

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Janez BENEDIČIČ

**VPLIV GOSTOTNEGA PROFILA IN SORPCIJSKIH
KARAKTERISTIK NA KRIVLJENJE MDF PLOŠČ**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana 2007

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Janez BENEDIČIČ

**VPLIV GOSTOTNEGA PROFILA IN SORPCIJSKIH
KARAKTERISTIK NA KRIVLJENJE MDF PLOŠČ**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**INFLUENCE OF VERTICAL DENSITY PROFILE AND SORPTION
CHARACTERISTICS ON WARP IN MEDIUM DENSITY
FIBERBOARD**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana 2007

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za žagarstvo in lesna tvoriva Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bile opravljene tudi vse meritve.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof.dr. Željka Goriška, za somentorja doc.dr. Sergeja Medveda, za recenzenta pa prof.dr. Primoža Ovna.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Janez Benedičič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA IDENTIFIKACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*862.3
KG	MDF plošča/porazdelitev gostote/porazdelitev vlažnosti/dimenzijska stabilnost/natezna trdnost
AV	BENEDIČIČ, Janez
SA	GORIŠEK, Željko (mentor)/MEDVED, Sergej (somentor)/OVEN, Primož (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2007
IN	VPLIV GOSTOTNEGA PROFILA IN SORPCIJSKIH KARAKTERISTIK NA KRIVLJENJE MDF PLOŠČ
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	XI, 34 str., 11 pregl., 21 sl., 11 vir., 10 pril.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Ugotavljali smo kako in v kolikšni meri vplivajo na krivljenje plošč vlažnostni profil, gostotni profil, dimenzijska stabilnost in mehanske lastnosti posameznih slojev, če z enostranskim odvzemom materiala porušimo simetrijo plošče. MDF ploščo debeline 30mm smo testirali kot celoto ter po posameznih slojih; v ta namen smo jo na tračni žagi razrezali na 5 enako debelih slojev. Ugotovili smo, da vse testirane lastnosti varirajo po debelini plošče. Gostota zunanjih slojev je višja od gostote v srednjem, vlažnost na površini plošče nižja kot v sredini, mehanske lastnosti v zunanjih slojih pa znatno boljše od lastnosti srednjega. Ugotovili smo močno korelacijo med vsemi testiranimi lastnostmi; iz tega lahko sklepamo, da le-te vzajemno vplivajo na krivljenje, v kolikor porušimo simetrijo plošče.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 630*862.3
CX MDF board/density distribution/moisture distribution/dimensional stability/tensile strength
AU BENEDIČIČ, Janez
AA GORIŠEK, Željko (supervisor)/MEDVED, Sergej (co-supervisor)/OVEN, Primož (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2007
TI INFLUENCE OF VERTICAL DENSITY PROFILE AND SORPTION CHARACTERISTICS ON WARP IN MEDIUM DENSITY FIBERBOARD
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO XI, 34 p., 11 tab., 21 fig., 11 ref., 10 ann.
LA sl
AL sl/en
AB The influences of moisture content profile, density profile, dimensional stability and mechanical properties of individual layers in MDF board were defined, if the symmetry of the board was ruined due to one-sided cutting. 30mm MDF board was used and tested as a whole board, as well as sawn into 5 equally thick layers. It was found out that all the tested parameters vary along the board thickness. The density of the outer layers of the board is higher than that in its core, humidity of the outer layers lower than in its core, and the mechanical properties of the outer layers significantly better than those of the core. A strong correlation among all the tested properties was established. As regard that correlation it is safe to say that bending of the board is a consequence of all the tested parameters combined, if the symmetry of the board is ruined due to one-sided cutting.

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA IDENTIFIKACIJA.....	IV
KEY WORDS DOCUMENTATION	V
KAZALO VSEBINE.....	VI
KAZALO PREGLEDNIC.....	VIII
KAZALO SLIK	IX
1 UVOD	1
1.1 PROBLEM	2
1.2 HIPOTEZA	2
1.3 CILJ NALOGE	3
2 SPLOŠNI DEL	4
2.1 ZGRADBA	4
2.2 LASTNOSTI.....	5
3 MATERIALI IN METODE	9
3.1 MATERIALI	9
3.2 METODE DELA	11
3.2.1 Fizikalne lastnosti	11
3.2.1.1 Porazdelitev gostote	11
3.2.1.2 Porazdelitev vlažnosti.....	12
3.2.1.3 Dimenzijska stabilnost	12
3.2.2 Mehanske lastnosti	14
3.2.2.1 Natezna trdnost	14
3.2.2.2 Upogibna trdnost.....	15
3.2.3 Deformacije	15
3.2.3.1 Deformacija pri enostranskem skobljanju	15
3.2.3.2 Deformacija lamel	15
4 REZULTATI.....	16
4.1 FIZIKALNE LASTNOSTI	16
4.1.1 Porazdelitev gostote	16
4.1.2 Porazdelitev vlažnosti.....	17
4.1.3 Dimenzijska stabilnost.....	18
4.1.3.1 Dimenzijska stabilnost plošče kot celote	18
4.1.3.2 Dimenzijska stabilnost posameznih slojev plošče	19
4.2 mehanske lastnosti.....	22
4.2.1 Natezna trdnost	22
4.2.2 Upogibna trdnost plošče kot celote	24

4.3	DEFORMACIJE	25
4.3.1	Deformacija pri enostranskem skobljanju	25
4.3.2	Deformacija lamel.....	26
5	RAZPRAVA	27
6	SKLEPI	33
7	VIRI	34
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC	str.
Preglednica 1 Lastnosti uporabljene MDF plošče (podatki proizvajalca)	10
Preglednica 2 Povprečna vlažnost MDF plošč u in vlažnost posameznih slojev MDF plošče (u1 – u5) z osnovno statistiko.....	17
Preglednica 3 Diferencialni nabrek q, koeficient nabrekanja h in sorpcijski kvocient s celotnih MDF plošč, po debelini plošče (q1, h1), pravokotno na smer proizvodnje (q2, h2) ter v smeri proizvodnje plošč (q3, h3) z osnovno statistiko.....	18
Preglednica 4 Diferencialni nabrek q posameznih slojev MDF plošče, pravokotno na smer proizvodnje plošč (q2) in v smeri proizvodnje plošč (q3) z osnovno statistiko	19
Preglednica 5 Koeficient nabrekanja h posameznih slojev MDF plošče, pravokotno na smer proizvodnje (h2) in v smeri proizvodnje plošč (h3) z osnovno statistiko.....	20
Preglednica 6 Sorpcijski kvocient s posameznih slojev MDF plošče z osnovno statistiko	21
Preglednica 7 Natezna trdnost celotnih MDF plošč Fv in natezna trdnost po posameznih slojih (Fv1 – Fv5) z osnovno statistiko.....	22
Preglednica 8 Povprečni E modul celotne MDF plošče in E modul posameznih slojev (E1 – E5) z osnovno statistiko	23
Preglednica 9 Povprečna upogibna trdnost in E modul celotne MDF plošče z osnovno statistiko	24
Preglednica 10 Deformacija MDF plošče pri enostranskem odvzemu materiala z osnovno statistiko	25
Preglednica 11 Deformacija posameznih slojev MDF plošče z osnovno statistiko	26

KAZALO SLIK	str.
Slika 1 Skica razreza plošč na preizkušance	9
Slika 2 Shema naprave za merjenje vertikalne porazdelitve prostorninskih mas	11
Slika 3 Smeri določanja dimenzijske stabilnosti plošč	13
Slika 4 Skica vzorca za testiranje natezne trdnosti in razdelitev na sloje	14
Slika 5 Princip merjenja deformacije lamel in enostransko skobljanih plošč	15
Slika 6 Gostotni profil MDF plošče	16
Slika 7 Vlažnostni profil MDF plošč po slojih s povprečnimi vrednostmi ter minimalno in maksimalno vlažnostjo	17
Slika 8 Povprečni diferencialni nabrek q in koeficient nabrekanja h MDF plošče v vseh treh smereh merjenja	18
Slika 9 Diferencialni nabrek q posameznih slojev MDF plošče pravokotno na smer proizvodnje (q_2) in v smeri proizvodnje plošč (q_3)	19
Slika 10 Koeficient nabrekanja h posameznih slojev MDF plošče pravokotno na smer proizvodnje (h_2) in v smeri proizvodnje plošč (h_3)	20
Slika 11 Sorpcijski kvocient s posameznih slojev MDF plošče	21
Slika 12 Natezna trdnost posameznih slojev MDF plošče; povprečna trdnost z minimalno ter maksimalno vrednostjo	22
Slika 13 E modul posameznih slojev MDF plošče; povprečni E modul z minimalno ter maksimalno vrednostjo	23
Slika 14 Deformacija MDF plošče pri enostranskem skobljanju; povprečna deformacija z minimalno ter maksimalno vrednostjo	25
Slika 15 Deformacija lamel; povprečna deformacija z minimalno ter maksimalno vrednostjo	26
Slika 16 Gostotni profil MDF plošče s prikazom razdelitve na posamezne sloje in povprečno gostoto posameznih slojev	27
Slika 17 Vlažnost v odvisnosti od gostote	28
Slika 18 Natezna trdnost v odvisnosti od gostote	29
Slika 19 E modul v odvisnosti od gostote	30

Slika 20 Deformacija posameznih slojev plošče v odvisnosti od gostote.....	32
Slika 21 Shema deformacije posameznih slojev plošče glede na asimetričnost gostotnega profila	32

1 UVOD

Les je že od nekdaj nepogrešljiv material v pohištveni industriji. Les je naraven material, z nizko gostoto in odličnimi mehanskimi lastnostmi, kar mu zagotavlja široko področje uporabe. Vendar pa je masivni les dragocen material s katerim je potrebno premišljeno gospodariti.

Med predelavo masivnega lesa nastane veliko raznovrstnih lesnih ostankov, zato se je v želji po čim boljšem izkoristku lesa, pojavila težnja po predelavi teh ostankov v proizvode, ki bi lahko nadomestili masivni les.

Z namenom predelave lesnih ostankov v koristne proizvode so razvili t.i. ploščne materiale, oz. lesna tvoriva, ki so ekonomsko ugodnejša, saj so večinoma izdelana iz lesnih ostankov in manj kvalitetnega lesa, dostopna v večjih količinah, ter enostavna za nadaljnjo obdelavo, nudijo zadovoljive mehanske lastnosti ob tem pa so dimenzijsko stabilnejša. V proizvodnji pohištva večinoma uporabljamo lesna tvoriva izdelana iz dezintegriranega lesa, bodisi v obliki iveri ali vlaken, ki jih oblepljene z lepilom stisnemo v stiskalnici in tako dobimo ploščo, ki jo je ponavadi potrebno še površinsko obdelati. V ta namen plošče oblepljamo z različnimi furnirji ali folijami, ali pa jih barvamo. Tako dobimo polizdelke, ki so osnovna surovina za izdelavo ploskovnega pohištva. Največji delež med temi polizdelki zavzema iverna plošča, oz. oplemenitena iverna plošča, ki je že razmeroma star in dobro poznan material, v zadnjem času pa se ji v vedno večji meri pridružuje MDF plošča, ki nadomešča masivni les, kjer ga ni mogoče nadomestiti z iverno ploščo.

MDF plošča, oz. vlaknena plošča srednje gostote, je zgrajena iz zelo finih vlaken, ki ji zagotavljajo zelo kompaktno in homogeno zgradbo po vsej debelini. Posledica take zgradbe so zelo dobre mehanske in fizikalne lastnosti in zelo dobra obdelavnost, saj omogoča podobno obdelavo, kot masivni les. Kljub dejstvu da gre tudi tu za razmeroma star material, pa njegove lastnosti in zgradba še niso povsem raziskani, kar pa nam lahko povzroča nemalo težav pri obdelavi.

1.1 PROBLEM

MDF je zaradi svoje na videz homogene zgradbe in fine strukture zelo primeren za izdelavo različnih letev. Le-te izdelamo tako, da jih najprej izrežemo iz večjega formata plošče, nakar jih profiliramo in površinsko obdelamo.

Pri enostranskem skobljanju, oz. profiliranju se letve začnejo vzdolžno kriviti, velikost deformacije pa narašča s količino odvzetega materiala. Letve je zato potrebno skobljati obojestransko tako, da odvezemo podobno količino materiala iz obeh površin in vsaj približno ohranimo simetrijo plošče. Posledice obojestranskega skobljanja pa so: debelejšje plošče, ki so seveda tudi dražje, dvojna obraba orodij, večja poraba energije, skratka višji stroški proizvodnje.

1.2 HIPOTEZA

Kljub homogenemu videzu je MDF plošča sestavljena simetrično iz srednjega in dveh zunanjih slojev. Po debelini plošče tako zasledimo več različnih gradientov (profilov):

- Gostotni profil - na površini plošče je gostota precej višja kot v sredini. Pričakovati je da se bo plošča po enostranskem odvzemu zunanjega sloja upognila po principu bimetalu, saj se bo nasprotni zunanji sloj poskušal relaksirati.
- Vlažnostni profil - vlažnost na površini plošče naj bi bila po pričakovanjih nižja, kot je vlažnost sredice plošče, ker je bila med procesom izdelave površina izpostavljena vročim ploščam stiskalnice, ki le-to nekoliko izsušijo. Pričakovati je, da se bo po enostranskem odvzemu materiala sredica nekoliko osušila in tako ukrivila ploščo.
- Anizotropno krčenje - zaradi finejših vlaken na površini plošče, ki so krivi za večjo stisljivost in s tem večjo prostorninsko maso zunanjih slojev so ti dimenzijsko manj stabilni v spreminjajoči se klimi, saj vsebujejo manj prostih prostorov, kamor bi se lahko umaknil nabrekajoči material in se zato na spremembo vlage odzovejo hitreje in z večjo deformacijo.
- Mehanske lastnosti zunanjih slojev se glede na literaturo vidno razlikujejo od mehanskih lastnosti srednjega sloja, saj so v močni povezavi z gostotnim profilom.

Vsi ti profili so v sveži plošči približno simetrični po debelini. Če pa z enostranskim odvzemom materiala porušimo simetrijo plošče, pa porušimo tudi simetrijo vseh teh profilov, kar povzroči krivljenje plošče.

1.3 CILJ NALOGE

Cilj diplomske naloge je ugotoviti ali v plošči poleg gostotnega profila obstaja še kakšen profil oz. gradient, ter kako spodaj naštetih dejavnikov vplivajo na krivljenje plošč, ko z enostranskim odvzemom materiala porušimo simetrijo plošče:

- Vlažnost oz. vlažnostni profil, če le-ta obstaja;
- Gostotni profil;
- Sorpcijske karakteristike oz. dimenzijska stabilnost posameznih slojev plošče, če ploščo izpostavimo različnim klimam;
- Mehanske lastnosti posameznih slojev plošče.

Cilj naloge je tudi razumeti princip krivljenja plošč ter ugotoviti ali je obojestranska obdelava plošč nujna, oz. če obstaja alternativna rešitev.

2 SPLOŠNI DEL

2.1 ZGRADBA

Po Maloneyu (1993) je MDF plošča (Medium Density Fiberboard, oz. vlaknena plošča srednje gostote) izraz za ploščo izdelano po suhem postopku iz lignoceluloznih vlaken povezanih med seboj s sintetično smolo ali drugim primernim vezivom. Plošče so v vroči stiskalnici stisnjene s tlakom 5 do 7 N/mm², kar jim zagotavlja specifično gostoto med 590 kg/m³ in 800 kg/m³. Med procesom stiskanja skoraj vsa vez med vlakni nastane zaradi naravnega vezivnega sredstva, dodatna vezivna sredstva pa dodajamo z namenom izboljšanja lastnosti plošče. Med proizvodnim procesom pa lahko dodamo še razne druge dodatke (aditive) z namenom izboljšanja lastnosti plošč (npr. ognjevarnost, vodoodpornost,...).

V proizvodnji MDF plošč lahko poleg lesnih vlaken uporabljamo tudi druga lignocelulozna vlakna. To so vlakna olesenelih delov enoletnih rastlin (lan, konoplja, sladkorni trs,...), bambusa, tropskih trav, odpadnega papirja in skorje (Kollmann in sodelavci, 1975, str. 565, 573).

Za izdelavo MDF plošč uporabljamo predvsem urea formaldehidna (UF), melamin formaldehidna (MF) in fenol formaldehidna (PF) lepila. Pri proizvodnji plošč po suhem postopku srečamo predvsem UF lepilo (Maloney 1993, str. 386-370).

2.2 LASTNOSTI

Na lastnosti plošče v določeni meri vplivajo vsi vgrajeni materiali (vlakna, lepilo, aditivi) ter proizvodni proces, vendar ima odločilen vpliv uporabljena surovina. Od drevesne vrste je odvisno kakšna bodo vlakna (vitkost, dolžina vlaken, debelina celičnih sten, pH vrednost, faktor oblepljanja,...) drevesna vrsta pa vpliva tudi na vse spremenljivke povezane s postopkom izdelave plošč (Maloney, 1993, str. 158). Poleg vrste lesa pa na kakovost vlaken vplivajo tudi vlažnost lesa ter tehnološki postopek razvlaknjevanja, kajti ob neprimerni tehnologiji lahko tudi iz zelo kakovostne surovine pridobimo nekvalitetna vlakna. Najboljše mehanske lastnosti plošč dosežemo z uporabo vitkih vlaken. Dolga in tanka vlakna imajo boljše upogibno trdnost od debelih in kratkih vlaken, ob tem pa tudi večjo specifično površino, ki omogoča boljše oblepljanje kar plošči zagotavlja boljše mehanske lastnosti. V splošnem priporočajo uporabo vlaken iglavcev za zunanji sloj in uporabo vlaken listavcev za srednji sloj MDF plošč. Vlakna iglavcev so namreč na splošno vitkejša in bolj stisljiva in zato lahko tvorijo kompaktnější sloj plošče z boljšimi mehanskimi lastnostmi.

Ključni faktor s katerim vplivamo na kakovost gotovih plošč med procesom izdelave pa je tlak. S tlakom namreč uravnavamo gostoto gotove plošče, kontroliramo lahko vertikalni gostotni profil plošče in nekatere od mehanskih lastnosti.

Ker na naravne lastnosti lesa ne moramo vplivati, se moramo toliko bolj posvetiti postopku izdelave plošč in predelave le-teh v končne izdelke. Nepravilnosti se lahko pojavijo že med procesom izdelave, bodisi zaradi neenakomernega natresanja tepiha, nepravilnega predstiskanja ali stiskanja, slabe tehnologije ali neenakomernega brušenja gotovih plošč, zaradi česar je v pohištveni industriji nujna kontrola vhodne surovine. Krivost, ki je definirana kot sprememba v geometriji plošče in s tem odklon oblike plošče iz njenega začetnega ravnega stanja (Technical Bulletin..., 1998), pa lahko povzročimo tudi med predelavo plošč in sicer z enostranskim, oziroma asimetričnim odvzemom materiala.

Maloney (1993, str. 620-622) trdi, da imajo lesni produkti nagnjenost h krivljenju zaradi neuravnovešene sestave, ki je bodisi posledica naravnih lastnosti uporabljene surovine, kot na primer razlika v krčenju in nabrekanju med ranim in kasnim lesom, lahko pa je ta neuravnovešenost posledica proizvodnega procesa. Pri ivernih in vlaknenih ploščah je to na primer nesimetričnost vertikalne porazdelitve prostorninskih mas po debelini plošče. Nastanek gostotnega profila pri OSB ploščah sta raziskovala Wang in Winistorfer in ugotovila, da nastane zaradi različne velikosti vlaken v posameznih slojih ter zaradi delovanja tlaka. Ugotovila sta, da se gostotni profil tvori tako med zapiranjem stiskalnice, kot tudi po tem, ko je stiskalnica dosegla želeni tlak in debelino plošče. Proces stiskanja sta zato razdelila na dve stopnji in sicer:

1. Stopnja - Čas zgoščevanja - Stiskalnica se zapira in plošča se zgoščuje, ta čas delimo na dve fazi in sicer:

1. Faza enakomernega zgoščevanja - iz tepeha odstranjujemo večinoma le odvečni zrak in še ni sledu o gostotnem profilu;
2. Faza neenakomernega zgoščevanja - ko se stiskalnica približa maksimalnemu tlaku zaradi spremembe temperature in vlažnosti zunanja sloja začneta zgoščevati hitreje kot sredica plošče.

2. Stopnja - Čas stiskanja - le-ta se prične, ko stiskalnica doseže maksimalni tlak oz. želeno debelino plošče in traja do konca procesa stiskanja.

3. Faza zgostitve zunanjega sloja - Visoka temperatura in tlak povzročata nadaljnje zgoščevanje zunanjega sloja, ki ima za posledico zmanjšanje tlaka, medtem ko se hladna sredica obnaša kot vzmet, ki še dodatno pripomore k zgostitvi zunanjega sloja, kljub zmanjšanju tlaka zaradi relaksacije. Ta faza se zaključi, ko je razlika med temperaturo zunanjega sloja in temperaturo sredice maksimalna.
4. Faza zgostitve srednjega sloja – Prehod pare iz zunanjega sloja v sredico in višanje temperature povzročijo zgoščevanje sredice, kljub nizkemu tlaku stiskanja, k temu pa pripomore zelo zgoščen zunanji sloj, ki se ob znižanem tlaku prične relaksirati
5. "Spring-back" efekt – Relaksacija celotne plošče po odprtju stiskalnice, ko izide odvečna para. Po odprtju stiskalnice je debelina plošče nekoliko večja, kot v 4. fazi. Efekt pa zaradi razlik v temperaturi, vlagi, gostoti in kohezijski trdnosti med posameznih sloji ni enakomeren po celotni debelini.

Vpliv časa stiskanja na nastanek gostotnega profila je pogojen predvsem s hitrostjo zapiranja stiskalnice in maksimalnim tlakom stiskanja. Hitrejše zapiranje in višji tlak povečajo vpliv časa stiskanja na nastanek gostotnega profila (Wang in Winistorfer, 2000).

Ker imajo vlakna iz katerih je plošča sestavljena veliko sposobnost vpijanja ali oddajanja vlage, se plošča zelo hitro odziva na spremembo klime okolice, kar je še posebej opazno v zelo suhi klimi. Ko plošči odvzamemo zunanji sloj, se sredica plošče, ki je načeloma bolj vlažna, začne sušiti in plošča se vidno ukrivi že po nekaj urah. Dimenzijsko stabilnost posameznih slojev sta raziskovala že Xu in Winistorfer (1995) in sicer sta se osredotočila na debelinski nabrek, kot pokazatelja dimenzijske stabilnosti plošč po debelini. Ugotovila sta korelacijo med gostoto posameznega sloja in debelinskim nabrekom in sicer navajata, da gostejši zunanji sloj nabreka bolj, kot

srednji sloj z znatno nižjo gostoto, kar gre pripisati dejstvu, da je v bolj stisnjem zunanjem sloju na voljo manj praznih prostorov, ki bi jih lahko zapolnil nabrekajoči material. Ugotovila pa sta tudi, da je vpijanje vode posameznih slojev v korelaciji z gostoto MDF plošče in sicer sta tudi v tem primeru izmerila večje vpijanje v zunanjem sloju (Xu et al., 1994).

Ker je površino MDF plošč potrebno zakriti, obstaja nevarnost krivljenja zaradi uporabe različnih materialov na posameznih površinah plošče, ali celo različnega procesa površinske obd

elave. Vpliv oplaščenja MDF plošč z dekorativnim laminatom na krivljenje le-teh je raziskoval Starman (2002). v svojem diplomskem delu in ugotovil, da le-ta nima vidnejšega vpliva na krivljenje plošč. Izmerjena deformacija kot posledica delovanja laminata je znašala 0,05%.

Geimer et al. (1975) so v svoji raziskavi ugotovili, da obstaja linearna povezava med gostoto srednjega sloja iverne plošče in modulom elastičnosti pri tenzijski obremenitvi ter nelinearna povezava med gostoto zunanjega sloja in modulom elastičnosti. Uporabili so plošče z različno usmerjenimi ivermi v zunanjem sloju in sicer z naključno usmerjenimi ivermi in z usmerjenimi ivermi, slednje pa so testirali vzporedno in pravokotno na potek iveri. Krivulje odvisnosti modula elastičnosti od gostote zunanjega sloja so bile v vseh treh primerih podobne, s tem da je plošča z usmerjenimi ivermi dosegla v smeri iveri nekajkrat boljše rezultate, v smeri pravokotno na potek iveri pa nekajkrat slabše rezultate kot plošča z naključno usmerjenimi ivermi v zunanjem sloju. Nadalje so ugotovili da gostota zunanjih slojev plošče narašča s količino materiala uporabljenega za zunanji sloj ter z debelino plošče ter da razmerje med gostoto zunanjega in srednjega sloja ostane nespremenjeno, ne glede na končno gostoto plošč, v kolikor ostane nespremenjeno razmerje med količino materiala uporabljenega za zunanji in srednji sloj

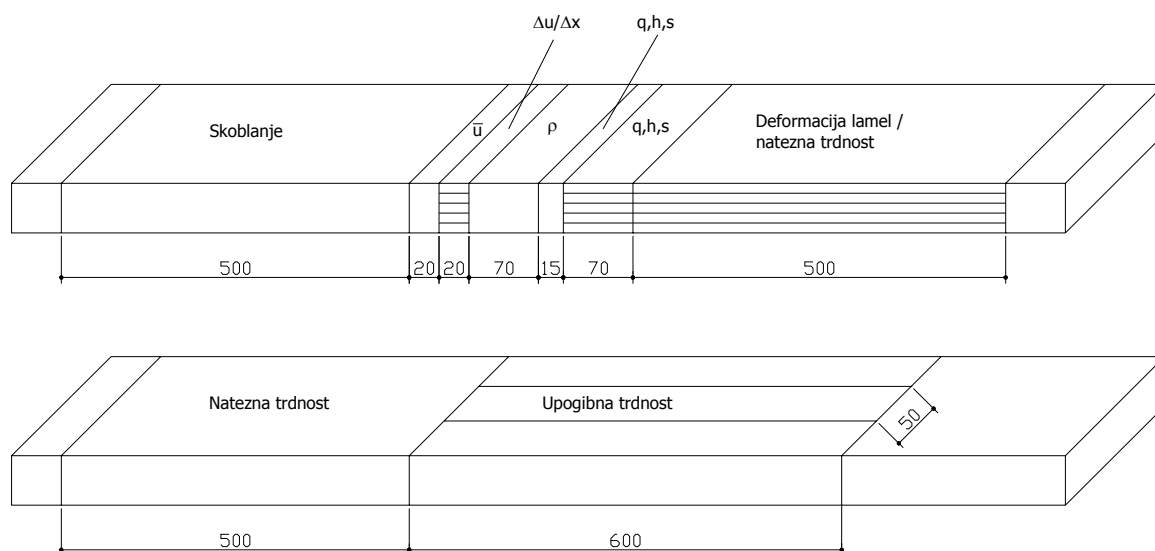
Tudi Steidl et al. (2003) so ugotovili močno korelacijo med natezno in tlačno trdnostjo posameznih slojev OSB plošč, ter gostotnim profilom le-teh. V smeri pravokotno na iveri v zunanjem sloju so izmerili približno enake vrednosti za posamezne sloje, medtem, ko so v smeri vzporedni s potekom iveri izmerili približno dvakrat večje vrednosti v zunanjem sloju. Ugotovili so tudi, da je povprečna tlačna trdnost bistveno višja od povprečne natezne trdnosti, ter da je obratno modul elastičnosti pri nategu v povprečju bistveno višji od povprečnega modula elastičnosti pri tlačni obremenitvi.

Plošče se med stiskanjem v vroči stiskalnici tudi nekoliko osušijo, zaradi česar jih je potrebno kondicionirati v temu namenjenih komorah z visoko zračno vlažnostjo, da se ponovno navlažijo na normalno vlažnost 5 - 8%, s čimer se izognemo krivljenju. Občutljivost plošče na spremembo zračne vlažnosti in s tem krivljenje plošče, pa lahko zmanjšamo tudi z uporabo druge vrste lepila. UF lepilo, ki ga najpogosteje uporabljamo ker je najcenejše, a hkrati tudi najbolj občutljivo na vlago, lahko zamenjamo z MF ali PF lepilom, kar znatno izboljša lastnosti plošče v spreminjajoči se klimi.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

Za izdelavo diplomske naloge smo uporabili MDF ploščo debeline 30mm proizvajalca Fantoni. Letve dimenzij 2000x114x30mm so bili odvzete na stroju za razrez plošč v podjetju Alples Železniki. Odvzeli smo jih naključno iz 5 naključno izbranih plošč osnovnega formata dim. 2800x2070x30mm. Letve smo nato razrezali na manjše vzorce, ki smo jih uporabili za meritve sorpcijskih karakteristik, dimenzijske stabilnosti in natezne trdnosti ter upogibne trdnosti. Slika 1 prikazuje razrez plošč na laboratorijske vzorce. V podjetju smo žagali plošče takoj po dobavi, do razreza na laboratorijske vzorce pa je bil material s folijo zaščiten pred zunanjo vlago in skladiščen v normalni klimi.



Slika 1 Skica razreza plošč na preizkušance

V preglednici 1 so navedene lastnosti uporabljenega materiala, kot jih zagotavlja proizvajalec MDF plošč Fantoni.

Preglednica 1 Lastnosti uporabljene MDF plošče (podatki proizvajalca)

	Metoda testiranja	Enota mere	Vrednosti za MDF debeline 30mm
Razslojna trdnost	EN 319	N/mm ²	0,78
Upogibna trdnost	EN 310	N/mm ²	26,1
Modul elastičnosti pri stat. upogibu	EN 310	N/mm ²	2650
Debelinski nabrek 24h (max.)	EN 317	%	6,2
Površinsko vpijanje toluena	EN 382-1	mm	250
Specifična gostota	EN 323	Kg/m ³	730±5%
Vlažnost	EN 322	%	4-11
Vsebnost tujkov	ISO 3340	%	≤0,05
Vsebnost prostega formaldehida	EN 120	mg/100g	≤9
Dimenzijska stabilnost	Prečno	%/%	0,04
	Po debelini	%/%	0,35

3.2 METODE DELA

Merili smo vlažnost plošč, porazdelitev vlažnosti in gostote po debelini plošč, dimenzijsko stabilnost cele plošče in posameznih slojev, deformacijo plošče pri enostranskem skobljanju, deformacijo posameznih slojev plošče, natezno trdnost plošče in posameznih slojev ter upogibno trdnost plošče.

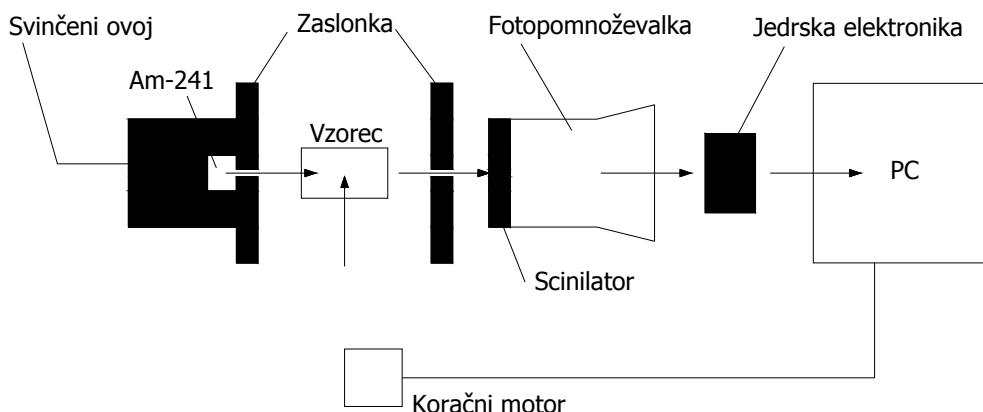
3.2.1 Fizikalne lastnosti

3.2.1.1 Porazdelitev gostote

Za merjenje porazdelitve gostote, oz. gostotnega profila smo uporabili 10 svežih vzorcev velikosti 50x50x30mm.

Gostotni profil plošč smo merili na napravi za merjenje vertikalne porazdelitve prostorninskih mas na Katedri za iverna in lesna tvoriva (sl. 2).

Naprava je zasnovana na principu presevanja vzorca z ozko usmerjenim snopom gama žarkov radioaktivnega izvora (Am^{241}). Vir sevanja je nameščen v svinčenem ovoju. Žarki potujejo proti vzorcu in fotopomnoževalki skozi zaslonki z režo široko 0,1mm in visoko 50mm. Ko žarki potujejo skozi vzorec se v njem delno absorbirajo, zaradi česar pade njihova intenziteta. Preostali žarki v fotopomnoževalki s scinilatorjem povzročijo elektronski plaz, ki ga obdelamo z jedrsko elektroniko in shranimo v računalniku za nadaljnjo obdelavo. Izmerjena intenziteta žarkov ki pridejo skozi vzorec je merilo za prostorninsko maso vzorca na izbranem mestu. Vzorec koračno premikamo po 0,1mm/s in vsako sekundo izmerimo gostoto, tako da dobimo celoten gostotni profil, v našem primeru sestavljen iz prbl. 300 meritev.



Slika 2 Shema naprave za merjenje vertikalne porazdelitve prostorninskih mas

3.2.1.2 Porazdelitev vlažnosti

Za mejenje vlažnosti plošč smo uporabili 10 vzorcev velikosti 114x20x30mm, ki smo jih izrezali iz svežih plošč.

Za merjenje vlažnostnega gradienta pa smo enake vzorce razrezali na pet slojev in tako dobili 50 vzorcev dimenzij 114x20x4,5mm.

Vlažnost plošč smo merili po standardni gravimetrični metodi za merjenje vlažnosti vezanih plošč (SIST EN 322), ki smo jo smiselno aplicirali na MDF.

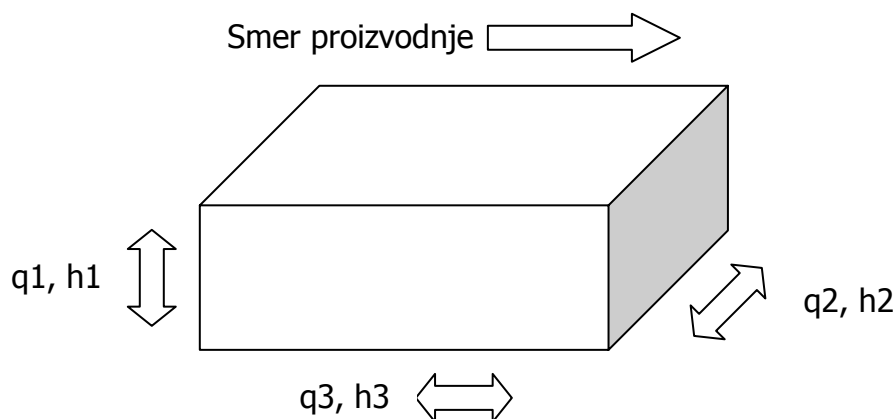
3.2.1.3 Dimenzijska stabilnost

Dimenzijsko stabilnost plošč smo merili na 10 vzorcih dimenzije 114x15x30mm, ki smo jih najprej uravnovesili v normalni klimi ($\varphi=65\%$).

Za merjenje dimenzijske stabilnosti posameznih slojev smo uporabili enake vzorce le, da smo jih po debelini razrezali na pet slojev in tako dobili 50 vzorcev velikosti 114x70x4,5mm.

Vzorce smo uravnovešali v klimatizacijskih komorah z nasičenimi solnimi raztopinami, ki vzdržujejo konstantno zračno vlažnost in sicer smo uporabili: NaNO_2 ($\varphi\approx 65\%$), ZnSO_4 ($\varphi\approx 90\%$), MgCl_2 ($\varphi\approx 34\%$), do absolutno suhega stanja pa smo sušili v laboratorijskem sušilniku.

Dimenzijsko stabilnost plošče smo ovrednotili z diferencialnim nabrekom (q), koeficientom nabrekanja (h) in sorpcijskim kvocientom (s). Vzorce smo uravnovesili v treh različnih klimah na koncu pa smo jih posušili do absolutno suhega stanja, v laboratorijskem sušilniku po standardni metodi za masivni les, pri $103\pm 2^\circ\text{C}$. Po vsakem klimatiziranju smo vzorcem izmerili dimenzije na 0,01mm natančno in maso na 0,001g natančno, s pomočjo dimenzij in mase smo nato izračunali pokazatelje dimenzijske stabilnosti. Dimenzijsko stabilnost pri celih ploščah smo merili v treh smereh in sicer: po debelini plošče (q_1, h_1), pravokotno na smer proizvodnje plošč (q_2, h_2) in v smeri proizvodnje (q_3, h_3) (sl. 3). Dimenzijsko stabilnost posameznih slojev smo merili v dveh smereh in sicer pravokotno na smer proizvodnje (q_2, h_2) ter v smeri proizvodnje plošč (q_3, h_3).



Slika 3 Smeri določanja dimenzijske stabilnosti plošč

Diferencialni nabrek q smo izračunali po enačbi:

$$q = \frac{x_2 - x_1}{u_2 - u_1} \cdot 100\% [\%/ \%$$

x_2 ...dimenzija vzorca v vlažni klimi [mm]
 x_1 ...dimenzija vzorca v suhi klimi [mm]
 x_0 ...dimenzija absolutno suhega vzorca [mm]
 u_2 ...vlažnost vzorca v klimi $\varphi=90\%$ [%]
 u_1 ...vlažnost vzorca v klimi $\varphi=34\%$ [%]

Koeficient nabrekanja h smo izračunali po enačbi:

$$h = \frac{x_2 - x_1}{\varphi_2 - \varphi_1} \cdot 100\% [\%/ \%$$

x_2 ...dimenzija vzorca v vlažni klimi [mm]
 x_1 ...dimenzija vzorca v suhi klimi [mm]
 x_0 ...dimenzija absolutno suhega vzorca [mm]
 φ_2 ...relativna zračna vlažnost v vlažni klimi [%]
 φ_1 ...relativna zračna vlažnost v suhi klimi [%]

Sorpcijski kvocient s smo izračunali po enačbi:

$$s = \frac{h_1}{q_1}$$

h_1 ...koeficient nabrekanja [%/ %]
 q_1 ...diferencialni nabrek [%/ %]

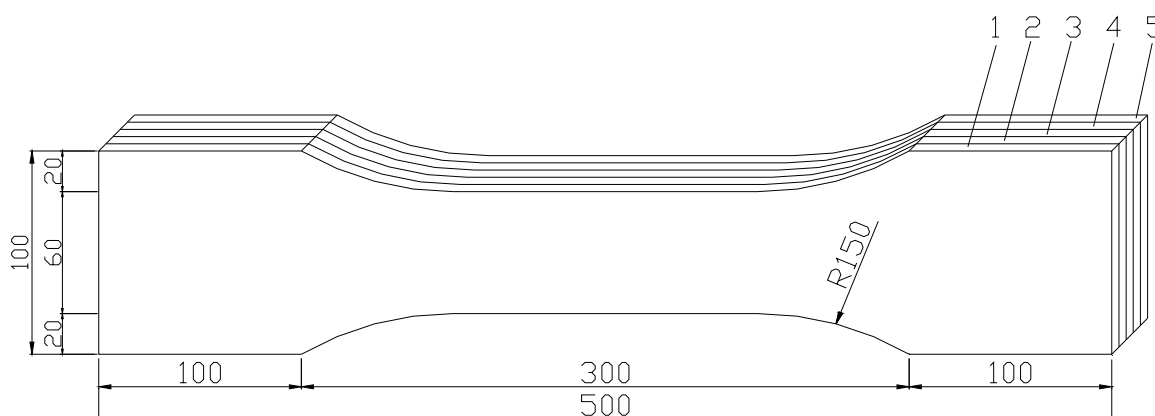
3.2.2 Mehanske lastnosti

Vsi preizkušanci, ki smo jih uporabili za testiranje mehanskih lastnosti plošče so bili orientirani v smeri proizvodnje plošč.

3.2.2.1 Natezna trdnost

Za test natezne trdnosti cele plošče smo na miznem rezkarju izdelali 15 preizkušancev velikosti 500x100x30mm (sl. 4).

Za test natezne trdnosti posameznih slojev smo uporabili lamele, ki smo jih narezali za merjenje deformacije posameznih slojev, le-te smo klimatizirali v standardni klimi, egalizirali, da smo zgladili površino in iz njih izdelali 50 preizkušancev dimenzij 500x100x4mm (sl. 4).



Slika 4 Skica vzorca za testiranje natezne trdnosti in razdelitev na sloje

Natezno trdnost smo merili na napravi za testiranje mehanskih lastnosti Zwick Z 100. Naprava ima fiksno in premično čeljust, v kateri trdno vpnemo širša konca preizkušanca. Ko pričemo z meritvijo, se premična čeljust začne odmikati in napanjati preizkušaneec. Meritev je končana takrat, ko se preizkušaneec raztrga, oz. poruši. Hitrost napanjanja mora biti tolikšna, da do porušitve pride po 30 – 60 sekundah. Preizkušanci, ki smo jih uporabili za test natezne trdnosti, so nekoliko prilagojeni standardni preizkušanci za testiranje natezne trdnosti vezanih plošč. Le-tem smo nekoliko povečali presek v predelu, kjer naj bi prišlo do porušitve materiala, z namenom, da dobimo večje sile potrebne za porušitev in s tem bolj primerljive rezultate.

3.2.2.2 Upogibna trdnost

Z test upogibne trdnosti smo iz sveže plošče izrezali 15 vzorcev velikosti 650x50x30mm.

Upogibno trdnost smo merili po standardizirani metodi za vezane plošče (SIST EN 310), ki smo jo smiselno uporabili na MDF-u. Testirali smo na napravi za testiranje mehanskih lastnosti.

3.2.3 Deformacije

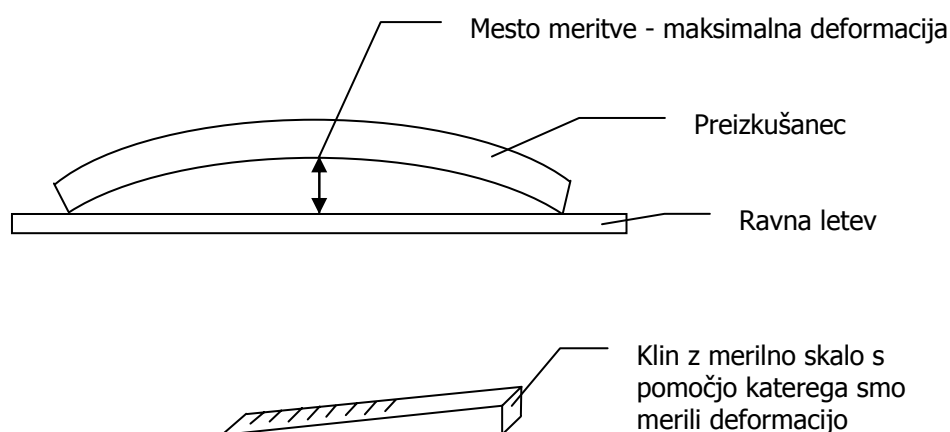
3.2.3.1 Deformacija pri enostranskem skobljanju

Za merjenje deformacije pri enostranskem skobljanju smo pripravili 10 svežih vzorcev dimenzij 500x114x30mm. Pred skobljanjem so bili vsi vzorci popolnoma ravni.

Vzorci smo nato enostransko skobljali po 3mm in jim po vsakem skobljanju izmerili deformacijo. Deformacijo smo merili s pomočjo ravne letve in merilnega klina na sredini plošče, kjer je bila deformacija največja (sl. 5).

3.2.3.2 Deformacija lamel

Tudi pri tej meritvi smo uporabili 10 vzorcev velikosti 500x114x30mm, ki smo jih na tračni žagi razrezali na 5 približno enako debelih slojev tako. Deformacijo smo merili tako, da smo rob lamele približali ravni letvi, nato pa s pomočjo merilnega klina izmerili deformacijo na sredini lamele, kjer je bila le-ta največja (sl. 5).



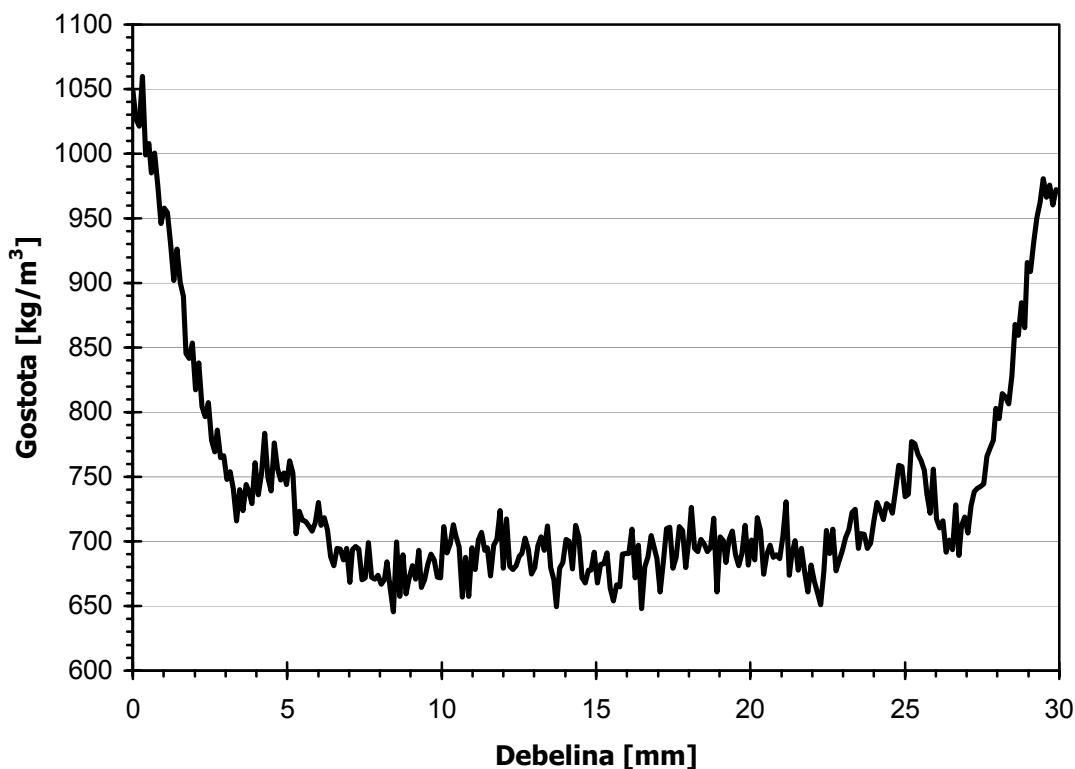
Slika 5 Princip merjenja deformacije lamel in enostransko skobljanih plošč

4 REZULTATI

4.1 FIZIKALNE LASTNOSTI

4.1.1 Porazdelitev gostote

Izmerjeni gostotni profil MDF plošče je pokazal pričakovano porazdelitev gostote (sl. 6). Gostota po debelini plošče varira, pri čemer izstopata zunanja sloja, kjer vrednost na površini plošče preseže 1000kg/m^3 , nakar se naglo spusti in ustali med 650 in 730kg/m^3 v sredini plošče. Gostotni profil plošče je dokaj simetričen z rahlim odstopanjem povsem na površini. Na eni površini gostota doseže prbl. 1030kg/m^3 , medtem ko je gostota na drugi površini nekoliko manjša, in sicer prbl. 970kg/m^3 . Povprečna vlažnost vzorcev je bila $6,5\%$.



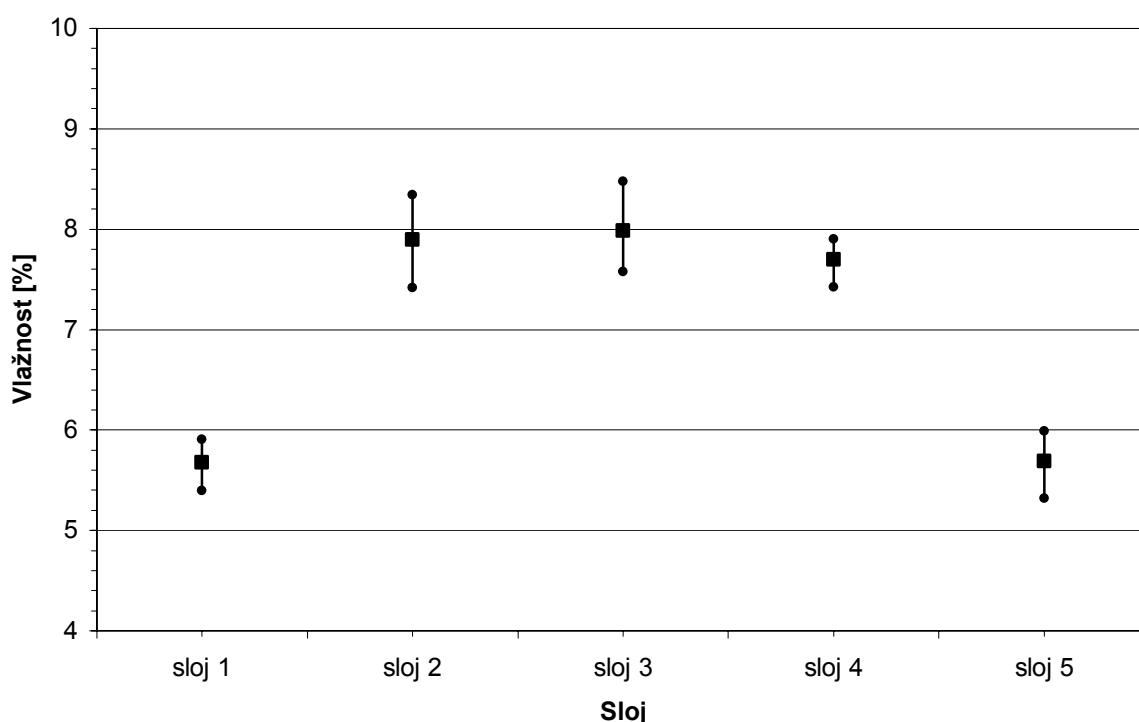
Slika 6 Gostotni profil MDF plošče (u povp.=6,5%)

4.1.2 Porazdelitev vlažnosti

Ugotovili smo, da je povprečna vlažnost plošč 6,5%. Po pričakovanju izstopata zunanja sloja s povprečno vlažnostjo 5,7 %, medtem, ko se vlažnost v srednjih treh slojih giblje med 7,7% in 8,0% (pregl. 2 in pril. A). Dobljeni vlažnostni profil statistično najbolje opiše kvadratna funkcija, ki pa na tem mestu ni primerna, ker gre za očitno odstopanje vlažnosti površinskih slojev od dokaj enakomerne porazdelitve vlažnosti v sredini (sl. 7).

Preglednica 2 Povprečna vlažnost MDF plošč u in vlažnost posameznih slojev MDF plošče ($u_1 - u_5$) z osnovno statistiko

	u [%]	u_1 [%]	u_2 [%]	u_3 [%]	u_4 [%]	u_5 [%]
n	10	10	10	10	10	10
u povp.	6,5	5,7	8,0	8,0	7,7	5,7
u min.	6,2	5,4	7,4	7,6	7,4	5,3
u maks.	6,8	5,9	8,4	8,5	7,9	6,0
St.dev.	0,19	0,17	0,36	0,30	0,16	0,24
KV%	2,9	2,9	4,5	3,7	2,1	4,2



Slika 7 Vlažnostni profil MDF plošč po slojih s povprečnimi vrednostmi ter minimalno in maksimalno vlažnostjo

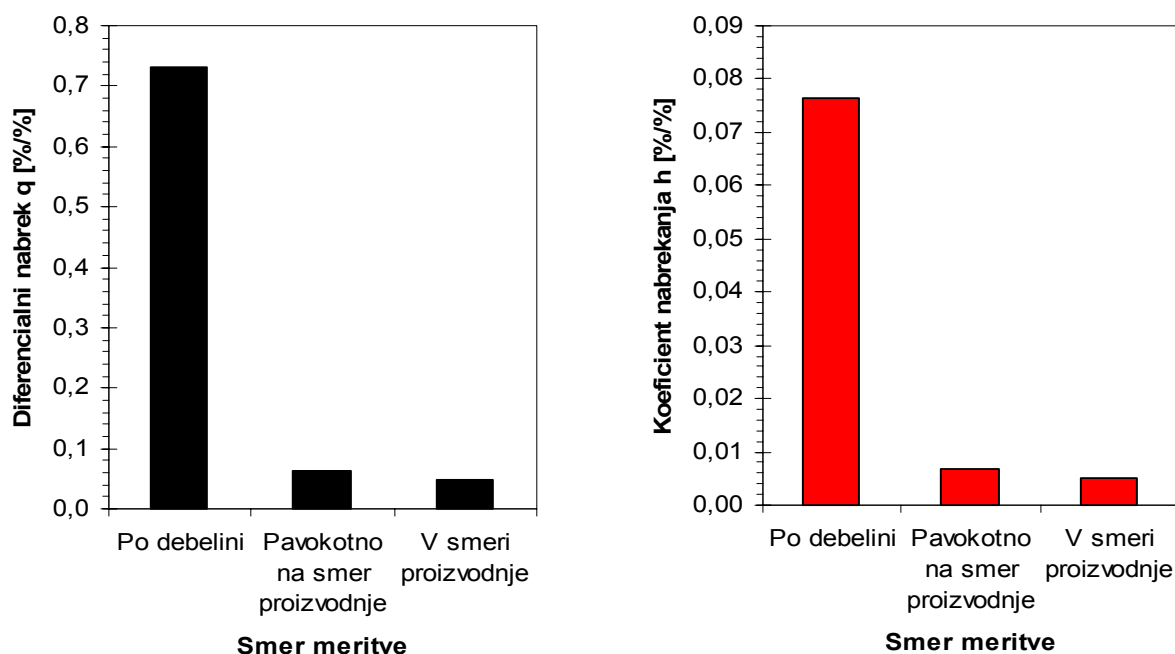
4.1.3 Dimenzijska stabilnost

4.1.3.1 Dimenzijska stabilnost plošče kot celote

Izmerili smo, da tako diferencialni nabrek, kot tudi koeficient nabrekanja po debelini plošč (q_1 , h_1) močno presegata vrednosti izmerjene pravokotno na smer proizvodnje plošč (q_2 , h_2) in tiste, ki so izmerjene v smeri proizvodnje (q_3 , h_3). Nabreki v slednjih dveh smereh so minimalni a se dovolj razlikujejo, da vidimo, da so plošče dimenzijsko najstabilnejše v smeri izdelave (pregl. 3, sl. 8 in pril. B).

Preglednica 3 Diferencialni nabrek q , koeficient nabrekanja h in sorpcijski kvocient s celotnih MDF plošč, po debelini plošče (q_1 , h_1), pravokotno na smer proizvodnje (q_2 , h_2) ter v smeri proizvodnje plošč (q_3 , h_3) z osnovno statistiko

	Diferencialni nabrek			Koeficient nabrekanja			Sorpcijski kvocient s
	q_1 [%/%]	q_2 [%/%]	q_3 [%/%]	h_1 [%/%]	h_2 [%/%]	h_3 [%/%]	
n	10	10	10	10	10	10	10
X povp.	0,730	0,064	0,047	0,077	0,007	0,005	0,105
X min.	0,697	0,045	0,040	0,074	0,005	0,004	0,101
X maks.	0,746	0,086	0,057	0,081	0,009	0,006	0,108
St.dev.	0,016	0,011	0,006	0,002	0,001	0,001	0,002
KV%	2,2	17,3	12,8	2,6	17,6	13,2	2,2



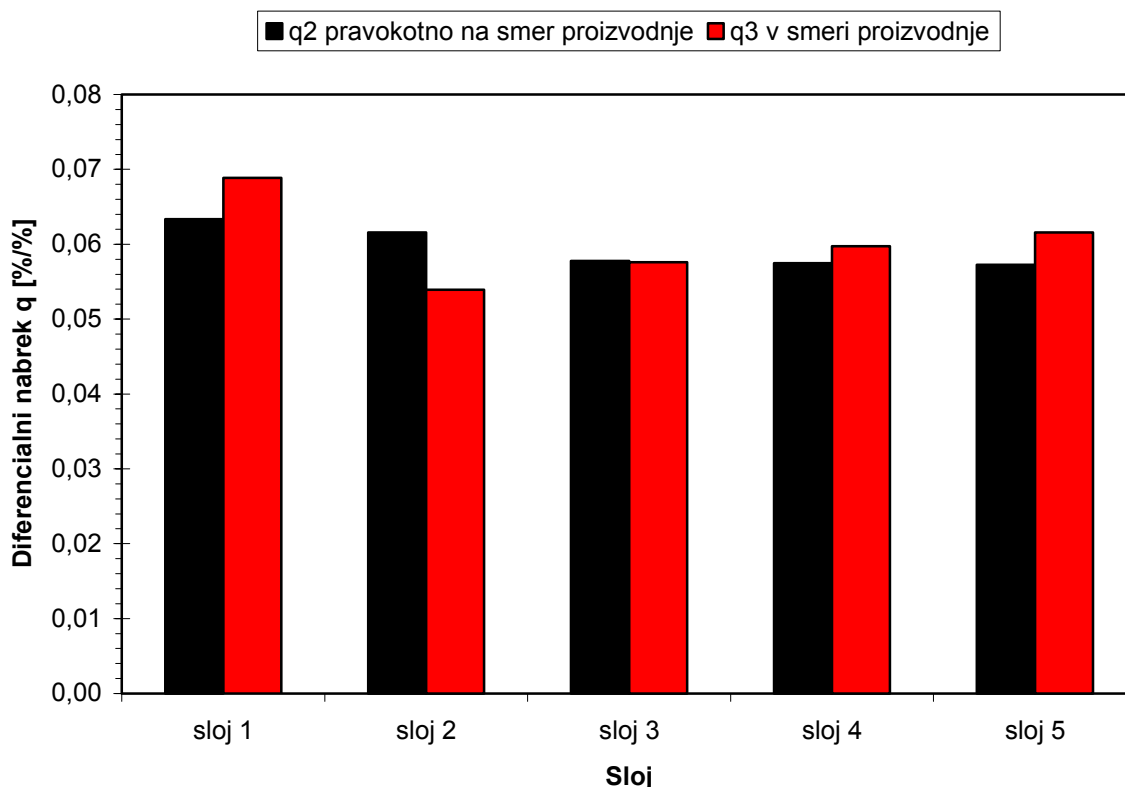
Slika 8 Povprečni diferencialni nabrek q in koeficient nabrekanja h MDF plošče v vseh treh smereh merjenja

4.1.3.2 Dimenzijska stabilnost posameznih slojev plošče

Diferencialni nabreki pravokotno na smer proizvodnje plošč (q2) so večinoma malenkost večji od tistih, ki smo jih izmerili v smeri proizvodnje plošč (q3). Podobno majhne pa so tudi razlike med posameznimi sloji, kjer smo največje nabreke zabeležili pri zunanjih slojih (pregl. 4, sl. 9 in pril. C).

Preglednica 4 Diferencialni nabrek q[%/%] posameznih slojev MDF plošče, pravokotno na smer proizvodnje plošč (q2) in v smeri proizvodnje plošč (q3) z osnovno statistiko

	Sloj 1		Sloj 2		Sloj 3		Sloj 4		Sloj 5	
	q2	q3	q2	q3	q2	q3	q2	q3	q2	q3
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
q povp.	0,063	0,069	0,062	0,054	0,058	0,058	0,057	0,060	0,057	0,062
q min.	0,035	0,063	0,042	0,040	0,037	0,050	0,036	0,051	0,042	0,055
q maks.	0,077	0,074	0,086	0,081	0,079	0,068	0,102	0,072	0,067	0,068
St.dev.	0,011	0,004	0,011	0,012	0,012	0,006	0,019	0,007	0,008	0,005
KV%	17,4	5,9	18,3	22,1	20,1	10,2	32,7	11,3	13,5	7,5

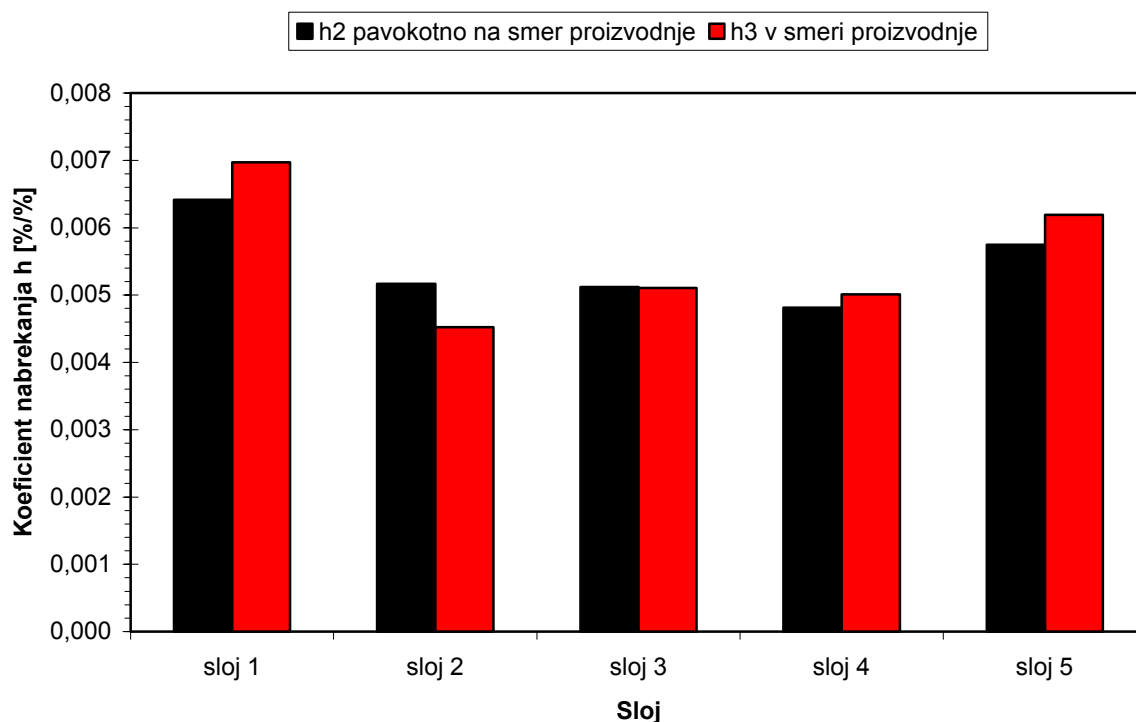


Slika 9 Diferencialni nabrek q posameznih slojev MDF plošče pravokotno na smer proizvodnje (q2) in v smeri proizvodnje plošč (q3)

Pri koeficientih nabrekanja razlik med meritvami pravokotno na smer proizvodnje (h2) in meritvami v smeri proizvodnje plošč (h3) skoraj ni bilo opaziti, opazili smo le minimalne razlike med posameznimi sloji, kjer smo zopet največji koeficient nabrekanja izračunali pri zunanjih slojih (pregl. 5, sl. 10 in pril.D).

Preglednica 5 Koeficient nabrekanja h[%/%] posameznih slojev MDF plošče, pravokotno na smer proizvodnje (h2) in v smeri proizvodnje plošč (h3) z osnovno statistiko

	Sloj 1		Sloj 2		Sloj 3		Sloj 4		Sloj 5	
	h2	h3	h2	h3	h2	h3	h2	h3	h2	h3
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
h povp.	0,006	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006
h min.	0,004	0,006	0,004	0,003	0,003	0,004	0,003	0,004	0,004	0,005
h maks.	0,008	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	0,008	0,006	0,007	0,007
St.dev.	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
KV%	17,2	4,6	17,8	21,3	20,0	10,5	31,9	10,8	12,7	9,2

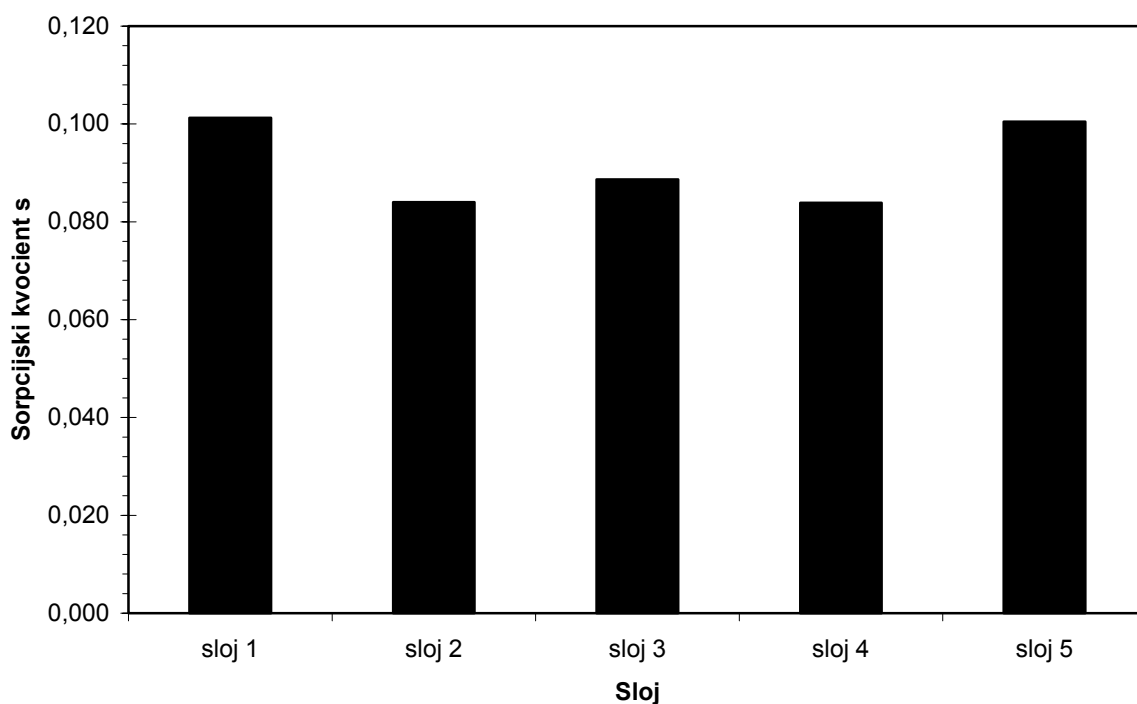


Slika 10 Koeficient nabrekanja h posameznih slojev MDF plošče pravokotno na smer proizvodnje (h2) in v smeri proizvodnje plošč (h3)

Tudi pri izračunu sorpcijskega kvocienta smo dobili podobno sliko in sicer nekoliko višje vrednosti za zunanja dva sloja in zelo podobne vrednosti pri srednjih treh slojih. (pregl. 6, sl. 11 in pril. E).

Preglednica 6 Sorpcijski kvocient s posameznih slojev MDF plošče z osnovno statistiko

	s1	s2	s3	s4	s5
n	10	10	10	10	10
s povp.	0,101	0,084	0,089	0,084	0,101
s min.	0,098	0,080	0,086	0,079	0,091
s maks.	0,106	0,086	0,091	0,087	0,104
St.dev.	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004
KV%	2,2	2,0	1,7	2,4	3,8



Slika 11 Sorpcijski kvocient s posameznih slojev MDF plošče

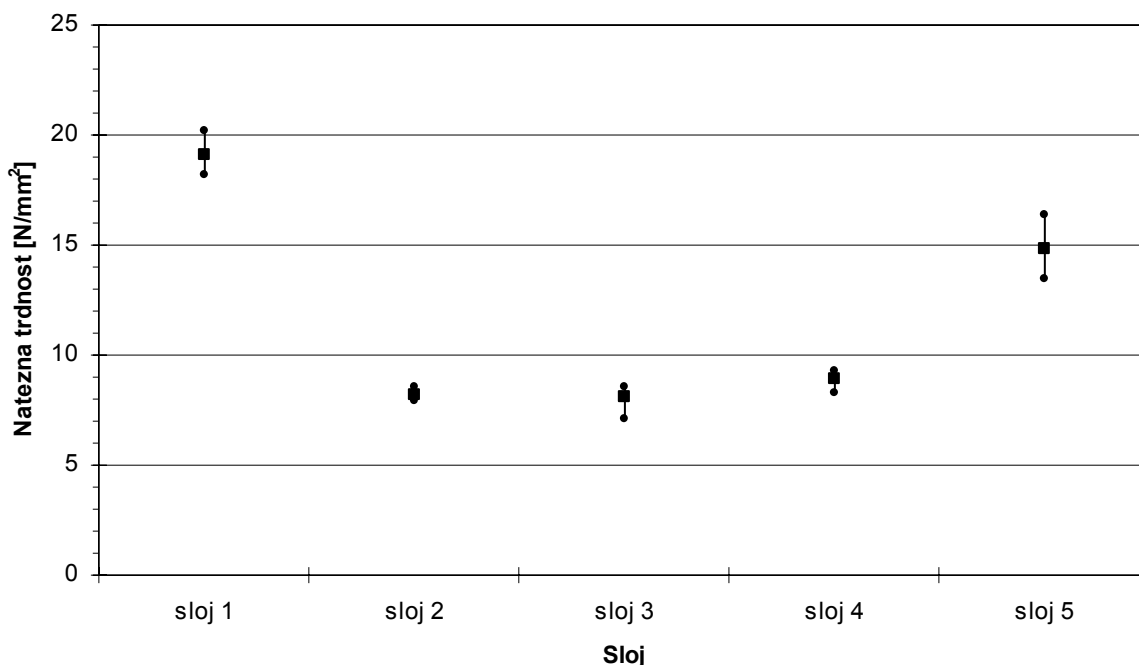
4.2 MEHANSKE LASTNOSTI

4.2.1 Natezna trdnost

Natezno trdnost smo določali v smeri proizvodnje plošč, in sicer smo izmerili povprečno natezno trdnost plošč $10,2 \text{ N/mm}^2$. Med nateznimi trdnostmi posameznih slojev plošče pa smo izmerili velike razlike in sicer smo dobili najboljše rezultate pri zunanjih dveh slojih, kjer smo izmerili povprečne vrednosti $14,9 \text{ N/mm}^2$ in $19,1 \text{ N/mm}^2$. Vrednosti srednjih slojev so si med sabo zelo podobne in se gibljejo med $8,1 \text{ N/mm}^2$ in $8,9 \text{ N/mm}^2$ (pregl. 7, sl. 12 in pril. F).

Preglednica 7 Natezna trdnost celotnih MDF plošč $F_v[\text{N/mm}^2]$ in natezna trdnost po posameznih slojih (Fv1 – Fv5) z osnovno statistiko

	Fv	Fv1	Fv2	Fv3	Fv4	Fv5
n	15	10	10	10	10	10
Fv povp.	10,2	19,1	8,2	8,1	8,9	14,9
Fv min.	9,0	18,2	8,0	7,1	8,3	13,5
Fv maks.	12,3	20,2	8,5	8,5	9,3	16,4
St.dev.	0,84	0,68	0,17	0,41	0,31	0,81
KV%	8,2	3,5	2,1	5,1	3,5	5,5

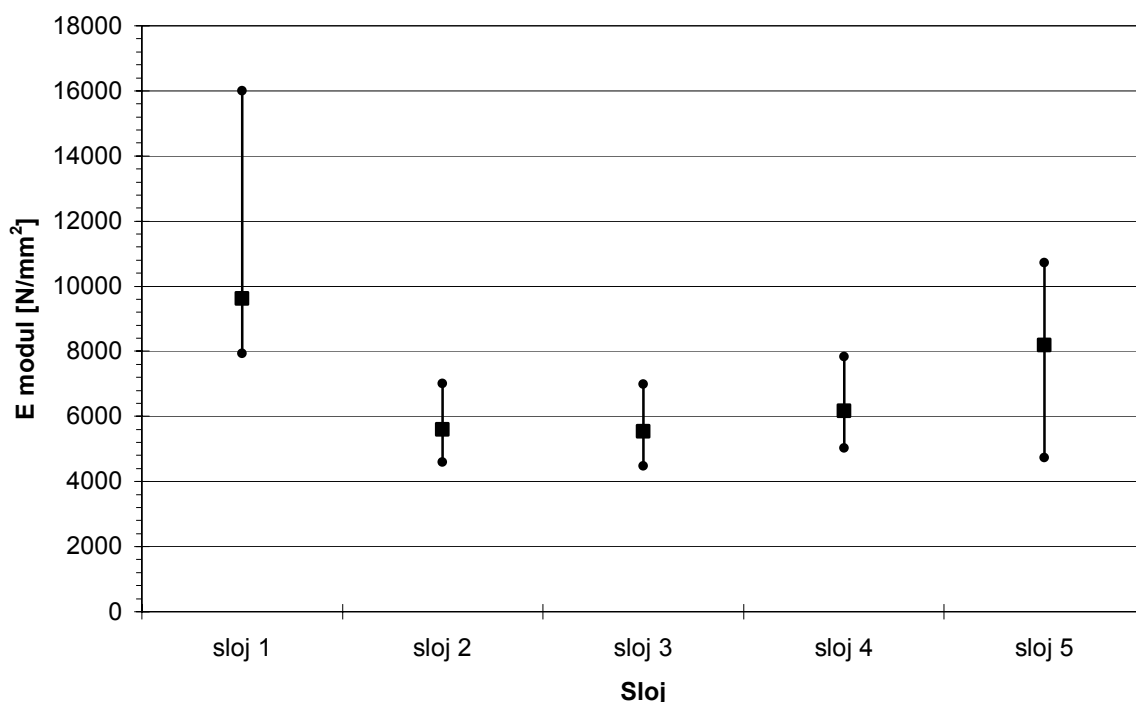


Slika 12 Natezna trdnost posameznih slojev MDF plošče; povprečna trdnost z minimalno ter maksimalno vrednostjo

Povprečni E modul za cele plošče je znašal presenetljivih 2320 N/mm^2 , pri E modulih posameznih slojev plošče pa so bila razmerja zelo podobna kot pri natezni trdnosti in sicer izstopata zunanja sloja z 9609 N/mm^2 in 8184 N/mm^2 , povprečni E modul srednjih slojev pa se je gibal med 5528 N/mm^2 in 6164 N/mm^2 . Pri rezultatih E modula za posamezne sloje plošče opazimo tudi dokaj visok koeficient variacije (pregl. 8, sl. 13 in pril. G). Asimetrija povprečnih E modulov zunanjih slojev ustreza gostotnemu profilu (sl. 6), in sicer tudi tu vidimo pri 1. sloju nekoliko višjo vrednost, kot pri 5. sloju.

Preglednica 8 Povprečni E modul [N/mm^2] celotne MDF plošče in E modul posameznih slojev (E1 – E5) z osnovno statistiko

	E modul	E1	E2	E3	E4	E5
n	15	10	10	10	10	10
E povp.	2320	9609	5588	5528	6164	8184
E min.	2154	7931	4602	4474	5017	4740
E maks.	2501	16007	7007	6986	7836	10719
St.dev.	89,86	1987	1198	1146	1355	2084
KV%	3,9	20,7	21,4	20,8	22,0	25,5



Slika 13 E modul posameznih slojev MDF plošče; povprečni E modul z minimalno ter maksimalno vrednostjo

4.2.2 Upogibna trdnost plošče kot celote

Povprečna izmerjena upogibna trdnost plošč z $24,4 \text{ N/mm}^2$ nekoliko zaostaja za tovarniškim podatkom, ki znaša $26,1 \text{ N/mm}^2$, medtem, ko je bil povprečni izmerjeni E modul z 2998 N/mm^2 znatno večji od tovarniškega podatka, ki znaša 2650 N/mm^2 (pregl. 9 in pril. H).

Preglednica 9 Povprečna upogibna trdnost in E modul celotne MDF plošče z osnovno statistiko

	Upogibna trdnost [N/mm^2]	E modul [N/mm^2]
n	16	16
X povp.	24,4	2998,2
X min.	21,7	2767
X maks.	27,6	3274
St.dev.	1,9	132
KV%	7,8	4,4

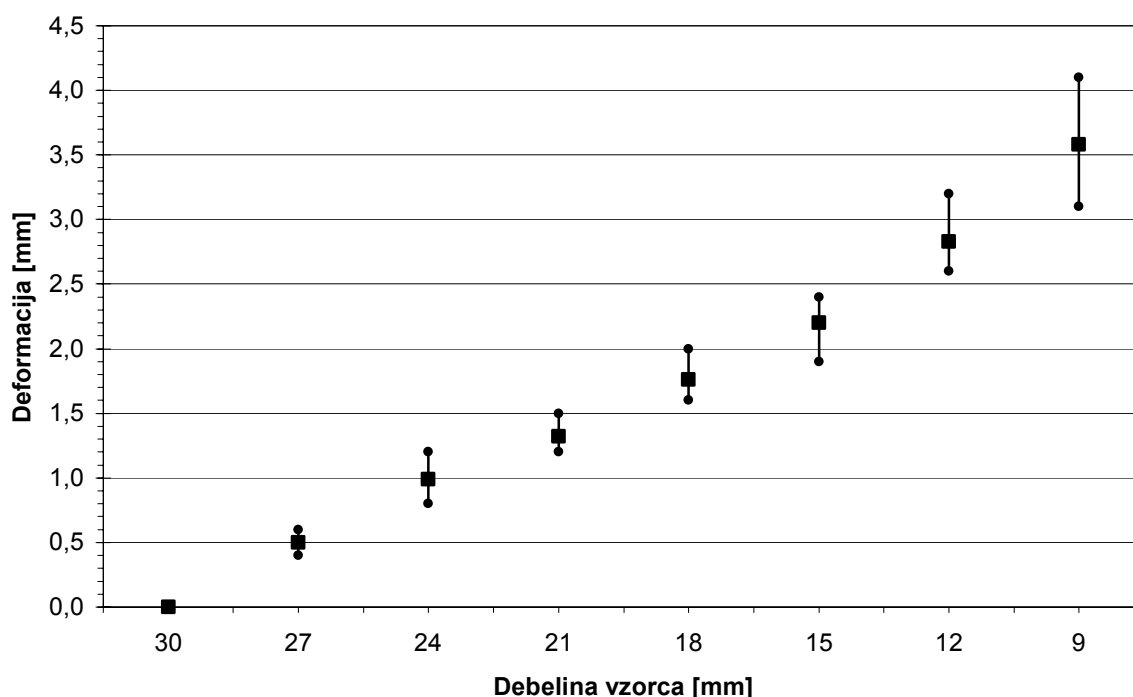
4.3 DEFORMACIJE

4.3.1 Deformacija pri enostranskem skobljanju

Pri enostranskem odvzemu materiala deformacija sprva narašča dokaj linearno, ko pa prekoračimo sredino plošče, začne deformacija eksponentno naraščati in doseže dokaj velike vrednosti. Pri odvzemu 21 mm materiala smo tako dobili povprečno deformacijo kar 3,6mm (pregl. 10, sl. 14 in pril. I).

Preglednica 10 Deformacija MDF plošče [mm] pri enostranskem odvzemu materiala z osnovno statistiko

Odvzem	3 mm	6 mm	9 mm	12 mm	15 mm	18 mm	21 mm
n	10	10	10	10	10	10	10
X povp.	0,5	1,0	1,3	1,8	2,2	2,8	3,6
X min.	0,4	0,8	1,2	1,6	1,9	2,6	3,1
X maks.	0,6	1,2	1,5	2,0	2,4	3,2	4,1
St.dev.	0,07	0,12	0,11	0,13	0,20	0,19	0,32
KV%	13,3	12,1	8,6	7,2	9,1	6,9	9,0



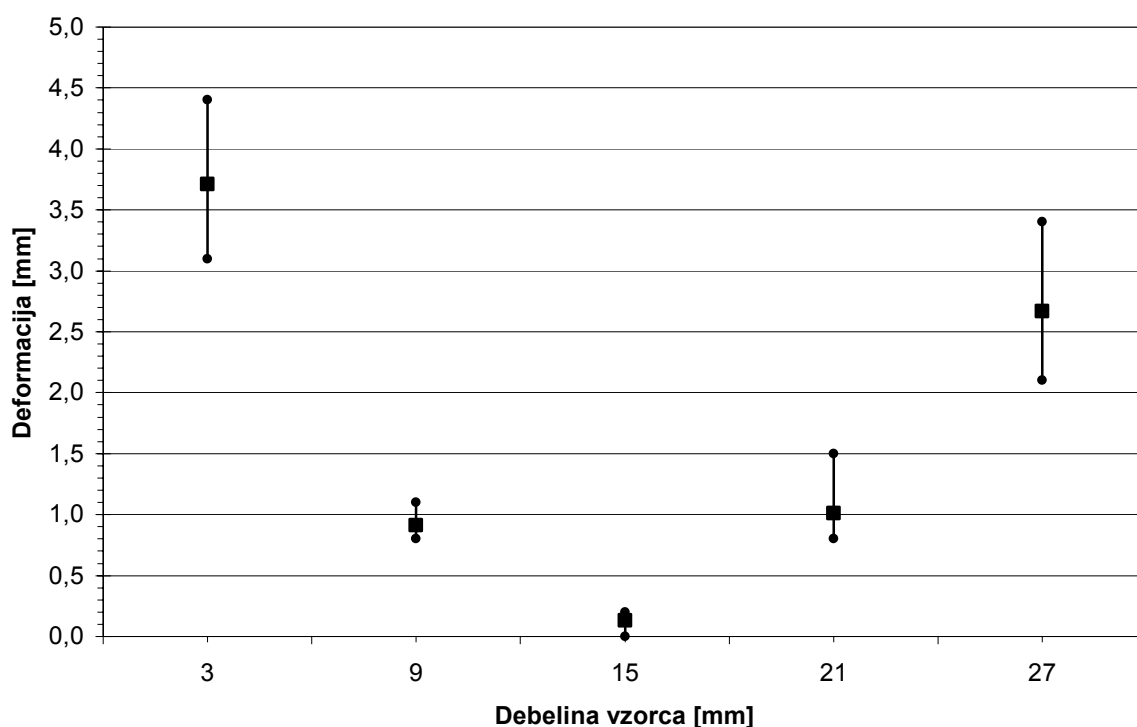
Slika 14 Deformacija MDF plošče pri enostranskem skobljanju; povprečna deformacija z minimalno ter maksimalno vrednostjo

4.3.2 Deformacija lamel

Pri merjenju deformacije lamel (slojev) plošče smo izmerili največje deformacije pri lamelah zunanjega sloja in sicer 3,7 mm in 2,7 mm, pri drugem in četrtem sloju so se deformacije gibale okrog 1 mm, tretja lamela, ki je bila locirana v sredini plošče pa se ni vidno deformirala (pregl. 11, sl. 15 in pril J). Asimetrija med zunanjima dvema slojema je tudi tu podobna, kot pri gostotnem profilu plošče (sl. 6).

Preglednica 11 Deformacija posameznih slojev MDF plošče [mm] z osnovno statistiko

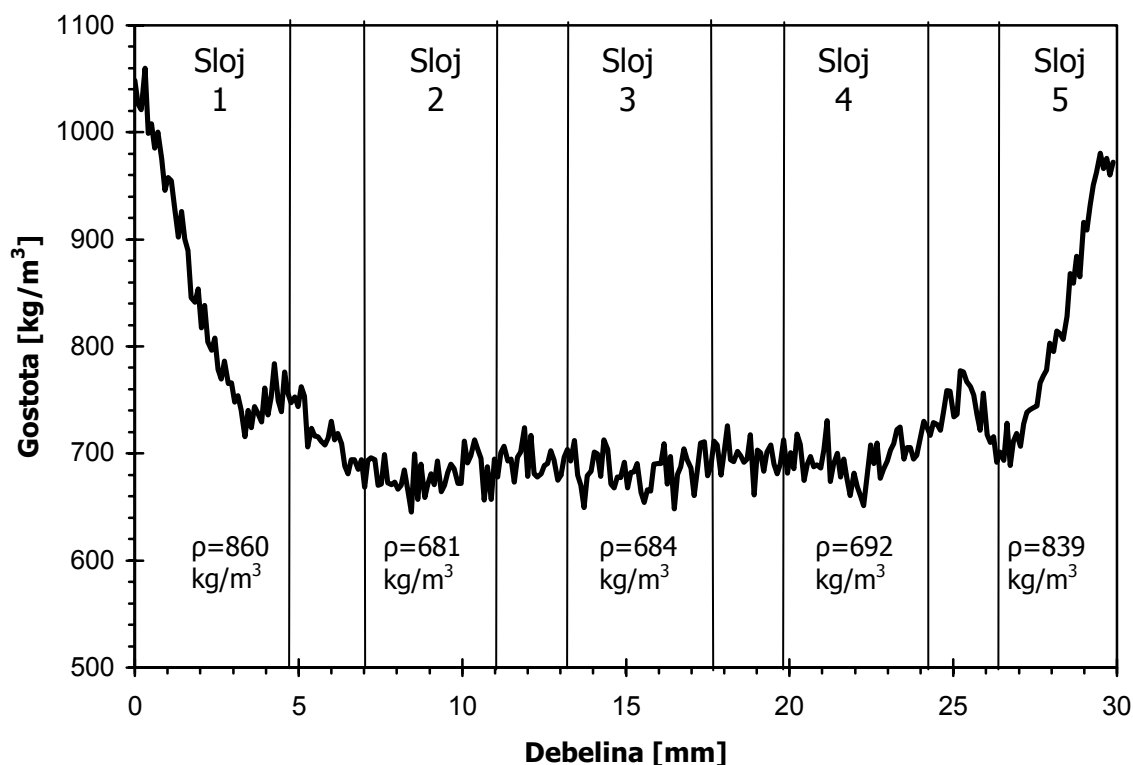
	Lamela 1	Lamela 2	Lamela 3	Lamela 4	Lamela 5
n	10	10	10	10	10
X povp.	3,7	0,9	0,1	1,0	2,7
X min.	3,1	0,8	0,0	0,8	2,1
X maks.	4,4	1,1	0,2	1,5	3,4
St.dev.	0,45	0,10	0,07	0,20	0,46
KV%	0,12	0,11	0,52	0,20	0,17



Slika 15 Deformacija lamel; povprečna deformacija z minimalno ter maksimalno vrednostjo

5 RAZPRAVA

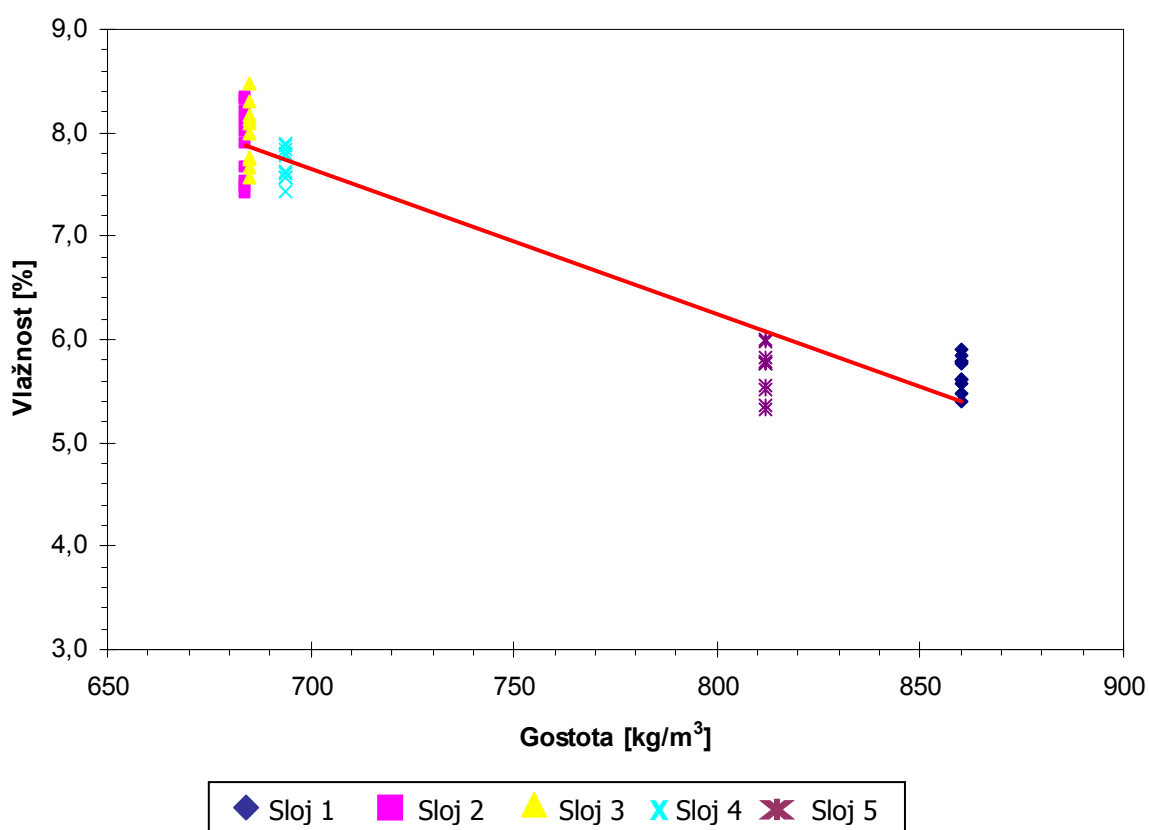
Meritve so pokazale, da so vse proučevane lastnosti MDF plošče v tesni povezavi z gostotnim profilom ter njegovo simetrijo, oz. asimetrijo.



Slika 16 Gostotni profil MDF plošče s prikazom razdelitve na posamezne sloje in povprečno gostoto posameznih slojev

Na sliki 16 vidimo razdelitev plošče na posamezne sloje in gostotni profil, ki ga dobimo v posameznih slojih po njihovi ločitvi. Sloj 3, ki leži v sredini plošče ima kot vidimo povsem simetričen gostotni profil, sloja 2 in 4 imata zelo podoben in dokaj simetričen gostotni profil, ki se na zunanjem robu že nekoliko dviga, medtem, ko imata zunanja sloja 1 in 5 izrazito asimetričen profil. Pri sloju 1 se gostota iz 1030kg/m^3 spusti na prbl. 730 kg/m^3 , pri sloju 5 pa je razlika nekoliko manjša in sicer se gostota giblje med 970 kg/m^3 in 700 kg/m^3 . Ta asimetrija je bržkone posledica proizvodnega procesa, kjer med procesom natresanja finejši delci padajo proti spodnjemu sloju plošče, zaradi česar ima le-ta nekoliko višjo gostoto kot zgornji sloj.

Ugotovili smo da obstaja velika korelacija med gostotnim in vlažnostnim profilom in sicer z večanjem gostote sloja vlažnost pada in obratno (sl. 17). Gre za posledico procesa stiskanja. Med zgoščevanjem zunanjšega sloja zaradi visokega tlaka in temperature vodna para preide v srednji sloj, kar poleg različne velikosti vlaken botruje nastanku tako gostotnega, kot tudi vlažnostnega profila (Wang in Winistorfer, 2000). Lahko torej trdimo, da oba profila vzajemno vplivata na spreminjanje oblike plošče, v kolikor je porušena simetrija profilov.



Slika 17 Vlažnost v odvisnosti od gostote

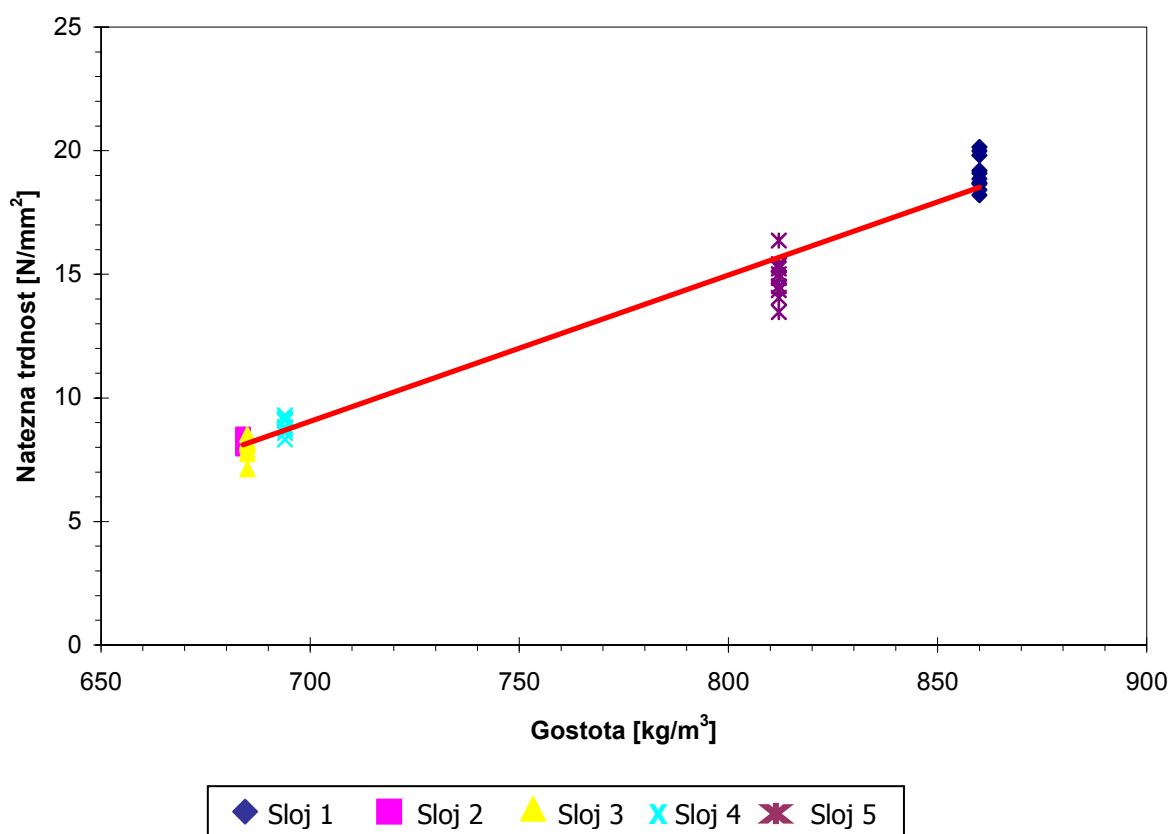
Gostotni profil vpliva tudi na mehanske lastnosti plošče, kot so ugotovili že Geimer et al. (1975) in Steidl et al. (2003). Tako smo tudi mi v primeru natezne trdnosti in E modula posameznih slojev plošče v obeh primerih odkrili povezavo z gostoto sloja (sl. 18, 19).

Vzorci zunanjših slojev imajo precej višjo natezno trdnost in elastični modul, kot vzorci srednjih treh slojev, med katerimi ni opaziti bistvenih razlik.

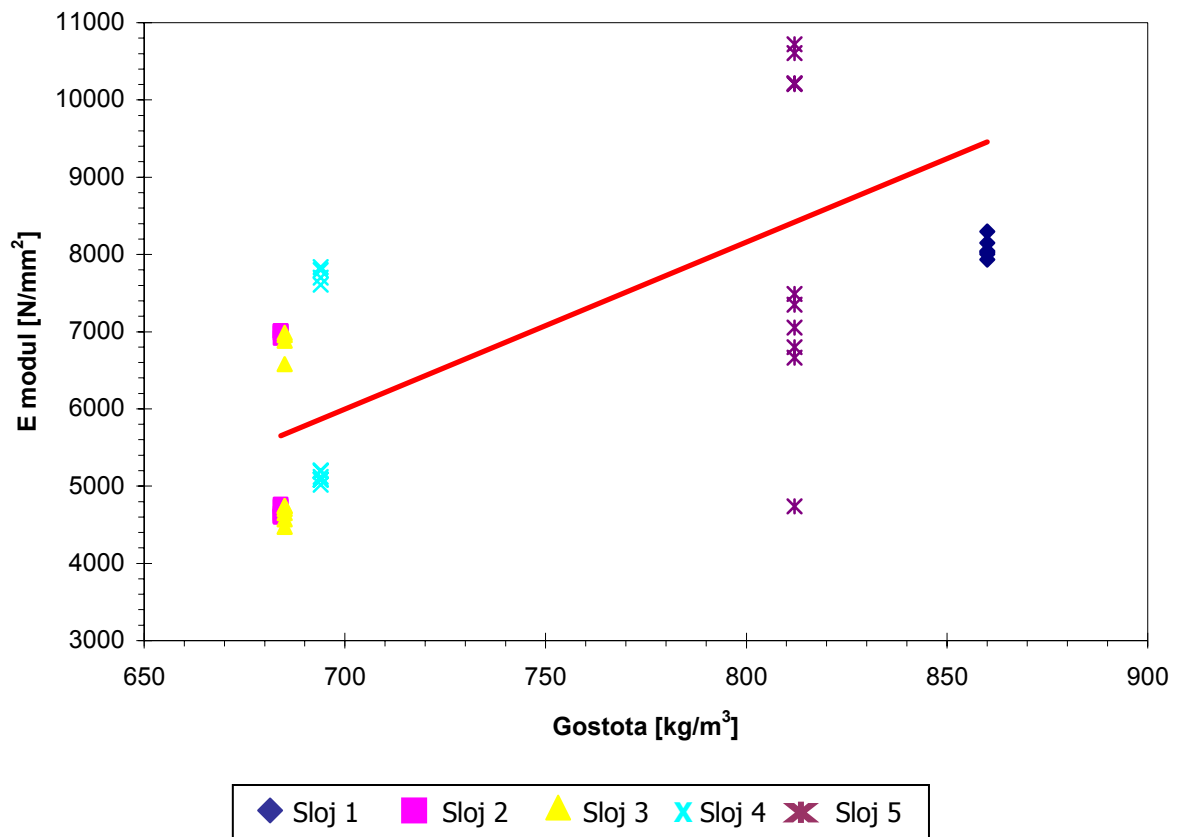
Take razlike so posledica sestave plošče, saj so vlakna v zunanjem sloju zaradi višje gostote sloja med seboj bolj povezana in bolj prenašajo sile vzdolž sloja, kot pa vlakna v poroznejšem srednjem sloju, kjer je med vlakni manj stičnih točk.

Vlakna v zunanjem sloju pa so tudi finejša, vitkejša z večjo specifično površino, kar ugodno vpliva na lastnosti sloja. Vlakna so zato bolj stisljiva, kar nam omogoča doseganje višje gostote sloja, kot bi jo bilo mogoče doseči ob enakih pogojih stiskanja z uporabo večjih vlaken, ki sestavljajo srednji sloj.

Opaziti je tudi asimetrijo med zunanjsima slojema, ki je bržkone posledica procesa izdelave plošč, ko se med transportom od natresa do predtiskanja najfinejši delci vsipajo proti spodnjemu sloju plošče, ki ima zato nekoliko višjo gostoto. Ta razlika gostot pa se odraža tudi v različnih mehanskih lastnostih ter različnih deformacijah posameznega zunanjsega sloja (pregl. 7, sl. 12, pril. F, pregl. 8, sl. 13, pril. G ter pregl. 11, sl. 15 in pril. J).



Slika 18 Natezna trdnost v odvisnosti od gostote

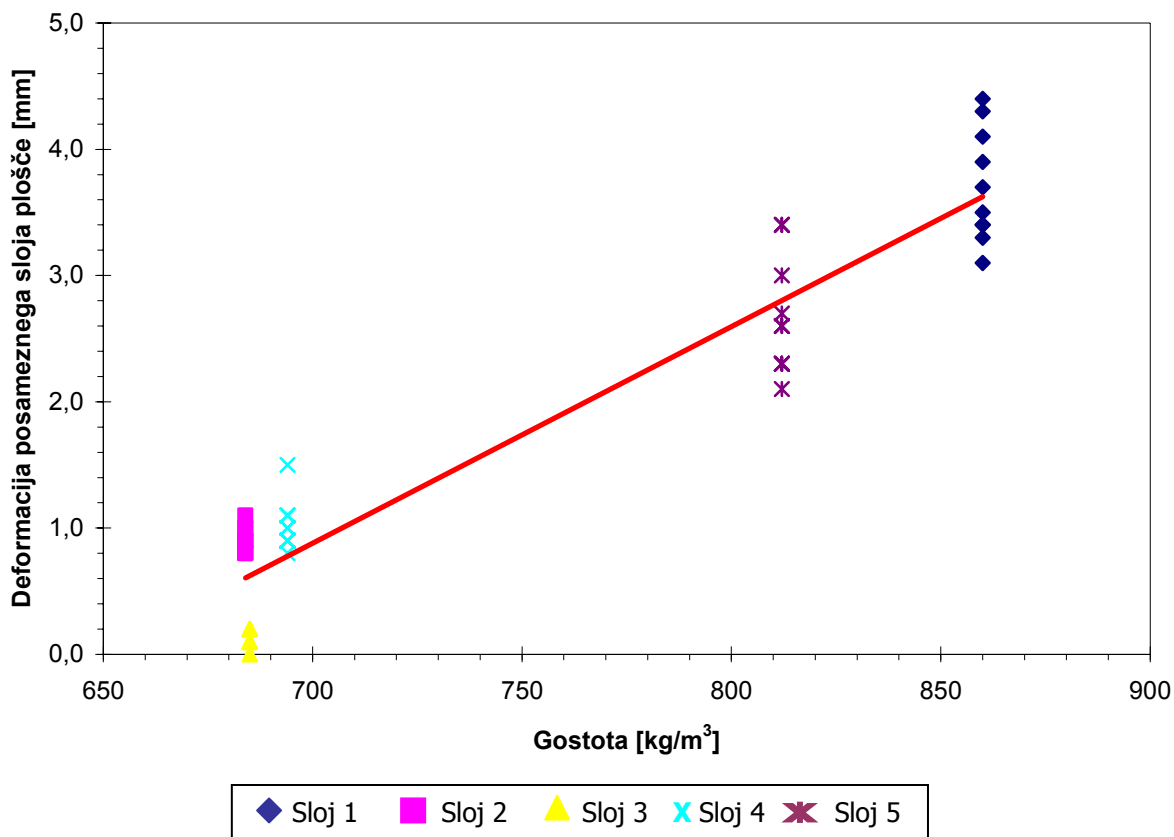


Slika 19 E modul v odvisnosti od gostote

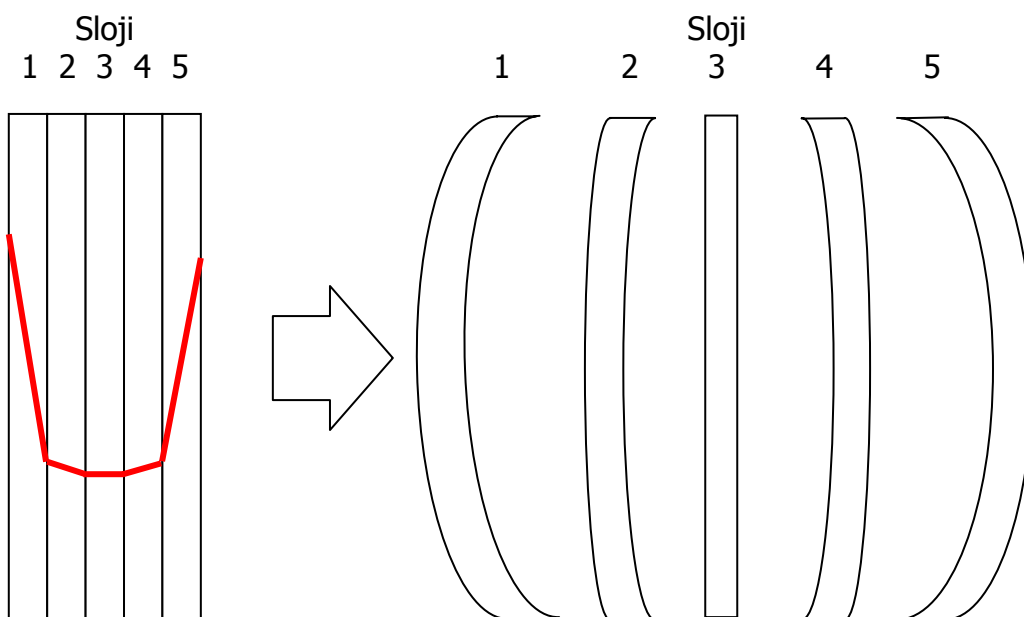
Pri razrezu plošče na posamezne sloje smo ugotovili veliko podobnost med grafom gostotnega profila (sl. 6) in grafom deformacije posameznih slojev plošče (sl. 15), torej mora obstajati močna povezava med gostoto, oz. asimetričnostjo gostotnega profila v posameznem sloju in velikostjo deformacije (sl. 20). Po razrezu plošče na posamezne sloje se dobljene lamele skrivijo, kot je prikazano na sliki 21. Srednji sloj, kjer je gostotni profil simetričen ostane raven, sloja 2 in 4, kjer je gostotni profil rahlo asimetričen se malenkost skrivita, pri zunanjih slojih, kjer imamo izrazito asimetričen gostotni profil pa je izrazita tudi deformacija. Očitno je torej, da gostotni profil pogojuje tudi nastanek napetostnega profila po preseku plošče.

Sloj se vedno izboči na strani z višjo gostoto, kar je posledica dejstva, da so na strani z višjo gostoto vlakna bolj stisnjena in se poskušajo relaksirati ter s tem ukrivijo preizkušanelec, po določenem času pa začne deformacijo povečevati še izenačevanje vlažnostnega profila po debelini lamele, ko se površina, ki je bila bliže sredini plošče nekoliko osuši, oz. ko se vlažnost obeh površin izenači.

Isti fenomen je lepo viden tudi na sliki 14, kjer je prikazana velikost deformacije pri enostranskem odvzemanju materiala, kjer deformacija sprva narašča dokaj linearno ko prekoračimo sredino plošče pa začne deformacija eksponentno naraščati. Ko odstranimo en zunanji sloj plošče namreč srednji sloj predstavlja prbl. tri četrtine preostalega preseka plošče, ko pa nadaljujemo z odvzemanjem materiala tanjšamo srednji sloj, zaradi česar se večja delež zunanjega sloja v preostalem preseku plošče, vedno bolj je izrazita asimetričnost gostotnega profila in posledično relaksacija preostalega zunanjega sloja, ki se odraža z eksponentnim večanjem deformacije.



Slika 20 Deformacija posameznih slojev plošče v odvisnosti od gostote



Slika 21 Shema deformacije posameznih slojev plošče glede na asimetričnost gostotnega profila

6 SKLEPI

Proučevanje lastnosti MDF plošče je pokazalo, da so v ploščah prisotni različni gradienti po debelini plošč.

Vlažnost zunanjih slojev je približno 2% nižja od vlažnosti sredice plošče, kar pri enostranskem odvzemu materiala lahko pripomore k krivljenju, ko se vlažnost na obeh površinah ponovno izenači.

Gostota, ki na površini dosega med 970 in 1050 kg/m³, proti sredici dokaj hitro upada, nakar se ustali na približno 700 kg/m³.

Natezna trdnost zunanjega sloja je bistveno boljše od natezne trdnosti srednjega sloja, kar ustreza porazdelitvi gostote po debelini plošče. Očitno je, da gostotni profil pogojuje tudi napetostni profil v plošči, kar je posledica sestave plošče. V zunanjem sloju z visoko gostoto imamo namreč zelo kvalitetna fina in vitka vlakna z večjo specifično površino, kar pozitivno vpliva na mehanske lastnosti sloja. Finejša vlakna imajo tudi večjo stisljivost in zato omogočajo večjo gostoto sloja z več stičnimi točkami med vlakni, kar rezultira v boljši distribuciji napetosti, kot to omogočajo vlakna v poroznejšem srednjem sloju plošče.

Deformacija s tanjšanjem materiala eksponentno narašča, kar kaže na velik napetostni gradient v zunanji tretjini plošče. Podobne rezultate smo dobili tudi pri merjenju deformacije lamel, ko smo ploščo razrezali na posamezne sloje.

Lamele zunanjih slojev, pri katerih gostota izrazito varira po debelini so nagnjene k krivljenju mnogo bolj, kot pa lamele srednjih slojev, kjer je porazdelitev gostote po debelini veliko bolj enakomerna. Pri srednjem vzorcu, kjer smo odvzeli material simetrično iz obeh strani pa je bila deformacija komaj opazna.

Kot vidimo, na krivljenje plošč vpliva več različnih dejavnikov, ki vzajemno povzročijo deformacijo plošče. V primeru profiliranja plošč se je zato nemogoče izogniti obojestranskemu odvzemu materiala, saj lahko ravnost plošče ohranimo samo v primeru, da ohranimo simetričnost gostotnega profila le-te.

7 VIRI

- Geimer R.L., Montrey H.M., Lehmann W.F. 1975. Effects of layer characteristics on the properties of three-layer particle-boards. *Forest Products Journal*, 25, 3: 19-29
- Kollmann F. P. F., Kuenzy E. P., Stamm A. J. 1975. Principles of wood science and technology. Volume II.: Wood based materials. Berlin, Springer – Verlag: 703 str.
- Maloney T. M. 1993. Modern particleboard & dry process fibreboard manufacturing. San Francisco, Miller Fremman publication: 681 str.
- Medved S., Pirkmaier S. 2000. Praktikum za preizkušanje lesnih tvoriv iz dezintegriranega lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 71 str.
- Medved S., Gorišek Ž., Straže A. 2005. Utjecaj profila gustoće MDF ploča na vlažnu čvrstoću v: *Drvo u graditeljstvu – Postojanost i kakovća građevnih proizvoda od drva: zbornik radova*, Zagreb: 109 -113
- Starman K. 2002 Krivljenje enostransko sprofiliranih MDF plošč, Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 34 str.
- Steidl C.M., Wang S., Bennett R.M., Winistorfer P.M. 2003. Tensile and compression properties through the thickness of oriented strandboard. *Forest Products Journal*, 53, 6: 72-80
- Technical Bulletin, 1998. Minimizing warp in laminated particleboard and medium density fibreboard. Maryland, Composite panel association: 6 str.
- Wang S., Winistorfer P.M. 2000. Fundamentals of vertical density profile formation in wood composites. Part 2. Methodology of vertical density formation under dynamic conditions. *Wood and Fiber Science*, 32, 2: 220-238
- Xu W., Winistorfer M. 1995. Layer thickness swell and layer internal bond of medium density fiberboard and oriented strandboard. *Forest Products Journal*, 45, 10: 67-71
- Xu W., Winistorfer M., Moschler W.W. 1994. A procedure to determine water absorption distribution in wood composite panels. *Wood and Fiber Science*, 28, 3: 286-294

PRILOGE

Priloga A

Povprečna vlažnost MDF plošč u in vlažnost posameznih slojev MDF plošče (u1 – u5) z osnovno statistiko

Št. vzorca	u [%]	u1 [%]	u2 [%]	u3 [%]	u4 [%]	u5 [%]
1	6,808	5,909	7,528	7,987	7,571	5,562
2	6,816	5,782	8,107	8,097	7,622	5,772
3	6,372	5,484	7,889	8,474	7,603	5,833
4	6,501	5,569	8,020	7,657	7,425	5,793
5	6,517	5,849	8,320	7,758	7,791	5,510
6	6,423	5,781	7,420	8,122	7,835	5,320
7	6,209	5,396	7,464	7,577	7,881	5,370
8	6,398	5,620	7,661	7,736	7,562	5,991
9	6,531	5,612	8,205	8,168	7,905	5,977
10	6,570	5,773	8,345	8,304	7,774	5,762
u povp.	6,5	5,7	8,0	8,0	7,7	5,7
u min.	6,2	5,4	7,4	7,6	7,4	5,3
u maks.	6,8	5,9	8,4	8,5	7,9	6,0
St.dev.	0,19	0,17	0,36	0,30	0,16	0,24
KV%	2,9	2,9	4,5	3,7	2,1	4,2

Priloga B

Diferencialni nabrek q , koeficient nabrekanja h in sorpcijski kvocient s celotnih MDF plošč, po debelini plošče (q_1, h_1), pravokotno na smer proizvodnje (q_2, h_2) ter v smeri proizvodnje plošč (q_3, h_3) z osnovno statistiko

Številka vzorca	Diferencialni nabrek			Koeficient nabrekanja			Sorpcijski kvocient s
	q_1 [%/%]	q_2 [%/%]	q_3 [%/%]	h_1 [%/%]	h_2 [%/%]	h_3 [%/%]	
1	0,746	0,062	0,047	0,081	0,007	0,005	0,108
2	0,697	0,063	0,045	0,074	0,007	0,005	0,106
3	0,718	0,063	0,042	0,077	0,007	0,004	0,107
4	0,722	0,063	0,049	0,077	0,007	0,005	0,107
5	0,716	0,053	0,047	0,076	0,006	0,005	0,106
6	0,737	0,075	0,047	0,078	0,008	0,005	0,105
7	0,743	0,086	0,057	0,078	0,009	0,006	0,105
8	0,732	0,066	0,057	0,075	0,007	0,006	0,103
9	0,746	0,067	0,040	0,076	0,007	0,004	0,101
10	0,738	0,045	0,041	0,075	0,005	0,004	0,101
X povp.	0,730	0,064	0,047	0,077	0,007	0,005	0,105
X min.	0,697	0,045	0,040	0,074	0,005	0,004	0,101
X maks.	0,746	0,086	0,057	0,081	0,009	0,006	0,108
St.dev.	0,016	0,011	0,006	0,002	0,001	0,001	0,002
KV%	2,2	17,3	12,8	2,6	17,6	13,2	2,2

Priloga C

Diferencialni nabrek q [%/%] posameznih slojev MDF plošče, pravokotno na smer proizvodnje plošč (q_2) in v smeri proizvodnje plošč (q_3) z osnovno statistiko

Številka vzorca	Sloj 1		Sloj 2		Sloj 3		Sloj 4		Sloj 5	
	q_2	q_3	q_2	q_3	q_2	q_3	q_2	q_3	q_2	q_3
1	0,064	0,063	0,062	0,047	0,062	0,068	0,050	0,053	0,056	0,060
2	0,065	0,065	0,056	0,040	0,062	0,050	0,053	0,058	0,066	0,067
3	0,057	0,063	0,042	0,052	0,043	0,058	0,045	0,065	0,042	0,064
4	0,068	0,067	0,061	0,051	0,060	0,057	0,036	0,058	0,055	0,057
5	0,069	0,074	0,057	0,054	0,057	0,060	0,066	0,052	0,060	0,055
6	0,068	0,068	0,061	0,043	0,067	0,050	0,049	0,062	0,053	0,068
7	0,035	0,073	0,064	0,066	0,037	0,053	0,043	0,066	0,050	0,062
8	0,064	0,071	0,070	0,051	0,058	0,064	0,070	0,051	0,059	0,067
9	0,077	0,072	0,086	0,081	0,079	0,061	0,102	0,072	0,067	0,058
10	0,068	0,072	0,057	0,055	0,054	0,055	0,061	0,061	0,064	0,057
q povp.	0,063	0,069	0,062	0,054	0,058	0,058	0,057	0,060	0,057	0,062
q min.	0,035	0,063	0,042	0,040	0,037	0,050	0,036	0,051	0,042	0,055
q maks.	0,077	0,074	0,086	0,081	0,079	0,068	0,102	0,072	0,067	0,068
St.dev.	0,011	0,004	0,011	0,012	0,012	0,006	0,019	0,007	0,008	0,005
KV%	17,4	5,9	18,3	22,1	20,1	10,2	32,7	11,3	13,5	7,5

Priloga D

Koeficient nabrekanja $h[\%/ \%]$ posameznih slojev MDF plošče, pravokotno na smer proizvodnje (h_2) in v smeri proizvodnje plošč (h_3) z osnovno statistiko

Številka vzorca	Sloj 1		Sloj 2		Sloj 3		Sloj 4		Sloj 5	
	h_2	h_3	h_2	h_3	h_2	h_3	h_2	h_3	h_2	h_3
1	0,007	0,007	0,005	0,004	0,006	0,006	0,004	0,005	0,006	0,006
2	0,007	0,007	0,005	0,003	0,006	0,005	0,005	0,005	0,007	0,007
3	0,006	0,006	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,005	0,004	0,007
4	0,007	0,007	0,005	0,004	0,005	0,005	0,003	0,005	0,006	0,006
5	0,007	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,004	0,006	0,006
6	0,007	0,007	0,005	0,004	0,006	0,004	0,004	0,005	0,005	0,007
7	0,004	0,007	0,005	0,005	0,003	0,005	0,004	0,005	0,005	0,006
8	0,006	0,007	0,006	0,004	0,005	0,006	0,006	0,004	0,006	0,007
9	0,008	0,007	0,007	0,007	0,007	0,005	0,008	0,006	0,007	0,006
10	0,007	0,007	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005
h povp.	0,006	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006
h min.	0,004	0,006	0,004	0,003	0,003	0,004	0,003	0,004	0,004	0,005
h maks.	0,008	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	0,008	0,006	0,007	0,007
St.dev.	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
KV%	17,2	4,6	17,8	21,3	20,0	10,5	31,9	10,8	12,7	9,2

Priloga E

Sorpcijski kvocient s posameznih slojev MDF plošče z osnovno statistiko

Številka vzorca	s1	s2	s3	s4	s5
1	0,104	0,086	0,090	0,086	0,104
2	0,106	0,086	0,091	0,087	0,104
3	0,102	0,085	0,089	0,085	0,103
4	0,101	0,084	0,089	0,084	0,102
5	0,100	0,085	0,089	0,085	0,102
6	0,102	0,084	0,088	0,084	0,101
7	0,101	0,084	0,089	0,084	0,101
8	0,099	0,083	0,088	0,083	0,099
9	0,100	0,083	0,088	0,083	0,099
10	0,098	0,080	0,086	0,079	0,091
s povp.	0,101	0,084	0,089	0,084	0,101
s min.	0,098	0,080	0,086	0,079	0,091
s maks.	0,106	0,086	0,091	0,087	0,104
St.dev.	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004
KV%	2,2	2,0	1,7	2,4	3,8

Priloga F

Natezna trdnost celotnih MDF plošč F_v [N/mm²] in natezna trdnost po posameznih slojih (Fv1 – Fv5) z osnovno statistiko

Številka vzorca	Fv	Fv1	Fv2	Fv3	Fv4	Fv5
1	9,75	19,09	7,95	8,49	9,09	14,85
2	10,52	19,82	8,40	8,24	9,07	14,06
3	12,29	19,20	8,10	8,16	9,10	16,37
4	11,26	18,42	8,04	8,22	8,58	15,42
5	10,66	18,86	8,05	7,88	8,31	15,36
6	10,19	18,66	8,14	7,11	8,83	13,47
7	10,42	19,99	8,51	7,72	9,14	15,23
8	10,58	20,15	8,22	8,52	9,30	15,00
9	10,42	18,69	8,29	8,15	8,74	14,51
10	10,24	18,20	8,25	8,06	9,17	14,36
11	9,77					
12	9,92					
13	8,99					
14	9,28					
15	9,20					
16	9,75					
Fv povp.	10,2	19,1	8,2	8,1	8,9	14,9
Fv min.	9,0	18,2	8,0	7,1	8,3	13,5
Fv maks.	12,3	20,2	8,5	8,5	9,3	16,4
St.dev.	0,84	0,68	0,17	0,41	0,31	0,81
KV%	8,2	3,5	2,1	5,1	3,5	5,5

Priloga G

Povprečni E modul [N/mm^2] celotne MDF plošče in E modul posameznih slojev (E1 – E5) z osnovno statistiko

Številka vzorca	E modul	E1	E2	E3	E4	E5
1	2501,38	8003,69	4601,58	4568,57	5203,15	7053,39
2	2475,30	8295,07	4760,31	4741,74	5016,65	6799,57
3	2153,84	8041,82	4607,74	4651,19	5190,06	7489,00
4	2250,89	8025,50	4736,53	4738,42	5119,72	7347,67
5	2408,68	7931,35	4643,67	4702,82	5085,37	4740,39
6	2281,22	8148,55	4615,30	4474,11	5082,81	6662,90
7	2261,51	12093,64	7005,57	6581,04	7835,47	10608,23
8	2273,43	12098,04	6919,40	6881,69	7798,40	10719,08
9	2256,37	11778,05	6980,57	6955,15	7700,72	10217,33
10	2347,29	11671,32	7007,12	6985,55	7605,24	10205,23
11	2273,96					
12	2353,75					
13	2326,22					
14	2334,13					
15	2300,12					
E povp.	2320	9609	5588	5528	6164	8184
E min.	2154	7931	4602	4474	5017	4740
E maks.	2501	16007	7007	6986	7836	10719
St.dev.	89,86	1987	1198	1146	1355	2084
KV%	3,9	20,7	21,4	20,8	22,0	25,5

Priloga H

Povprečna upogibna trdnost in E modul celotne MDF plošče z osnovno statistiko

Številka vzorca	Upogibna trdnost [N/mm ²]	E modul [N/mm ²]
1	25,50	2948
2	26,88	3049
3	27,58	3076
4	24,83	3117
5	25,27	3274
6	23,07	2956
7	26,99	3096
8	21,66	2905
9	26,71	3115
10	22,71	2865
11	24,81	3063
12	22,75	2767
13	22,66	2998
14	24,15	3047
15	22,29	2886
16	23,02	2809
X povp.	24,4	2998,2
X min.	21,7	2767
X maks.	27,6	3274
St.dev.	1,9	132
KV%	7,8	4,4

Priloga I

Deformacija MDF plošče [mm] pri enostranskem odvzemu materiala z osnovno statistiko

Številka vzorca	Odvzem						
	3 mm	6 mm	9 mm	12 mm	15 mm	18 mm	21 mm
1	0,5	0,8	1,2	1,7	2,1	2,7	3,2
2	0,5	0,9	1,2	1,7	2,0	2,7	3,4
3	0,5	0,9	1,3	1,6	2,1	2,8	3,8
4	0,5	1,0	1,2	1,6	2,0	2,6	3,1
5	0,5	0,9	1,2	1,7	1,9	2,6	3,3
6	0,5	1,2	1,5	2,0	2,4	3,2	4,1
7	0,6	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,9
8	0,6	1,0	1,4	1,8	2,4	3,0	3,7
9	0,4	1,1	1,4	1,8	2,4	2,9	3,7
10	0,4	1,0	1,4	1,8	2,3	2,8	3,6
X povp.	0,5	1,0	1,3	1,8	2,2	2,8	3,6
X min.	0,4	0,8	1,2	1,6	1,9	2,6	3,1
X maks.	0,6	1,2	1,5	2,0	2,4	3,2	4,1
St.dev.	0,07	0,12	0,11	0,13	0,20	0,19	0,32
KV%	13,3	12,1	8,6	7,2	9,1	6,9	9,0

Priloga J

Deformacija posameznih slojev MDF plošče [mm] z osnovno statistiko

Št. vzorca	Lamela 1	Lamela 2	Lamela 3	Lamela 4	Lamela 5
1	3,3	0,8	0,1	1,0	3,0
2	4,1	1,1	0,2	0,9	2,3
3	3,9	0,9	0,1	0,9	2,7
4	3,5	0,8	0,1	0,9	2,3
5	3,4	1,0	0,2	0,8	2,3
6	4,4	0,9	0,2	1,1	3,4
7	4,3	0,9	0,2	1,0	3,4
8	3,7	1,0	0,1	1,1	2,6
9	3,4	0,8	0,1	0,9	2,6
10	3,1	0,9	0,0	1,5	2,1
X povp.	3,7	0,9	0,1	1,0	2,7
X min.	3,1	0,8	0,0	0,8	2,1
X maks.	4,4	1,1	0,2	1,5	3,4
St.dev.	0,45	0,10	0,07	0,20	0,46
KV%	0,12	0,11	0,52	0,20	0,17