

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Viljem BARIČ

**VPLIV VRSTE LESA NA DIMENZIJSKO
STABILNOST IVERNIH PLOŠČ**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Viljem BARIČ

**VPLIV VRSTE LESA NA DIMENZIJSKO STABILNOST IVERNIH
PLOŠČ**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**THE INFLUENCE OF WOOD SPECIES ON DIMENSIONAL
STABILITY OF PARTICLE BOARDS**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za žagarstvo in lesna tvoriva, na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomske naloge imenovalizr. prof. dr. Sergeja Medveda, za recenzenta pa prof. dr. Željka Goriška.

Mentor:izr. prof. dr. Sergej Medved

Recenzent: prof. dr. Željko Gorišek

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.

Viljem Barič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA VSEBINA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*862.2
KG	iverna plošča/sorpcija/dimenzijska stabilnost/smreka (<i>Picea abies</i> Karst.)/bukev (<i>Fagus sylvatica</i> L.)
AV	BARIČ, Viljem
SA	MEDVED, Sergej (mentor)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina C. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2016
IN	VPLIV VRSTE LESA NA DIMENZIJSKO STABILNOST IVERNIIH PLOŠČ
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	VII, 33 str., 9 pregl., 18 sl., 22 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Na dimenzijsko stabilnost plošč vpliva več dejavnikov, med njimi tudi uporabljena vrsta lesa, faktor zgostitve in gostota plošč. V laboratorijskih pogojih smo izdelali tri različne vrste ivernih plošč. Za izdelavo plošč smo uporabili iveri smreke, bukve in kombinacijo obeh. Preskušance smo ciklično izpostavili nizki (33 %) in visoki (85 %) relativni zračni vlažnosti. Spremljali smo spremembe mase, dolžine in debeline. Najmanjše vrednosti pri spremembi mase in debeline smo ugotovili pri ploščah, kjer smo uporabili iverje smreke in bukev s faktorjem zgostitve 1,46. Pri spremembi dolžine smo najmanjše vrednosti ugotovili pri ploščah iz bukovega iverja.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 630*862.2
CX particle boards/sorption/dimensional stability/spruce (*Picea abies* Karst.)/beech (*Fagus sylvatica* L.)
AU BARIČ, Viljem
AA MEDVED, Sergej (supervisor)/GORIŠEK, Željko (co-supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2016
TI THE INFLUENCE OF WOOD SPECIES ON DIMENSIONAL STABILITY OF PARTICLE BOARDS
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO VII, 33 p., 9 tab., 18 fig., 22 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The dimensional stability of a panel is influenced by several factors, including the type of wood, the condensation factor and the density of the panel. In laboratory conditions we created three types of chipboards. To make the panels we used the chips of spruce, beech and a combination of both. The test subjects were cyclically exposed to low (33 %) or high (85 %) relative humidity. We monitored the changes in mass, length and thickness. The minimal value of change in mass and thickness was observed in panels which were made of spruce and beech with a density factor of 1.46. The minimal value of change in length was observed in panels made of beech.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VI
KAZALO SLIK	VII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	2
1.2 CILJI DIPLOMSKE NALOGE.....	2
2 PREGLED LITERATURE	3
3 MATERIAL IN METODE DELA	7
3.1 MATERIALI.....	7
3.2 METODE DELA.....	7
4 REZULTATI	16
4.1 ADSORPCIJA IN DESORPCIJA.....	16
5 RAZPRAVA	20
6 SKLEPI	29
7 POVZETEK	30
8 VIRI	31
ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Gostota plošč in zgostitveni faktor.	16
Preglednica 2: Povprečne vrednosti spremembe debeline preskušancev v klimatskih pogojih 33 in 85 %.....	16
Preglednica 3: Povprečne vrednosti spremembe debeline preskušancev v klimatskih pogojih 85 in 33 %.....	17
Preglednica 4: Povprečne vrednosti spremembe mase preskušancev v klimatskih pogojih 33 in 85 %.....	17
Preglednica 5: Povprečne vrednosti spremembe mase preskušancev v klimatskih pogojih 85 in 33 %.....	18
Preglednica 6: Povprečnevrednosti spremembe dolžine preskušancev v klimatskih pogojih 33 in 85 %.....	18
Preglednica 7: Povprečne vrednosti spremembe dolžine preskušancev v klimatskih pogojih 85 in 33 %.....	19
Preglednica 8: Vrsta plošče in sprememba debeline pri 33 in 85 % RVZ.....	20
Preglednica 9: Vrsta plošče in sprememba debeline pri 85 in 33 % RVZ.....	21

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Laboratorijski iverilnik Condux LT 61.....	8
Slika 2: Elektromed LT 59.....	8
Slika 3: Lodige LT 64.....	9
Slika 4: Izdelava pogače.....	9
Slika 5: Laboratorijska enoetažna hidravlična stiskalnica LT 63.....	10
Slika 6: Iverne plošče uporabljene v poizkusu (A-smreka, B-bukev, C-smreka bukev).....	10
Slika 7: Laboratorijske komore.....	11
Slika 8: Prikaz debeline (mm) v odvisnosti od faktorja zgostitve.....	20
Slika 9: Prikaz debeline (mm) v odvisnosti od faktorja zgostitve.....	21
Slika 10: Primerjava debeline (mm) v odvisnosti od faktorja zgostitve.....	22
Slika 11: Primerjava spremembe debeline (mm) v odvisnosti od faktorja zgostitve.....	22
Slika 12: Prikaz spremembe debeline (%) v odvisnosti od faktorja zgostitve.....	23
Slika 13: Prikaz spremembe debeline (%) v odvisnosti od faktorja zgostitve.....	24
Slika 14: Primerjava spremembe debeline (%) v odvisnosti od faktorja zgostitve.....	24
Slika 15: Primerjava spremembe debeline (%) v odvisnosti od faktorja zgostitve.....	25
Slika 16: Prikaz debelinskega nabreka (Gt) v odvisnosti od faktorja zgostitve.....	26
Slika 17: Prikaz spremembe debeline (%) v odvisnosti od faktorja zgostitve.....	27
Slika 18: Prikaz mase v odvisnosti od faktorja zgostitve.....	27

1 UVOD

Iverne plošče so, med lesnimi ploščnimi kompoziti, material s širokim področjem uporabe, saj jih lahko uporabimo tako za embalaranje, kakor tudi za pohištvo in različne konstrukcije. Ena izmed pomembnih lastnosti, ki pogojuje področje uporabe, je njihova dimenzijska stabilnost. Iverne plošče so v horizontalni smeri, dimenzijsko stabilnejše kot pa masiven les.

Dimenzijska stabilnost ivernih plošč ob prisotnosti vode oz. vlage je odvisna od:

- uporabljene surovine: drevesne vrste, geometrije materiala (povezano s proizvodnim procesom), vrsta smole;
- proizvodnega procesa: geometrije materiala (povezano z uporabljenim materialom), vsebnost smole, gostote plošče, pogojev stiskanja, faktorja stisljivosti, deleža posamezne plasti, debeline in gostote posamezne plasti.

V veliki meri je dimenzijska stabilnost odvisna od uporabljene vhodne surovine, torej drevesne vrste in vezivnega sredstva. Uporabljamo lahko tako les iglavcev kot listavcev, velika prednost je, da za izdelavo iverne plošče uporabimo gozdne sortimente (okrogel les, oblovina, drva), lesne ostanke (sekanci, očelki, krajniki,...), biomaso (vrhači, panjevina, veje) tudi odslužen les. Pri uporabi vhodne surovine se pojavijo odstopanja znotraj samega lesa (juvenilni, adultni, tenzijski in kompresijski les, različna anatomija lesa, itd.) ali vrste iz katerega so narejene iveri ter posledično morfoloških značilnosti samih iveri.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Higroskopnost oziroma delovanje iverne plošče v pogojih visoke vlažnosti je odvisno od uporabljene drevesne vrste, gostote in sorpcijskih lastnosti lesa. Razlike v lastnostih uporabljene vrste lesa, kakor tudi velikosti vhodne surovine (hlodovina, celolesni ostanki, drobni lesni ostanki, itn.), kljub enakim pogojem iverjenja, rezultirajo v ivereh različnih oblik in velikosti, torej različnih morfoloških lastnostih.

1.2 CILJI DIPLOMSKE NALOGE

Namen naloge je prikazati kako vrsta lesa, faktor zgostitve in gostota plošče vpliva na dimenzijsko stabilnost ivernih plošč.

2 PREGLED LITERATURE

Buschbeck in sod. (1961) so proučevali debelinski nabrek (v nadaljevanju DN) v iverni plošči, pri uporabi gradnikov smreke v zunanjem sloju in gradnikov bukovine v srednjem sloju. Ugotovili so, da je pri uporabi mehkejšega lesa ali drevesne vrste z nizko gostoto debelinski nabrek manjši.

Kot je poročal Halligan (1970) iverne plošče izdelane iz drevesne vrste z nizko gostoto (smreka, breza, trepentlika) nabrekajo bolj, kot drevesne vrste z višjo gostoto (hrast, bukev, jesen).

Halligan in Schneiwind (1972) sta ugotovila, da se komaj nad 80 % zračno vlažnostjo kažejo pomembni vplivi gostote na debelinski nabrek iverne plošče. V tej relaciji se je nabrek zviševal premosorazmerno z zviševanjem gostote.

Suchland (1972) je ugotovil, da uporaba fenolnih lepil rezultira v nižjem debelinskem nabreku (DN) v primerjavi s ploščami stisnjenimi z ure-formaldehidnim (UF) lepilom.

Lehmann (1974) ni našel odločilnega vpliva debeline plošč na njihovo obnašanje v vlažnem okolju, kljub temu pa se je v tendenci izkazal manjši nabrek pri dolgih drobcih lesa, kot pri ploskih in širokih. To trditev sta že prej potrdila Heebink in Hann (1959) na ploščah iz smrekovega lesa in Braumbaugh (1960) na ploščah iz duglazije.

Moslemi (1974) je ugotovil, da je nabrekanje iverne plošče odvisno od uporabljene drevesne vrste in stopnje zgostitve. Iverne plošče narejene iz lesa z nizko gostoto, nabrekajo bolj kot tiste z visoko gostoto. Razlika je nastala pri stiskanju drevesne vrste z nizko gostoto, saj le to stiskamo z večjo stopnjo zgostitve pogače.

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

Drevesna vrsta lahko vpliva na sorpcijske lastnosti, tudi zaradi morfoloških značilnosti gradnikov (iveri). Z vidika anatomske zgradbe, mehkejši les glede na trdnejši les ima na

splošno daljša vlakna, tanjšo celično steno in večje premere lumnov, delci proizvedeni iz mehkejšega lesa so navadno tanjši (Panjkovič in Bruči, 1991). Pri uporabi tanjših iveri, je za pričakovati večjo linearno širitev in višje nabrekanje (Miyamoto, 2002).

Sekino in Asakura (1993) sta raziskovala razlike v higroskopnosti in vlažnosti med ivernimi ploščami izdelanih s fenol formaldehidnim (FF) in z izocianatnim lepilo. Ugotovila sta, da imajo plošče stisnjene z FF smolo ravnovesno vlažnost za okoli 1 % višjo, kot pa tiste pri katerih je bilo uporabljeno izocianatno lepilo.

Na nabrekanje vplivajo tudi ekstraktivi. Mantanis in sod. (1994) so proučevali, da odstranitev ekstraktov povzroči maksimalno povečanje nabreka lesa v vodi.

Pirkmaier in Medved (1996) sta ugotovila, da različne drevesne vrste povzročajo različne DN v ivernih ploščah. V ploščah iveri bukovine bolj nabrekajo kot smrekove iveri.

Zgostitev ima velik vpliv na sorpcijo iverne plošče, če primerjamo DN zunanega in srednjega sloja, zunanji glede na notranji sloj bolj nabreka, kar je posledica večje zgostitve oz. večje stisljivosti (Medved in Resnik, 2001).

Mnogo dejavnikov vpliva na zgostitev iverne plošče med procesom stiskanja, kot so npr.: temperatura plošč v stiskalnici, vlažnost iveri in vlažnost srednjega in zunanega sloja natresenih iveri, lesna vrsta, geometrija iverja, vrsta lepila, temperatura iverne pogače, čas stiskanja, čas zapiranja stiskalnice in tlak stiskanja (Moura, 2005).

Wang in Winistorfer (2001) sta raziskovala povezavo med stisljivostjo iverja in debelinskim nabrekom. Ugotovila sta, da se z večanjem zgostitve iverja veča tudi debelinski nabrek iverne plošče. Poleg uporabljene vrste lesa, velikosti iverja in stopnje oblepljenosti iverja omenjeni avtorji, kot pomemben dejavnik navajajo tudi stisljivost iverja. Lesne vrste nižjih gostot so bolj stisljive kot lesne vrste z višjo gostoto.

Vpliv drevesne vrste na DN je raziskoval Medved (2005), ki je ugotovil, da je le ta nižji pri hrastovi iverni plošči, kot pri bukovi, topolovi, smrekovi, celo ko je bila struktura plošče

spremenjena v zunanjem sloju zaradi različne vsebnosti lignina in celuloze. Velja za plošče z gostoto okoli 700 kg/m^3 . Podobno sta ugotovila tudi Dix in Marutzky (1997) in odkrila, da je debelinsko nabrekanje manjše, ko sta uporabila mehkejši les ali drevesno vrsto z nizko gostoto.

Oblika in velikost delcev vpliva na toploto in prenos vlage med vročim stiskanjem, posledično tudi na pogoje znotraj pogače, nastalo vezivno moč, ter sorpcijske lastnosti. Oblika in velikost delcev vpliva na gostoto izdelanih plošč (Thoemen, 2006).

Papadapolous (2006) je v svoji raziskavi primerjal DN iverne plošče stisnjene z UF in izocianatno smolo, ter ugotovil manjše nabrekanje pri uporabi izocianatne smole.

No in Kim (2007) sta proučevala odpornost proti vodi za iverne plošče stisnjene z UF lepilom v primerjavi s tistimi zlepljenimi z modificirane melamina in UF. Povečevanje deleža lepilna in dodatka parafinske emulzije v ivernih ploščah izboljšajo odpornost proti vodi/vlagi, vendar se pri tem povečajo stroški proizvodnje (Lehmann, 1970).

Vpliv drevesne vrste na DN je proučeval Liiri (1960), Buschbeck in sod. (1961). Nižji DN je bilo opaziti, ko je bila uporabljena drevesna vrsta z višjo gostoto. Na debelinsko nabrekanje vpliva prisotnost juvenilnega lesa. Iverne plošče proizvedene iz juvenilnega lesa sprejmejo nižjo količino vode, posledično je manjši DN kot pri ivernih ploščah, katere so bile narejene iz adultnega lesa (Nemli in Akbulut, 2003).

Les zaradi svoje kemijske sestave in velike specifične površine lahko adsorbira in desorbira vodo ali vlago. Zaradi adsorpcije in desorpcije, se masa in dimenzije spreminjajo, struktura ostane homogena vendar je bolj mehka in fleksibilna. Znotraj celične stene v molekularni obliki s fizikalnimi silami privlačnosti, gibanje vezane vode povzroči sorpcijsko vedenje. Vezana voda v celici povzroča nabrekanje in krčenje s tem pa tudi spreminjanje lesa. Les se krči in nabreka sorazmerno s količino pridobljene ali izgubljene vode.

Ena od pomembnih prednost lesnih ploščnih kompozitov glede na les je, da imajo boljšo dimenzijsko stabilnost v horizontalni smeri. To je v veliki meri posledica križne laminacije. Horizontalna ekspanzija se giblje med 0.5 – 1.5 % in je majhna glede na vertikalno ekspanzijo (debelinski nabrek), ki je velika (večja od 8 %). S povečanjem vlage se povzroči poslabšanje v relaciji lepilo – iveri, kar lahko povzroči delaminacijo. Interakcija med vlago in kompozitnimi ploščami ne vodi samo do debelinskega ampak tudi do ireverzibilnega nabreka. V ploščah sta uporabljeni dve glavni surovini. Prva od teh je higroskopni ligno celulozni material (večinoma les), druga sintetični polimer - adhezivo. Večje kot je nabrekanje lepila, slabše so mehanske lastnosti in večja je anizotropija krčenja.

Iverne plošče nabrekajo zaradi dveh dejavnikov:

- Nabrekanje lesa tako imenovan reverzibilen - povratni nabrek (nabrekanje lesa samega in je relativno majhen),
- Nabrekanje zaradi stiskanja in hidrotermične obdelave med samim stiskanjem ali ireverzibilen - nepovraten nabrek (v visoki vlažnosti pride do sprostitve tlačnih napetosti, katere so nastale v procesu stiskanja).

Pri izdelavi ivernih plošč z dobro dimenzijsko stabilnostjo je pomemben parameter tlak, ki ga uporabljamo v fazi stiskanja kompozitnih plošč. OSB, iverne in pa vlaknene plošče so stisnjene z veliko večjim tlakom (2 – 10N/mm²), kot pa so stisnjene vezane plošče. Ponavadi za stiskanje uporabimo tlak 3N/mm², kar vodi do hude kompresije in drobljenja lesnih celic.

Lesne celice oz. iveri absorbirajo vodo v pogojih visoke vlažnosti, ukrivljene iveri se vrnejo v prvotno obliko to vodi do relaksacije iverja in pojavi se povečan debelinski nabrek. Pred stiskanjem so delci ravni, vendar ko so stisnjeni v ploščo se prilagodijo eden drugemu in so navadno zviti. Nabrekanje lahko vodi v zlom lepilne vezi, če delci pridejo v kontakt z vodo ali vlago, kar jim omogoča vrnitev v prvotno obliko.

3 MATERIALI IN METODE DELA

3.1 MATERIALI

Pri poizkusu za diplomsko nalogo smo se odločili, da uporabimo iverje smreke (*Picea abies* Karst.) in bukve (*Fagus sylvatica* L.) zato, ker se ti dve drevesni vrsti najbolj uporabljajo pri izdelovanju ivernih plošč. Melamin urea formaldehidno lepilo smo izbrali, ker ima v stanju visoke vlažnosti najslabše lastnosti glede na ostala lepila. Za izdelavo smrekove, bukove in kombinacijo smreka - bukev plošče smo uporabili naslednje količine materiala:

- 2802 g iveri,
- 33,67 g utrjevalca,
- 408,16 g lepila (Meldur iv),
- 140,33 g vode.

Pri izdelavi kombinacije smreka - bukev plošče smo vzeli 1401 g iverja smreke in prav toliko iverja bukve, medtem ko ostale količine materialov ostale nespremenjene.

3.2 METODE DELA

Pri poizkusu smo izdelali tri različne vrste ivernih plošč in sicer:

- iverno ploščo iz smrekovega lesa;
- iverno ploščo iz bukovega lesa;
- iverno ploščo iz kombinacije smrekovega in bukovega lesa.

Omenjene drevesne vrte smo uporabili, ker sta najpogosteje uporabljeni v izdelavi ivernih plošč. Izdelava iverja smreke in bukev je potekala po istem postopku in v istem stroju (Condux LT 61)(slika 1). Uporabili smo melamin-urea-formaldehidno lepilo proizvajalca Melamin Kočevje.



Slika 1: Laboratorijski iverilnik Condux LT 61.

Iverje smo 24 ur sušili v laboratorijskem sušilniku pri temperaturi $100^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ (slika 2).



Slika 2: Elektromed LT 59.

Za pripravo lepilne mešanice smo uporabili utrjevalec, vodo in melamin – formaldehidno smolo. Oblepljanje je potekalo v laboratorijskem stroju za oblepljanje iveri Lodige LT 64 (slika 3).



Slika 3: Lodige LT 64.

Oblepljeno iverje smo natresli v lesen okvir dimenzij 500 x 500 mm, ki je bil postavljen na jekleno ploščo. Natresanje pogače je potekalo ročno, kjer smo morali paziti, da smo na koncu dobili enakomerno debelino plošče.



Slika 4: Izdelava pogače.

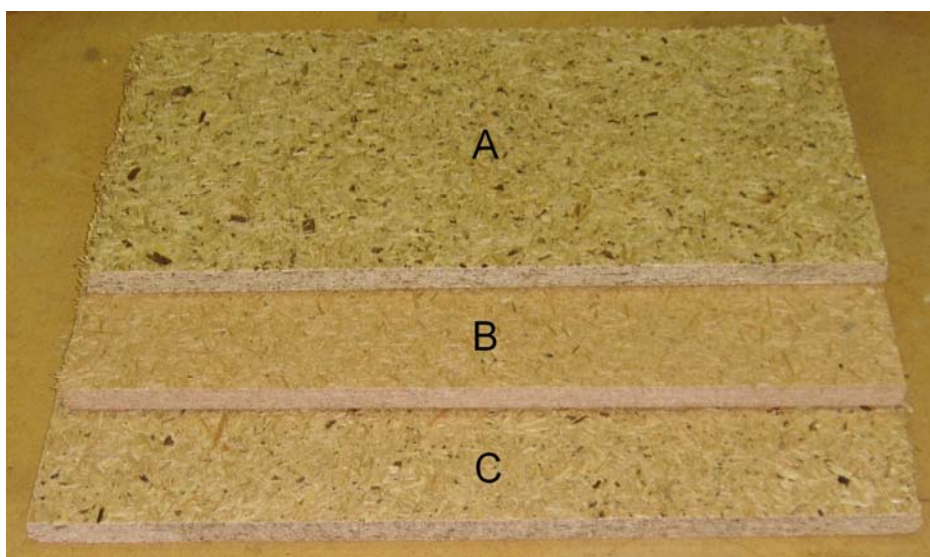
Stiskanje je potekalo z laboratorijsko enoetažno hidravlično stiskalnico LT 63 (slika 5) pri temperaturi 180°C, pod tlakom stiskanja 3 N/mm² (90 Bar). Čas stiskanja pri izdelavi plošče je bil 3 minute, debelina je bila definirana z distančno letvijo, nominalna debelina je

bila 16 mm. Po končanem stiskanju smo ploščo postavili v pokončen položaj, da se je počasi ohladila.



Slika 5: Laboratorijska enoetažna hidravlična stiskalnica LT 63.

Po stiskanju plošč smo vse tri plošče pustili v laboratoriju tri dni, da so se njihove vlažnosti, temperatura in napetosti izenačile po celotni debelini (slika 6).

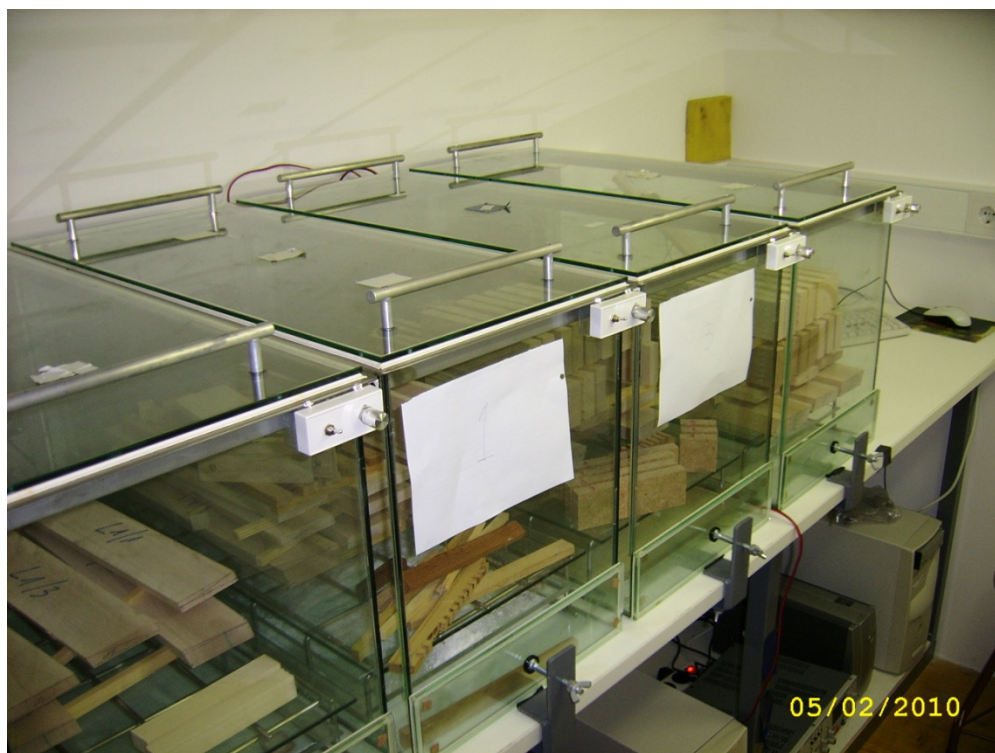


Slika 6: Iverne plošče uporabljene v poizkusu (A-smreka, B-bukev, C-smreka bukev).

Po končanem kondicioniranju smo pričeli z razžaganjem ivernih plošč na formatnem krožnem žagalnem stroju in sicer smo izžagali preskušance dimenzij 50 x 50 mm in 150 x 50 mm.

Preskušance dimenzij 50 x 50 mm smo uporabili pri ugotavljanju gostote, izmerili smo dolžino, širino, debelino in jih stehtali. Preskušance 150 x 50 mm smo uporabili pri ugotavljanju spremembe mase, volumna in debeline. Izmerili smo dolžino, širino, na treh mestih debelino in jih stehtali. Dolžine in širine smo merili s kljunastim merilom na 0,01 mm natančno, medtem ko smo debeline merili z mikrometrom na 0,001 mm natančno. Maso smo tehtali na tehtnici na 0,01g natančno.

Za doseganje vlažnosti smo imeli laboratorijske komore z relativno zračno vlažnostjo 33, 65 in 85 %, s konstantno temperaturo 20°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) (slika 7).



Slika 7: Laboratorijske komore s konstantnimi relativnimi zračnimi vlažnostmi.

Od vsake plošče smo imeli po 8 preskušancev, ki so bili uravnovešeni pri 65% zračni vlažnosti. Polovico vseh preskušancev (4 kose) vsake plošče smo nato izpostavljali zračni

vlažnosti 33 %, drugo polovico pa 85 % zračni vlažnosti. V nadaljevanju smo kose prenesli iz zračne vlažnosti 85 % v 33 % in iz 33 % v 85 %. Kosi so bili v komorah toliko časa, dokler niso dosegli konstantne mase.

Dolžino ($l = 150$ mm) smo izmerili po celi dolžini preskušanca, debelino pa na sredini preskušanca na treh točkah.

Gostoto plošč smo računali tako, da smo v klimi (65 %) preskušancem 50 x 50 mm izmerili dolžino, širino (na 0,01 mm natančno) in debelino (na 0,001 mm natančno). Maso smo stehtali na 0,01 g natančno (SIST EN 323).

Formula za izračun gostote plošč: $m/V[\text{kg/m}^3]$;

faktor zgostitve (CR): Gostota plošče $[\text{kg/m}^3]$ / Povprečno gostoto lesa $[\text{kg/m}^3]$... (1)

Faktor zgostitve in gostoto plošč smo določali pri 65 % relativne zračne vlažnosti.

Spremembo dimenzij (debeline, mase, dolžine) smo ugotavljali po standardu SIST EN 318

Spremembo debeline smo izračunali po formuli:

V praktičnem delu diplomskega dela smo preskušance vstavili v komoro z 65 % relativno zračno vlažnostjo (RVZ). Po določenem času smo polovico teh prestavili v komoro z 33 %, nato pa še v 85 % RVZ. To območje bomo poimenovali opcija A- adsorpcija (65-33-85 % RVZ). Ostalo polovico pa smo za en teden vstavili v komoro z 85 %, potem pa še v 33 % RVZ – opcija B desorpcija sušenje (65-85-33 % RVZ).

Izračun formul:

NAVLAŽEVANJE

$$\text{Opcija A, } \Delta t_{n33} = \frac{(t_{65} - t_{33})}{t_{33}} \times 100 [\%] \quad \dots (2)$$

$$\text{Opcija A}^1, \Delta t_{n85} = \frac{(t_{33} - t_{85})}{t_{85}} \times 100 [\%] \quad \dots (3)$$

Izračun formul:**SUŠENJE**

$$\text{Opcija B, } \Delta t_{s85} = \frac{(t_{65} - t_{85})}{t_{85}} \times 100 [\%] \quad \dots (4)$$

$$\text{Opcija B}^1, \Delta t_{s33} = \frac{(t_{85} - t_{33})}{t_{33}} \times 100 [\%] \quad \dots (5)$$

t_{33} - debelina preskušanca v 33 % zračni vlažnosti

t_{65} - debelina preskušanca v 65 % zračni vlažnosti

t_{85} - debelina preskušanca v 85 % zračni vlažnosti

Spremembo mase smo izračunali po formuli:

Izračun formul:**NAVLAŽEVANJE**

$$\text{Opcija A, } \Delta m_{n33} = \frac{(m_{65} - m_{33})}{m_{33}} \times 100 [\%] \quad \dots (6)$$

$$\text{Opcija A}^1, \Delta m_{n85} = \frac{(m_{33} - m_{85})}{m_{85}} \times 100 [\%] \quad \dots (7)$$

Izračun formul:**SUŠENJE**

$$\text{Opcija B, } \Delta m_{s85} = \frac{(m_{65} - m_{85})}{m_{85}} \times 100 [\%] \quad \dots (8)$$

$$\text{Opcija B}^1, \Delta m_{s33} = \frac{(m_{85} - m_{33})}{m_{33}} \times 100 [\%] \quad \dots (9)$$

m_{33} - masa preskušanca v 33 % zračni vlažnosti

m_{65} - masa preskušanca v 65 % zračni vlažnosti

m_{85} - masa preskušanca v 85 % zračni vlažnosti

Spremembo dolžine smo izračunali po formuli:

Izračun formul:

NAVLAŽEVANJE

$$\text{Opcija A, } \Delta l_{n33} = \frac{(l_{65} - l_{33})}{l_{33}} \times 100 [\%] \quad \dots(10)$$

$$\text{Opcija A}^1, \Delta l_{n85} = \frac{(l_{33} - l_{85})}{l_{85}} \times 100 [\%] \quad \dots(11)$$

Izračun formul:

SUŠENJE

$$\text{Opcija B, } \Delta l_{s85} = \frac{(l_{65} - l_{85})}{l_{85}} \times 100 [\%] \quad \dots(12)$$

$$\text{Opcija B}^1, \Delta l_{s33} = \frac{(l_{85} - l_{33})}{l_{33}} \times 100 [\%] \quad \dots(13)$$

l_{33} - dolžina preskušanca v 33 % zračni vlažnosti

l_{65} - dolžina preskušanca v 65 % zračni vlažnosti

l_{85} - dolžina preskušanca v 85 % zračni vlažnosti

Spremembo maksimalne debeline smo izračunali po formuli:

$$\Delta t_{maks} = \frac{(\Delta t_{85} - \Delta t_{33})}{\Delta t_{85}} \quad \dots(14)$$

Δt_{33} - sprememba debeline preskušanca v 33 % zračni vlažnosti

Δt_{85} - sprememba debeline preskušanca v 85 % zračni vlažnosti

Spremembo maksimalne mase smo izračunali po formuli:

$$\Delta m_{maks} = \frac{(\Delta m_{85} - \Delta m_{33})}{\Delta m_{85}} \quad \dots(15)$$

Δm_{33} - sprememba mase preskušanca v 33 % zračni vlažnosti

Δm_{85} - sprememba mase preskušanca v 85 % zračni vlažnosti

Spremembo maksimalne dolžine smo izračunali po formuli:

$$\Delta l_{maks} = \frac{(\Delta l_{85} - \Delta l_{33})}{\Delta l_{85}} \quad \dots(16)$$

Δl_{33} - sprememba dolžine preskušanca v 33 % zračni vlažnosti

Δl_{85} - sprememba dolžine preskušanca v 85 % zračni vlažnosti

Debelinski nabrek (Gt) smo ugotavljali po standardu SIST EN 317

Formula:

$$Gt_{33} = \frac{(t_{65} - t_{33})}{t_{33}} \times 100 [\%] \quad \dots(17)$$

$$Gt_{85} = \frac{(t_{65} - t_{85})}{t_{85}} \times 100 [\%] \quad \dots(18)$$

t_{33} - debelina preskušanca v 33 % zračni vlažnosti

t_{65} - debelina preskušanca v 65 % zračni vlažnosti

t_{85} - debelina preskušanca v 85 % zračni vlažnosti

4 REZULTATI

V preglednici 1 so podane povprečne gostote plošč pri 65 % zračni vlažnosti.

Preglednica 1: Gostota plošč in faktor zgostitve.

Vrsta lesa	Gostota plošče [kg/m ³]	Povprečna gostota lesa [kg/m ³]	Faktor zgostitve (CR)
smreka	815	435	1,87
bukev	784	680	1,15
smreka + bukev	814	557	1,46

Razlika v gostoti so posledica gostote lesa in uporaba distančnih letev. Lesno vrsto z nižjo gostoto pri enakih pogojih, bolj stisnemo oz. zgostimo, kot tisto z višjo gostoto.

4.1 ADSORPCIJA IN DESORPCIJA

V preglednicah so predstavljeni rezultati vzorcev, ki so bili izpostavljeni različnim klimam. Izhodiščna klima za vse vzorce je bila 65%, nato smo jih polovico prestavili v klimo od 33 - 85 % (adsorpcija), ostalo polovico pa v klimo od 85 - 33 % relativno zračno vlažnosti (desorpcija). Meritve smo opravili na preskušancih dimenzij 150 × 50 mm.

Preglednica 2: Povprečne vrednosti spremembe debeline preskušancev v klimatskih pogojih 33 in 85 %.

t(%)			
Vrsta/vlažnost	Δt_{n33}	Δt_{n85}	Δt_{maks} (%)
smreka	0,97	-5,80	1,17
bukev	1,16	-6,89	1,16
smreka + bukev	0,91	-4,20	1,21

Iz preglednice 2 lahko vidimo, da so najmanjše spremembe debeline pri ploščah, ki so bile izdelane iz smrekovega in bukovega iverja. Predvidevamo, da se veliki in majhni gradniki lepo združijo skupaj. Mehki gradniki, količinsko jih je veliko in majhni gradniki, ki zapolnijo prazen prostor tvorijo zaprto površino.

Preglednica 3: Povprečne vrednosti spremembe debeline preskušancev v klimatskih pogojih 85 in 33 %.

t(%)			
Vrsta/vlažnost	Δt_{s85}	Δt_{s33}	Δt_{maks} (%)
smreka	-5,56	1,20	1,21
bukev	-3,80	2,80	1,74
smreka + bukev	-3,90	2,60	1,67

Iz preglednice 3 je razvidno, da imata bukev in smreka+bukev vrednosti v fazi navlaževanja veliko manjše kot smreka, pri sušenju so te vrednosti veliko večje. Lahko predvidevamo, da je lepilo zadržalo svojo elastičnost. Pri smreki je prišlo do popustitve napetosti, relaksacija gradnika ob navlaževanju, kar je lahko posledica večjega faktorja stisljivosti.

Preglednica 4: Povprečne vrednosti spremembe mase preskušancev v klimatskih pogojih 33 in 85 %.

m(%)			
Vrsta/vlažnost	Δm_{n33}	Δm_{n85}	Δm_{maks} (%)
smreka	1,36	-4,95	1,27
bukev	1,94	-5,60	1,35
smreka + bukev	1,01	-4,94	1,20

Pri spremembi mase v preglednici 4 najmanjše vrednosti daje plošča smreka+bukev. Ravno ta kombinacija različnih velikih gradnikov in pa bukov prah lahko zapolnita površino. Z prahom dobimo gladko površino, katera oteži prehod vlage v samo ploščo.

V preglednici 5 so podane povprečne vrednosti spremembe mas preskušancev pri različni relativni zračni vlažnosti (85 - 33 %) in vrsti plošče.

Preglednica 5: Povprečne vrednosti spremembe mase preskušancev v klimatskih pogojih 85 in 33 %.

m(%)			
Vrsta/vlažnost	Δm_{s85}	Δm_{s33}	Δm_{maks} (%)
smreka	-4,37	3,72	1,85
bukev	-4,23	4,46	2,05
smreka + bukev	-3,54	3,80	2,07

Iz preglednice 5 je razvidno, da smreka+ bukev v adsorpciji sprejme najmanj vode medtem ko v desorpciji odda skoraj enako vode kot smreka.

Preglednica 6: Povprečne vrednosti spremembe dolžine preskušancev v klimatskih pogojih 33 in 85 %.

l(%)			
Vrsta/vlažnost	Δl_{n33}	Δl_{n85}	Δl_{maks} (%)
smreka	0,39	-0,20	2,95
bukev	0,09	-0,16	1,56
smreka + bukev	0,1	-0,18	1,55

Iz preglednice 6 vidimo, da so najmanjše spremembe dolžine pri plošči bukev. To je lahko posledica majhnih gradnikov in nizke stopnje zgojitve. Veliko praznih prostorov omogoča, da le te najprej zapolni voda, šele nato pa nabrekli delci.

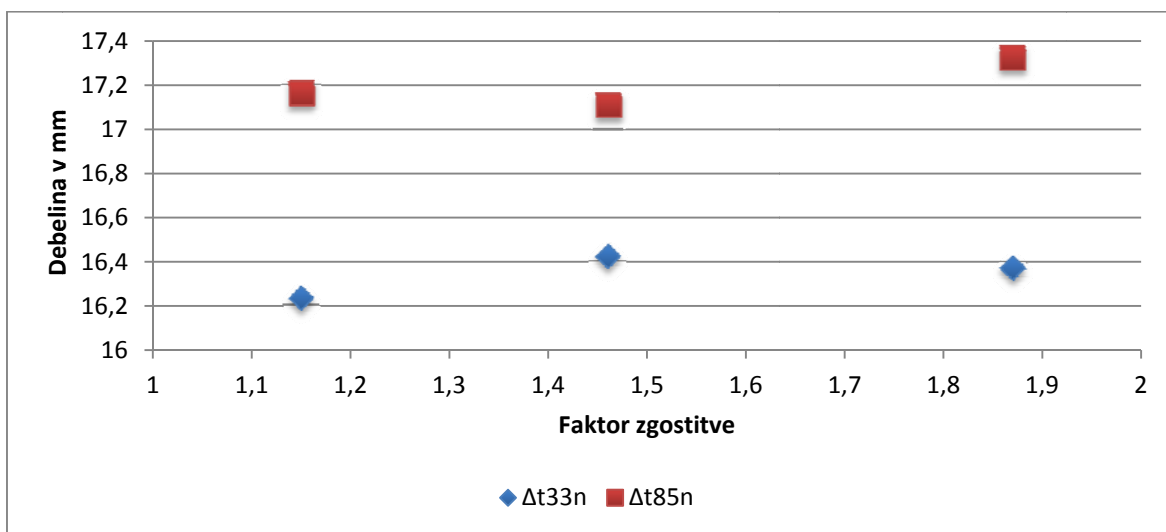
Preglednica 7: Povprečne vrednosti spremembe dolžine preskušancev v klimatskih pogojih 85 in 33 %.

I(%)			
Vrsta/vlažnost	Δl_{s85}	Δl_{s33}	Δl_{maks} (%)
smreka	-0,15	0,15	2
bukev	-0,09	0,19	3,11
smreka + bukev	-0,12	0,20	2,67

Pri spremembi dolžine v preglednici 7 največje spremembe prikazuje smreka. Velik faktor zgoščevanja ($CR= 1,87$) in pa veliki gradniki pri smreki, lahko povzročita večje spremembe v dolžini, kot pri ploščah bukev in smreki + bukev.

5 RAZPRAVA

V spremenjenih vlažnostnih pogojev je navlaževanje/sušenje iverne plošče odvisno od dveh faktorjev in sicer, od nabrekanja samega lesa in sprostitve tlačnih napetosti nastalih v fazi stiskanja. Nabrekanje samega lesa v primerjavi s sprostitvijo tlačnih napetosti v visoki vlažnosti je zelo majhno.



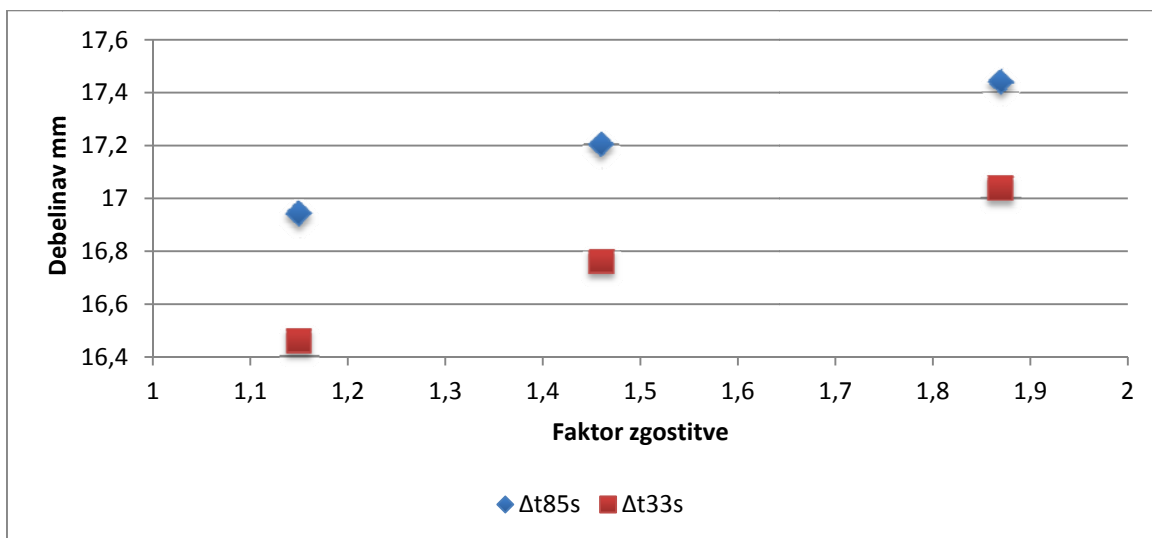
Slika 8: Prikaz debeline (mm) v odvisnosti od faktorja zgostitve.

Pri opciji A- navlaževanje, je iz grafa (slika 8) razvidno, da je najmanjša razlika v debelini pri plošči smreka + bukev. Iz povprečne debeline 16,57 mm (preglednica 8) v 65 % RVZ se v območjih 33 %, 85 % RVZ najmanj spremeni debelina in sicer pri sušenju za 0,15 in navlaževanju 0,69 mm.

Preglednica 8: Vrsta plošče debelina pri 65 % RVZ in sprememba debeline pri 33 ter 85 % RVZ.

Vrsta plošče	t [mm]	Δt1 [mm]	Δt2 [mm]
	65% RVZ	33 % RVZ	85 % RVZ
Smreka	16,19	0,18	0,95
Bukev	16,42	0,19	0,93
Smreka + Bukov	16,57	0,15	0,69

Preglednica 8 prikazuje vrsto iverne plošče, njihove povprečne vrednosti debelin v vlažnosti 65 % RVZ in spremembo debeline v 33 % in 85 % RVZ. Vidimo da najmanjše spremembe debeline prikazuje smreka + bukev.



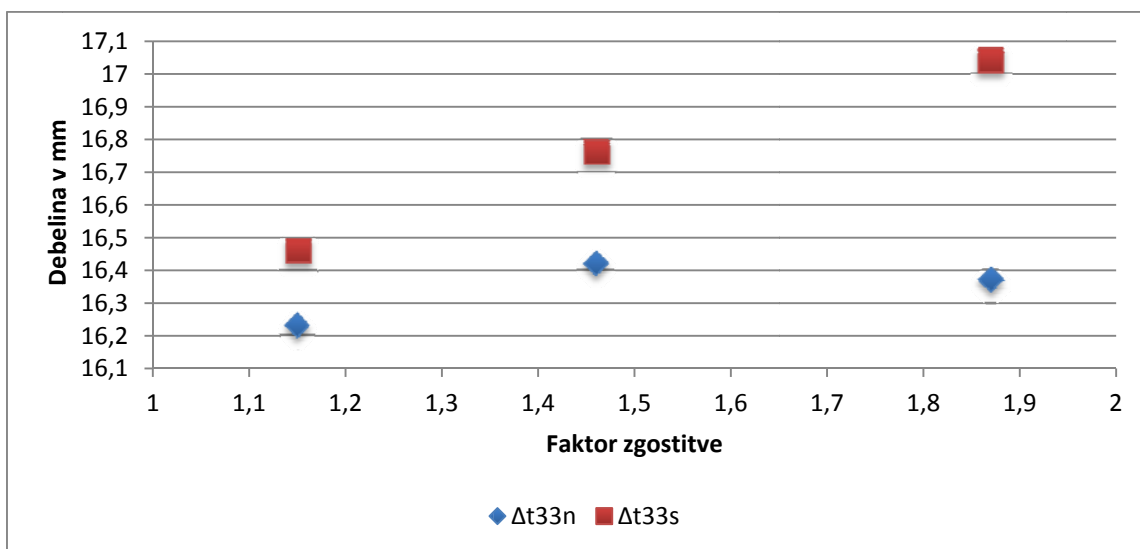
Slika 9: Prikaz debeline (mm) v odvisnosti od faktorja zgotitve.

Pri opciji B- sušenje (slika 9) je razvidno da pri CR 1,87 iz začetne vlažnosti 65 % v 85 % plošča najbolj spremeni svojo debelino in to za 0,92 mm (preglednica 9). V fazi sušenja pa relaksacija iverja onemogoča večje spremembe v debelini plošče. Ostali dve plošči sta si dokaj podobni.

Preglednica 9: Vrsta plošče debelina pri 65 % RVZ in sprememba debeline pri 85 % ter 33 % RVZ.

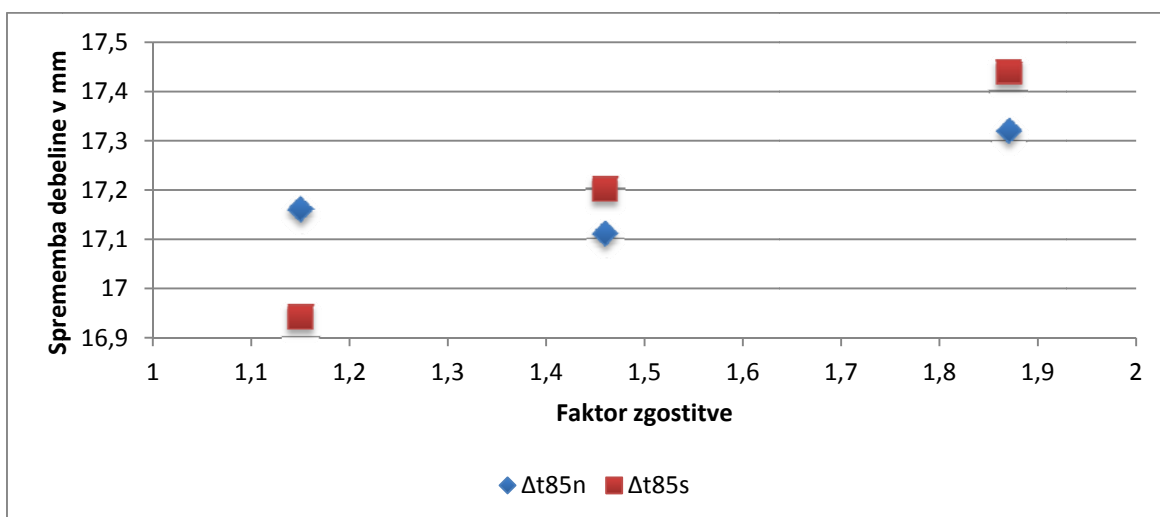
Vrsta plošče	t [mm]	Δt1 [mm]	Δt2 [mm]
	65 % RVZ	85 % RVZ	33 % RVZ
Smreka	16,19	0,92	0,40
Bukev	16,42	0,62	0,48
Smreka + Bukev	16,57	0,65	0,43

Preglednica 9 prikazuje vrsto iverne plošče, njihove povprečne vrednosti debelin pri vlažnosti 65 % RVZ in spremembo debeline v 85 % in 33 % RVZ. Vidimo da najboljše rezultate prikazuje plošča smreka+bukev. Rezultati spremembe debeline so si zelo podobni.



Slika 10: Primerjava debeline (mm) v odvisnosti od faktorja zgostitve.

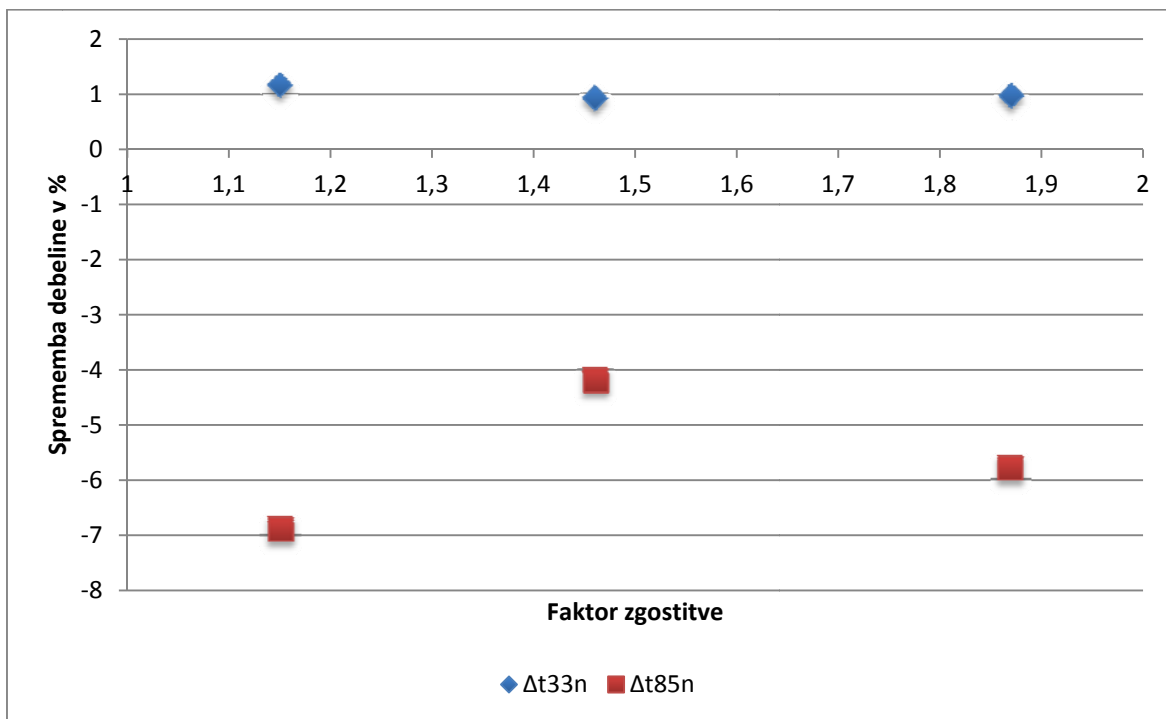
Pri sliki 10 je debelina v vlažnosti 33 % pri opciji A in opciji B¹ največja pri najvišjem faktorju zgostitve, ki znaša 0,67 mm. Sledita ji srednji faktor zgostitve z 0,35 mm in najnižji faktor zgostitve z 0,23 mm. Pri opciji A najvišjo debelino 16,42 mm poda plošča z srednjim CR.



Slika 11: Primerjava spremembe debeline (mm) v odvisnosti od faktorja zgostitve.

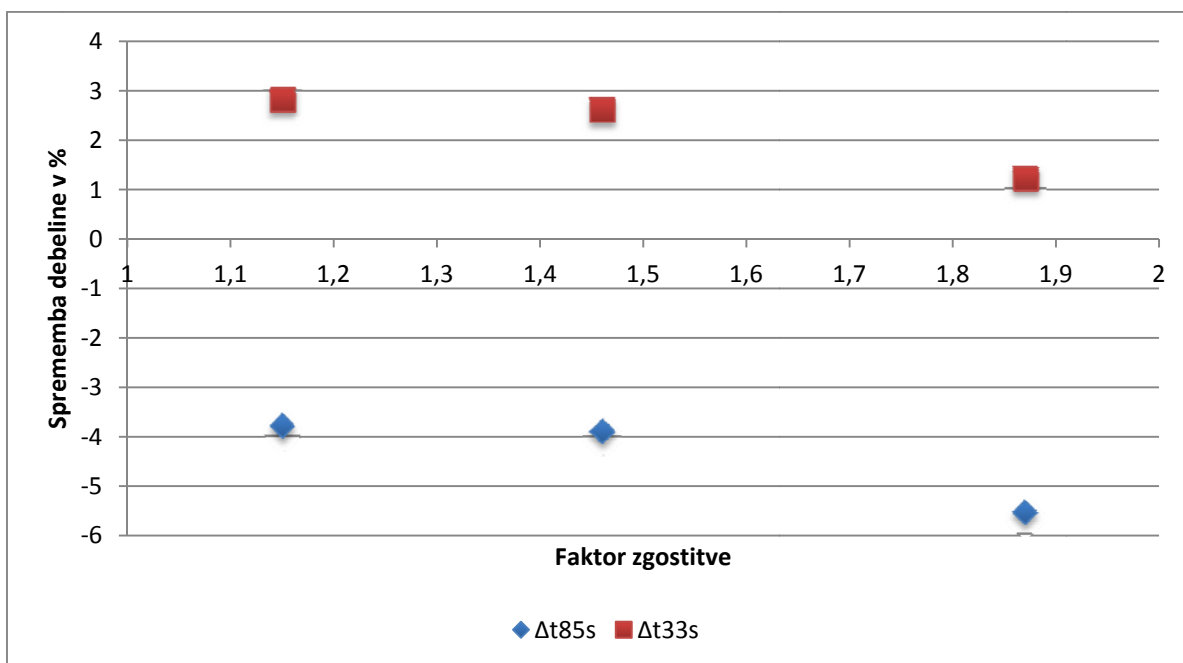
Slika 11 nam prikazuje spremembo debeline v vlažnosti 85 % opcija A¹ - navlaževanje in opcija B -sušenje. Najmanjša vrednost je pri CR 1,46 znaša 0,09 mm, sledita ji CR 1,87 in 1,15 z 0,12 mm, 0,22 mm. Pri opciji A¹ srednji faktor zgostitve z visoko gostoto ohrani svojo debelino plošče najtanjšo pri 17,11 mm in to kljub temu da je imel začetno debelino

plošče najvišjo 16,57 mm. Pri opciji B vidimo da gostota in faktor zgostitve ne igrata večje vloge.



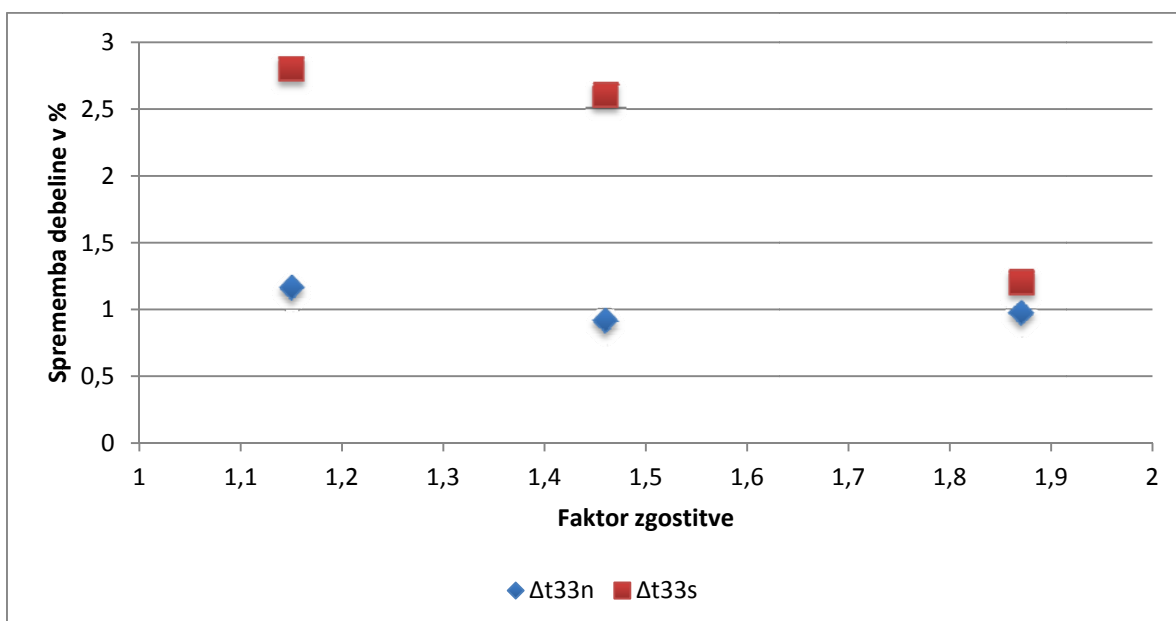
Slika 12: Prikaz spremembe debeline (%) v odvisnosti od faktorja zgostitve.

Iz grafa (slika 12) vidimo, da je v opciji A in A¹-navlaževanje, sprememba debeline najmanjša pri faktorju zgostitve 1,46, znaša -3,29 %. Notranje napetosti niso bile tako velike, da bi prišlo do porušitve. Dobro prileganje gradnikov in elastičnost lepila uspe zadržati iveri v stisnjeni obliki. Pri nižjemu CR je vlaga naredila svojo škodo, zato je tudi sprememba tako velika (-5,73 %). Plošča z največjim CR je začela absorbirati vlago in ta je pustila posledico, prišlo je do relaksacije gradnikov (-4,83 %).



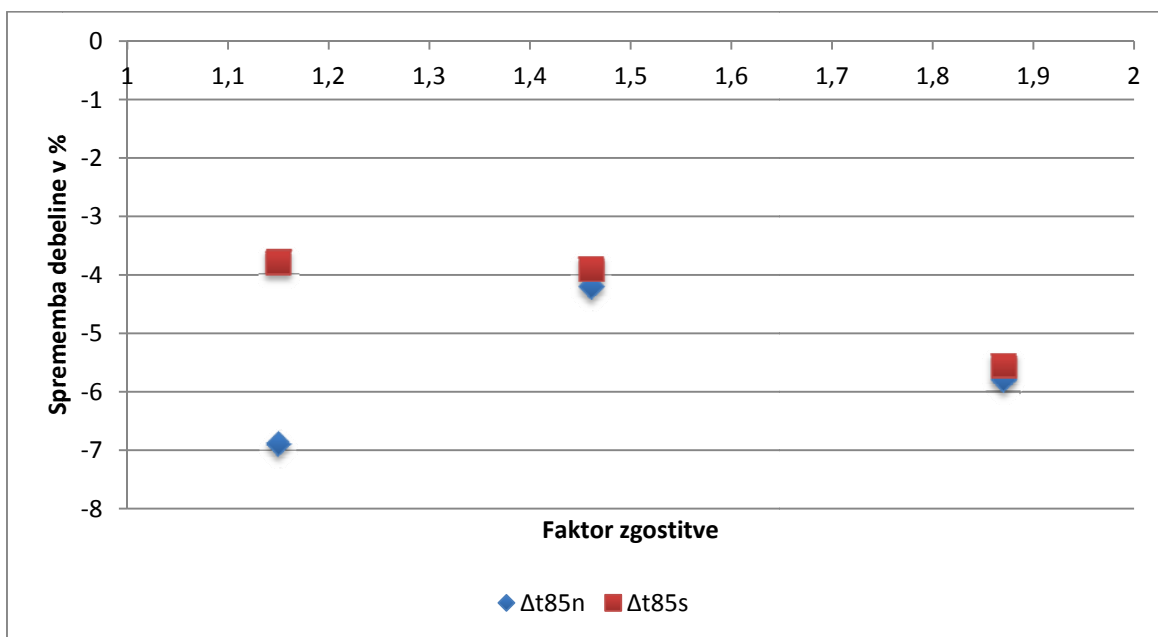
Slika 13: Prikaz spremembe debeline (%) v odvisnosti od faktorja zgostitve.

Pri opciji B in B¹ sušenje (slika 13) je sprememba debeline najmanjša pri plošči smreka + bukve, znaša 6,5 %. Pri plošči bukve je sprememba debeline 6,6 % in pri smreki 6,76%. Iz grafa lahko lepo vidimo da, gostota in faktor zgostitve pri sušenju iz 85 na 33% RZV ne igrata velike vloge. V vseh treh primerih so spremembe debeline med seboj zelo podobne.



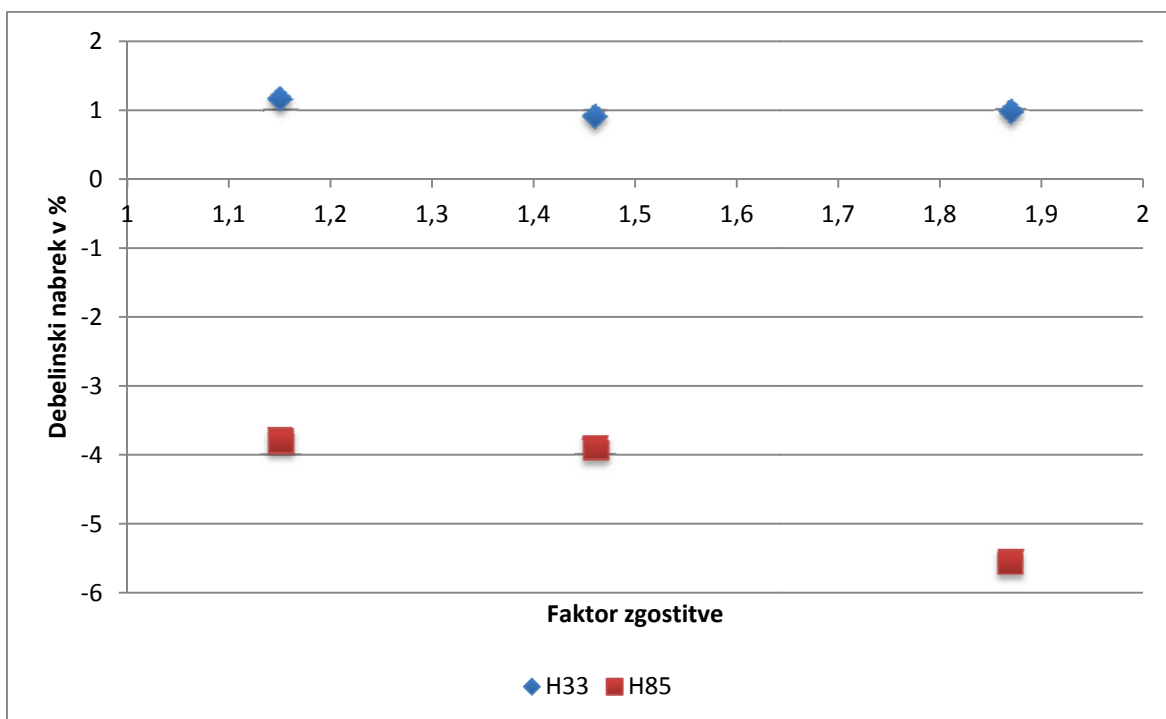
Slika 14: Primerjava spremembe debeline (%) v odvisnosti od faktorja zgostitve.

V sliki 14 primerjamo vrednosti spremembe debeline v 33 % vlažnosti pri opciji A in B¹, glede na faktor zgostitve. Pri opciji A se je Δt izračunal iz začetne vlažnosti 65 %, pri opciji B¹ pa smo Δt izračunali iz vlažnosti 85 %, zato pride do takšnih odstopanj. Pri opciji A so manjše razlike med debelino in , zato je tudi delež manjši. Ravno obratno je pri opciji B¹, večje so razlike med debelino in večji je delež.



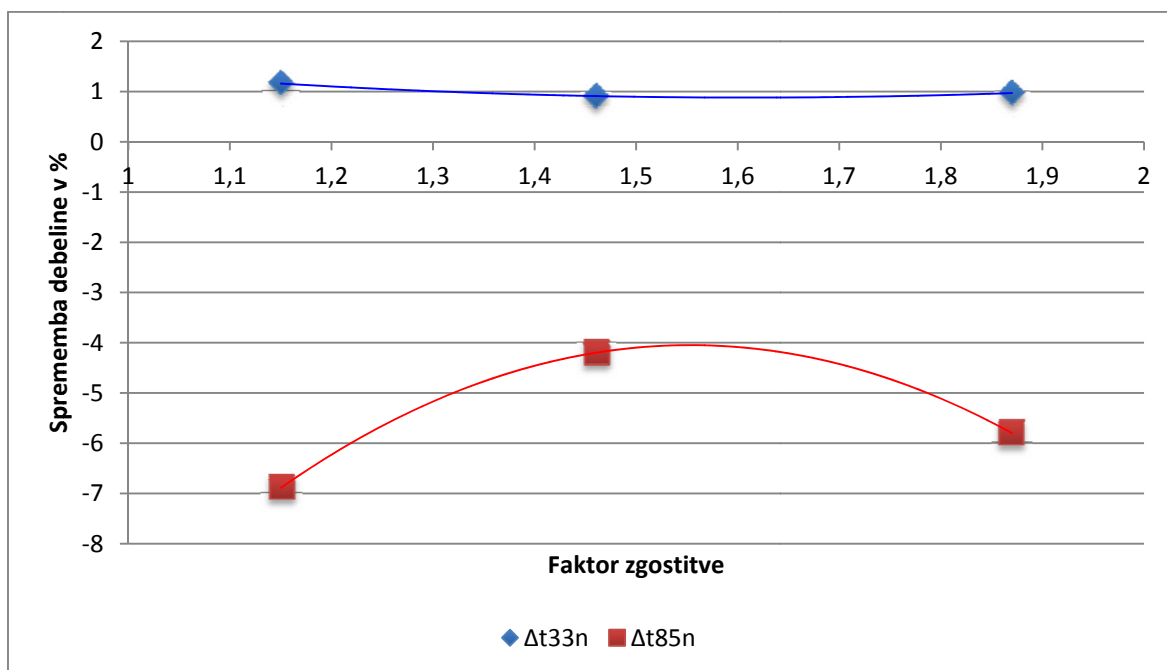
Slika 15: Primerjava spremembe debeline (%) v odvisnosti od faktorja zgostitve.

V sliki 15 primerjamo vrednosti spremembe debeline pri opciji A¹ in B v 85 % vlažnosti, glede na faktor zgostitve. Pri opciji A¹ smo računali Δt iz začete vlažnosti 85 %, pri opciji B pa smo računali Δt iz vlažnosti 65 % , zato pride do manjših odstopanj. Pri opciji A¹ so večje razlike med debelino in , zato je tudi delež večji. Obratno je pri opciji B, manjše so razlike med debelino in manjši je delež.



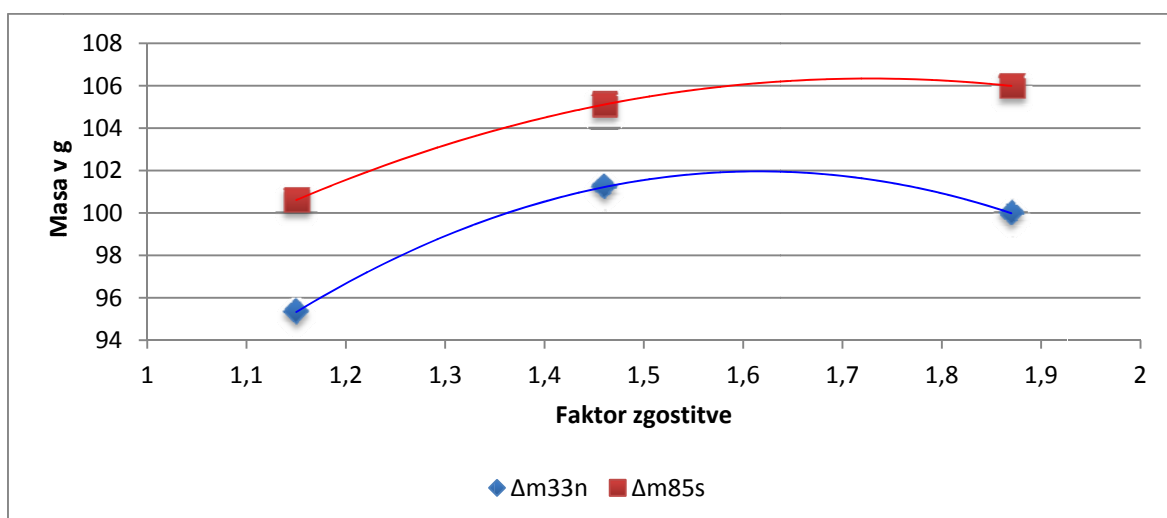
Slika 16: Prikaz debelinskega nabreka (Gt) v odvisnosti od faktorja zgostitve.

Kakor vidimo iz grafa (slika 16), je najmanjši debelinski nabrek pri srednjemu faktorju zgostitve in znaša 4,81 %. Različno veliki gradniki v kombinaciji z lepilom in bukovim prahom zadržujeta iveri v prvotni legi. Medtem ima najvišji faktor zgostitve v sebi prevelike sile zato pride do povečanega nabreka, ki znaša 5,56 %. Sledi mu najmanjši CR z 4,96 % .



Slika 17: Prikaz spremembe debeline (%) v odvisnosti od faktorja zgostitve.

Iz slike 17 vidimo da, je sprememba debeline najmanjša pri faktorju zgostitve 1,46 in je -3,29 %, pri najmanjši zgostitvi je -5,73 %. Pri največjem faktorju zgostitve je sprememba največja in znaša -4,83. Iz tega vidimo da pri sušenju ne igra veliko vlogo ne gostota kot ne faktor zgostitve, če gledamo na spremembo debeline. Pri navlaževanju gostota deluje negativno, vpliva pa zgostitev oz. notranje napetosti, ki povzročijo relaksacijo.



Slika 18: Prikaz mase v odvisnosti od faktorja zgostitve.

Iz slike 18 je razvidno, da z naraščanjem faktorja zgojitve se spreminja tudi masa lesa, debeline so bile dokaj enake, spreminjali smo samo maso. Pri CR 1,87 imamo največ lesa in bi morale največ vode oddati, pa tega ni, ker zaprtost površine in roba zavirata vse skupaj. Sprememba mase je najmanjša pri CR 1,46 in je 3,89 g, sledi ji CR 1,15 z 5,28 g in 6 g z CR 1,87.

6 SKLEPI

Iz dobljenih rezultatov in razprave lahko ugotovimo:

- Relativna zračna vlažnost vpliva na spremembe ivernih plošč, saj se z večanjem relativne zračne vlažnosti spreminjajo dimenzije in masa.
- Vrsta iverne plošče vpliva na spremembo debeline pri 33-85 % relativni zračni vlažnosti. Najmanj se spremeni debelina pri srednjem faktorju zgostitve (1,46) za 4,83 %.
- Vrsta plošče vpliva na spremembo debeline pri 85-33 % relativni zračni vlažnosti. Debelina se najmanj spremeni pri plošči smreka + bukev za 6,5 %.
- Pri sušenju (85-33 % RVZ) gostota in faktor zgostitve nimata velikega vpliva na debelino.
- Z najvišjim faktorjem zgostitve pri navlaževanju (85-33 % RVZ) zaprtost površine in roba zavirata vstop vodi/vlagi.

7 POVZETEK

V diplomski nalogi nas je zanimalo, kako relativna zračna vlažnost, faktor zgostitve in vrsta lesa vplivajo na spremembe dimenzij in mas, zaradi tega smo vzorce izpostavljali različnim klimatskim pogojem.

Imeli smo tri različne vrste plošč, iz katerih smo izžagali preskušance. Preskušance smo najprej kondicionirali v klimi s 65 % relativno zračno vlažnostjo. Vsem štiriindvajsetim preskušancem dimenzij 150 mm x 50 mm smo izmerili dimenzije in maso. Dvanajst preskušancev smo postavili v klimo z relativno zračno vlažnostjo 33 %, ostalih dvanajst v klimo s 85 % relativno zračno vlažnostjo. Postopek smo ponovili tako, da smo preskušance iz 85 % postavili v 33 % relativno zračno vlažnost in tpreiskušance iz 33 % na 85 % relativno zračno vlažnost.

Kot smo lahko sklepali, se je najbolje obnesla plošča smreka + bukev s faktorjem zgostitve 1,46, ki je prikazala najmanjše spremembe v debelini in masi, medtem ko je plošča bukev najmanjše vrednosti podala pri dolžini preskušancev.

Ugotovimo, da na spremembe dimenzij in mas pri ivernih ploščah vplivajo vrsta lesa, faktor zgostitve in gostota plošče.

8 VIRI

Brumbaugh J.I. 1960. Effect of flake dimensions on properties of particleboard. Forest Products journal, 10, 5: 243-246

Buschbeck L., Keher E., Jansen U. 1961. Untersuchungen uber die Eignung verschiedener Holzarten und sortimente zur Herstellung von Spanplatten -1. Mitteilung : Rotbuche und Kiefer. Holztechnologie, 2, 2: 99-100

Dix B., Marutzky R. 1997. Nutzung von Holz aus Kurzumtriebsplantagen. Holz-Zentrallatt, 123, 9: 141-142

Heebrik B.G., Hann R.A. 1959. How wax and Particle shape effect stability and strength of oak particleboards. Forest Products Journal, 9: 197-203

Hefty F. V. 1966. Component Variables on Properties of Particleboard for Exterior Use. U. S. Forest Products Laboratory Madison: 46-62

Halligan A. F. 1970. Review of Thickness Swelling in Particleboard. Wood Science and Tehnology, 4: 301-312

Maloney T.M. 1977. Modern Particleboard and Dry-Process Fiberboard. San Francisco, Miller Freeman Publications inc.: 672 str.

Mantanis G.I., Young R.A., Rowell R.M. 1994. Swelling of wood – Part1 : Swelling in water. Wood Science and Technology, 28: 119-134

Medved S., Resnik J. 2001. Thickness swelling of the individual layers of a three layer particleboard. V: Proceedings of the Fifth International Conference on the Development of Wood Science, Wood Technology and Forestry, ICWSF 2001, 5th-7th September 2001, Ljubljana, Slovenia. Ljubljana: Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology: 115-123

- Medved S. 2005. Advantages and disadvantages of mixed wood species utilization for wood based panels. V: Proceedings of the COST Action E44 Conference: June 14th-15th 2005, Vienna, Austria, Vienna: Boku Vienna: 167-173
- Miyamoto K., Nakahara S., Suzuki S. 2002. Effect of particle shape on linear expansion of particleboard. *Journal of Wood Science*, 48: 185-190
- Moslemi A.A. 1974. Particleboard - Volume 1: Materials. Amsterdam, London, Southern Illinois University Press: 7-19
- 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., Akbulut T. 2003. Effects of juvenile woods on some physical and mechanical properties of particleboards manufactured from black locust (*Robina pseudoacacia* L.), *Journal of Forestry Faculty University of Istanbul, A Series*, 53, 2: 75-83
- No Y.B., Kim M.G. 2007. Evaluation of melamine- modified urea-formaldehyde resins as particleboard binders. *Journal of Applied Polymer Science*, 106, 6: 4148-4156
- Panjković I., Bruči V. 1991. Utjecaj različitih vrsta drva na fizičko-mehanička svojstva troslojnih iverica. *Drvena industrija*, 42, 3-4: 55-60
- Papadapolous A.N. 2006. Property comparisons and bonding efficiency of UF and pMDI bonded particleboards as affected by key process variables. *BioResources*, 1, 2: 201-208
- Pirkmaier S., Medved S. 1996. Vpliv nekaterih drevesnih vrst na mehanske in fizikalne lastnosti ivernih plošč. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 48: 219-233
- Suchsland O. 1972. Linear hygroscopic expansion of selected commercial particleboards. *Forest Products Journal*, 22, 11: 28-32

Sekino N., Asakura N. 1993. Humidity control efficiency of low-density particleboard for interior walls II. Measurement of EMC and calculation of moisture content changes in service. *Mokuzai Gakkaishi = Journal of the Japan Wood Research Society*, 39, 10: 1146-1151

SIST EN 323. 1996. Lesne plošče – Ugotavljanje gostote. Wood-based panels – Determination of Density.

SIST EN 318. 2002. Lesne plošče – Ugotavljanje dimenzijskih sprememb povezanih s spremembami relativne zračne vlažnosti. Wood based panels - Determination of dimensional changes associated with changes in relative humidity.

Thoemen H. 2006. The Effects of the Wood Raw Material on Panel Properties: A Fundamental Approach. V: Wood resources and panel properties : conference proceedings: Cost Action E44-E45, Valencia, Spain, 12-13 June 2006. Valencia AIDIMA, Furniture, wood and packaging technology institute

Turner H. D. 1954. Effect of particle size and shape on strength and dimensional stability of Ph resin bonded wood particle panels. *Forest Products Science*, 28, 3: 286 -294

Wang S., Winistorfer P.M. 2001. Flake Compression behaviour in a Resinless Mat as related to Dimensional Stability. *Wood Science and Tehnology*, 35, 5: 379-393

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, prof. dr. Sergeju Medvedu za pomoč in usmerjanje skozi celotno izdelavo diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi partnerki Poloni, hčerki Loreni in svojim domačim za vso vzpodbudo in podporo, ter vsem ki so na kakršenkoli način prispevali svoj del k končni podobi diplomske naloge.

