

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Uroš CENTA

ANALIZA LOMA LESNIH PLOŠČ PRI OBREMENITVI NA UPOGIB

DIPLOMSKI PROJEKT
Univerzitetni študij – 1. stopnja

**FRACTURE ANALYSIS OF WOOD-BASED PANELS
CAUSED BY BENDING FORCE**

B. SC. THESIS
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2011

Diplomski projekt je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva – 1. stopnje. Opravljen je bil na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bile opravljene vse meritve v laboratoriju za preizkušanje lesnih tvoriv.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega projekta imenoval doc. dr. Sergeja Medveda, za recenzenta pa prof. dr. Srečka Vratušo.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Uroš Centa

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Du1
DK UDK 630*862
KG ploščni kompoziti/upogib/gostota/sila loma/potek loma
AV CENTA, Uroš
SA MEDVED, Sergej (mentor)/VRATUŠA, Srečko (recenzent)
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI 2011
IN ANALIZA LOMA LESNIH PLOŠČ PRI OBREMENITVI NA UPOGIB
TD Diplomski projekt (univerzitetni študij - 1. stopnja)
OP IX, 41 str., 12 pregl., 24 sl., 1 pril., 17 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Preučevali smo, kako struktura plošče vpliva na lom pri maksimalni obremenitvi na upogib. Uporabili smo ploščne kompozite, ki so dostopni na trgu, in sicer furnirno ploščo, OSB ploščo, konstrukcijsko ploščo, iverno ploščo in vlakneno ploščo. Pri zadnjih 3 naštetih nas je zanimalo, kakšen je izgled loma posameznega sloja, ter kako mehanske lastnosti posameznega sloja vplivajo na celo ploščo. Pri furnirni plošči je pri prečnem furnirju lom raven, pri vzdolžnem pa nazobčan in poteka po strukturi lesa. Pri OSB plošči je na zunanjem sloju lom bolj nazobčan, v srednjem sloju pa je potek loma bolj raven. Najbolj homogen lom po celi debelini plošče ima LSB - konstrukcijska plošča, lom pa poteka »med gradniki« in je nazobčan. Pri zunanjem sloju iverne plošče, z višjo gostoto in manjšimi delci, je lom bolj raven; pri srednjem z nižjo gostoto in večjimi delci pa bolj nazobčan. Manjši kot so gradniki, bolj raven je potek loma, vendar so vlakna tu izključena. Pri vlakneni (MDF) plošči je lom zelo nazobčan in v plasteh ter spominja na lom vzdolžnega furnirja. Vsak posamezni sloj je relativno šibek, vendar skupaj tvorijo ploščo z boljšimi lastnostmi.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du1
 DC UDC 630*862
 CX composite plate/bending force/density/fracture force/ fracture course
 AU CENTA, Uroš
 AA MEDVED, Sergej (supervisor)/VRATUŠA, Srečko (co-advisor)
 PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
 PY 2011
 TI FRACTURE ANALYSIS OF WOOD-BASED PANELS CAUSED BY BENDING FORCE
 DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)
 NO IX, 41 p., 12 tab., 24 fig., 1 ann., 17 ref.
 LA sl
 AL sl/en
 AB Thesis researches how the structure of a wood-based panel influences the fracture when loading the panel with a maximum bending force. Wood-based panels such as plywood, OSB, constructional, particleboard and fibre board panels, available on the market, were tested. We studied how the appearance of a fracture and mechanic characteristics of a particular layer influence the entire panel. The fracture of a transversal plywood panel is straight while the one of a longitudinal panel is jagged and follows the structure of wood. The fracture of a surface layer of an OSB panel is jagged while the course of a fracture inside the panel is straight. The most homogeneous fracture in all layers of a panel was noticed at LSB – constructional panel where the fracture took place among the components and was jagged. The surface layer of a particleboard with higher density and smaller parts has a straighter fracture, while the interior layer with lower density and larger parts has a more jagged structure. Smaller the parts, straighter the fracture; the fibres excluded. A fibre board (MDF) has an extremely jagged fracture at all layers and it is similar to the fracture of a longitudinal plywood panel. The test shows that individual layers of a fibre board are relatively weak, but all together they form a panel with best characteristics.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	IX
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	2
1.2 CILJ RAZISKOVANJA	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
3 MATERIAL IN METODE	6
3.1 MATERIAL	7
3.1.1 Furnirna plošča.....	7
3.1.2 Iverna plošča z usmerjenim iverjem (OSB)	7
3.1.3 LSB - konstrukcijska plošča	7
3.1.4 Iverna plošča	7
3.1.5 Vlaknena plošča (MDF)	7
3.2 METODE	8
3.2.1 Določanje maksimalne sile loma	8
3.2.2 Določitev gostotnega profila	10
3.2.3 Analiza vpliva posameznega sloja	12
4 REZULTATI	14
4.1 UPOGIBNA TRDNOST IN MODUL ELASTIČNOSTI	14
4.1.1 Rezultati za furnirno ploščo	15
4.1.2 Rezultati za OSB ploščo	17
4.1.3 Rezultati za LSB - konstrukcijsko ploščo.....	18
4.1.4 Rezultati za iverno ploščo	20
4.1.5 Rezultati za MDF ploščo	22
4.2 IZGLED LOMA POSAMEZNEGA SLOJA IN PRISPEVEK POSAMEZNEGA SLOJA K CELOTNI PLOŠČI	24
4.2.1 Rezultati za posamezen sloj LSB - konstrukcijske plošče	24
4.2.2 Rezultati za posamezen sloj iverne plošče	27
4.2.3 Rezultati za posamezen sloj MDF plošče.....	29
5 RAZPRAVA IN SKLEPI.....	33
5.1 RAZPRAVA O IZGLEDU LOMA	33

5.1.1	Potek loma pri furnirni plošči	33
5.1.2	Potek loma pri OSB plošči	34
5.1.3	Potek loma pri LSB - konstrukcijski plošči	35
5.1.4	Potek loma pri iverni plošči	35
5.1.5	Potek loma pri MDF plošči	36
5.2	RAZPRAVA O IZGLEDU LOMA POSAMEZNEGA SLOJA IN O PRISPEVKU POSAMEZNEGA SLOJA K CELOTNI PLOŠČI	36
5.3	SKLEPI	37
6	POVZETEK	38
7	VIRI	40
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Povprečne vrednosti in standardni odklon za preskušane materiale	14
Preglednica 2: Vrednosti pri preskušanju furnirne plošče	15
Preglednica 3: Vrednosti pri preskušanju OSB plošče	17
Preglednica 4: Vrednosti pri preskušanju LSB - konstrukcijske plošče	19
Preglednica 5: Vrednosti pri preskušanju iverne plošče	20
Preglednica 6: Vrednosti pri preskušanju MDF plošče	22
Preglednica 7: Vrednosti posameznega sloja pri preskušanju LSB - konstrukcijske plošče...	24
Preglednica 8: Primerjava sile loma posameznega sloja LSB - konstrukcijske plošče s celotno LSB - konstrukcijsko ploščo	25
Preglednica 9: Vrednosti posameznega sloja pri preskušanju iverne plošč	27
Preglednica 10: Primerjava sile loma posameznega sloja iverne plošče s celotno iverno ploščo	28
Preglednica 11: Vrednosti posameznega sloja pri preskušanju MDF plošče	30
Preglednica 12: Primerjava sile loma posameznega sloja MDF plošče s celotno iverno ploščo	30

KAZALO SLIK

Slika 1: Shema naprave za preskušanje upogibne trdnosti.....	8
Slika 2: Univerzalni testirni stroj Zwick Z100	9
Slika 3: Shema merilnika gostotnih profilov	11
Slika 4: Shematičen prikaz pozicije in globine rezov.....	13
Slika 5: Lom pri obremenitvi vzporedno s potekom vlaken zunanjega furnirja	16
Slika 6: Lom pri obremenitvi pravokotno potekom vlaken zunanjega furnirja	16
Slika 7: Lom pri prečno orientirani OSB plošči.....	18
Slika 8: Lom pri vzdolžno orientirani OSB plošči	18
Slika 9: Lom pri LSB - konstrukcijski plošči.....	19
Slika 10: Lom pri prečno orientirani iverni plošči	21
Slika 11: Lom pri vzdolžno orientirani iverni plošči.....	21
Slika 12: Lom pri prečno orientirani MDF plošči	23
Slika 13: Lom pri vzdolžno orientirani MDF plošči	23
Slika 14: Lom pri srednjem in zunanjem sloju LSB - konstrukcijske plošče.....	26
Slika 15: Lom srednjega sloja LSB - konstrukcijske plošče	26
Slika 16: Lom zunanjega sloja LSB - konstrukcijske plošče	27
Slika 17: Lom pri srednjem in zunanjem sloju iverne plošče.....	28
Slika 18: Lom srednjega sloja iverne plošče	29
Slika 19: Lom zunanjega sloja iverne plošče	29
Slika 20: Lom pri srednjem in zunanjem sloju MDF plošče.....	31
Slika 21: Lom pri srednjem sloju MDF plošče	31
Slika 22: Lom pri zunanjem sloju MDF plošče.....	32
Slika 23: Obremenitev gradnika na sredini	34
Slika 24: Obremenitev gradnika na robu	35

KAZALO PRILOG

Priloga A: Podatki za furnirno ploščo, OSB ploščo, LSB – konstrukcijsko ploščo, iverno ploščo in vlakneno (MDF) ploščo

1 UVOD

Les se že od nekdaj uporablja v različne namene, tako v pohištveni industriji kot v gradbeništvu. Les je naraven material in ima, glede na relativno majhno gostoto, odlične mehanske lastnosti, kar mu zagotavlja široko področje uporabe. Masivnega kvalitetnega lesa, večjih dimenzij in z dobrimi mehanskimi lastnostmi je relativno malo, zato je kvaliteten les dragocen in je z njim potrebno premišljeno gospodariti.

Da bi čim boljše izboljšali lastnosti, predvsem manj kvalitetnega lesa ter čim boljše izkoristili ostanke od predelave masivnega lesa, se je pojavila težnja po predelavi oz. uporabi le teh za nove proizvode.

Z namenom predelave manj kvalitetnega lesa in lesnih ostankov v koristne proizvode, so se razvili lesni ploščni kompoziti. Ti kompoziti so ekonomsko zanimivi, saj so izdelani iz manj kvalitetnega lesa in lesnih ostankov, njihova kasnejša manipulacija in uporaba je relativno enostavna. Skozi zgodovino so se razvili različni ploščni kompoziti, ki se med seboj razlikujejo po svoji zgradbi in po namenu uporabe. Najbolj razširjene plošče iz kompozitov in komercialno najbolj prepoznavne, so furnirne plošče (plywood), iverne plošče (particleboard), vlaknene plošče (fibrebord), plošče z usmerjenim iverjem (OSB), iverne plošče z večjim iverjem (LSB - konstrukcijske plošče).

Eden izmed ciljev predelave lesa in lesnih ostankov v ploščne kompozite je, da iz nehomogene strukture dobimo čimbolj homogeno strukturo. Ta homogenost je odvisna predvsem od velikosti gradnikov same plošče. Na splošno velja, da manjši kot so gradniki plošče, bolj homogena je struktura plošče.

Seveda pa idealne homogenosti ni mogoče doseči. Plošče so večslojne, sredica ima običajno manjšo gostoto, lepilne mešanice se razlikujejo po posameznih slojih, prehod toplote med stiskanjem plošče je različen med posameznimi sloji, itn. Vsi naštetimi parametri vplivajo na mehanske lastnosti posameznih plošč.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Različne plošče, kljub homogenosti, različno prenašajo obremenitve. Ko so obremenitve previsoke, se vsaka plošča zlomi na drugačen način, kar je povezano predvsem z velikostjo gradnikov, zgostitvijo gradnikov in plošče, njihov povezanostjo oz. zlepljenostjo, itn. Zanimalo nas je, ali zaradi različne strukture gradnikov v plošči prihaja do razlik pri obremenitvah preskušancev na upogib. Poleg maksimalne sile ($F_{\max}$), modula elastičnosti (E) in upogibne trdnosti (f_m) nas bo zanimal predvsem izgled ter potek loma pri preskušancu, obremenjenem na upogib. Razlike v posameznih slojih, ki so posledica različnih velikosti gradnikov v posameznem sloju plošče, smo ugotavljali z oslabitvijo posameznega sloja.

1.2 CILJ RAZISKOVANJA

Cilj raziskovanja je ugotoviti, kako struktura plošče vpliva na lom pri maksimalni obremenitvi na upogib. Ugotoviti želimo, kako na potek loma pri preskušancih vpliva velikost gradnikov, zgostitev gradnikov in plošče, povezanost gradnikov oz. njihova zlepljenost in struktura plošče (vpliv posameznega sloja).

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Zaradi različnih oblik in velikosti gradnikov v ploščah predvidevamo, da bo prišlo do razlik v poteku loma in izgledu loma. Predpostavimo lahko, da bo lom potekal po najšibkejših točkah: pri večjih gradnikih bo lom potekal predvsem po lesu, pri manjših gradnikih pa predvidevamo, da bo lom potekal predvsem med lepilnimi spoji med gradniki.

2 PREGLED OBJAV

Daudeville (1999) je v svoji raziskavi ugotavljal energijo loma (G_f), ki se pojavlja pri tritočkovnem upogibu. Podatke je pridobil s pomočjo programske opreme. Uporabil je preskušance smreke in jelke, v katere je napravil zareze in jih preskušal tako v tangencialni kot v radialni smeri. Predstavljena je enostavna simulacija loma pri mehanskih poškodbah (2D model). Za preizkušanje so uporabili preizkušance različnih dimenzij (višina preskušanca 45 mm in 100 mm), saj jih je zanimal vpliv velikosti preizkušanca na sam potek loma. Pridobljena podatka, LEFM (Linear Elastic Fracture Mechanics) in DM (Damage Mechanics) sta se v določeni zvezi lahko uporabila za določitev G_f , hkrati pa sta se pridobljena podatka primerjala s simulacijskim modelom. Ugotovil je, da preskušanje po metodi LEFM ni primerno za manjše preskušance (45mm), medtem ko za določitev energije loma velikost preskušanca ne vpliva. Z metodo DM so pravilno predvideli krivuljo upogibne trdnosti.

De Mura in sod. (2009) so preskušali masiven les smreke in bora, kjer so skušali določiti karakteristike loma. Na posamezen rob preizkušanca so naredili zarezo, nato pa so preizkušance preskušali na tritočkovni upogib. Analizirali so izgled loma v posameznih smereh (R - radialni, T - tangencialni, L - longitudinalni). Preskušali so s posebno metodo, pri kateri ne gre za sprotno spremljanje loma, temveč temelji na napetostnem stanju trikotne oblike v vzorcu. S posebnim modelom oz. simulacijo so skušali ugotoviti začetek loma ter njegovo nadaljnjo širitev. Po končanem preizkusu so lom analizirali z R - curve (analiza in določitev energije loma preko geometrije in velikosti razpoke oz. loma). Med šestimi različnimi velikostmi preizkušancev se preskus ni obnesel za tiste z najmanjšo velikostjo.

Aicher in Reinhardt (1993) sta ugotavljala vpliv velikosti strukture na linearno elastično lomno mehansko metodo (Linear Elastic Fracture Mechanics-LEFM) in nelinearno lomno mehansko metodo (Nonlinear Fracture Mechanics-NLFM). Preskušanci z večjimi gradniki v svoji strukturi prenesejo manjše obremenitve kot preskušanci z manjšimi gradniki v svoji strukturi. Ugotovila sta, da se z LEFM metodo lahko preskuša manjše preskušance kot z metodo NLFM.

Ehart in sod. (1996) so preskušali za tisto obdobje nov proizvod PARALLAM® PSL. Ugotavljali so karakteristike loma, rezultate pa so primerjali z masivnim lesom ter iverno ploščo. Tipične lomne lastnosti lameliranega kompozita PSL so določili s pomočjo tehnike, pri kateri se s pomočjo klina razdvoji vzorec. Ugotovili so, da na potek loma zelo vpliva orientiranost preskušanca.

Po mnenju Ehart in sod. (1996) so poleg ostalih mehanskih lastnosti pomembne tudi lastnosti loma pri kompozitnih materialih. V svoji raziskavi so skušali ugotoviti natančen potek loma pri iverni plošči ter določiti specifično energijo loma G_f . Uporabili so metodo, kjer s pomočjo klina razdvojijo preskušanece. Vrednost energije loma se zelo razlikuje glede na orientiranost preskušanca in je v prečni smeri tudi desetkrat večja. Raziskovali so tudi vpliv posameznih delcev oz. iveri na potek loma. Po njihovem mnenju je optimalno razmerje med širino in višino posameznega delca manjše od 1,4. Ugotovitev velja predvsem za preskušanje v prečni smeri.

Znano je, da je gostotni profil pri lesenih ploščnih kompozitih zelo pomemben dejavnik. Xu (1999) je ugotavljal teoretično povezavo med gostotnim profilom in modulom elastičnosti E_m ter upogibno trdnostjo f_m pri lesenih ploščnih kompozitih. Modul elastičnosti E_m narašča z naraščanjem gostote. Pri raziskavi je bilo ugotovljeno, da je najvišja vrednost E_m , kjer je največja gostota pomaknjena kakšen mm poroti sredini plošče.

Lee in Wu (2003) sta z dvodimenzionalnim modelom preučila nekatere lastnosti OSB plošče. Za vsak sloj posebej sta določila Youngov modul, Poissonovo število ter linearni razteznostni koeficient. Pridobljeni podatki so pomembni za uporabo plošč v praksi, saj se z njimi lahko teoretično izračunajo vrednosti za upogibno trdnost (f_m) in modul elastičnosti (E_m).

Na lastnosti lesnih ploščnih kompozitov (LPK) vplivajo lastnosti uporabljenih gradnikov ter dejavniki, ki so povezani s tehnologijo izdelave LPK. S proizvodnimi procesi lahko močno vplivamo na lastnosti LPK, kot so gostota in gostotni profil. Če se poviša tlak, temperatura in čas stiskanja, se proizvede LPK z višjo gostoto. Hitro zapiranje stiskalnice pomeni večjo razliko v gostoti med zunanjim in srednjim slojem, kar spremeni gostotni

profil LPK. Na mehanske in ostale lastnosti LPK vplivajo tudi velikost, oblika ter usmeritev gradnikov. Furnirni listi ter rezane ploščate iveri (pri OSB) ohranjajo lastnosti masivnega lesa, medtem ko se pri iverih in vlaknih te lastnosti porazgubijo zaradi medsebojnih interakcij med delci (Fan in sod. 2009).

Da se izdelata lesni ploščni kompozit (LPK) z dobrimi lastnostmi, se morajo gradniki zgostiti najmanj za 5 % njegove naravne gostote. V praksi se pogosto zgostitev poveča za 50 % glede na naravno gostoto gradnikov. Če imajo gradniki naravno gostoto 400 kg/m^3 , bo imel LPK gostoto okoli 600 kg/m^3 . Ta zgostitev je potrebna za boljši kontakt med gradniki. Z zgostitvijo gradnikov se izboljša tudi upogibna trdnost LPK (Thoemen in sod. 2010).

Lynam (1959) in Plath (1963) sta z eksperimenti dokazala, da je gostotni profil najvišji v zunanem sloju plošče ter da proti srednjem delu počasi upada.

Walter in Wiechmann (1961) sta izpostavila, da višja vrednost gostotnega profila v zunanem sloju poveča mehanske lastnosti plošče.

Plath (1971) in Hansel in sod. (1988) so ugotavljali korelacijo med vertikalno porazdelitvijo gostote ter mehanskim in fizikalnimi lastnostmi. Za izdelavo plošč so uporabljali iverje hrasta in bora. Vertikalno porazdelitev gostote so določili s postopnim skobljanjem. Ugotovili so, da se z večanjem debeline iverja srednjega sloja večja povratna deformacija (springback) srednjega sloja, kar povzroči 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 trdnost plošč.

3 MATERIAL IN METODE

Za raziskovanje smo uporabili pet različnih vrst ploščnih kompozitov, ki so dostopni na našem tržišču. Uporabili smo furnirno ploščo debeline 16 mm, OSB ploščo debeline 18 mm, konstrukcijsko ploščo debeline 22 mm, iverno ploščo debeline 22 mm in vlakneno ploščo debeline 16 mm. Iz plošč smo izžagali preskušance primernih dimenzij, ki ustrezajo standardu SIST EN 310.

Pripravljene vzorce smo zlomili s pomočjo stroja ZWICK Z100. Izvajali smo tritočkovni upogib, istočasno pa smo pridobili maksimalno silo obremenitve, modul elastičnosti ter upogibno trdnost. Čas do loma je bil med 30 in 90 sekund, vendar smo preskušanje podaljšali, da je prišlo do popolnega preloma preskušanca in ne zgolj do maksimalne sile oz. sile loma. To smo storili zato, da bi lahko bolj natančno določili začetek loma ter njegov nadaljnji potek, tudi po dosegu maksimalne sile. Samo preizkušanje smo snemali z video kamero s ciljem možnosti kasnejše analize poteka preskusa. Snemati smo začeli tik pred začetkom loma, saj smo skušali s pomočjo video posnetka bolj natančno določiti začetek loma ter njegovo nadaljnjo širitev, predvsem v začetni fazi.

Pri LSB - konstrukcijskih ploščah, ivernih ploščah ter vlaknenih ploščah so v strukturi plošče manjši gradniki, razlike med sloji pa niso tako očitne kot pri furnirni plošči in OSB plošči. Zato nas je zanimalo, kako posamezen sloj vpliva na sam potek loma ter kako mehanske lastnosti posameznega sloja vplivajo na celotno ploščo. V ta namen smo preskušance zarezali do te mere, da smo bolj korektno odstranili določen sloj. Tako pripravljene preskušance smo preskušali po standardu SIST EN 310.

3.1 MATERIAL

3.1.1 Furnirna plošča

Uporabili smo furnirno ploščo, sestavljeno iz bukovih furnirjev, debeline 16 mm. Naša plošča je bila sestavljena iz devetih slojev furnirja. Furnirji so med seboj zlepljeni z melamin-formaldehidnim (MF) lepilom.

3.1.2 Iverna plošča z usmerjenim iverjem (OSB)

Za naše preskušanje smo uporabili ploščo debeline 18 mm, pri kateri so gradniki med seboj zlepljeni z melamin-formaldehidnim (MF) lepilom.

3.1.3 LSB - konstrukcijska plošča

Pri našem preskušanju smo uporabili ploščo debelino 22 mm, gradniki so med seboj zlepljeni z melamin-urea-formaldehidnim (MUF) lepilom.

3.1.4 Iverna plošča

Pri našem testiranju smo uporabili ploščo debeline 22 mm, gradniki so med seboj zlepljeni z melamin-urea-formaldehidnim (MUF) lepilom.

3.1.5 Vlaknena plošča (MDF)

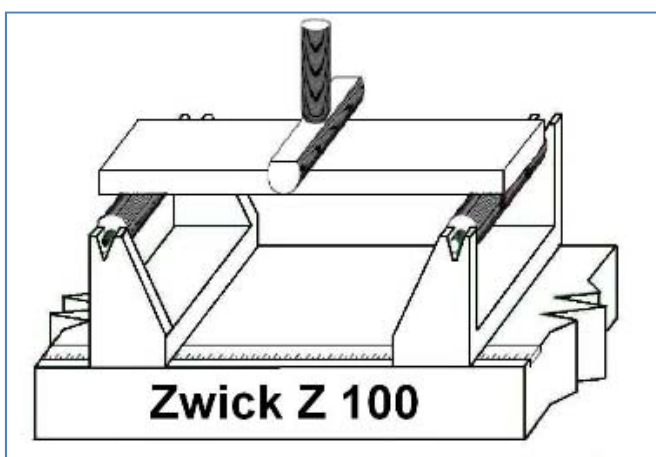
Pri našem testiranju smo uporabili MDF ploščo debeline 16 mm, vlakna so med seboj zlepljena z urea-formaldehidnim (UF) lepilom.

3.2 METODE

Pridobljene plošče iz industrije smo razžagali na dimenzije, ki ustrezajo standardu za upogibno trdnost SIST EN 310. Da bi lahko bolj natančno opazovali potek loma plošče, smo posneli potek preskusa. Snemati smo začeli tik pred začetkom loma, saj nas je zanimal začetek loma, ter njegovo nadaljevanje predvsem v začetni fazi.

3.2.1 Določanje maksimalne sile loma

Določanje sile loma smo opravili v skladu s standardom SIST EN 310 (tritočkovna obremenitev) (slika 1 in 2), sam potek preskusa pa smo posneli tudi z videokamero.



Slika 1: Shema naprave za preskušanje upogibne trdnosti



Slika 2: Univerzalni testirni stroj Zwick Z100

Čas do loma je bil med 30 in 90 sekund. Preskušanje smo podaljšali, da je prišlo do popolnega preloma preskušanca in ne zgolj do maksimalne sile oz. sile loma. To smo storili zato, da bi lahko bolj natančno določili začetek loma in njegov nadaljnji potek, hkrati pa smo spremljali odzivnost materiala tudi po dosegu maksimalne sile. Hitrost pomika je bila nastavljena na 8 mm/min. S testiranjem smo pridobili podatke o maksimalni sili loma F_{max} [N], modulu elastičnosti E [N/mm²] ter upogibni trdnosti f_m [N/mm²]. Program pa nam je izračunal tudi opravljeno delo W [Nm] do loma preskušanca ter delo po lomu preskušanca.

Modul elastičnosti E [N/mm²] smo izračunali po naslednji enačbi:

$$E_m = \frac{l_1^3 \cdot (F_2 - F_1)}{4 \cdot w \cdot t^3 \cdot (a_2 - a_1)} \quad \dots (1)$$

- F_1 sila pri 10% sile loma v N
- F_2 sila pri 40% sile loma v N
- l_1 oporiščna razdalja v mm
- a_1 poves pri 10% sile loma v mm
- a_2 poves pri 40% sile loma v mm
- w širina preizkušanca v mm
- t debelina preizkušanca v mm

Upogibno trdnost f_m [N/mm²] smo dobili po naslednji enačbi:

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{\text{loma}} \cdot l_1}{2 \cdot w \cdot t^2} \quad \dots (2)$$

- F_{loma} sila loma v N
- l_1 oporiščna razdalja v mm
- w širina preizkušanca v mm
- t debelina preizkušanca v mm

Potek preskusa je enak za vse vrste kompozitov, razlike so bile zgolj v velikosti preskušanca.

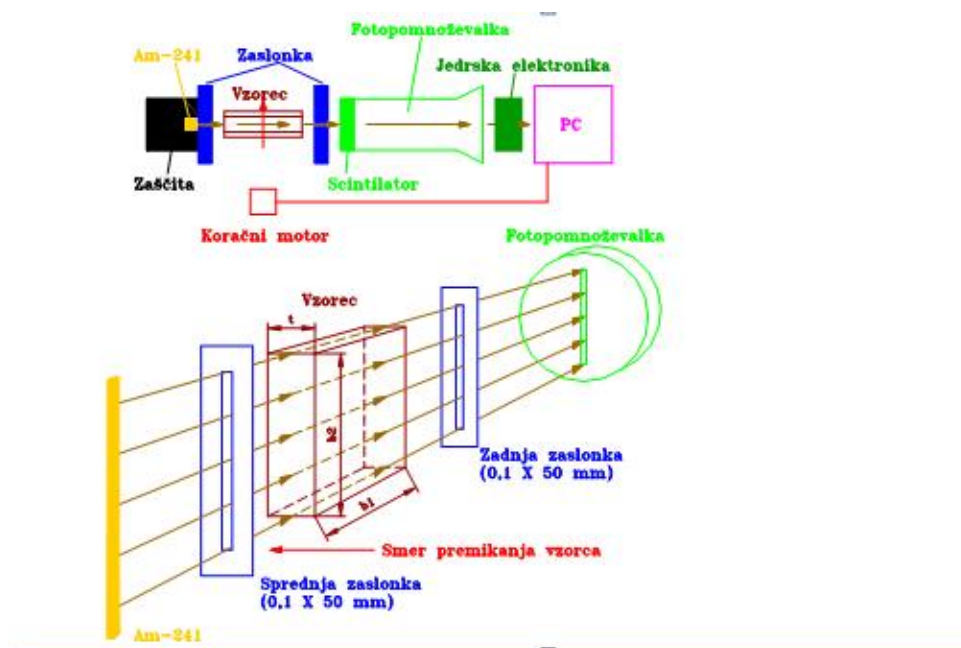
3.2.2 Določitev gostotnega profila

Zanimalo nas je, kako gostotni profil vpliva na potek loma pri posameznih ploščah. Zanimal nas je predvsem gostotni profil LSB plošče, iverne plošče ter vlaknene plošče. Gostotni profil smo opravili na že testiranih vzorcih, izbrali smo vzorce, ki so imeli povprečno vrednost modula elastičnosti E [N/mm²]. S pomočjo gostotnega profila smo izračunali tudi debelino posameznega sloja plošče.

Meritve smo opravili na preskušancih dimenzije 50×50 mm z merilnikom gostotnih profilov MGP–201 (slika 3). Zasnovan je na merjenju spremembe intenzitete žarkov gama

pri prehodu skozi preskušane. Kot vir sevanja je uporabljen radioaktiven izotop Am-241 z energijo žarkov gama 60 keV in aktivnostjo 3·7 GBq. Miza se premika s hitrostjo 0,1 mm/sek (v eni sekundi se izmeri intenziteta žarkov pri prehodu skozi preskušane na pasu dolžine b_1 , širine b_2 in debeline 0,1 mm). Ko pričnemo z meritvami, se zaslonka odpre in žarki potujejo skozi preskušane in skozi fotopomnoževalko s scintilatorjem. Fotopomnoževalka je v povezavi s scintilatorjem, v katerem fotoni (žarki gama) sprožijo svetlobne sunke (scintilacije). Nastale scintilacije zazna fotokatoda, ki se nahaja v fotopomnoževalki, kjer se pomnožijo v elektronski plaz. Signale iz fotopomnoževalke obdelamo z jedrsko elektroniko in zbiramo v računalniku (PC) za nadaljnjo uporabo.

Na osnovi števila impulzov na časovno enoto (intenziteta prehoda skozi zrak) in števila impulzov, ki so registrirani po absorpciji žarkov gama (intenzitete prehoda skozi vzorec), lahko izračunamo prostorninsko maso v 0,1 mm debelem odseku vzorca. Celotni profil dobimo z zaporedjem meritev na posameznih odsekih.



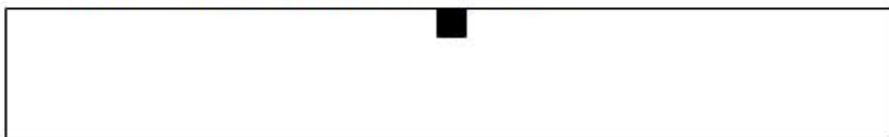
Slika 3: Shema merilnika gostotnih profilov

3.2.3 Analiza vpliva posameznega sloja

Pri LSB - konstrukcijskih ploščah, ivernih ploščah ter vlaknenih ploščah so v strukturi plošče manjši gradniki, razlike med sloji pa niso tako očitne kot pri furnirni plošči in OSB plošči. Zanimalo nas je, kako posamezen sloj vpliva na sam potek loma ter kako mehanske lastnosti posameznega sloja vplivajo na celotno ploščo.

Preskušance smo si pripravili po standardu SIST EN 310 – določanje upogibne trdnosti. Po sredini smo napravili rez, da smo eliminirali določen sloj. Zgoraj omenjeni standard predpisuje oporiščno razdaljo ($20 d + 50 \text{ mm}$ oz. min 150 mm) vendar smo jo mi pustili nastavljeno tako, kot da bi preskušali preskušane brez eliminiranega sloja. To smo storili zato, ker nas je zanimala predvsem sila loma posameznega sloja. Debelino posameznega sloja pri preskušancih smo določili z gostotnim profilom. Zaradi načina razžagovanja ter zaradi možnosti zloma preskušanca je prišlo do določenih odstopanj med izmerjeno debelino sloja in preskušano debelino sloja. Pozicija in globina rezov sta prikazani na sliki 4.

Preskušanje srednjega in spodnjega sloja



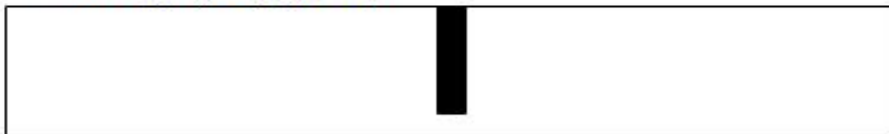
Preskušanje srednjega in zgornjega sloja



Preskušanje srednjega sloja



Preskušanje spodnjega sloja



Preskušanje zgornjega sloja



Slika 4: Shematičen prikaz pozicije in globine rezov

4 REZULTATI

4.1 UPOGIBNA TRDNOST IN MODUL ELASTIČNOSTI

Za vsako vrsto plošče posebej so v preglednici 1 predstavljene povprečne vrednosti in standardni odklon za preskušane materiale.

Preglednica 1: Povprečne vrednosti in standardni odklon za preskušane materiale

	Povprečna vrednost				Standardni odklon	
	E [N/mm ²]	f _m [N/mm ²]	W do loma [Nm]	W po lomu [Nm]	E [N/mm ²]	f _m [N/mm ²]
Furnirna plošča	7998	74,93	16736	6198	1549,36	13,22
OSB plošča	3849	19,54	2405	2295	1622,53	7,65
LSB plošča	3073	18,05	3723	1800	87,08	0,88
Iverna plošča	3137	18,30	3080	1515	89,01	0,64
MDF plošča	3402	26,61	4056	2030	168,88	1,45

Najvišji povprečni modul elastičnosti (E) imamo pri furnirni plošči (7998 N/mm²), kateri je za več kot enkrat višji kot pri ostalih ploščah. Po vrednosti drugi največji E je pri OSB plošči (3849 N/mm²), sledi E MDF plošče (3402 N/mm²). Najnižje vrednosti E, z majhnimi razlikami, smo dobili pri LSB - konstrukcijski plošči (3073 N/mm²) ter pri iverni plošči (3137 N/mm²). Najvišjo povprečno upogibno trdnost (f_m) ima ponovno furnirna plošča (74,93 N/mm²) in je skoraj trikrat višja od f_m MDF plošče (26,61 N/mm²). Sledi f_m OSB plošče (19,54 N/mm²), katera je za malenkost višja od f_m iverne plošče (18,30 N/mm²) in f_m LSB – konstrukcijske plošče (18,05 N/mm²). Največ dela (W do loma) je bilo vložnega, da se je zlomila furnirna plošča (16736 Nm), W po lomu pa je bilo še dodatnih 6198 Nm. Pri OSB plošči sta W do loma (2405 Nm) in W po lomu (2295 Nm) skoraj enaka. Pri LSB, iverni ter MDF plošči je W po lomu za polovico manjši kot W do loma.

Zelo velik standardni odklon, tako za E kot za f_m, opazimo pri furnirni plošči in OSB plošči. To lahko pripišemo dejstvu, da smo za izračun standardnega odklona vzeli

vrednosti tako za prečne kot vzdolžne preskušance, razlika v vrednostih glede na orientacijo pa je največja ravno pri omenjenih ploščah.

4.1.1 Rezultati za furnirno ploščo

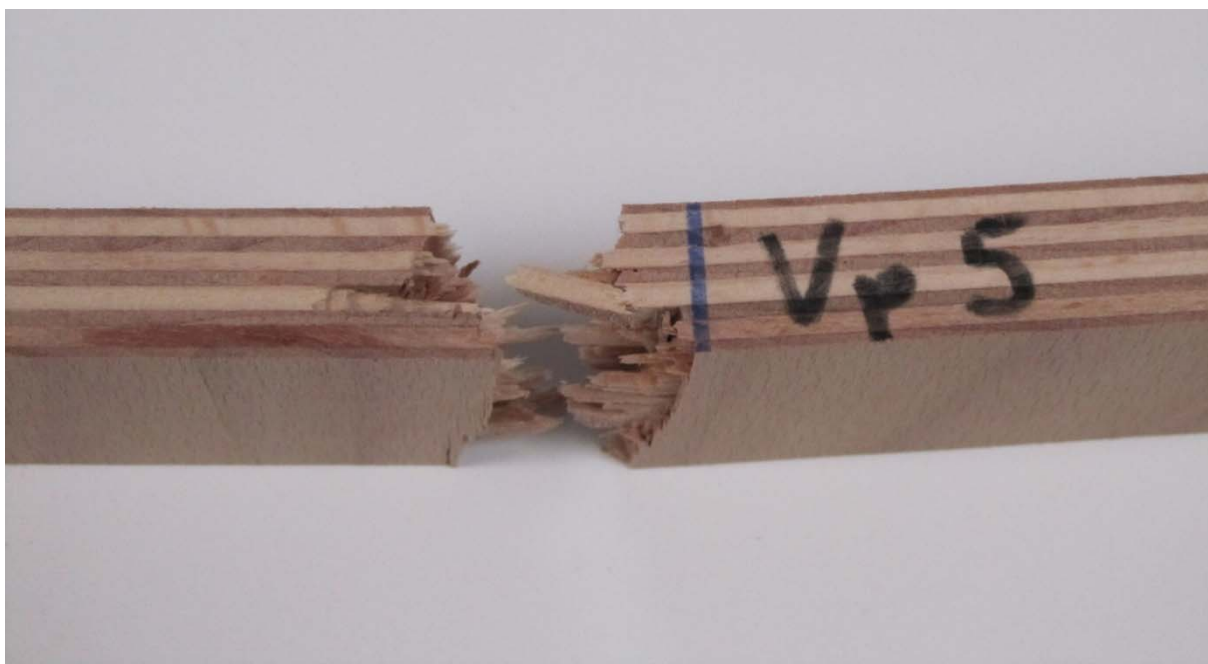
Preskušali smo furnirno ploščo debeline 16 mm, sestavljeno iz devetih slojev bukovega furnirja med seboj zlepljenih z melamin-formaldehidnim (MF) lepilom. Imeli smo pet preskušancev preskušanih prečno glede na zgornji furnir ter pet preskušancev preskušanih vzdolžno glede na zgornji furnir. V preglednici 2 so predstavljene povprečne vrednosti ter standardni odklon za modul elastičnosti (E) in upogibno trdnost (f_m).

Preglednica 2: Vrednosti pri preskušanju furnirne plošče

		E [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]
prečno	Povprečna vrednost	6307	63,3
	Standardni odklon	583	12,6
vzdolžno	Povprečna vrednost	9126	82,7
	Standardni odklon	734	3,0

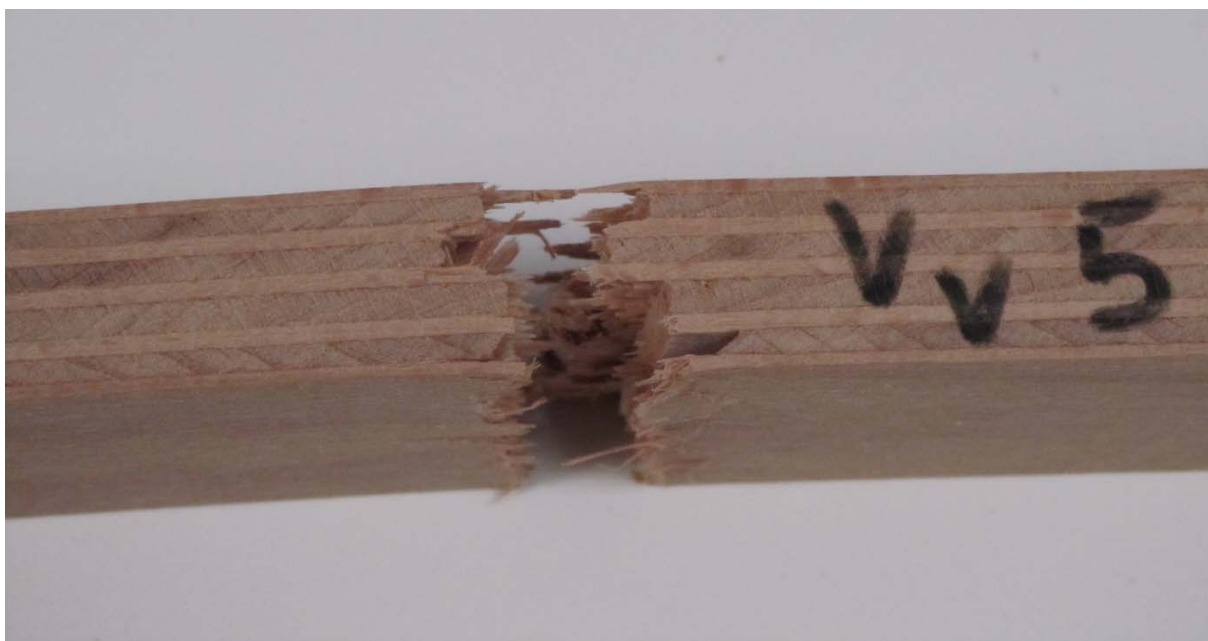
Iz rezultatov je razvidno, da so vrednosti nižje, ko je obremenjena prečno glede na zgornji furnir. Pri samem spremljanju loma smo opazili začetek loma na furnirju, ki je prečno obrnjen glede na testiranje.

Slika 5 prikazuje lom pri furnirni plošči, preskušani prečno glede na zgornji - zunanji furnir. Razvidno je, da je lom pri prečnem furnirju raven, pri vzdolžnem furnirju pa je lom zelo nazobčan. Pri samem testiranju se je začetek loma pokazal na spodnjem prečnem furnirju. Potek loma je zelo odvisen od same strukture furnirjev ter usmeritve.



Slika 5: Lom pri obremenitvi vzporedno s potekom vlaken zunanega furnirja

Pri ogledu posnetka loma vzdolžno testirane furnirne plošče smo opazili, da se je lom pričel pri prečnem furnirju na spodnji strani. Ko sta popustila spodnja prečna furnirja, se je lom zelo hitro razširil še po vzdolžnih furnirjih do polovice plošče. Vidimo lahko tudi razliko v izgledu loma med prečnim furnirjem in vzdolžnim furnirjem (slika 6).



Slika 6: Lom pri obremenitvi pravokotno potekom vlaken zunanega furnirja

4.1.2 Rezultati za OSB ploščo

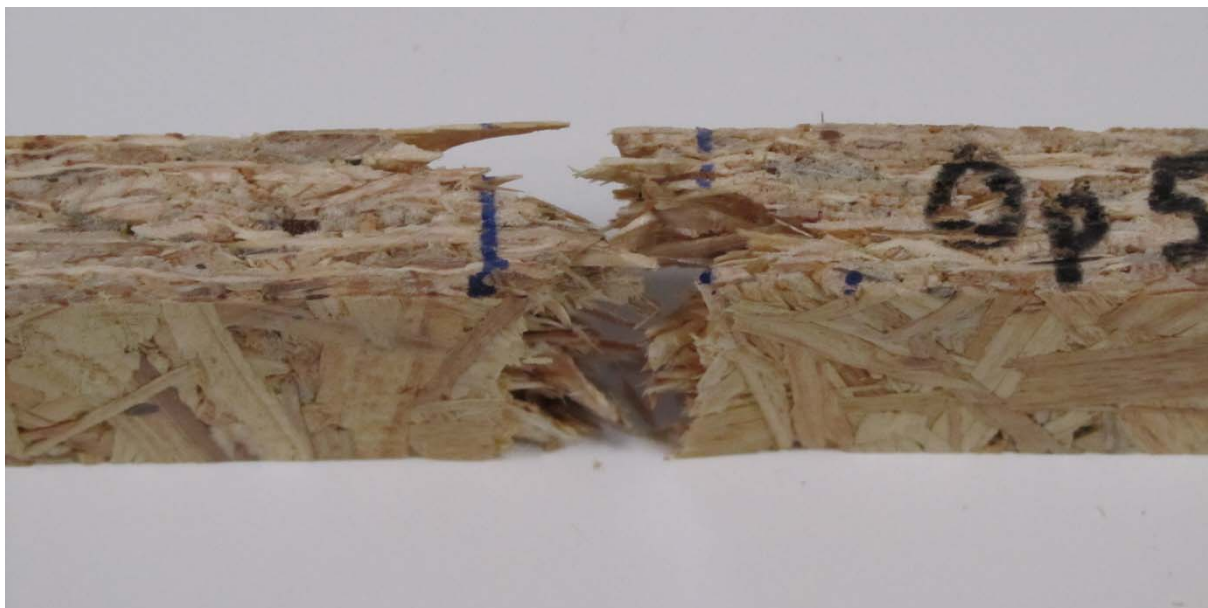
Preskušali smo OSB ploščo debeline 18 mm, pri kateri so gradniki med seboj zlepljeni z melamin-formaldehidnim (MF) lepilom. Imeli smo pet preskušancev preskušanih prečno glede na smer proizvodnje ter pet preskušancev preskušanih vzdolžno glede na smer proizvodnje. V preglednici 3 so predstavljene povprečne vrednosti ter standardni odklon za modul elastičnosti (E) in upogibno trdnost (f_m).

Preglednica 3: Vrednosti pri preskušanju OSB plošče

		E [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]
prečno	Povprečna vrednost	2291	14,00
	Standardni odklon	252	1,7
vzdolžno	Povprečna vrednost	5406	25,1
	Standardni odklon	593	7,3

OSB plošča ima zelo dobre lastnosti v vzdolžni smeri glede na proizvodnjo. Sam potek loma je odvisen predvsem od orientiranosti samega vzorca. Lom poteka predvsem po gradnikih in je zelo nazobčan.

Lom je pri prečno preskušani OSB plošči (slika 7) manj nazobčan kot pri vzdolžno preskušani OSB plošči (slika 8). Sam lom poteka po gradnikih, začetek loma pa je zaradi same strukture plošče težko določiti. Sama struktura plošče, katera vsebuje tudi prazne prostore, omogoča razvijanje loma. Opazi se razlika v poteku loma med sloji. V srednjem sloju, kjer so manjši gradniki, ima lom manjše zobce kot v zunanem sloju.



Slika 7: Lom pri prečno orientirani OSB plošči



Slika 8: Lom pri vzdolžno orientirani OSB plošči

4.1.3 Rezultati za LSB - konstrukcijsko ploščo

Preskušali smo LSB - konstrukcijsko ploščo debeline 22 mm, pri kateri so gradniki med seboj zlepljeni z melamin-urea-formaldehidnim (MUF) lepilom. Imeli smo pet preskušancev preskušanih prečno glede na smer proizvodnje ter pet preskušancev

preskušanih vzdolžno glede na smer proizvodnje. V preglednici 4 so predstavljene povprečne vrednosti ter standardni odklon za modul elastičnosti (E) in upogibno trdnost (f_m).

Preglednica 4: Vrednosti pri preskušanju LSB - konstrukcijske plošče

		E [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]
prečno	Povprečna vrednost	3066	17,9
	Standardni odklon	101	1,0
vzdolžno	Povprečna vrednost	3080	18,21
	Standardni odklon	70	0,71

Rezultati kažejo, da ima LSB - konstrukcijska plošča podobne lastnosti tako v prečni smeri glede na proizvodnjo kot v vzdolžni smeri glede na proizvodnjo. Pri preskušanju se je začetek loma pojavil na spodnji strani srednjega sloja. Sam potek loma se ni bistveno razlikoval med vzorci testiranimi prečno na proizvodnjo ter vzorci testiranimi vzdolžno na proizvodnjo.

Potek loma poteka po gradnikih in je odvisen od njihove velikosti na mestu loma (slika 9). Lom različno poteka po posameznih slojih.



Slika 9: Lom pri LSB - konstrukcijski plošči

4.1.4 Rezultati za iverno ploščo

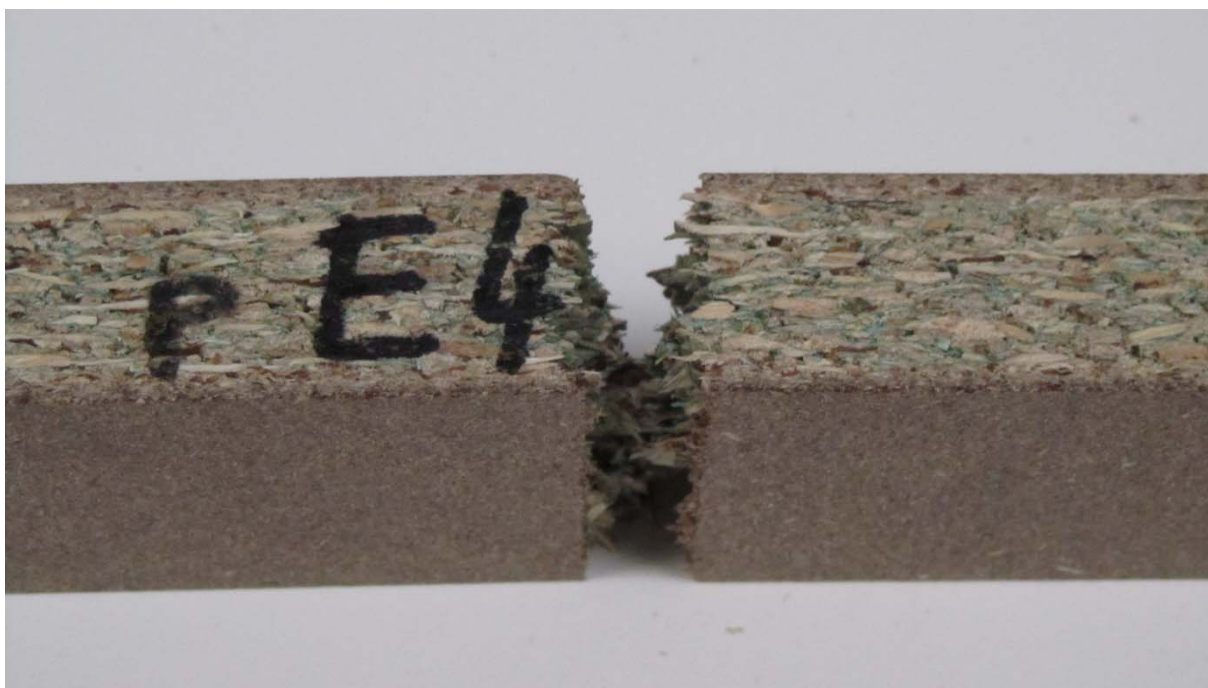
Preskušali smo iverno ploščo debeline 22 mm, pri kateri so gradniki med seboj zlepljeni z melamin-urea-formaldehidnim (MUF) lepilom. Imeli smo pet preskušancev preskušanih prečno glede na smer proizvodnje ter pet preskušancev preskušanih vzdolžno glede na smer proizvodnje. V preglednici 5 so predstavljene povprečne vrednosti ter standardni odklon za modul elastičnosti (E) in upogibno trdnost (f_m).

Preglednica 5: Vrednosti pri preskušanju iverne plošče

		E [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]
prečno	Povprečna vrednost	3166	18,2
	Standardni odklon	108	0,7
vzdolžno	Povprečna vrednost	3110	18,4
	Standardni odklon	52	0,5

Rezultati kažejo, da ima iverna plošča podobne lastnosti tako v prečni smeri kot v vzdolžni smeri glede na proizvodnjo. Pri preskušanju se je začetek loma pojavil na spodnji strani srednjega sloja. Lom se razlikuje po posameznih slojih. Na zunanjih slojih je lom bolj raven, medtem ko je v srednjem sloju lom bolj nazobčan.

Sam potek loma se ni bistveno razlikoval med preskušanci preskušanimi prečno na proizvodnjo (slika 10) ter preskušanci preskušanimi vzdolžno na proizvodnjo (slika 11).



Slika 10: Lom pri prečno orientirani iverni plošči



Slika 11: Lom pri vzdolžno orientirani iverni plošči

4.1.5 Rezultati za MDF ploščo

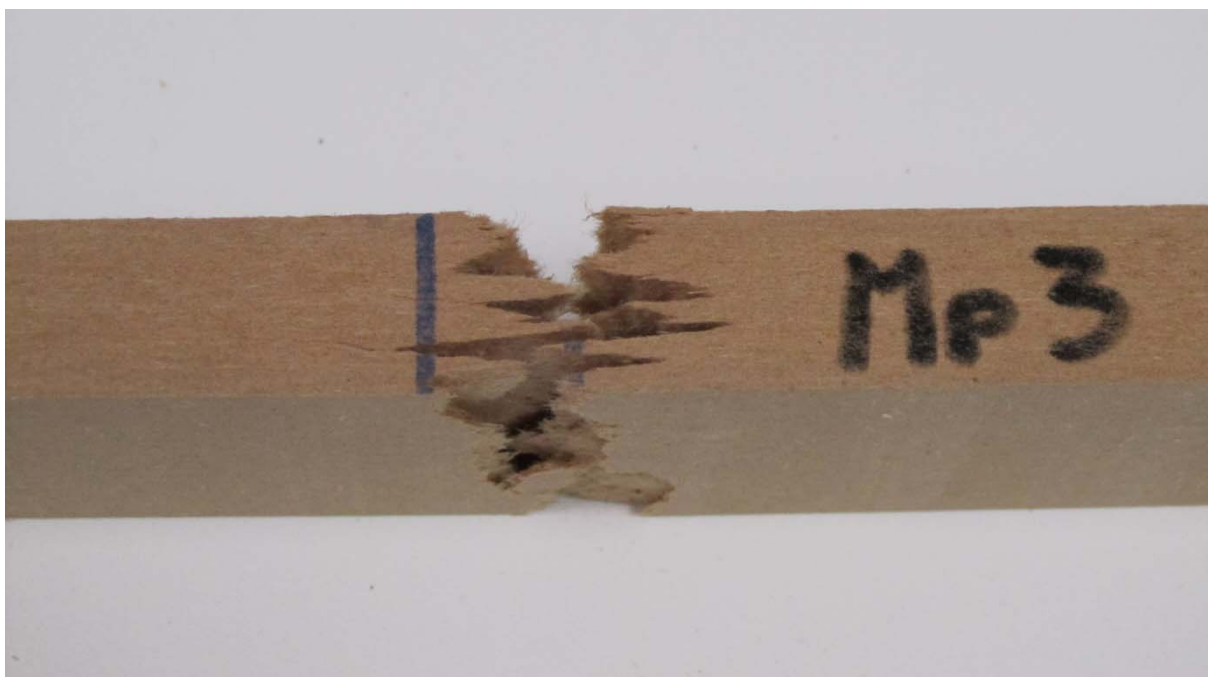
Preskušali smo MDF ploščo debeline 16 mm, pri kateri so vlakna med seboj zlepljena z urea-formaldehidnim (UF) lepilom. Imeli smo pet preskušancev preskušanih prečno glede na smer proizvodnje ter pet preskušancev preskušanih vzdolžno glede na smer proizvodnje. V preglednici 6 so predstavljene povprečne vrednosti ter standardni odklon za modul elastičnosti (E) in upogibno trdnost (f_m).

Preglednica 6: Vrednosti pri preskušanju MDF plošče

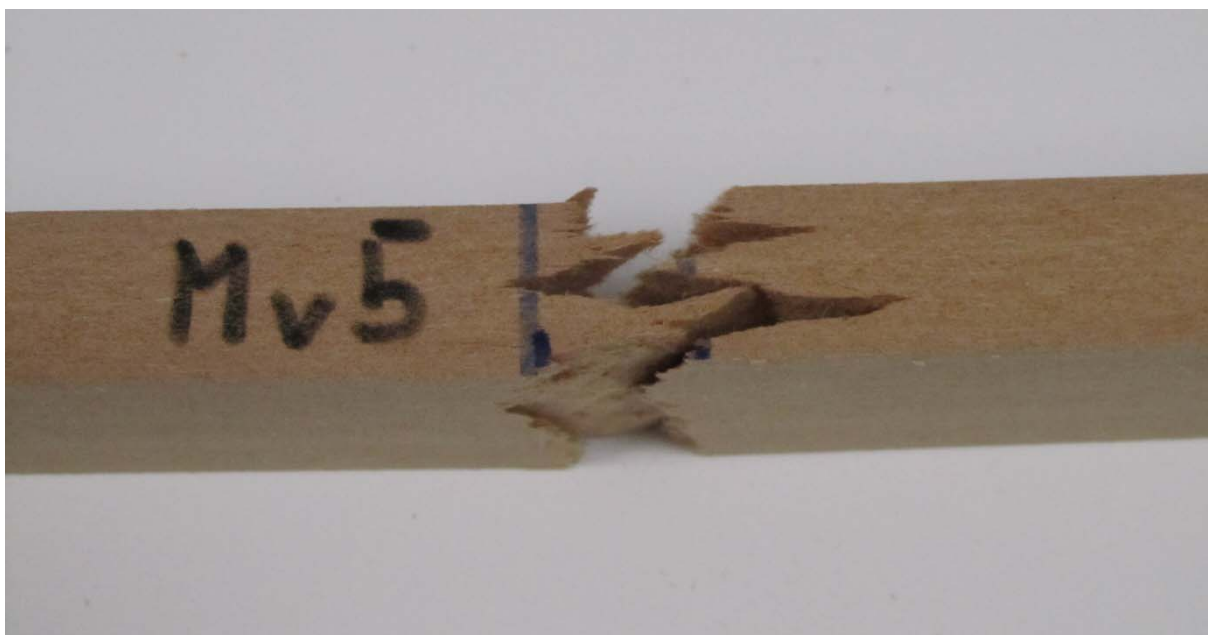
		E [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]
prečno	Povprečna vrednost	3310	25,9
	Standardni odklon	74	0,3
vzdolžno	Povprečna vrednost	3494	27,3
	Standardni odklon	186,3	1,8

Rezultati kažejo, da ima MDF plošča boljše lastnosti v vzdolžni smeri glede na proizvodnjo. Pri testiranju se je začetek loma pojavil na spodnji strani srednjega sloja. Lom poteka nazobčano in v plasteh.

Pri preskušancih, preskušanih prečno glede na smer proizvodnje (slika 12) je lom bolj nazobčan in z manjšimi zobci kot pri preskušancih, preskušanih vzdolžno na proizvodnjo (slika 13).



Slika 12: Lom pri prečno orientirani MDF plošči



Slika 13: Lom pri vzdolžno orientirani MDF plošči

4.2 IZGLED LOMA POSAMEZNEGA SLOJA IN PRISPEVEK POSAMEZNEGA SLOJA K CELOTNI PLOŠČI

Lom posameznega sloja nas je zanimal predvsem pri LSB - konstrukcijski plošči, iverni plošči ter vlakneni plošči. Pri zgoraj naštetih ploščah se, glede na strukturo plošče, uporabljajo različno veliki gradniki. Predvideli smo, da se bodo pojavile razlike v lomih med posameznimi sloji, zato nas je zanimala lastnost loma ter mehanske lastnosti posameznega sloja preskušanca pri obremenitvi na upogib.

Preskušance smo si pripravili po standardu SIST EN 310 – določanje upogibne trdnosti. Po sredini smo napravili rez, da smo eliminirali določen sloj. Zgoraj omenjeni standard predpisuje oporiščno razdaljo ($20d + 50\text{ mm}$ oz. min 150 mm) vendar smo jo mi pustili nastavljeno tako, kot da bi preskušali preskušane brez eliminiranega sloja. To smo storili zato, ker nas je zanimala predvsem sila loma posameznega sloja. Zavedamo se morebitne napake pri meritvah modula elastičnosti (E) in upogibne trdnosti (f_m). Debelino posameznega sloja pri preskušancih smo določili z gostotnim profilom. Zaradi načina razžagovanja ter zaradi možnosti zloma preskušanca je prišlo do določenih odstopanj med izmerjeno debelino sloja in preskušano debelino sloja.

4.2.1 Rezultati za posamezen sloj LSB - konstrukcijske plošče

Preglednica 7 prikazuje povprečne vrednosti za posamezen sloj pri LSB plošči. Z gostotnim profilom smo določili, da je debelina zunanjih slojev okoli 2 mm. Za nas sta pomembna predvsem debelina sloja ter maksimalna sila loma pri posameznem sloju.

Preglednica 7: Vrednosti posameznega sloja pri preskušanju LSB - konstrukcijske plošče

SLOJ	t sloja [mm]	E [N/mm ²]	F _{max} [N]	f _m [N/mm ²]
zgornji in srednji	20,03	3999	497	16,22
spodnji in srednji	20,00	4018	476	15,61
srednji	18,04	4602	415	16,72
zgornji	2,80	0	10	16,94
spodnji	2,80	0	13	21,17

Najvišjo vrednost modula elastičnosti (E) smo dobili za srednji sloj (4602 N/mm^2), ki ima debelino okoli 18 mm. Vrednosti modula elastičnosti kot upogibne trdnosti (f_m) so podobne pri zgornjem in srednjem sloju ter pri spodnjem in srednjem sloju. Vrednosti za f_m so za vse sloje podobne, višja je le vrednost spodnjega sloja ($21,17 \text{ N/mm}^2$). Maksimalna sila loma ($F_{\max}$) si po vrednosti sledi glede na debelino sloja. Najvišja je pri srednjem in zunanjem sloju, najnižja pri zunanjem sloju.

Primerjava maksimalne sile loma posameznega sloja LSB – konstrukcijske plošče s povprečno vrednostjo maksimalne sile loma celotne LSB - konstrukcijske plošče je prikazana v preglednici 8.

Preglednica 8: Primerjava sile loma posameznega sloja LSB - konstrukcijske plošče s celotno LSB - konstrukcijsko ploščo

	$F_{\max}$ sloja [N]	delež [%]
srednji in zunanji	486	73,7
srednji	415	62,9
zunanji	11,5	1,7
Celota	660	

Iz rezultatov je razvidno, da je seštevek sile loma srednjega sloja (415 N) in dveh zunanjih slojev ($2 * 11,5 \text{ N}$) 438 N. Pri preskušanju celotne LSB – konstrukcijske plošče je sila loma 660 N. Zaradi povezanosti slojev med sabo so vrednosti sile loma pri preskušanju celotne plošče večje od teoretičnih seštevkov posameznih slojev

Izgledi lomov LSB – konstrukcijske plošče so prikazani na slikah 14, 15 in 16.



Slika 14: Lom pri srednjem in zunanjem sloju LSB - konstrukcijske plošče



Slika 15: Lom srednjega sloja LSB - konstrukcijske plošče



Slika 16: Lom zunanjega sloja LSB - konstrukcijske plošče

4.2.2 Rezultati za posamezen sloj iverne plošče

Preglednica 9 prikazuje povprečne vrednosti za posamezen sloj pri iverni plošči. Z gostotnim profilom smo določili, da je debelina zunanjih slojev okoli 2,5 mm. Za nas sta pomembna predvsem debelina sloja ter maksimalna sila loma pri posameznem sloju.

Preglednica 9: Vrednosti posameznega sloja pri preskušanju iverne plošč

SLOJ	t sloja [mm]	E [N/mm ²]	F _{max} [N]	f _m [N/mm ²]
zgornji in srednji	19,30	4033	375	13,45
spodnji in srednji	19,32	4064	389	13,75
srednji	16,80	5614	302	14,12
zgornji	3,11	28259	8	10,95
spodnji	3,20	32651	13	16,97

Najvišjo vrednost modula elastičnosti (E) smo dobili za zunanji sloj (cca 30000 N/mm²), ki ima debelino okoli 3 mm. Vrednosti E kot upogibne trdnosti (f_m) so podobne pri zgornjem in srednjem sloju ter pri spodnjem in srednjem sloju. Maksimalna sila loma (F_{max}) si po vrednosti sledi glede na debelino sloja. Najvišja je pri srednjem in zunanjem sloju, najnižja pri zunanjem sloju.

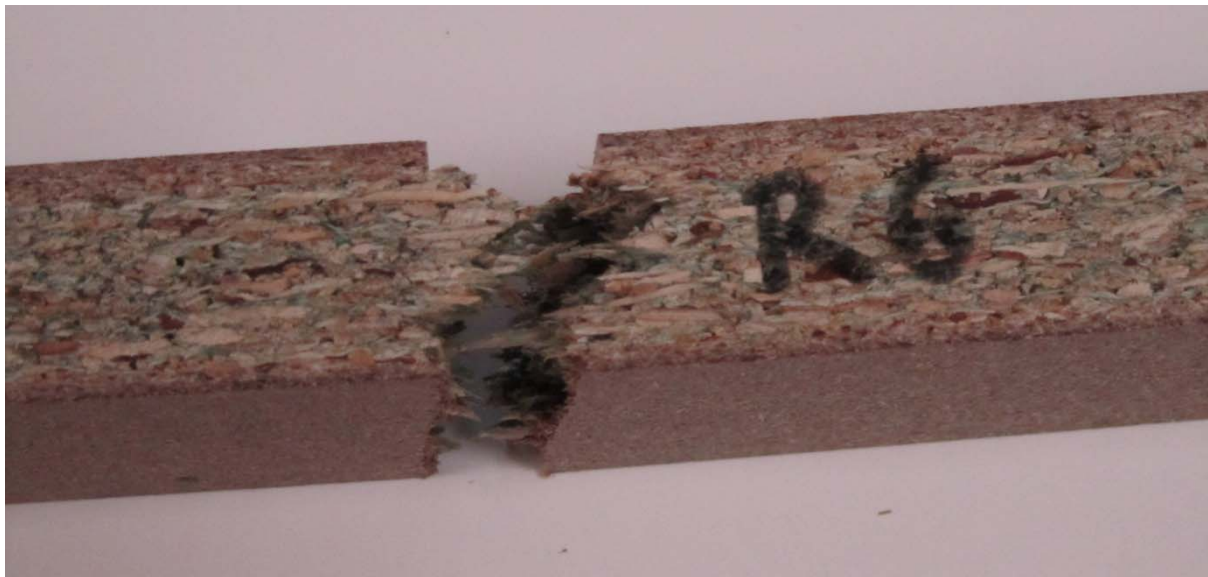
Primerjava maksimalne sile loma posameznega sloja iverne plošče s povprečno vrednostjo maksimalne sile loma celotne iverne plošče je prikazana v preglednici 10.

Preglednica 10: Primerjava sile loma posameznega sloja iverne plošče s celotno iverno ploščo

SLOJ	$F_{\max}$ sloja [N]	delež [%]
srednji in zunanji	382	57,6
srednji	302	45,5
zunanji	10,5	1,6
celota	663	

Iz rezultatov je razvidno, da je seštevek sile loma srednjega sloja (302 N) in dveh zunanjih slojev ($2 * 10,5$ N) 333 N. Pri preskušanju celotne iverne plošče je sila loma 663 N. Zaradi povezanosti slojev med sabo so vrednosti sile loma pri preskušanju celotne plošče večje od teoretičnih seštevcev posameznih slojev

Izgledi lomov posameznega sloja iverne plošče so prikazani na slikah 17, 18 in 19.



Slika 17: Lom pri srednjem in zunanjem sloju iverne plošče



Slika 18: Lom srednjega sloja iverne plošče



Slika 19: Lom zunanjega sloja iverne plošče

4.2.3 Rezultati za posamezen sloj MDF plošče

Preglednica 11 prikazuje povprečne vrednosti za posamezen sloj pri MDF plošči. Z gostotnim profilom smo določili, da je debelina zunanjih slojev okoli 1,8 mm. Za nas sta pomembna predvsem debelina sloja ter maksimalna sila loma pri posameznem sloju.

Preglednica 11: vrednosti posameznega sloja pri preskušanju MDF plošče

SLOJ	t sloja [mm]	E [N/mm ²]	F max [N]	f _m [N/mm ²]
zgornji in srednji	14,48	3451	288	13,48
spodnji in srednji	14,34	3548	328	15,66
srednji	12,76	4536	245	14,75
zunanji	3,02	10697	11	11,68

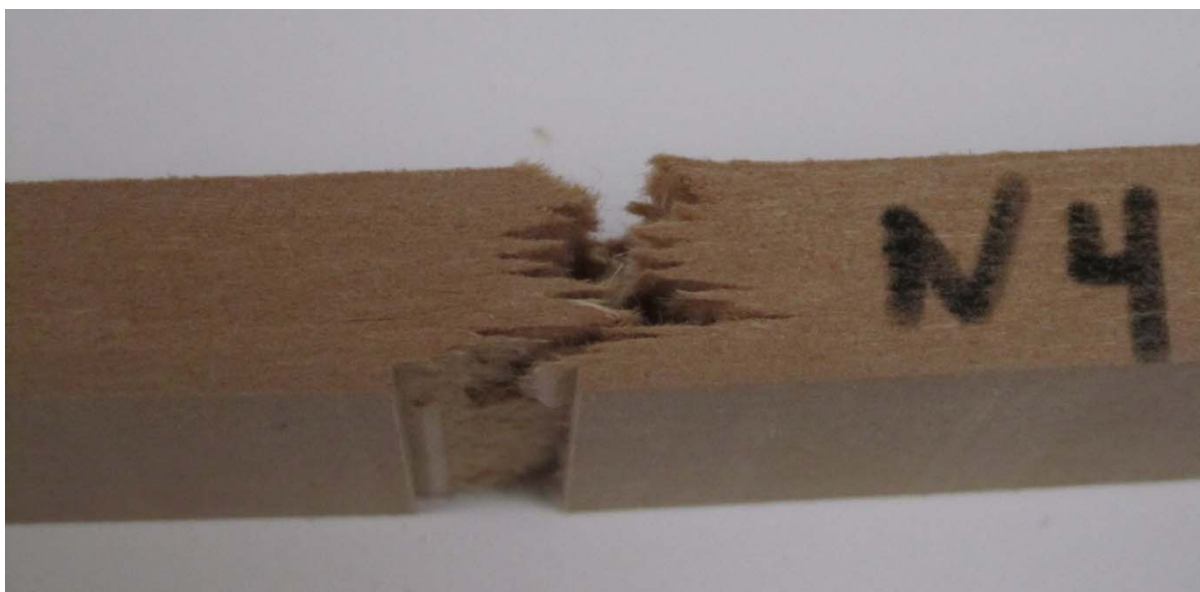
Najvišjo vrednost modula elastičnosti (E) smo dobili za zunanji sloj (cca 10000 N/mm²), ki ima debelino okoli 3 mm. Vrednosti E kot upogibne trdnosti (f_m) so podobne pri zgornjem in srednjem sloju ter pri spodnjem in srednjem sloju. Vrednosti za f_m so za vse sloje podobne, nižja je le vrednost zunanjega sloja (11,68 N/mm²). Maksimalna sila loma (F_{max}) si po vrednosti sledi glede na debelino sloja. Najvišja je pri srednjem in zunanjem sloju, najnižja pri zunanjem sloju.

Primerjava maksimalne sile loma posameznega sloja MDF plošče s povprečno vrednostjo maksimalne sile loma celotne MDF plošče je prikazana v preglednici 12.

Preglednica 12: Primerjava sile loma posameznega sloja MDF plošče s celotno iverno ploščo

SLOJ	F _{max} sloja [N]	delež [%]
srednji in zunanji	308	41,5
srednji	245	33,0
zunanji	11	1,5
celota	742	

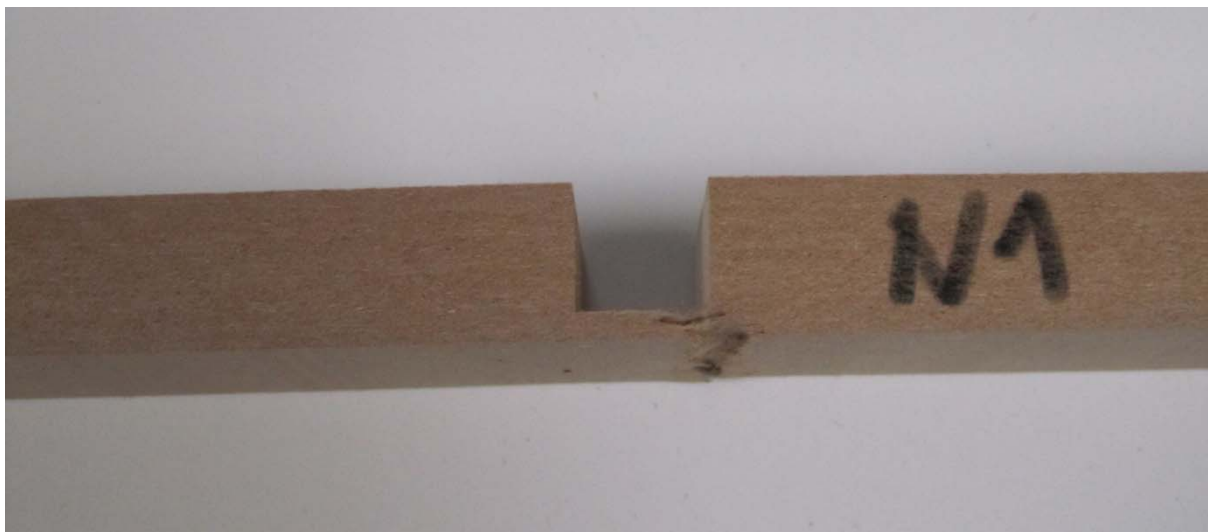
Iz rezultatov je razvidno, da je seštevek sile loma srednjega sloja (245 N) in dveh zunanjih slojev (2 * 11 N) 267 N. Pri preskušanju celotne MDF plošče je sila loma 742 N. Zaradi povezanosti slojev med seboj so vrednosti sile loma pri preskušanju celotne plošče večje od teoretičnih seštevkov posameznih slojev



Slika 20: Lom pri srednjem in zunanem sloju MDF plošče



Slika 21: Lom pri srednjem sloju MDF plošče



Slika 22: Lom pri zunanjem sloju MDF plošče

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Z našim raziskovanjem smo skušali ugotoviti, kako struktura plošče vpliva na lom pri maksimalni obremenitvi na upogib. Ugotoviti smo skušali, kako na potek loma pri preskušancih vpliva velikost gradnikov, zgostitev gradnikov in plošče, povezanost gradnikov oz. njihova zlepljenost, itn. Z oslabitvijo posameznega sloja plošče smo skušali ugotoviti razlike v poteku loma in razlike v mehanskih lastnostih med posameznimi sloji plošče. Furnirno ploščo, OSB ploščo, LSB ploščo, iverno ploščo ter MDF ploščo smo preskušali na stroju ZWICK Z100. Testirali smo po standardu za tritočkovni upogib SIST EN 310.

5.1 RAZPRAVA O IZGLEDU LOMA

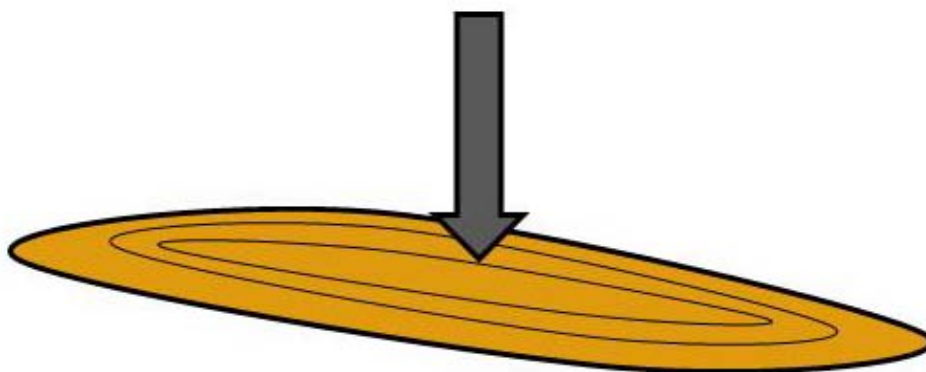
Sam potek loma se je zelo razlikoval med posameznimi ploščami ter med usmeritvami določenih preskušancev. Sam potek loma se je razlikoval tudi med enakimi preskušanci z enako usmeritvijo, zato smo morali paziti, da smo za analizo samega loma izbrali pravi preskušanec.

5.1.1 Potek loma pri furnirni plošči

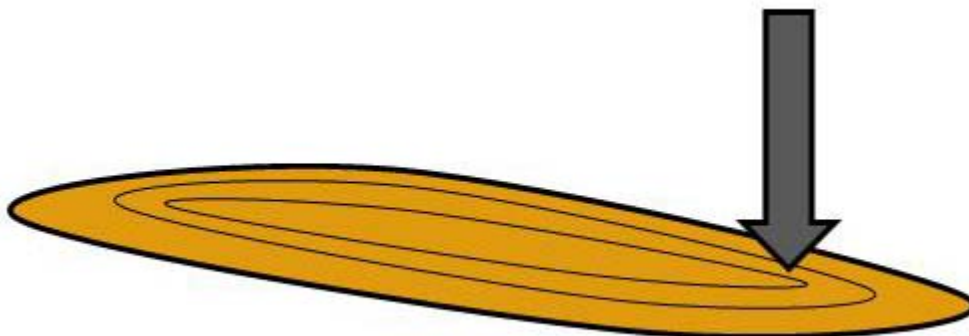
Na potek loma pri furnirni plošči najbolj vpliva zgradba lesa furnirnega lista ter njegova usmeritev. Kjer je bil furnirni list obrnjen prečno na smer obremenjevanja, je lom potekal zelo ravno, prilagajal se je strukturi lesa in je včasih potekal tudi po letnici. Pri furnirnih listih, obrnjenih vzdolžno glede na smer obremenjevanja, je lom potekal zelo nazobčano, odvisen je bil od poteka vlaken v samem furnirnem listu. Ko smo analizirali posnetke loma, smo opazili, da lom pri vzdolžnem furnirju nastane kasneje kot pri prečnem furnirju. Pri preizkušanju preskušancev, ki so imeli zgornji furnirni list obrnjen prečno glede na obremenjevanje, je bilo opaziti, da sta se zlomila že dva spodnja furnirna lista, medtem ko je bil vmesni, vzdolžni furnirni list, če vedno cel.

5.1.2 Potek loma pri OSB plošči

Na potek loma pri OSB plošči vpliva predvsem orientiranost preskušancev. Pri preskušancih, preskušanih prečno glede na smer proizvodnje, je bil lom manj nazobčan. Lom je potekal predvsem med samimi gradniki. Sam potek loma se razlikuje tudi po posameznem sloju, za kar je kriva razlika v velikosti in geometriji gradnikov v posameznem sloju. V srednjem sloju je lom zelo nazobčan, vendar z malimi zobci in glede na lom v zunanjem sloju poteka relativno ravno. Tako razliko v lomu med sloji bi lahko pripisali drugačni strukturi zunanjega in srednjega sloja. Pri zunanjem sloju imamo večje gradnike in je lom bolj odvisen od lastnosti lesa, medtem ko so v srednjem sloju manjši gradniki in lom poteka »med gradniki«. Pri preskušancih, preskušanih vzdolžno glede na smer proizvodnje, je lom z velikimi zobci predvsem na zunanjih slojih, v srednjem sloju se ti zobci zmanjšajo, vendar se pojavijo v večjem številu. Lom v zunanjem sloju je odvisen od velikosti gradnika, ter od lokacije samega gradnika pri mestu obremenjevanja. Če je gradnik obremenjen na sredin (slika 22), je velika verjetnost, da se bo zlomil nekje na sredini. Če je gradnik postavljen bolj na rob mesta obremenjevanja (slika 23) je večja verjetnost, da bo lom potekal po lepilnem spoju oziroma po robu gradnika.



Slika 23: Obremenitev gradnika na sredini



Slika 24: Obremenitev gradnika na robu

5.1.3 Potek loma pri LSB - konstrukcijski plošči

Vrednosti pri LSB – konstrukcijski plošči so neodvisne od orientiranosti vzorca. Z razpoložljivo tehnologijo nismo uspeli ugotoviti razlike med lomom plošče obremenjene prečno na smer proizvodnje in med lomom plošče obremenjene vzdolžno glede na smer proizvodnje. Lom poteka med gradniki, oziroma po lepilnih spojih med gradniki in je nazobčan. V primerjavi z ostalimi ploščami, je razlika med potekom loma na zunanjem sloju in srednjem sloju LSB – konstrukcijske plošče manj izrazita. Ta razlika je lahko posledica homogene strukture plošče ter manjše razlike v velikosti gradnikov med posameznimi sloji.

5.1.4 Potek loma pri iverni plošči

Iverna plošča ima načeloma enake lastnosti ne glede na orientiranost vzorca. Z razpoložljivo tehnologijo nismo uspeli ugotoviti razlike med lomom plošče obremenjene prečno na smer proizvodnje in med lomom plošče obremenjene vzdolžno glede na smer proizvodnje. Se pa potek loma razlikuje po posameznem sloju plošče. Na zunanjem sloju, kjer imamo manjše gradnike in višjo gostoto, je lom zelo raven. Če gledamo sam potek loma, lahko opazimo mejo med zunanjim in srednjim slojem. Pri srednjem sloju so večji gradniki in je lom bolj nazobčan. Po videnih lomih pri iverni plošči lahko sklepamo, da se

z manjšanjem gradnikov zmanjšuje velikost zobcev v samem lomu. Pri samem preskušanju se je prvo zlomil celoten zunanji sloj na spodnji strani obremenitve.

5.1.5 Potek loma pri MDF plošči

Pri MDF plošči je bil lom z izrazitimi, velikim zobci in daje občutek, da lom poteka po plasteh. Glede na to, da je plošča sestavljena iz majhnih delcev oziroma vlaken, smo pričakovali raven lom. Če primerjamo lome med preskušanimi ploščami, je lom pri MDF plošči najbolj podoben lomu pri vzdolžnem furnirju furnirne plošče. Po tem lahko sklepamo, da so se vlakna v MDF plošči združila v strukturo, ki je podobna masivnemu lesu. Opazili smo razliko med preskušanci, obremenjenimi vzdolžno glede na smer proizvodnje in preskušanci, obremenjenim prečno glede na smer proizvodnje. Pri preskušancih, obremenjenimi vzdolžno na proizvodnjo, so zobci večji in zelo izraziti. Opazi se tudi razlika pri poteku loma med posameznimi sloji plošče. Na zunanjem sloju je lom bolj raven kot v srednjem sloju.

5.2 RAZPRAVA O IZGLEDU LOMA POSAMEZNEGA SLOJA IN O PRISPEVKU POSAMEZNEGA SLOJA K CELOTNI PLOŠČI

Izgled loma posameznega sloja in prispevek posameznega sloja k celotni plošči smo skušali ugotoviti pri LSB - konstrukcijski plošči, iverni plošči ter vlakneni plošči. Preskušance smo si pripravili po standardu SIST EN 310, in sicer za tritočkovni upogib. Po sredini smo napravili rez, da smo eliminirali določen sloj. Debelino posameznega sloja pri preskušancih smo določili z gostotnim profilom.

Ko smo primerjali maksimalno silo loma posameznega sloja in maksimalno silo loma celotne plošče, so rezultati podobni pri vseh treh testiranih ploščah. Zaradi povezanosti slojev med seboj so vrednosti sile loma pri preskušanju celotne plošče višje od teoretičnih seštevkov posameznih slojev. Opazi se razlika med sloji tudi v vrednostih modula elastičnosti in upogibne trdnosti. Srednji sloj ima malenkost višji modul elastičnosti in nižjo upogibno trdnost, pri zunanjem sloju pa je ravno obratno. Tu se vidi, kako dobra je

kombinacija sestave plošče iz več slojev. Vsak sloj posamezno je relativno šibek. Ko sta skupaj zunanji in srednji sloj, se združijo dobre lastnosti posameznega sloja in posledično dobimo ploščo z boljšimi lastnostmi.

5.3 SKLEPI

Pri našem raziskovanju smo ugotovili, da je potek loma zelo odvisen od velikosti gradnikov in od usmeritve samih gradnikov. Manjši kot so gradniki, bolj raven bo potek loma (za vlakna to ne drži več). Lom se razlikuje tudi po posameznem sloju plošče.

→Furnirna plošča:

lom pri prečnih furnirjih raven, pri vzdolžnih furnirnih listih nazobčan in poteka po vlaknih.

→OSB plošča:

Lom se razlikuje glede na orientiranost vzorca in ima v vzdolžni smeri večje zobce. Srednji sloj ima zaradi manjših gradnikov manjše zobce, vendar je njihovo število večje.

→LSB - konstrukcijska plošča:

Lom se ne razlikuje glede na orientiranost vzorca. Med testiranimi ploščami najbolj homogen lom, ki je nazobčan in poteka po gradnikih.

→Iverna plošča:

Zelo izrazita razlika loma med srednjim in zunanjim slojem. Pri zunanjem sloju je lom raven, pri srednjem sloju pa lom poteka bolj nazobčano.

→MDF plošča:

Lom ima velike zobce, poteka v plasteh in je zelo podoben lomu masivnega lesa.

→ Vsak sloj posamezno je relativno šibek, vendar ko sta skupaj zunanji in srednji sloj, se združijo dobre lastnosti posameznega sloja in posledično dobimo ploščo z boljšimi lastnostmi.

6 POVZETEK

Raziskovali smo, kako struktura plošče vpliva na lom pri maksimalni obremenitvi na upogib. Za raziskovanje smo uporabili pet različnih vrst ploščnih kompozitov, ki so dostopne na našem trgu. Uporabili smo vezano ploščo debeline 16 mm, OSB ploščo debeline 18 mm, konstrukcijsko ploščo debeline 22 mm, iverno ploščo debeline 22 mm in vlakneno ploščo debeline 16 mm. Iz plošč smo izžagali preskušance primernih dimenzij, kateri ustrezajo standardu SIST EN 310.

Preskušance smo zlomili s strojem ZWICK Z100. Izvajali smo tritočkovni upogib, istočasno pa smo pridobili maksimalno silo obremenitve, modul elastičnosti ter upogibno trdnost. Čas do loma je bil med 30 in 90 sekund, vendar smo preskušanje podaljšali, da je prišlo do popolnega preloma preskušanca in ne zgolj do maksimalne sile oz. sile loma. Ko se je preskušanje izvajalo, smo začeli snemati tik pred začetkom loma, saj smo s pomočjo video posnetka določevali predvsem začetek loma, ter njegovo nadaljno širitev.

Z merilnikom gostotnih profilov smo preskušancem določili gostotni profil, s katerim smo posredno dobili debelino posameznega sloja. Pri LSB - konstrukcijskih ploščah, ivernih ploščah ter vlaknenih ploščah nas je zanimalo, kakšen je izgled loma posameznega sloja ter kako mehanske lastnosti posameznega sloja vplivajo na celotno ploščo. V ta namen smo preskušance zarezali do te mere, da smo bolj korektno odstranili določen sloj. Tako pripravljene preskušance smo preskušali po standardu SIST EN 310.

Pri furnirni plošči in OSB plošči je potek loma odvisen od strukture lesa ter od orientiranosti preskušanca. Pri furnirni plošči je razlika v lomu med prečnim furnirjem in vzdolžnim furnirjem. Pri prečnem furnirju je lom raven, pri vzdolžnem pa zelo nazobčan in poteka po strukturi lesa. Pri OSB plošči je na zunanjem sloju lom bolj nazobčan, v srednjem sloju, kjer so manjši gradniki, pa lom poteka bolj ravno. Najbolj homogen lom po celi debelini plošče ima LSB - konstrukcijska plošča, lom pa poteka »med gradniki« in je nazobčan. Pri iverni plošči je razlika v lomu med zunanjim slojem in srednjim slojem. Pri zunanjem sloju, kateri ima višjo gostoto in manjše delce, je lom bolj raven, pri srednjem sloju, kateri ima nižjo gostoto in večje delce, je lom bolj nazobčan. Manjši kot so gradniki,

bolj raven je potek loma, vendar so vlakna tu izključena. Pri vlakneni (MDF) plošči je lom zelo nazobčan in v plasteh in spominja na lom vzdolžnega furnirja.

Mehanske lastnosti se razlikujejo glede na sloj. Zunanji sloj ima višjo gostoto in upogibno trdnost (f_m), nižjo pa ima vrednost za modul elastičnosti (E). Srednji sloj ima nižjo gostoto in upogibno trdnost, višja pa je vrednost za modul elastičnosti. Zaradi povezanosti slojev med seboj so vrednosti sile loma pri preskušanju celotne plošče višje od teoretičnih seštevnikov posameznih slojev. Vsak sloj posamezno je relativno šibek, vendar ko so skupaj zunanji in srednji sloj, se združijo dobre lastnosti posameznega sloja in posledično dobimo ploščo z boljšimi lastnostmi.

7 VIRI

Aicher S., Reihardt H.W. 1993. Einflug der Bauteilgröße in der linearen und nichtlinearen (Holz-)Bruchmechanik. Holz als Roh- und Werkstoff, 51: 215-220

Bajuk J. 2010. Mehanske in fungicidne lastnosti vezanih plošč zaščitениh s Silvanolinom. Diplomaska naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 90str.

Cimerman Ž. 2008. Vpliv površine iverne plošče na oprijemnost dekorativnega papirja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 51 str.

Daudeville L. 1999. Fracture in spruce: experiment and numerical analysis by linear and non linear fracture mechanics. Holz als Roh- und Werkstoff, 57: 425-432

De Moura M.F.S.F., Dourado N., Morais J. 2009. Crack equivalent based method applied to wood fracture characterization using the single edge notched-three point bending test. Engineering Fracture Mechanics, 77: 510-520

Ehart R. J. A., Stanzl-Tschegg S. E., Tschegg E. K. 1996. Fracture Characteristics in Comparison to Solid of PARALLAM[®] PSL Wood and Particleboard. Wood Science and Technology 32: 43-55

Ehart R., Stanzl-Tschegg S., Tschegg E. 1996. Fracture Properties of Particleboard-Influence of Specimen Geometry. V: International COST 508 Wood Mechanics Conference. Stuttgart, 14-16 maj 1996. Aicher S. 615-630

Fan M. in sod. 2009. Performance in Use and New Products of Wood Based Composites. London, Brunel University Press: 325 str.

Furlan J. 2005. Vpliv zgradbe predelne stene na upogibno trdnost in modul elastičnosti. Diplomaska naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 58 str.

Hansel A., Neumuller J. 1988. On Structural Mechanics of Particleboard. Holztechnologie, 29, 1: 2-6

Krpan A. 2008. Mehanske in biološke lastnosti iverne plošče narejene iz odsluženega zaščitenege lesa. Diplomski naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 59 str.

Lee J.N., Wu Q. 2003. Continuum Modeling of Engineering Constants of Oriented Strandboard. Wood and Fiber Science, 35, 1: 24-40

Maloney T. M. 1993. Modern particleboard & dry process fibreboard manufacturing. San Francisco, Miller Fremman publication: 681 str.

Plath L. 1971. A Contribution on particleboard mechanics. Holz als Roh- und Werkstoff, 29, 10: 377-382

SIST EN 310. Lesne plošče - Določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti 1993

Thoemen H., Irle M., Sernek M. 2010. Wood-Based Panels. An Introduction for Specialist. London, Brunel University Press: 283 str.

Xu W. 1999. Influence of Vertical Density Distribution on Bending Modulus of Elasticity of Wood Composite Panels: A Theoretical Consideration. Wood and Fiber Science, 30, 3: 277-282

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Sergeju Medvedu za pomoč in usmerjanje pri pisanju diplomske naloge.

Zahvala recenzentu prof. dr. Srečku Vratuša za strokovno recenzijo diplomskega dela.

Zahvaljujem se vsem ostalim zaposlenim na Oddelku za lesarstvo, ki so mi v času študija in izdelavi diplomske naloge na kakršenkoli način pomagali.

Zahvaljujem se tudi Sari in svoji družini za podporo v času študija in ob pisanju diplomske naloge.

PRILOGE

Priloga A: Podatki za furnirno ploščo, OSB ploščo, LSB – konstrukcijsko ploščo, iverno ploščo in vlakneno (MDF) ploščo

FURNIRNA PLOŠČA					
Preskušaneec	w [mm]	t [mm]	E [N/mm ²]	F _{max} [N]	f _m [N/mm ²]
Vp1	50,09	15,86	5703	1284	49,32
Vp2	49,94	15,82	5703	1284	49,32
Vp3	49,94	15,72	6565	1928	74,91
Vp4	50,1	15,79	7256	2071	79,59
Vp5	49,9	15,71	7658	2035	79,33
Vv1	50,02	15,84	9160	2182	83,47
Vv2	50	15,7	8983	2045	78,21
Vv3	49,97	15,82	9494	2230	85,59
Vv4	49,93	15,82	9419	2176	83,57
Vv5	50,06	15,83	10041	2248	86,03
Povprečje	50,00	15,79	7998,20	1948,30	74,93
Stand. odklon	0,07	0,06	1549,36	345,05	13,22

OSB PLOŠČA					
Preskušaneec	w [mm]	t [mm]	E [N/mm ²]	F _{max} [N]	f _m [N/mm ²]
Op1	49,68	18,06	2457	487	16,24
Op2	49,9	18,03	2109	409	13,62
Op3	50	18,11	2649	426	14,02
Op4	50,13	18,09	1934	341	11,21
Op5	50,05	18,07	2308	452	14,93
Ov1	50,15	17,46	6539	865	39,56
Ov2	50	18,14	4899	659	21,26
Ov3	49,96	18,07	4987	687	22,75
Ov4	49,83	18,04	5195	607	20,2
Ov5	50,04	18,06	5409	652	21,58
Povprečje	49,97	18,01	3848,60	558,50	19,54
Stand. odklon	0,13	0,19	1622,53	153,40	7,65

LSB – KONSTRUKCIJSKA PLOŠČA					
Preskušaneec	w [mm]	t [mm]	E [N/mm ²]	F _{max} [N]	f _m [N/mm ²]
Lp1	49,69	22,19	3046	642	17,31
Lp2	49,7	22,35	2918	629	16,73
Lp3	49,76	21,8	3052	621	17,36
Lp4	49,78	21,9	3079	703	19,44
Lp5	49,67	21,84	3233	646	18,62
Lv1	49,97	22,13	3033	633	17,08
Lv2	49,9	22,16	3059	708	19,07
Lv3	49,99	22,12	3109	681	18,38
Lv4	49,85	22,16	3200	696	18,76
Lv5	49,85	21,88	2997	643	17,78
Povprečje	49,82	22,05	3072,60	660,20	18,05
Stand.odklon	0,11	0,17	87,08	31,48	0,88

IVERNA PLOŠČA					
Preskušaneec	w [mm]	t [mm]	E [N/mm ²]	F _{max} [N]	f _m [N/mm ²]
E1	49,34	22,01	2989	688	18,6
E2	48,4	22,06	3207	607	17,01
E3	49,46	22	3280	690	19,01
E4	49,09	22,03	3186	659	18,26
F9	49,31	22,11	3114	651	17,83
F10	48,41	21,97	3183	679	19,17
F11	49,63	21,99	3037	665	18,29
F12	49,5	22	3104	669	18,24
Povprečje	49,14	22,02	3137,50	663,50	18,30
Stand. odklon	0,45	0,04	89,01	24,86	0,64

VLAKNENA (MDF) PLOŠČA					
Preskušaneec	w [mm]	t [mm]	E [N/mm ²]	F _{max} [N]	f _m [N/mm ²]
Mp1	50,49	15,89	3408	696	26,2
Mp2	50,44	15,89	3205	699	26,05
Mp3	50,33	16,17	3268	699	25,48
Mp4	50,36	16,27	3291	709	25,54
Mp5	50,44	16,37	3377	739	26,25
Mv1	50,48	16,33	3735	838	29,87
Mv2	50,5	16,36	3340	709	25,17
Mv3	50,5	16,8	3414	850	28,63
Mv4	50,47	16,14	3696	745	27,19
Mv5	50,5	16,49	3283	735	25,68
Povprečje	50,45	16,27	3401,70	741,90	26,61
Stand. odklon	0,06	0,26	168,88	53,79	1,45

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Uroš CENTA

**ANALIZA LOMA LESNIH PLOŠČ PRI
OBREMENITVI NA UPOGIB**

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2011