
D	UF	20	9,24	0,916	10,6	23,8	4152
E	UF	20	13,47	0,884	7,1	28,7	4723
F	UF	25	12,91	0,911	8,7	19,3	4411
G	MUF	20	10,81	0,914	7,5	28,5	4669
H	MUF	20	5,34	0,988	9,6	31,7	5220
I	MF	20	10,19	0,987	5,4	31,9	4683
J	MF	20	5,9	0,991	7,8	31,2	4543

Preglednica 4 predstavlja zbir podatkov o gostoti in faktorju zgostitve plošč, ki so bile izdelane z uporabo UF lepila in z različnimi deleži lepila: 15% (A, B, C), 20% (D, E) in 25% (F).

Preglednica 4: Gostota in faktor stisljivosti plošč A, B, C, D, E, F

Plošča	t [mm]	Vrsta lepila	Delež lepila [%]	ρ [g/cm ³]	CR
A	19,82	UF	15	0,861	1,57
B	11,35	UF	15	0,892	1,62
C	6,11	UF	15	1,026	1,87
D	9,24	UF	20	0,916	1,67
E	13,47	UF	20	0,884	1,61
F	12,91	UF	25	0,912	1,66

Plošča, ki ima največji faktor stisljivosti, ima tudi največjo gostoto (plošča C). Iveri v tej plošči so v ekstremno prisiljeni legi, v kateri jih zadržuje lepilno sredstvo. V stiku z vodo

lepilne vezi popustijo, iveri pa silijo v svojo prvotno lego in povzročijo visok debelinski nabrek iverne plošče.

Plošča F je bila izdelana z najvišjim deležem lepila. V našem poskusu je dosegla gostoto $0,912 \text{ g/cm}^3$.

V preglednici 5 vidimo zbir rezultatov, ki smo jih pridobili iz plošč izdelanih z lepilom MUF.

Preglednica 5: Gostota in faktor stisljivosti (CR) plošč G, H

Plošča	t [mm]	Vrsta lepila	Delež lepila [%]	ρ [g/cm ³]	CR
G	10,81	MUF	20	0,914	1,66
H	5,43	MUF	20	0,988	1,80

Plošča G ima manjši debelinski nabrek kot plošča H. Vzrok je v gostoti, lepilu in posledično zaradi večjega faktorja stisljivosti.

Preglednica 6 predstavlja podatke o gostoti plošč, ki so bile izdelane z MF lepilom.

Preglednica 6: Gostota in faktor stisljivosti (CR) plošč I, J

Plošča	t [mm]	Vrsta lepila	Delež lepila [%]	ρ [g/cm ³]	CR
I	10,19	MF	20	0,988	1,80
J	5,90	MF	20	0,991	1,80

4.2 DEBELINSKI NABREK

V preglednici 7 so predstavljeni podatki o ivernih ploščah, ki smo jih izdelali z uporabo urea-formaldehidnega lepila (UF).

Preglednica 7: Debelinski nabrek in gostota za plošče izdelane z UF lepilom

Plošča	t [mm]	Vrsta lepila	Delež lepila [%]	Deb. nabrek [%]	ρ [g/cm ³]
A	19,82	UF	15	7,7	0,861
B	11,35	UF	15	11,1	0,892
C	6,11	UF	15	27,8	0,1026
D	9,24	UF	20	10,6	0,916
E	13,47	UF	20	7,1	0,884
F	12,91	UF	25	8,1	0,911

Preglednica 7 nam prikazuje debelinski nabrek ivernih plošč izdelanih z urea-formaldehidnim lepilnim sredstvom. Plošča C je izkazala največji debelinski nabrek 27,8%, plošča E pa najmanjšega 7,1%. Iz preglednice 7 lahko vidimo, da z naraščanjem deleža lepila narašča dimenzijska obstojnost ivernih plošč.

Plošča F je bila izdelana iz iverja, ki smo ga oblepili z deležem lepila 25%. Plošča F ima debelinski nabrek 8,1%, debelina pa znaša 12,91 mm. Gostota plošče F znaša 0,911 g/cm³ gostota plošče D pa 0,916 g/cm³. Slednja primerjava prikazuje, da povečevanje deleža lepila preko 20% ne prinaša bistvenih izboljšanj glede debelinskega nabreka, zato vnosa lepila ni smiselno povečevati.

Ker smo na podlagi preteklih ugotovitev prišli do spoznanja, da deleža lepila ni smiselno povečevati nad 20%, smo v nadaljevanju izdelali le plošče z deležem lepila 20% in proučevali njihove lastnosti. Rezultati so predstavljeni v preglednici 8 in 9.

Preglednica 8: Debelinski nabrek in gostota za plošči G, H (MF 20%)

Plošča	t [mm]	Vrsta lepila	Delež lepila [%]	Deb. nabrek [%]	Gostota [g/cm ³]
G	10,81	MF	20	7,5	0,914
H	5,43	MF	20	9,8	0,988

Debelinski nabrek plošče G je znašal 7,5%, plošče H pa 9,8 %. Iz preglednice se opazi, da uporaba MF lepila povzroča ugodne lastnosti plošč, kar se kaže v manjšem debelinskem nabreku.

Preglednica 9 predstavlja rezultate debelinskega nabreka in gostote za lepilo MF.

Preglednica 9: Debelinski nabrek in gostota plošč I ter J (MF 20%)

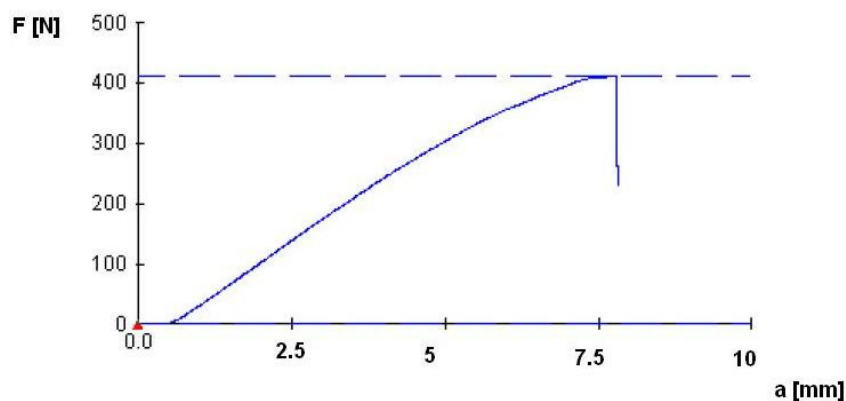
Plošča	t [mm]	Vrsta lepila	Delež lepila [%]	Deb. nabrek [%]	Gostota [g/cm ³]
I	10,19	MUF	20	5,38	0,987
J	5,90	MUF	20	7,81	0,991

Preglednica 9 prikazuje podatke debelinskega nabreka za plošči I in J. Plošča I izkazuje dobre lastnosti glede debelinskega nabreka, prav tako plošča J. Prva plošča ima debelinski nabrek 5,3% druga pa 7,8%.

Kot smo že omenili ima uporabljena vrsta lepilnega sredstva (MF) najboljše karakteristike, zato plošči I in J kažeta najmanjši debelinski nabrek izmed vseh preizkušancev.

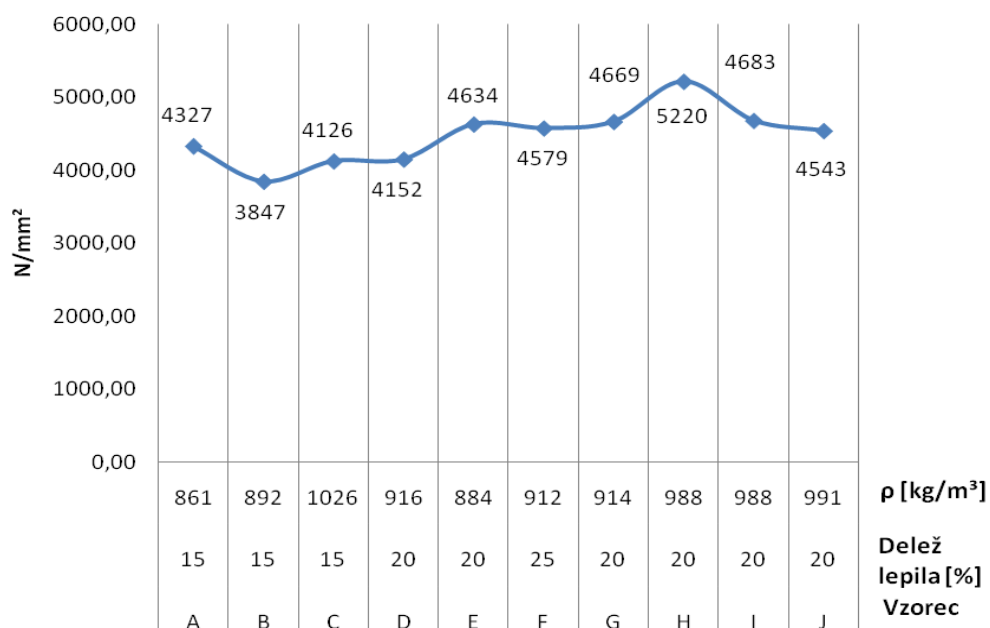
4.3 UPOGIBNA TRDNOST IN MODUL ELASTIČNOSTI

Upogibna trdnost izdelanih plošč in modul elastičnosti predstavljata prav tako pomembno lastnost ivernih plošč. Na sliki 8 je predstavljena značilna krivulja upogibnega testa za iverne plošče.



Slika 8: Značilna krivulja upogibnega testa

Slika 9 prikazuje, da gostota ne vpliva vedno na izboljšane mehanske lastnosti materiala. Plošče G in H ter I in J se po podatkih o vplivu gostote na upogibno trdnost, razlikujejo. Pri preizkušancu G in H modul elastičnosti raste z večanjem gostote medtem ko pri vzorcu I in J modul elastičnosti pada pri povečanju gostote iverne plošče.



Slika 9: Prikaz modula elastičnosti vse izdelane plošče

V preglednici 10 so zbrani podatki o preizkusu upogibne trdnosti ivernih plošč.

Preglednica 10: Prikaz mehansko-fizikalnih lastnosti ivernih plošč.

Preizkušane	Delež lepila [%]	Vrsta lepila	t- [mm]	ρ [g/cm ³]	f_m [N/mm ²]
A	15	UF	20,22	0,861	19,26
B	15	UF	11,50	0,892	19,13
C	15	UF	6,19	0,1026	14,74
D	20	UF	9,25	0,916	23,81
E	20	UF	13,72	0,884	28,67
F	25	UF	12,08	0,912	19,32
G	20	MUF	10,73	0,914	28,51
H	20	MUF	5,41	0,988	31,76
I	20	MF	10,17	0,988	31,89
J	20	MF	5,91	0,991	31,27

Preglednica 10 nam prikazuje podatke, ki smo jih pridobili na napravi Zwick Z100. Izračunali smo upogibno trdnost in modul elastičnosti za posamezno ploščo. Rezultati za modul elastičnosti so se gibali od 3847,33 N/mm² (plošča B) do 5220,67 N/mm² (plošča H).

Tudi upogibne trdnosti so bile za ploščo I največje (32 N/mm²), sledili sta plošči G (29 N/mm²) in D (24 N/mm²). Za primerjavo smo vzeli preizkušance, ki so se najmanj razlikovali v debelini in gostoti.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

5.1.1 Vpliv debeline in gostote na debelinski nabrek in mehanske lastnosti

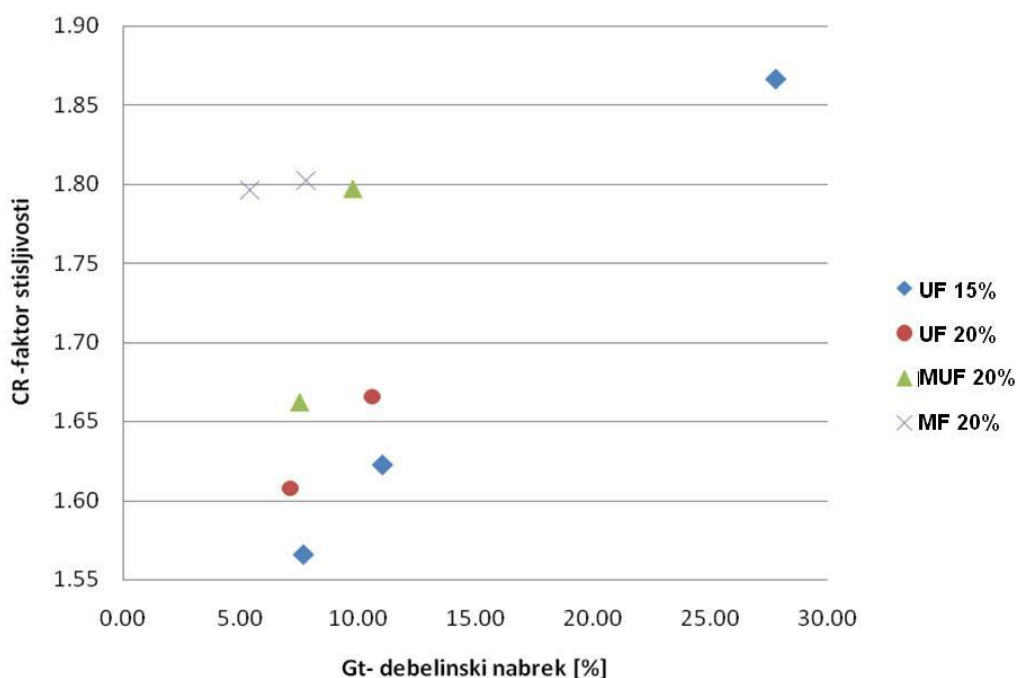
Plošče s povišano gostoto imajo večji faktor stisljivosti (CR), ki predstavlja razmerje med gostoto iverne plošče in gostoto uporabljene surovine.

Na sliki 10 je prikazan vpliv gostote na debelinski nabrek iverne plošče. Praviloma imajo preizkušanci z večjo gostoto večji debelinski nabrek, kot preizkušanci z nižjo gostoto.

Med stiskanjem iverne plošče z višjim faktorjem stisljivosti (CR - compression ratio) se povečuje deformacija iveri. V tem času lahko pride do loma po celičnih stenah, nakar lepilo utrdi in prevzame funkcijo zadrževanja iveri v končnem položaju. Sposobnost zadrževanja iveri je predvsem odvisno od deleža lepila in vrste uporabljenega lepila.

Povečanje debelinskega nabreka gostejših ivernih plošč je lahko posledica popuščanja vezi med lepilom in ivermi, ker je tudi napetost v ploščah z višjo gostoto večja kot v ploščah z manjšo gostoto.

Iverna plošča z višjo gostoto ima večjo maso iveri kot lahka plošča, zato je tudi delež iveri večji, kar pomeni posledično večji debelinski nabrek.



Slika 10: Povezava debelinskega nabreka in gostote iverne plošče ob neupoštevanju debeline preizkušancev

Po drugi plati pa z večjo zgostitvijo plošč pridobimo več stičnih mest in s tem onemogočimo vodi dostop do iveri, kar bi lahko rezultiralo v boljšo dimenzijsko stabilnost plošče. Obstaja veliko teorij, ki pa se razlikujejo od avtorja do avtorja.

Ugotovili smo povezavo med gostoto in nabrekom ivernih plošč, vendar le pri uporabi UF in MUF lepila. Oziroma pri vseh vrstah lepila, če ne upoštevamo debeline preiskušancev (slika 10).

Uporaba MF lepila je zadržala iveri v končni poziciji tudi pri preizkušancih z najvišjo gostoto. Podatki so predstavljeni v preglednici 11.

Preglednica 11: Debelinski nabrek ivernih plošč v odvisnosti od gostote in debeline

	ρ [g/cm ³]	Debelina t [mm]	Nabrek [%]	Razmerje
G- MUF	0,914	10	8,07	0,83
D- UF	0,916	10	9,83	1
I-MF	0,988	10	5,48	0,56

Kljub visoki gostoti pri preizkušancu I, ki smo jo dosegli, se je debelinski nabrek celo zmanjšal in ne povečal, kot bi pričakovali.

Če pa uporabimo UF lepilo pa lahko opazimo, da gostota vpliva na debelinski nabrek, vendar je mnogo teorij, ki to tezo zlahka ovržejo.

Pri faktorju stisljivosti zunanjega sloja nad 1,3 se lepilo, zaradi previsokega tlaka apliciranega na iverno pogačo, iztisne iz lumnov na površino iveri in v prazne prostore. Lepilo se pred utrditvijo »preveč« razširi po površini in ne more prodreti globlje v les, kar pomeni, da je povezanost lepilo/iver minimalna.

Previsok tlak stiskanja lahko povzroči lom po celičnih stenah. Po drugi strani pa visok tlak pripomore k boljši oz. večji zgostitvi in tako samo po sebi poveča število stičnih mest. Pravilna določitev tlaka stiskanja zagotavlja najboljše rezultate.

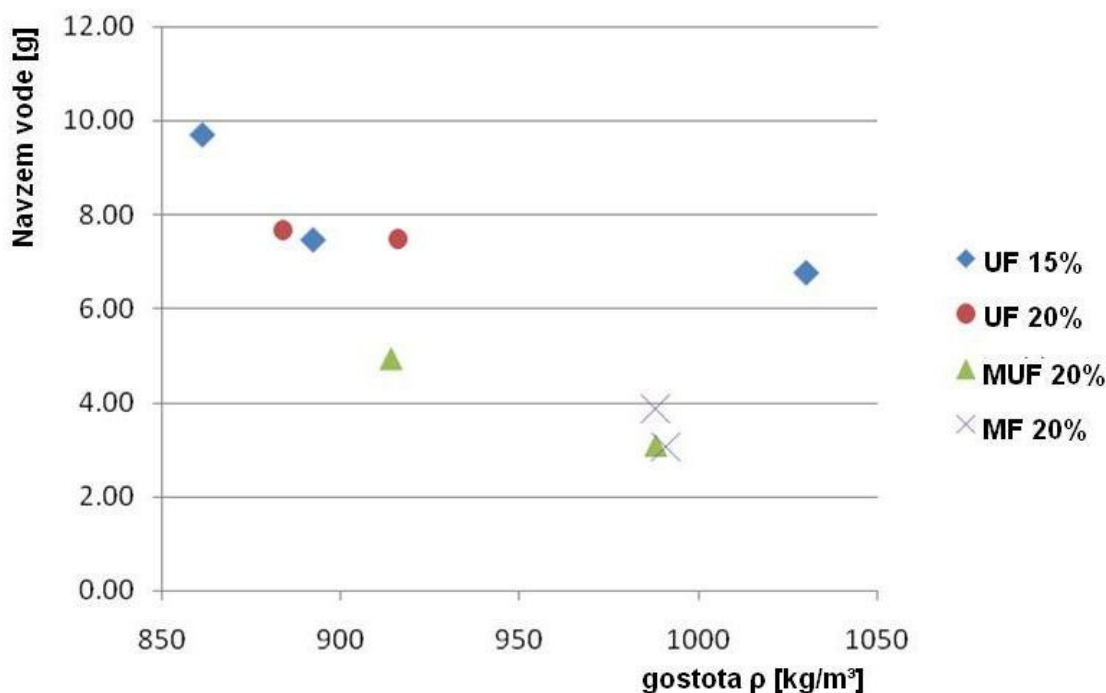
Previsok tlak stiskanja lahko poruši in zmanjša stična mesta zaradi porušitve celične stene.

Nenazadnje moramo omeniti tudi plastifikacijo iveri med procesom stiskanja. Glavno gonilo termične obdelave je vlaga v iverih in vlaga pridobljena iz lepila. Iveri se med segrevanjem omehčajo in tako same po sebi omogočijo pristnejšo zgostitev. V trenutku, ko lepilo utrdi, se stiskalnica odpre in prične se ohlajanje plošče. Iverna plošča, ki je bila bolj »plastificirana« ima po kondicioniranju in ohlajanju boljše lastnosti kot plošča, ki je bila zgoščena z nezadostno plastifikacijo iveri.

V takih ploščah lepilo nosi večje obremenitve, kadar je plošča izpostavljena povišani vlagi. Pri ivernih ploščah, kjer je bila plastifikacija iveri zadostna, pa ima lepilo zgolj povezovalno funkcijo med ivermi in ne nosi obremenitev zadrževanja iveri v prisiljeni legi v tolikšni meri, saj so bile iveri hidrotermično obdelane.

5.1.2 Navzem vode

Slika 11 prikazuje podatke o navzemu vode v odvisnosti od gostote ivernih plošč.



Slika 11: Navzem vode v odvisnosti od gostote ivernih plošč

Slika 11 nam prikazuje maso vode v [g], ki se navzame v času potopitve (24h) preizkušancev iverne plošče.

Vidimo lahko tendenco padanja navzema z dvigom gostote iverne plošče. Opazimo pa tudi razlike vpijanja vode glede na vrsto uporabljenega lepilnega sredstva.

Največ vode navzamejo plošče izdelane z uporabo UF vezivnega sredstva, nekoliko manj vode navzamejo plošče kjer smo uporabili MUF lepilno sredstvo, najmanj vode pa so vsebovale iverne plošče izdelane iz melaminskega lepilnega sredstva vrste MF, kjer so odlično vidne vodoodporne lastnosti veziva.

Plošča, ki ima večjo gostoto bo absorbirala manj vode kot plošča z nižjo gostoto.

Iz slike 11 izstopajo plošče z višjo gostoto, saj navzamejo najmanj vode izmed vseh izdelanih preizkušancev.

Za nazornejšo predstavbo so podatki predstavljeni še v preglednici 12.

Preglednica 12: Prikaz navzema vode glede na gostoto iverne plošče.

Preizkušanec	Vrsta lepila	Delež lepila [%]	Gostota (ρ) [g/cm ³]	Navzem [g]
A	UF	15	0,861	9,69
B	UF	15	0,892	7,47
C	UF	15	0,1030	6,77
D	UF	20	0,916	7,48
E	UF	20	0,884	7,68
G	MUF	20	0,914	4,94
H	MUF	20	0,988	3,09
I	MF	20	0,988	3,89
J	MF	20	0,991	3,05

Navzem vode v iverni plošči pada z naraščanjem gostote in uporabo kvalitetnejših lepil. Iverna plošča z oznako C kaže drugačno tendenco, a zopet naj omenimo, da so v tej plošči porušene celične stene in plošča se ne obnaša »običajno«.

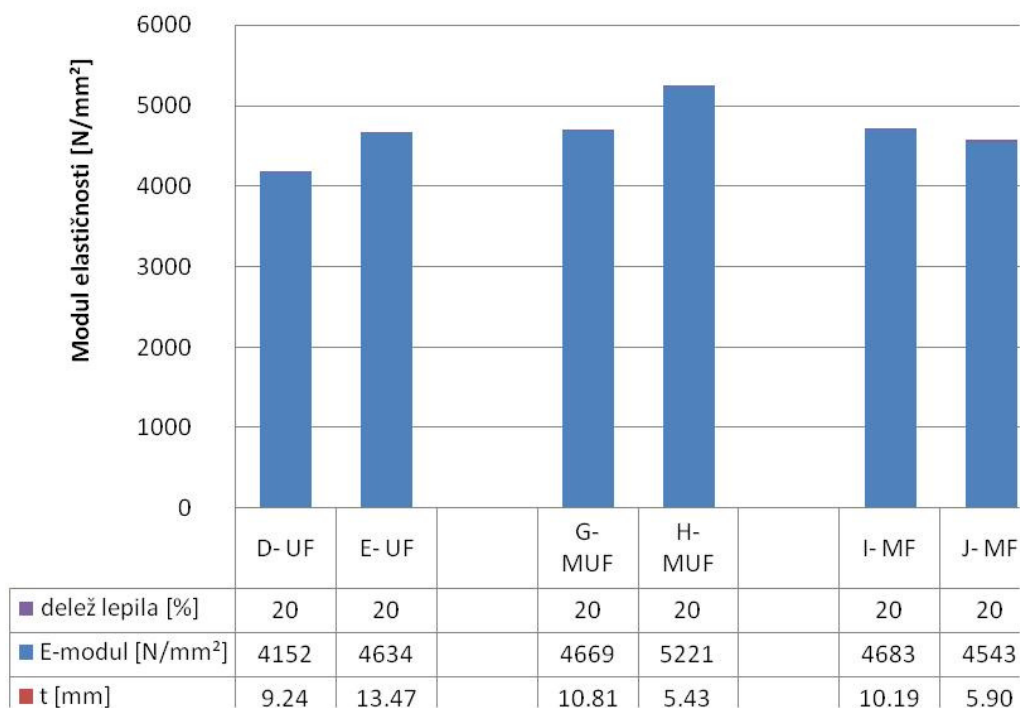
Navzem je v strogi povezavi z gostoto iverne plošče in je odvisen od števila praznih prostorov med ivermi, od uporabljene vrste lepila, od stopnje penetracije lepila v celično steno in drugih še neraziskanih dejavnikov.

Penetracija lepila v les sega v večini primerov le nekaj celic v globino, tako da se ustvari film čez celotno površino iveri, ki zavira absorbiranje vode.

Navzem je po naših predvidevanjih in ugotovitvah povezan z gostoto iverja in uporabljene lepilne mešanice.

5.1.3 Modul elastičnosti

Na sliki 12 je predstavljen modul elastičnosti v odvisnosti od debeline plošč.



Slika

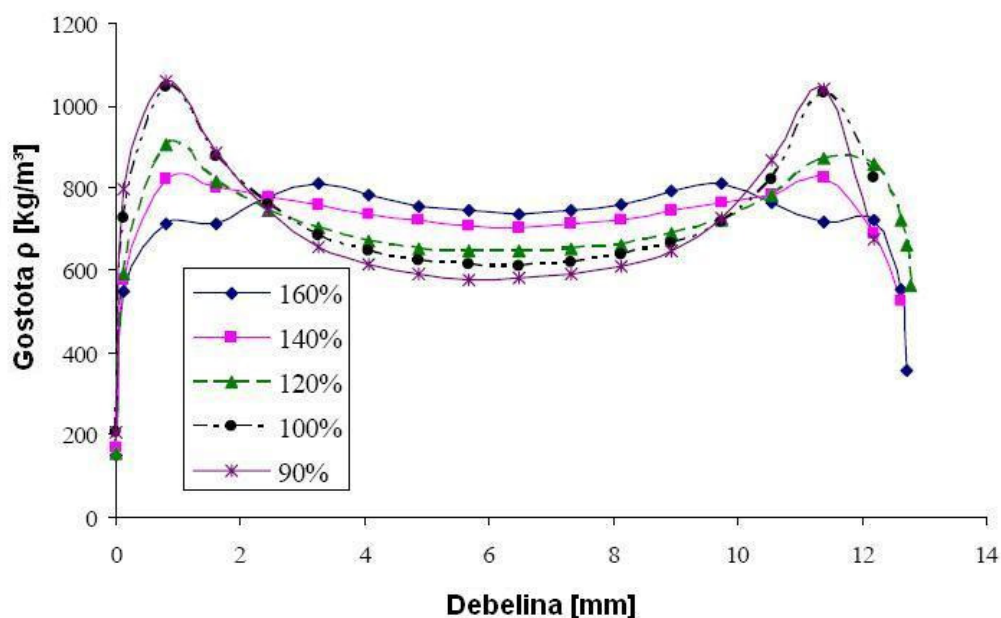
12: Primerjava debeline plošče in modula elastičnosti

Iz različnih objavljenih virov naj bi modul elastičnosti imel nižje vrednosti pri debelejših ploščah vendar v našem raziskovalnem preskusu tega ne moremo v celoti potrditi, saj smo izdelali vsako ploščo s svojimi karakteristikami. Plošče so se razlikovale v debelini, v gostoti in vrsti uporabljenega lepila.

Plošči G in H lepljeni z MUF lepilom izkazujeta trend padanja modula elastičnosti z naraščanjem debeline plošče. Plošče D, E, I in J pa začetni hipotezi o padanju modula z naraščanjem debeline, nasprotujeta. Za to obstajajo različni razlogi, ki jih bomo omenili v nadaljevanju.

Preizkušane H je imel zelo visoko vrednost modula elastičnosti, kar pomeni, da je material zelo prožen. Vzrok za visoko vrednost lahko iščemo pri natresanju oblepljenih iveri. Pravilno orientirane iveri imajo velik vpliv na mehanske lastnosti. Vz dolžno orientirane iveri pripomorejo več k dobrim mehanskim lastnostim kot prečno orientirane.

Na sliki 13 vidimo rezultate preizkusa, ki so ga izvajali Zhiyong in sod. (2006). S spreminjanjem hitrosti zapiranja stiskalnice so dobili različne gostotne profile, ki jih prikazuje slika 13.



Slika 13: Gostotni profili pri različnih hitrostih zapiranja stiskalnice
(Zhiyong 2006)

S pomočjo slike 13 bomo poskušali razložiti, zakaj je prišlo pri tanjših ploščah do manjšega modula elastičnosti in ne do večjega kot smo pričakovali.

Tanjše plošče so praviloma imele res višjo gostoto kot debelejše, vendar je pri razumevanju mehanskih lastnosti pomembna tudi porazdelitev gostote po preseku.

Tanjše plošče po naših predvidevanjih vsebujejo enakomernejšo porazdelitev gostote po preseku, kar neugodno vpliva na upogibne lastnosti.

Večja zgostitev zunanjih slojev ima pozitiven učinek na mehanske lastnosti iverne plošče.

Do enakomernejšega gostotnega profila pripomorejo naslednji dejavniki:

- hitrejši toplotni tok skozi pogačo
- hitra zgostitev srednjega sloja
- polimerizacija lepila v srednjem sloju

Povezava modula elastičnosti z gostoto ivernih plošč obstaja, vendar ne moramo določiti pravila, kateri dejavnik ima večji vpliv na mehanske lastnosti ivernih plošč.

5.1.4 Upogibna trdnost

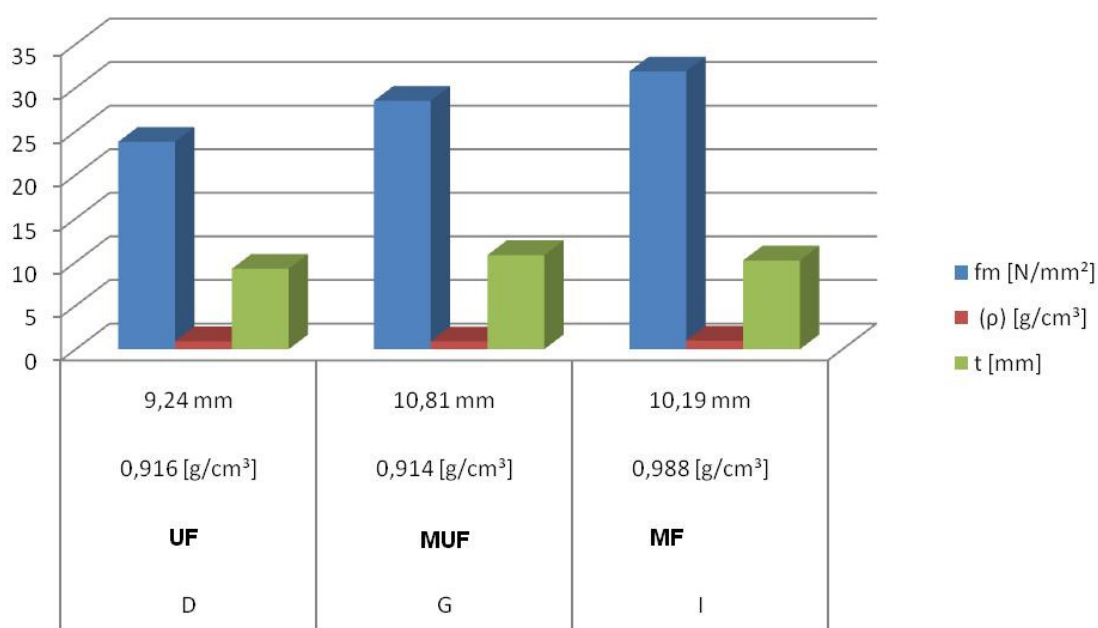
Upogibna trdnost raste v soodvisnosti gostote iverne plošče (slika 14). Pomemben vpliv ima tudi vrsta lepilnega sredstva ter delež dodanega lepila.

Ker smo izdelali plošče z različnimi vrstami lepil, lahko sklepamo, da UF lepilo daje najnižje upogibne vrednosti (plošča D) najvišje pa MF (plošča I).

Potrebno bi bilo raziskati še vpliv lesne vrste (v našem preskusu smo uporabili mešano iverje v vseh ploščah).

Iz dobljenih rezultatov je težko določiti kateri dejavnik ima večji vpliv na upogibno trdnost.

Na sliki 14 so izbrane plošče podobnih gostot in podobnih debelin, večje razlike opazimo v vrednostih, ki smo jih izmerili pri upogibnem testu.



Slika 14: Prikaz upogibne trdnosti za plošče D, G, I

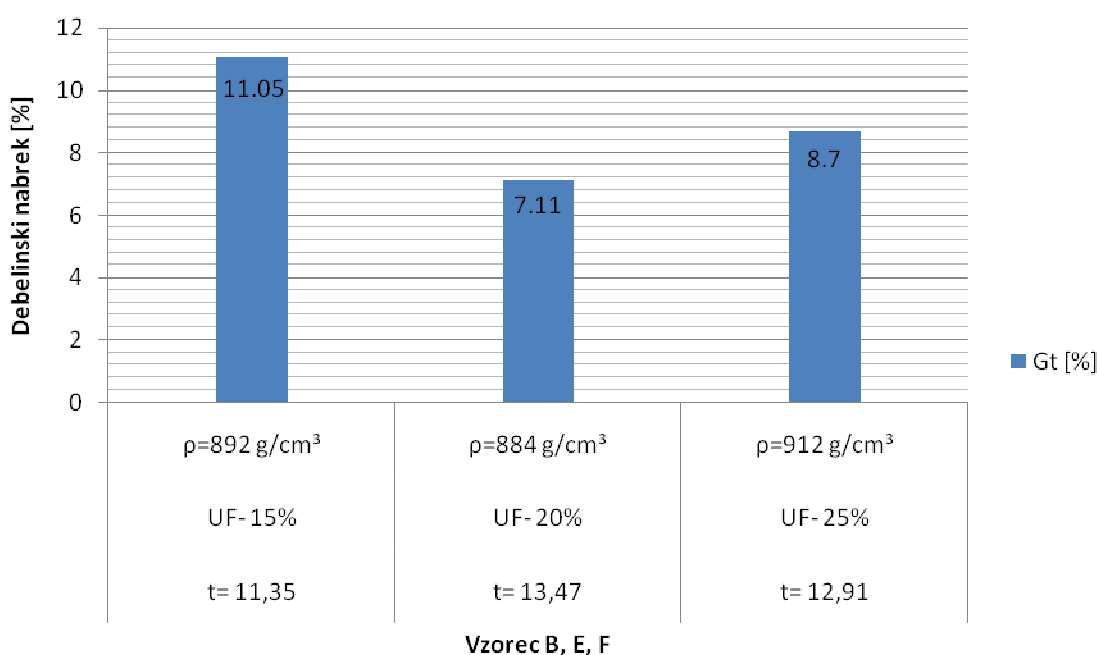
Izbrana vrsta lepila ima velik vpliv pri doseganju visokih vrednosti pri upogibnem testu. Ne smemo pa pozabiti tudi vloge gostote, s katero lahko reguliramo marsikatero lastnost končnega produkta, zlasti upogibno trdnost in debelinski nabrek.

5.1.5 Vpliv deleža lepila na debelinski nabrek ivernih plošč

Delež lepila ima pomemben vpliv pri ugotavljanju dimenzijske obstojnosti ivernih plošč. Večji kot je delež lepila, več stičnih mest dosežemo in tako vodni pari oz. vodi preprečimo vdor v iveri, ter s tem preprečimo ali zmanjšamo debelinsko nabrekanje.

Na sliki 15 vidimo učinek povečevanja deleža lepila od 15- 25% na debelinski nabrek

Domnevali smo, da večji delež lepila od 25% ne kaže večjih izboljšanj v debelinskem nabreku, zato ni smiselno povečevati delež lepila saj debelinski nabrek ne zmanjšamo v tako velikem obsegu.



Slika 15: Vpliv deleža lepila na debelinski nabrek .

Večji delež lepila lahko ima pozitiven učinek na plastifikacijo iveri med procesom stiskanja, vendar tega pojava v našem preskusu nismo obravnavali. Lahko pa sklepamo, da z večjim deležem lepila in s tem dodajanjem vlage v iveri, povečamo hidrotermično obdelavo in s tem plastično zgostitev pogače

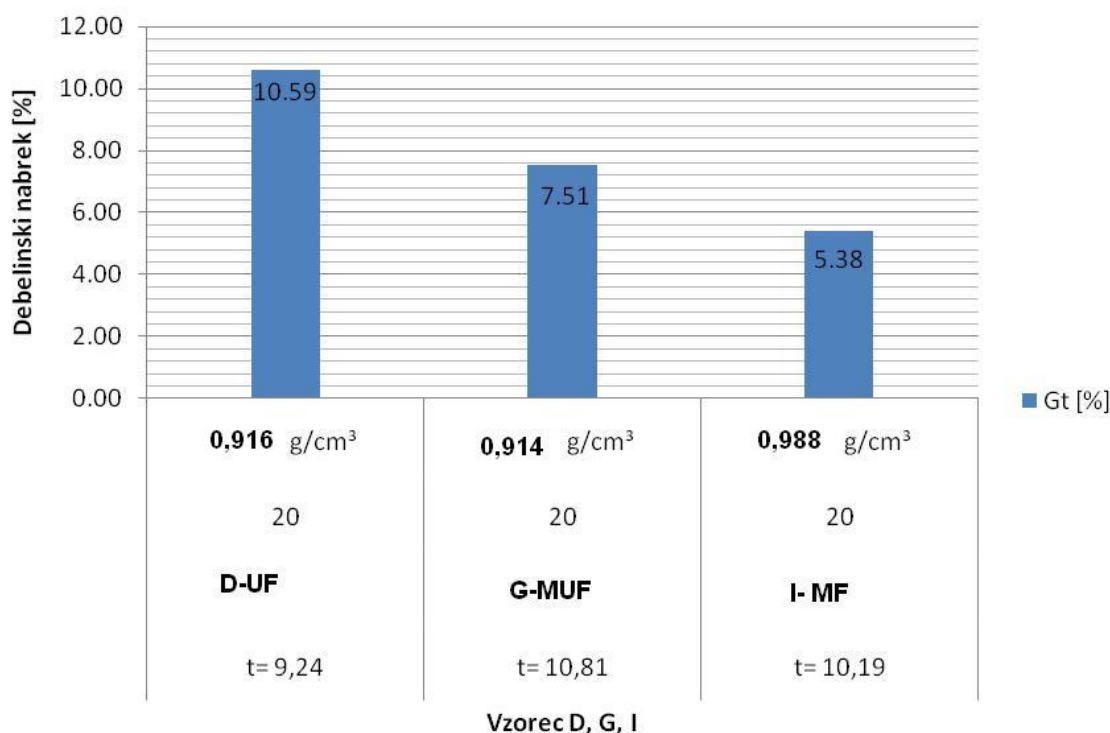
Pri deležu lepila 25% lahko v procesu oblepljanja iveri pride do lokalno povečane oblepljenosti. Takšna plošča ima nehomogeno sestavo in med testiranjem ne zagotavlja reprezentativnih rezultatov.

5.1.6 Vpliv vrste lepila na debelinski nabrek ivernih plošč

Uporabili smo tri vrste lepil:

- Urea-formaldehidno lepilo (UF)
- Melamin-urea-formaldehidno lepilo (MUF)
- Melamin-formaldehidno lepilo (MF)

Za najboljšega se je izkazalo lepilno sredstvo MF saj smo po 24 urnem namakanju v vodni kopeli dosegli debelinski nabrek samo 5%. To pomeni pri debelini plošče 10 mm prirastek v debelini le 0,5 mm. Podatki so predstavljeni na sliki 16.



Slika 16: Debelinski nabrek v odvisnosti od vrste lepila

Vrsta uporabljenega lepila je dejavnik, ki ga je potrebno omeniti zaradi specifičnih lastnosti posameznih lepil.

UF (urea-formaldehidno) lepilo ni namenjeno izdelavi ivernih plošč, ki so izpostavljene tekoči vodi, spreminjajoči se klimi in področjih z povišano vlago, saj je iz slike 16 razvidno, da se je pri preizkusu debelinskega nabreka najslabše obneslo.

Ob prisotnosti vode v lepilnem spoju poteka hidroliza UF lepila, ki zmanjšuje trdnost lepilnega spoja v iverni plošči. Posledica manjše trdnosti lepilnega spoja je visok debelinski nabrek..

MF (melamin-formaldehidno) lepilo je odporno proti vodi in zmanjša debelinski nabrek v iverni plošči. Zato lahko dosežemo manjši debelinski nabrek gostejših plošč kot pri uporabi UF lepila (slika 16).

Preglednica 13: Razlike med lepilnimi sredstvi razvrščene po zmanjševanju debelinskega nabreka.

Debelina [mm]	t	Deb. Nabrek [%]	Lepilo	ρ [g/cm ³]
10		9,83	UF	0,914
10		8,07	MUF	0,916
10		5,38	MF	0,988

Kljub zelo visoki gostoti, ki smo jo dosegli pri preizkušancu 0,988 g/cm³, nismo izmerili velikega debelinskega nabreka (preglednica 13).

5.2 SKLEPI

V raziskovalnem poskusu smo prišli do naslednjih ugotovitev:

- Iverne plošče, ki so bile izdelane z manjšim deležem lepila (delež lepila smo spreminjali le pri UF lepilu), so imele večji debelinski nabrek kot plošče z večjim deležem lepila.
- Delež lepila nad 20 % ne kaže večjih izboljšanj glede nabreka in mehanskih lastnosti iverne plošče.
- Ugotovili smo, da lepilo, ki vsebuje optimalni delež melamina, zagotavlja trdnejše spoje. V našem preskusu se je za najboljšega izkazalo MF lepilo.
- Debelinski nabrek ivernih plošč je bil največji pri uporabi UF lepila, najmanjši pa pri uporabi melaminskega lepila MF.
- Adsorpcija vode v iverni plošči je bila večja pri preizkušancih z nižjo gostoto.
- Debelinski nabrek je odvisen od gostote iverne plošče in sicer z naraščanjem gostote narašča debelinski nabrek.
- Pri doseganju visokih gostot ivernih plošč lahko zelo hitro pride do loma po celičnih stenah. Če pride do te deformacije, se znatno poslabšajo mehansko-fizikalne lastnosti, poveča pa se debelinski nabrek zaradi izgube stičnih mest med iverjem in lepilom.
- Z željo izdelati cenen proizvod z nizkim debelinskim nabrekom je smiselno izdelati ploščo z uporabo UF lepila, nekoliko večje debeline in nizke gostote.

6 POVZETEK

Vedno večja uporaba ivernih plošč za razne namene sili inženirje in znanstvenike, da vedno razvijajo in izboljšujejo iverne plošče, ker le takšen način dela zagotavlja obstoj proizvodnje lesnih kompozitnih materialov.

Vse od začetka proizvodnje pa do danes je bilo narejenih veliko raziskav o debelinskem nabreku ivernih plošč, vendar je ta lastnost še danes največja pomanjkljivost tega kompozita. Dimenzijska obstojnost je zelo pomembna lastnost ivernih plošč. Ugotavljamo jo s pomočjo metode potapljanja. S ciljem izboljšanja dimenzijske obstojnosti smo izvedli eksperiment v katerem smo proučevali vpliv lepilnega sredstva, deleža lepila in gostote na mehansko-fizikalne lastnosti ivernih plošč in debelinski nabrek.

Po standardu SIST EN 317 smo ugotavljali debelinski nabrek izdelanih preizkušancev.

Preizkušanci so bili označeni z črkami A, B, C, D, E, F, G, H, I in J. Vsi so se razlikovali v vrsti uporabljenega lepilnega sredstva, deleža lepila, gostote in debeline.

Izdelali smo 10 različnih vrst ivernih plošč z oznakami (A, B, C, D, E, F), (G, H), (I, J).

Prvi sklop plošč A- F je bil izdelan z uporabo UF lepilnega sredstva. Iveri so bile različno oblepljene, delež lepila je znašal od 15% do 25%.

Za drugi sklop ivernih plošč smo uporabili vezivno mešanico MUF. Ker pa smo iz predhodnega poskusa ugotovili, da delež lepila 20% daje zadovoljive rezultate, smo vse naslednje plošče oblepili z deležem lepila 20%.

Zadnji sklop plošč (I, J) pa smo oblepili z melaminskim lepilom MF. Potrebno je omeniti še, da so vse izdelane plošče imele različno gostoto in debelino.

Ploščam smo izmerili debelinski nabrek, po 24 urnem namakanju v vodni kopeli v skladu s standardom SIST EN 317.

Plošča D izdelana z uporabo UF lepila debeline 9, 24 mm in gostote 0,916 g/cm³ je imela debelinski nabrek 10,59%.

Plošča G izdelana z uporabo lepila MUF debeline 10,81mm, gostote 0,914 g/cm³ je izkazala debelinski nabrek 7,51%.

Plošča I zlepljena z lepilom MF debeline 10,19 mm, gostote 0,988 g/cm³ pa je imela debelinski nabrek 5,38%.

Izmerili smo tudi upogibno trdnost na napravi ZWICK Z100. Meritve so bile izvedene po standardu SIST EN 310.

Vse meritve zadostujejo kriterijem standarda. Opazimo lahko, da ima plošča I- $4683 \frac{N}{mm^2}$ večji modul elastičnosti, kot plošči G- $4669 \frac{N}{mm^2}$ in D- $4152 \frac{N}{mm^2}$.

Na osnovi dobljenih rezultatov smo ugotavljali s kateri sredstvi je mogoče zmanjšati debelinski nabrek ivernih plošč. Ugotovili smo, da pravilna izbira lepilnega sredstva v veliki meri zmanjša debelinski nabrek iverne plošče. Uporabljali smo urea-formaldehidno (UF), melamin-urea-formaldehidno (MUF) in melamin-formaldehidno (MF) lepilno sredstvo, med katerimi smo najboljše rezultate o debelinskem nabreku dobili pri ploščah kjer smo uporabili MF lepilno sredstvo.

UF lepilo v svoji osnovi ne daje zadovoljivih rezultatov. Lahko pa takšno lepilo modificiramo z dodajanjem različnih deležev melamina.

S spreminjanjem molarne razmerja UREA/MELAMIN (MUF in MF lepilo) smo dosegli različne učinke na debelinski nabrek in mehanske lastnosti ivernih plošč. Lepilo vrste MF in lepilo MUF se razlikujeta po molarne razmerju. Domnevali smo, da ima lepilo z večjo količino melamina boljše lastnosti kot drugo. V našem primeru se je za najboljšega izkazalo MF lepilo, zato trdimo, da ima MF lepilo večje molarne razmerje melamina. Z njegovo uporabo smo dosegli najmanjši debelinski nabrek in največjo vrednost pri upogibnem testu. Tudi izbira primerne deleža lepila ima odločilen pomen pri izdelavi kompozitnih plošč. Z večanjem deleža lepila se izboljšujejo mehansko- fizikalne lastnosti plošč, še zlasti se izboljša debelinski nabrek, saj povečevanje deleža lepila do 20% izkazuje pozitiven vpliv na karakteristike izdelanih plošč.

Povezavo gostote ivernih plošč z debelinskim nabrekom ugotovili, vendar ne pri vseh preizkušancih. Tudi mnogo avtorjev, ki so raziskovali področje debelinskega nabreka in gostote si na tem področju niso bili enotni.

Tudi v našem primeru je plošča, ki je bila izdelana z MF lepilom imela manjši debelinski nabrek, kot plošča izdelana z MUF lepilom, kljub zelo visoki gostoti. Tudi mehansko- fizikalne lastnosti se izboljšujejo z večanjem gostote plošč vendar tega ne smemo smatrati kot pravilo.

Med procesom stiskanja lahko vplivamo na lastnosti iverne plošče na več načinov.

Zgornji sloj iverne plošče lahko nabreka bolj kot spodnji, saj se med zapiranjem stiskalnice spodnji sloj že segreva in iveri se postopoma mehčajo, medtem ko so zgornji sloji iverja še hladni. Ko stiskalnica začne s svojim delom se spodnji sloj lahko bolje zgosti kot zgornji zaradi zmehčanih iveri. S ciljem zmanjšati segrevanje spodnjega sloja iverne pogače, smo pod njo namestili kos pločevine, ki med zapiranjem stiskalnice sprejema toploto iz spodnje grelne plošče.

Na modul elastičnosti vplivajo številni dejavniki (vrsta lepila, delež lepila, vlažnost plošče, gostota vhodne surovine, debelina plošče, lesna vrsta).

Vrednost upogibne trdnosti je mogoče spreminjati tudi med procesom stiskanja ivernih plošč in časom stiskanja.

V našem preizkusu so se plošče v stiskalnici stiskale enako dolgo ne glede na debelino plošče. Čas stiskanja z zapiranjem in odpiranjem je bil 7 minut. Različne upogibne trdnosti je mogoče doseči tudi s spreminjanjem diagrama stiskanja. Hitrejše zapiranje stiskalnice omogoča večjo zgostitev zunanjih slojev, ki imajo največji vpliv pri testiranju upogibne trdnosti.

Vrsta uporabljenega lepila vpliva na modul elastičnosti. Z uporabo melaminskega lepila dosežemo največje upogibne trdnosti. Plošča izdelana z uporabo UF lepila debeline 9,24 mm in gostote $0,916 \text{ g/cm}^3$ je imela upogibno trdnost $23,81 \text{ N/mm}^2$. Plošča izdelana z uporabo MF debeline 10,19 mm, gostote $0,988 \text{ g/cm}^3$ je imela $31,89 \text{ N/mm}^2$. Razlika je znašala $8,08 \text{ N/mm}^2$.

Gostota plošče ne vpliva na upogibno trdnost, smo ugotovili pri izvedbi preizkusa. Iz pregleda literature lahko povzamemo, da ima največji vpliv na upogibno trdnost izbrana lesna vrsta iveri ter vrsta lepilnega sredstva, kar pa smo ugotovili tudi v tej diplomski nalogi.

Gostota, ki vpliva na debelinski nabrek ivernih plošč je v soodvisnosti z debelino plošč. V kakšni povezavi sta količini v našem raziskovalnem delu nismo ugotovili.

Največji vpliv pri zmanjševanju debelinskega nabreka plošč smo dosegli z uporabo melaminskega lepila (MF), ki nam je omogočal izdelati ploščo visoke gostote med testiranjem pa zagotoviti minimalni debelinski nabrek.

7 VIRI

- Ayrilmis N. 2007. Effect of Panel Density on Dimensional Stability of Medium and High Density Fiberboards. *Journal of Materials Science*, 42, 20: 8551-8557
- Boehme C., Hora G. 1996. Water Absorption and Contact Angle Measurment of Native European, North American and Tropical Wood Species to Predict Gluing Properties *Holzforschung*, 50, 3: 269-276
- Chung Y., Geimer R., Hsu W., Tang R. 1994. Effect of Resin Type on Properties of Steam Press cured Flakeboards. *Forest Products Journal*, 45, 1: 57-62
- Chung Y., Feng F., Hui P. 2008. Melamine- modified urea-formaldehyde Resin for bonding Particleboards. *Forest Products Journal*, 58, 4: 56-61
- Colak S., Colakoglu G., Güler K. 2004. Effect of Hardener on some technological Properties of Particleboard produced from MUF Adhesive with low Melamine Content. *Holz Roh Werkstoff*, 62, 3: 239-240
- Čermak M. 1992. Furnirji in plošče. Ljubljana, Lesarska založba: 206 str.
- Fengel D., Wegener G. 1989. Wood, Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Berlin- New York, Walter de Gruyter: 613 str.
- Gatchell G. J., Heebink B. G., Hefty F. V. 1966. Influence of Component variables on the Properties of Particleboard for exterior use. *Forest Product Journal*, 16, 4: 46-59
- Geršak M., Čop T., Gorišek Ž., Mrak C., Velušček V. 1986. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba: 249-252
- Halligan A.F 1970. A reviw of Thickness Swelling in Particleboard. *Wood Science and Technology*, 4: 301-312
- Hansel A., Neumuller J. 1988. On Structural Mechanics of Particleboard. *Holztechnologie*, 29, 1: 2-6
- Humphrey P.E., Bolton A. 1989. The Hot Pressing of Dry Formed Wood based Composites. A simulation model of heat and moisture transfer, and typical results. *Holzforschung*, 43, 3: 199-206
- Kamke, F. A. 2004. Physics of Hot Pressing. In *Proceeding of a workshop: Fundamentals of Composite Processing*. USDA Forest Service: 118str
- Kelly M. W. 1977. Critical literature reviw of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard. General technical report FPL-10. Raleigh. North Carolina State University, School of forest Resources, Department of Wood and Paper science: 65str.

- Klauditz W. 1956. Zehn Jahre Tätigkeit und Forschung 1946-1956. Verein für technische Holzfragen E. V. Braunschweig, Institut für Holzforschung an der Technischen Hochschule Braunschweig
- Lehman W. F. 1965. Improved Particleboard through Better Resin Efficiency. Forest Product Journal, 15, 4: 155-161
- Maloney T. M. 1977. Modern Particleboard & Dry-Process Fiberboard. San Francisco, Miller Freeman Publications inc.: 672 str.
- Medved S., Resnik J. 2001. Thickness swelling of the individual layers of a three layer particleboard. V: The fifth international conference on The Development of wood science Wood Technology and Forestry, ICWSF 2001, 5th - 7th September 2001, Ljubljana, Slovenia: 115:123
- Medved S., Resnik J. 2003. Influence of Beech Particle size used in Surface layer on Bending Strength of three- layer Particleboard. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 72: 197-207
- 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
- Niemz P., Bauer S., Fuchs I. 1992. Beziehungen Struktur und Eigenschaften von Spanplatten. Teil 3. Holzforschung und Holzverwertung, 44, 1: 12-14
- Pirkmaier S., Medved S. 1996. Impact of the used tree species and of changes in wood particle structure on mechanical and physical properties of particleboards. V: Proceedings of the 1996 International conference on wood mechanics, Stuttgart, FMFA
- Pirkmaier S. 1991. Tehnološke lastnosti in načini preizkušanja ivernih plošč za uporabo v gradbeništvu. Les, 43, 5-6: 137-140
- Plath L. 1971. A Contribution on particleboard mechanics. Holz als Roh- und Werkstoff, 29, 10: 377-382
- Rowell M., Youngs L. 1981. Dimensional Stabilization of Wood in Use. United States Department of agriculture. Forest product laboratory. Research Note 0243
- Stegmann G., Kratz W. 1967. Kennzeichnung der Verleimungsgüte von Spanplatten mit verschiedenen Bindemittelgehalten und Rohdichten durch Quellungsdruck- Messungen. 1. Ein Beitrag zur Charakterisierung der Quellungsdrücken mit Hilfe einer neuen Meßmethodik. Adhäsion, 11:11-18
- Schneider M. H., Chui Y. C., Ganey S. B. 1996. Properties of particleboard made with a polyfurfuryl- alcohol/urea- formaldehyde adhesive. Forest Prod. J., 46, 9: 79-83

- Torrey K. S. 2001. Influence of Thermally Conductive fillers on the Physical properties of Waferboard. Michigan technological university. Master of science in chemical engineering: 298 str.
- Zhiyong C., Muehl J., Winandy J. 2006 Effect of Pressing Schedule on Formation of Vertical Density Profile for MDF Panels. V: International Wood Composite Symposium, Washington State University.
- Xu W., Winistorfer P.M. 1995. A Pcedure to determine Thickness Swell Distribution in Wood Composite Panels. Wood and Fiber Science, 27, 2: 119-125
- Wang S., Winistorfer P.M. 2001. Flake Compression behaviour in a Resinless Mat as related to Dimensional Stability. Wood Science and Technology, 35, 5: 379-393
- Wang S., Winistofer P.M., Young T, Helton C. 2001. Step Closing Pressing of Medium Density Fibeboard; Part 2. Influences on panel performance and layer characteristics. Holz als Roh und Werkstoff, 59: 311-318

8 ZAHVALA

Najprej bi se rad zahvalil mentorju doc. dr. Sergeju Medvedu za vse strokovne nasvete in vzpodbudo pri nastajanju diplomske naloge ter recenzentu izr. prof. dr. Milanu Šerneku za recenzijo diplomske naloge.

Za pomoč se zahvaljujem tudi tehničnemu sodelavcu na Katedri za žagarstvo in lesna tvoriva g. Janezu Renku, ki mi je pomagal pri pripravi preizkušancev.

Pozabiti ne smem tudi na mojo družino, ki mi je ves čas študija stala ob strani in me podpirala .

Omenjenim in tistim, ki čutijo, da so na kakršen koli način pomagali pri nastanku diplomskega dela, se iz srca zahvaljujem!

Hvala vsem!