

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Dominik SREBOT

DEJAVNIKI VALOVITOSTI REZANEGA FURNIRJA

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

SLICED VENEER WAVINESS FACTORS

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2015

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija lesarstva. Izdelano je bilo na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Eksperimentalni del je bil opravljen v podjetju Javor furnir d.o.o. in v Laboratoriju za mehanske obdelovalne tehnologije na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete.

Senat Oddelka za lesarstvo BF je za mentorico diplomskega dela imenoval doc. dr. Dominiko Gornik Bučar, za somentorja dr. Bojana Gospodariča, za recenzenta pa prof. dr. Željka Goriška.

Mentorica: doc. dr. Dominika Gornik Bučar

Somentor: dr. Bojan Gospodarič

Recenzent: prof. dr. Željko Gorišek

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Dominik Srebot

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 630*832.281
KG	furnir/ rezan furnir/ napake/ bukev (<i>Fagus Sylvatica</i> L.)
AV	SREBOT, Dominik
SA	GORNIK BUČAR, Dominika (mentorica)/GOSPODARIČ Bojan (somentor)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2015
IN	DEJAVNIKI VALOVITOSTI REZANEGA FURNIRJA
TD	Diplomsko delo (Univerzitetni študij)
OP	X, 51 str., 1 pregl., 57 sl., 3 pril., 17 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Pri proizvodnji plemenitega furnirja je valovitost furnirja napaka, ki znižuje kakovost in vrednost furnirja, v proizvodnji pa zahteva dodatno fazo likanja. Skozi tehnološki proces izdelave rezanega furnirja smo proučevali, kako kakovost vhodne surovine in temperatura sušenja vplivata na valovitost furnirja. Za preizkus smo izbrali štiri hlode bukove hlodovine (<i>Fagus sylvatica</i> L.) z različnimi značilnostmi in spremljali izdelavo furnirja v posameznih fazah. Ugotovili smo, da je valovitost rezanega furnirja tangencialne teksture prisotna v vsakem hlodu povprečno v obsegu 50 %. Največ valovitega furnirja je bilo izrezanega iz razpokanega hloda (61 %), najmanj pa iz ukrivljenega hloda (38 %). Pri sušenju furnirja smo spreminjali temperaturo sušenja in ugotovili, da je furnir sušen pri višji temperaturi (135° C, 150° C) manj valovit. Preučili smo tudi možnost avtomatiziranega spremljanja valovitosti furnirja s 3D kamero in ugotovili, da ta način omogoča sortiranje furnirja po kriteriju valovitosti in ga je mogoče integrirati v proizvodni proces.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 630*832.281
CX veneer /sliced veneer/ defect/ beech (*Fagus Sylvatica* L.)
AU SREBOT, Dominik
AA GORNIK BUČAR, Dominika (supervisor)/ GOSPODARIČ Bojan (co-supervisor)/GORIŠEK, Željko (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2015
TI SLICED VENEER WAVINESS FACTORS
DT Graduation Thesis (university studies)
NO X, 51 p., 1 tab., 57 fig., 3ann., 17 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The waviness of veneer is defect, that reduces the quality and value of the veneer and in the production of sliced veneer requires an additional technological phase of flattening. Through the technological process of sliced veneer production the quality of input materials and the drying temperature affects on the waviness of veneer was studied. In the research, four logs of beech wood (*Fagus sylvatica* L.) with different characteristics were selected and the manufacture of veneers in various phases was monitored. It has been found that the waviness of sliced veneer with tangential textures in each log on average to an extent of 50 % were present. The most wavy veneer was cut from the cracked log (61 %) and least from the curved log (38 %). During the drying of the veneer drying temperature was varied and it was found that the veneer dried at a higher temperature (135° C, 150° C) was less wavy. The possibility of automated monitoring wavy veneer with 3D cameras was also studied and it was found that this method allows sorting according to the criterion of veneer waviness. The system can be integrated in the technological process.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key Words Documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	IV
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Kazalo prilog	X
1 UVOD	1
1.1 HIPOTEZE	1
1.2 CILJI NALOGE	1
2 SPLOŠNI DEL	2
2.1 BUKOVINA	2
2.1.1 Opis lesa (po Čufar, 2002)	3
2.1.2 Napake v bukovem lesu	3
2.1.3 Tehnični podatki bukovine	4
2.2 TEHNOLOŠKI POSTOPEK IZDELAVE PLEMENITEGA FURNIRJA	4
2.2.1 Opis in delitev plemenitih furnirjev	4
2.2.2 Surovina za izdelavo plemenitega furnirja	5
2.2.2.1 Kakovost hlodovine	5
2.2.3 Lupljenje (čiščenje) hlodovine	5
2.2.4 Krojenje hlodovine	6
2.2.5 Prizmiranje (vzdolžno krojenje)	6
2.2.6 Hidrotermična obdelava bukove hlodovine	7
2.2.7 Izdelava rezanega furnirja	9
2.2.7.1 Vertikalni furnirski rezalni stroj	9
2.2.7.2 Napake rezanja furnirja	12
2.2.8 Sušenje furnirja	12
2.2.8.1 Vlažnost furnirja, temperatura in čas sušenja	14
2.2.8.2 Napake pri sušenju furnirja	14
2.3 Valovitost Furnirja	14
2.3.1 Snemanje valovitosti	15
2.3.1.1 Načini 3D snemanja	15
2.4 OPIS PRIZMIRANJA IN SUŠENJA REZANEGA FURNIRJA V PODJETJU JAVOR FURNIR D.O.O.	17
2.4.1 Načini prizmiranja bukove hlodovine	18
2.4.2 Prizmiranje bukove hlodovine glede na napake na hlodu	19
2.4.2.1 Način razžagovanja ukrivljenih hlodov	19
2.4.2.2 Način razžagovanja po razpokah na čelu hloda	20
2.4.3 Predvidevanje valovitega furnirja na hlodu pred prizmiranjem	21
2.4.4 Opis sušilnega kanala in sušenja bukovega furnirja na podjetju Javor furnir d.o.o.	23
3 MATERIAL IN METODE	25
3.1 POSKUSNI MATERIAL	25
3.1.1 Značilnosti poskusne hlodovine	25
3.2 POTEK SPREMLJANJA	27
3.2.1 Prizmiranje	27

3.2.2	Rezanja furnirja	28
3.2.3	Sušenje furnirja	30
3.2.4	Sortiranje furnirja	32
4	REZULTATI IN RAZPRAVA.....	36
4.1	DELEŽ VALOVITOSTI	36
4.1.1	Vpliv napake hloda na valovitost furnirja	36
4.1.1.1	Delež valovitega furnirja iz hloda s prisotnim rdečim srcem	36
4.1.1.2	Delež valovitega furnirja iz ukrivljenega hloda	37
4.1.1.3	Delež valovitega furnirja iz križno razpokanega hloda	38
4.1.1.4	Delež valovitega furnirja iz hloda, ki nima izrazitih napak.	38
4.2	LOKACIJA VALOVITEGA FURNIRJA V HLODU	39
4.2.1	Lokacija valovitosti v hlodu z rdečim srcem	39
4.2.2	Lokacija valovitosti v križno razpokanem hlodu	40
4.2.3	Lokacija valovitosti v ukrivljenem hlodu.	40
4.2.4	Lokacija valovitosti v gladkem hlodu	41
4.3	VPLIV SPREMEMBE TEMPERATURE SUŠENJA NA VALOVITOST FURNIRJA	41
4.3.1	Vpliv različnih temperatur sušenja na hlodu U	41
4.4	GRAFIČNI PRIKAZ VALOVITOSTI S 3D SKENIRANJEM	42
4.4.1	Prikaz ravnega furnirja	43
4.4.2	Prikaz srednje valovitega furnirja	43
4.4.3	Prikaz močno valovitega furnirja	43
5	SKLEPI	45
6	POVZETEK.....	47
7	VIRI	48

ZAHVALA
PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Skupni podatki od vseh poskusnih hlodov	42

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz načinov prizmiranja in obdelave furnirskega hloda (Mešič, 1998:42-43)...	7
Slika 2: Indirektno parjenje hlodovine (Mešič, 1998: 53).....	8
Slika 3: Vertikalni furnirski rezalni stroj A. Cremona (Mešič, 1998:72).....	10
Slika 4: Medsebojni odnosi noža in pritisne letve (Mešič, 1998)	11
Slika 5: Princip stereo vizualizacije z dvema kamerama (3D snemanje, 2013).....	16
Slika 6: Prikaz stereovizualizacije (3D snemanje, 2013)	16
Slika 7: Z belimi kvadrati označena deformacija bonbonov (3D snemanje, 2013)	17
Slika 8: Prikaz laserske triangulacije predmeta (3D snemanje, 2013)	17
Slika 9: Prikaz prizme 1	18
Slika 10: Prikaz prizme 2	18
Slika 11: Prikaz prizme 3	19
Slika 12: Prikaz prizme 4	19
Slika 13: prikaz prizme 5.....	19
Slika 14: Prikaz razpolovitve ukrivljenega hloda pri prizmiranju.....	20
Slika 15: Prikaz napačnega razžagovanja hloda.....	20
Slika 16: Primer razpokanega hloda in način prizmiranja.....	21
Slika 17: Prikaz prizmiranja glede na napake bukove hlodovine pri prisotnosti rdečega in ekscentričnega srca	21
Slika 18: Prikaz ukrivljenega hloda.....	22
Slika 19: Prikaz oblike listov furnirja iz ukrivljenega hloda.....	22
Slika 20: Prikaz zavitosti in lista furnirja iz tega hloda.....	23
Slika 21: Stranski pogled v prerezu sušilnice z označenimi sestavnimi deli.....	24
Slika 22: Križno spokan hlood	25
Slika 23: Ukrivljen hlood	26
Slika 24: Prizmiran ukrivljen hlood.....	26
Slika 25: Hlood RS	26
Slika 26: Prizmiran hlood RS	27
Slika 27: Prizmiran gladek hlood	27
Slika 28: Parjenje hlodovine.....	28
Slika 29: Vpetje polovice hloda v vertikalni furnirski rezalni stroj	28
Slika 30: Zlaganje furnirja.....	29
Slika 31: Manipulacija prizme med izdelavo furnirja	29
Slika 32: Razžagovanje drugega dela prizme s krožnim žagalnim strojem	30
Slika 33: Prikaz vpete polovice prizme za drugi rez	30
Slika 34: Parametri sušenja furnirja	31
Slika 35: Furnir izdelan iz hloda U.....	31
Slika 36: Paketi furnirja – rahlo valovit furnir	32
Slika 37: Zelo valovit furnir na transportnem traku na izhodu sušilnice.....	32
Slika 38: Furnirski paketi na paleti za obrez	33
Slika 39: Paleta valovitega furnirja, ki gre na likanje.....	33
Slika 40: Prikaz ekstremno valovitega furnirja	34
Slika 41: 3D kamera XBOX 360 Kinect (3D kamera,2015).....	34
Slika 42: Slika ravnega furnirja (program Mashlab).....	35
Slika 43: Slika srednje valovitega furnirja (program Mashlab)	35
Slika 44: Slika močno valovitega furnirja (program Mashlab).....	35

Slika 45: Povprečni delež valovitega furnirja, izrezanega iz poskusnih hlodov	36
Slika 46: Delež valovitega furnirja v odstotkih pri hlodu z napako rdečega srca	37
Slika 47: Delež valovitega furnirja v odstotkih pri hlodu z napako ukrivljenosti.....	37
Slika 48: Delež valovitega furnirja v odstotkih pri hlodu z križno razpoko.....	38
Slika 49: Delež valovitega furnirja izdelanega iz hloda, ki ni imel vidne napake	38
Slika 50: Število paketov furnirja za obrez in število paketov furnirja za likanje glede na del hloda z rdečim srcem	39
Slika 51: Število paketov furnirja in število paketov furnirja za likanje glede na del križno razpokanega hloda	40
Slika 52: Število paketov furnirja dobljenih iz ukrivljenega hloda	40
Slika 53: Število paketov iz gladkega hloda.....	41
Slika 54: Grafični prikaz števila paketov furnirja sušenega pri različnih temperaturah	42
Slika 55: 3D grafični prikaz ravnega furnirja.....	43
Slika 56: 3D grafični prikaz srednje valovitega furnirja	43
Slika 57: 3D grafični prikaz močno valovitega furnirja	44

KAZALO PRILOG

Priloga A: Slikovno gradivo spremljanja proizvodne izdelave furnirja

Priloga B: Zbrani podatki eksperimentalnega dela

Priloga C: Podatki za 3D grafe

1 UVOD

V podjetju Javor furnir d.o.o. izdelujejo rezan furnir različnih drevesnih vrst. Pri bukovem furnirju je najpogostejše zahtevana tangencialna tekstura lesa oziroma »bočnica«. Po sušenju furnirja se pojavlja napaka furnirja imenovana valovitost furnirja. Tak furnir je manj kakovosten in ima posledično nižjo ceno, zato se tak furnir lika v stiskalnicah. Ker to predstavlja dodatne stroške, smo se odločili, da ta problem preučimo in analiziramo nekatere dejavnike, ki lahko vplivajo na pojavnost valovitosti.

Valovitost furnirja se trenutno v preučevani proizvodnji spremlja vizualno na subjektivni oceni. Tak način je zamuden in ne omogoča avtomatiziranega pretoka furnirja.

1.1 HIPOTEZE

Valovitost bukovega rezanega furnirja, ki postane očitna po sušenju furnirja, je posledica značilnosti surovine in parametrov tehnološkega postopka izdelave furnirja. Surovina za izdelavo oziroma hlodi s prisotnimi napakami pogojuje izdelavo prizem in lahko vplivajo na valovitost furnirja. Sortiranje furnirja po kriteriju valovitosti se lahko avtomatizira.

1.2 CILJI NALOGE

Cilj diplomske naloge je preučitev nekaterih dejavnikov tehnološkega procesa, ki vplivajo na valovitost furnirja. Preučiti želimo tudi možnost avtomatiziranega merjenja valovitosti furnirja.

2 SPLOŠNI DEL

Pri proizvodnji rezanega in luščenega furnirja se pri sušenju pojavlja napaka ali defekt imenovan kot »valovitost furnirja«, ki zmanjšuje kakovost, ceno in uporabnost furnirja. Valovit furnir pri nadaljnji uporabi otežuje proizvodne procese, kot so: nanos lepila za lepljenje vezanih plošč, širinsko spajanje, obrez, zlaganje, manipulacija paketov, transport palet, itd.. Zaradi te problematike se pri proizvodnji furnirja srečujemo z dodatno fazo tehnološkega procesa, to je »likanje furnirja«, s katero se odpravlja valovitost.

Problem valovitosti je prisoten tudi pri proizvodnji luščenega bukovega furnirja, kar so proučevali Pepinski in sod., (2008) in sicer učinke vlažnosti furnirja pred sušenjem na njegovo valovitost in vlažnost po sušenju. Valovitost so analizirali z merjenjem odstopanj od ravnine pred in po sušenju ter lokacijsko skozi presek hloda (na obodu, sredina, blizu središča luščenja). Ugotovili so, da je valovitost pri višji začetni vlažnosti, ki je prisotna bolj na obodu hloda (70-80 %), večja. Podana je z razliko odklonov od ravnine pred in po sušenju (15-30 mm). V primerjavi z furnirjem, izrezanega v središču z začetno vlažnostjo (60-65 %), pa je valovitost manjša (5-10 mm).

Pri spremljanju proizvodnih procesov smo poskušali poiskati dejavnike, ki vplivajo na valovitost plemenitega furnirja in jih analizirati. Pri sušenju smo temperaturni parameter spremenili in ugotovitve beležili v številu valovitih furnirjev oziroma paketov.

Leta 2006 so Yang in sod. preučili možnost ovrednotenja valovitosti z namenom prepoznavanja valovitosti na proizvodnem traku kot pregled napake valovitosti površine obdelave lesa s skobljanjem po metodi laserske triangulacije oziroma projiciranje laser črte valovito površino na z namenom snemanja profila in določanje kvalitete površine.

2.1 BUKOVINA

Bukev (*Fagus sylvatica* L.) je naš najbolj razširjen listavec in naša najpomembnejša lesna vrsta. Do sredine 19. stoletja so jo uporabljali skoraj izključno za kurjavo. Bukev je razširjena po dolinah in sredogorjih zahodne, srednje in južne Evrope do Kavkaza (med 40 in 60 stopinj zemljepisne širine). Drevo bukve dosega višine do 30 m, priložnostno tudi preko 40 m, in premera od 100 do 150 cm. V sestojih rastejo drevesa s polnolesnimi ravnimi debli. Dolžina debla brez vej znaša 15 m in več. Skorja je gladka, v starosti ima biserni lesk in je srebrno sive barve. Pogosto so na deblu vidne brazgotine odpadlih vej, imenovane »kitajske brke« (Čufar, 2001).

2.1.1 Opis lesa (po Čufar, 2002)

Les je rdečkasto bele barve, normalno brez jedrovine. Spada med difuzno porozne listavce in ima majhne, večinoma le z lupo vidne, difuzno razporejene traheje velikosti okoli 100 μm . Traheje so po ranem in kasnem lesu porazdeljene enakomerno in imajo v obeh primerih približno enak premer. Traheje imajo večinoma enostavne perforacije in so pogosto tudi zatiljene. Trakovno tkivo je heterogeno (2-4 redno, pa tudi 10 in večredno). Trakovi so povezani s trahejami, preko polobokanih pikenj, ki se nahajajo običajno na koncih trahej. Aksialni parenhim je obilnejši kot pri iglavcih in je večinoma apotrahealen (ni v stiku s trahejami).

Bukovina ima značilne in široke trakove, ki so na tangencialni površini vidni kot rdečkasta vretenca, na radialni pa kot več milimetrov široka zrcalca. Ima dokaj visoko gostoto. Pri starejših drevesih se na prečnem prerezu navadno pojavlja nepravilno oblikovan, rdečerjav diskoloriran les, ki ga imenujemo rdeče srce. Zanj je značilno močno otiljenje trahej. Branike so razločne. Kasni les z manj trahejami je nekoliko temnejši od ranega. Les je trd, se zelo krči in nabreka. Dimenzijska stabilnost je neugodna, trdnostne lastnosti pa so glede na gostoto nadpovprečno visoke. Delež juvenilnega lesa je zanemarljiv, dokaj pogost je obilnejši pojav tenzijskega lesa. Nezaščiten bukovina je podvržena okužbi z glivami in insekti, zato je potrebna hitra in pravilna manipulacija po poseku. Bukovino parijo zaradi zmanjšanja notranjih napetosti in izenačevanja barve. Tako se po parjenju zmanjša nevarnost pokanja in zvijanja, les pa dobi bolj enakomerno barvo. Les mora biti pred parjenjem vlažen, sicer obstaja nevarnost pojava madežev.

Bukov les se uporablja za izdelavo rezanega in luščenega furnirja, vezanih plošč in izdelkov iz slojastega lesa. Vzrok za to so njene dobre mehanske lastnosti in za enkrat še dovolj velika ponudba surovine. Pri dobri toplotni obdelavi se tudi lepo lušči ali reže, zato lahko dobimo kvalitetne furnirje. Izredno lepo se lepi z vsemi vrstami lepil in z vsemi postopki lepljenja. Les se dobro da stružiti, brusiti in polirati, z lahkoto pa se tudi žeblija in vijači. Bukovina se na trgu prodaja kot hlodovina, žagan les, furnirji, vezan les in razni polizdelki. Bukov les se uporablja v različnih dejavnostih in namenih uporabe, kot je npr. gradbeno mizarstvo (stopnice, opaže, parket, pohištvo), pri čemer se v največji meri uporablja masiven, krivljen ali vezan les. Uporablja se tudi za izdelavo železniških pragov in kot konstrukcijski les v gradbeništvu pri srednje obremenjenih notranjih konstrukcijah. Uporaba bukovine je razširjena v vseh njenih oblikah kot masiven les in kot material za lesna tvoriva. Bukove vezane plošče, slojnat in lameliran les se uporablja v pohištveni industriji za nosilne elemente pohištva (zamenjujejo daljše masivne dele pohištva), v avtomobilski industriji, za železniške vagone, v kovinski industriji pa za razne šablone. Skupaj z drugimi lesnimi vrstami se uporablja tudi za pridobivanje celuloze.

2.1.2 Napake v bukovem lesu

Napake v bukovem lesu lahko razdelimo na:

- rastne napake, nastale kot posledica fizioloških dejavnikov rasti, in
- napake povzročene z zunanji dejavniki.

Najpogostejše rastne napake v bukovih hlodih, ki imajo vpliv na kakovost hlodov in kasneje na kakovost luščenega furnirja in poslabšujejo tudi izkoristek lesa, so:

- grče (velike grče premera nad 1cm in manjše grče premera do 1cm),
- diskoloriran les - rdeče srce bukve,
- tenzijski les,
- zavitost in ovalnost in
- ostale napake.

Vse te napake imajo nedvomno svoj del vpliva na končni izkoristek pri izdelavi furnirja (Čufar, 2001).

2.1.3 Tehnični podatki bukovine

Gostota: $\rho_o = 680 \text{ kg/m}^3$.

E-modul, upogibni (vzporedno s potekom aksialnih elementov): $16\,000 \text{ N/mm}^2$.

Upogibna trdnost (vzporedno s potekom aksialnih elementov): 105 N/mm^2 .

Tlačna trdnost (vzporedno s potekom aksialnih elementov): 53 N/mm^2 .

Natezna trdnost (vzporedno s potekom aksialnih elementov): 135 N/mm^2 .

Strižna trdnost (vzporedno s potekom aksialnih elementov): 8 N/mm^2 .

Krčenje:

Vzdolžno: $b_l \approx 0,3 \%$

Tangencialno: $b_t \approx 11,8 \%$

Radialno: $b_r \approx 5,8 \%$

Diferencialno nabrekanje (ob spremembi vlažnosti za 1%):

$Q_{rad} = 0,2 \text{ \%/\%}$

$Q_{tan} = 0,41 \text{ \%/\%}$

Toplotna prevodnost, pravokotno na potek aksialnih elementov, pri $u = 15 \%$ in gostoti

$R = 720 \text{ kg/m}^3$: $0,157 \text{ W/mK}$ (Čufar, 2001).

2.2 TEHNOLOŠKI POSTOPEK IZDELAVE PLEMENITEGA FURNIRJA

Tehnološki postopek ali faze izdelave plemenitih furnirjev se začne s čiščenjem hlodovine, sledi krojenje hlodovine, hidrotermična obdelava, rezanje in sušenje. Pri samem začetku izdelave je potrebno vedeti kakšen furnir bomo iz hloda izrezali, zato najprej pogledimo opis in delitev plemenitih furnirjev.

2.2.1 Opis in delitev plemenitih furnirjev

Plemeniti furnirji so tanki listi lesa debeline od 0,2 do 1 mm, ki jih izdelamo s tehniko rezanja na furnirskem rezalnem stroju. Glede na smer rezanja hlodovine oziroma prizme ločimo različne teksture bukovih furnirjev: bleščice (črtasta slika texture lesa) in bočnice (plamenasta tekstura). Bleščice se dobijo s rezanjem pripravljene oblike hloda oziroma prizme v smeri ali približno v smeri strženovih trakov (radialni ali približno radialni rez). Bočnice pa se izdelajo z rezanjem v smeri tangente na letnice (tangencialni ali približno tangencialni rez). Izraz rezani furnir se največkrat zamenjuje z izrazom plemeniti furnir,

ker se ti furnirji izdelujejo iz plemenitih drevesnih vrst oziroma iz vrst, ki imajo odlične estetske lastnosti, kot so barva, tekstura, sijaj.

Furnirje delimo glede na način zlaganja (Nikolić, 1988):

- bulsi - paketi (zvezi) furnirja so zloženi po vrsti, tako kot so se rezali iz hloda, cilj pa je, da se ohrani kongruentnost texture lesa,
- povezani furnirji – paketi (zvezi) furnirja ki niso zloženi po vrsti kot so rezani iz hloda, listi znotraj paketa pa so zloženi kot so rezani iz hloda.

Delitev po načinu končne obdelave (Nikolić, 1988):

- obrezani paketi oziroma furnirji - paketi so ostrorobno obrezani, vzporedno ali konično,
- neobrezani paketi - se ne obdelujejo na paketnih škarjah, ostanejo v tisti obliki kot so prišli od furnirskega noža.

2.2.2 Surovina za izdelavo plemenitega furnirja

Področje uporabe plemenitega furnirja narekuje določene lastnosti surovine. Osnovne lastnosti so:

- estetska lastnost lesa (barva, tekstura, sijaj, finost),
- fizikalne lastnosti (gostota, trdota in trdnost),
- kemijska zgradba (pH, kemijska sestava lesa).

Z obzirom na široko uporabo plemenitih furnirjev je izbor drevesnih vrst za izdelavo le teh veliko širši kot za izdelavo konstrukcijskih ali slepih furnirjev. Da bi čim boljše izkoristili določene estetske lastnosti posamezne drevesne vrste (barva, tekstura) izdelujemo plemenit furnir z ekscentričnim luščenjem, z rezanjem in z žaganjem. Konstrukcijske furnirje pa izdelujemo samo z luščenjem. Proizvodnja plemenitih furnirjev se izdeluje v največji meri z rezanjem na furnirskem rezalnem stroju, manjši del s specialnim luščenjem (ekscentrično luščenje), proizvodnja žaganjem furnirja pa je namenjena samo za izdelavo specialnih izdelkov, kot so glasbeni inštrumenti (Mešič 1998).

2.2.2.1 Kakovost hlodovine

Hlodovina za plemenite rezane furnirje se je po starem (neveljavnem JUS standardu) označevala s črko F. Sedaj veljavni SIST EN (SIST EN 1316-1:2013) standardi posebej ne predpisujejo značilnosti hlodovine, ki je primerna za izdelavo furnirjev, se pa uporablja v ta namen A kakovostni razred hlodovine.

2.2.3 Lupljenje (čiščenje) hlodovine

Lupljenje hlodovine je operacija odstranjevanja drevesne skorje in nečistoč, ki so na površini. Odstranjevanje poteka tako, da se hlod vrti na sklopu vrtečih se zobatih kolotov, iz zgornje strani pa na hlod pritiska rezkalna glava, ki odstranjuje drevesno skorjo in

nečistoče. Odstranjevanje skorje in nečistoč je potrebno zato, da se čim bolj zmanjša možnost poškodb noža na stroju za rezanje furnirja. Vsaka poškodba noža pomeni sledi na površini furnirja in zato nekakovosten furnir.

2.2.4 Krojenje hlodovine

Krojenje hlodovine predstavlja strojno obdelavo, katere cilj je, da se hlodovina, ki je bila dobavljena v raznih dolžinah, prekroji na dolžine, ki ustrezajo proizvodnim programom v danem trenutku (Mešić, 1998).

Stroji, ki se uporabljajo za krojenje so:

- ročne motorne verižne žage,
- ročne elektromotorne verižne žage,
- premične elektromotorne verižne žage,
- verižni žagalni stroj in
- krožni žagalni stroj.

Osnovne cilji krojenja so (Mešić, 1998):

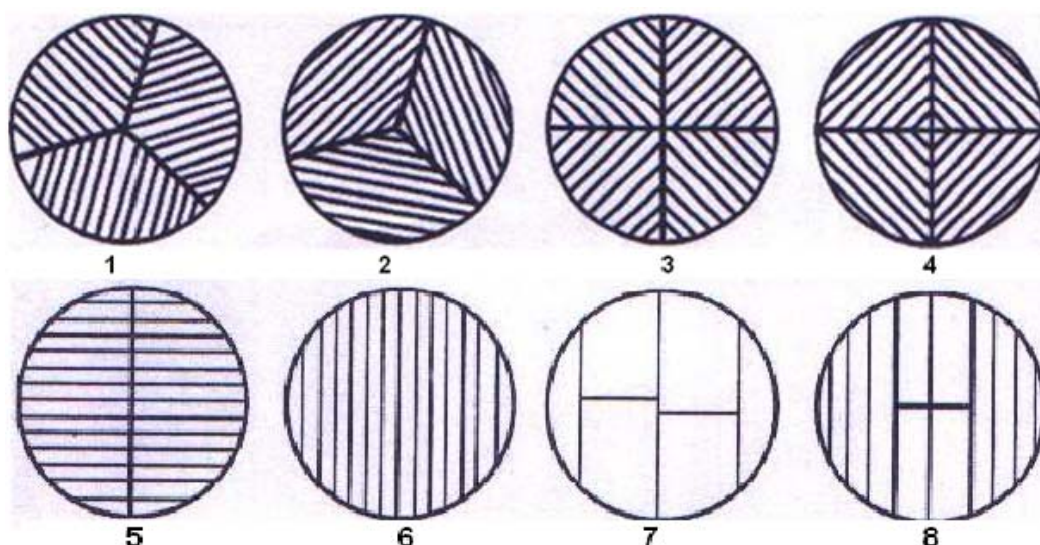
- krojenje na določeno dolžino (toleranca $\pm 1-2$ cm),
- odstranjevanje napak, ki vplivajo na kakovost in tok proizvodnje,
- maksimalni izkoristek hlodovine v kvantitativnem in kvalitativnem pogledu.

2.2.5 Prizmiranje (vzdolžno krojenje)

Osnovni namen prizmiranja surovine za proizvodnjo rezanega furnirja je:

- obrez hloda na ravne površine za lažje in varno vpetje v stroj za izdelavo furnirja,
- proizvodnja furnirja v teksturi, ki je značilna za vrsto lesa,
- izdelava furnirja v minimalni širini, odvisno od ravnine rezanja,
- maksimalni izkoristek surovine, ki se dosega skozi postopno »odpiranje« hloda ter
- izkoristek toplotne energije v operacijah hidrotermične obdelave.

Prizmiranje se vrši na tračnem ali krožnem žagalnem stroju. Obdelava baznih površin v fazi mehanske priprave hlodovine na krožnem ali tračnem žagalnem stroju je izredno pomembna za pritrditev prizme na delovno mizo stroja in vpliva na čistost reza, enakost debeline in izkoristek. Način prizmiranja zavisi od drevesne vrste, premera hloda in ravnine rezanja na furnirskem nožu.



Slika 1: Prikaz načinov prizmiranja in obdelave furnirskega hloda (Mešić, 1998:42-43)

Na sliki 1 so prikazani najpogostejši načini prizmiranja in rezanja furnirja iz prizem glede na premer in vrsto lesa (Mešić, 1998):

1. Tretinjke (rezanje v radialni smeri); premer hlodovine: 40 – 100 cm, značilno za drevesne vrste: jesen, jelko, afrormosio, anegro koto, bor, macesen, limbo, makore, mahagoni, brest, tehitola, zebrano, oregon, bukev.
2. Tretinjke (rezanje v tangencialni smeri); premer: 40 – 100 cm; značilno za drevesne vrste: doussier, hrast, mahagoni, wenge, bukev.
3. Četrtaki (rezanje v radialni smeri); premer: 60 cm in več; značilno za drevesne vrste: wenge, zebrano, oregon, bor, afrormosia, anegre, doussier, esche, jelka, koto, macesen, limba, mahagoni, makore, oreh, palisander, brest, sen, tehitola, teak.
4. Četrtaki (rezanje v tangencialni smeri); premer: 60 cm in več; značilno za drevesne vrste: doussier, mahagoni, hrast, wenge.
5. Visoko – prizmatično rezanje; premer: 40 – 80 cm; drevesne vrste: doussier, limba, mahagoni, makore, mansonia, bukev.
6. Cel hloď rezan; premer: 23 – 40 cm; značilno za drevesne vrste: javor, hruška, jelka, bor, češnja, macesen, oreh, brest, sen, teak.
7. Ravno rezanje (s prežagovanjem); premer: 60 – 70 cm; značilno za drevesne vrste: hruška, bukev, hrast, jesen, jelka, bor, češnja, macesen, limba, mahagoni, makore, mansonia, ameriški oreh, brest, sen, teak.
8. Cel hloď ravno rezan (s prežagovanjem); premer: 70 cm in več; značilno za drevesne vrste: javor, hruška, jelka, bor, češnja, macesen, ameriški oreh, brest, sen, teak.

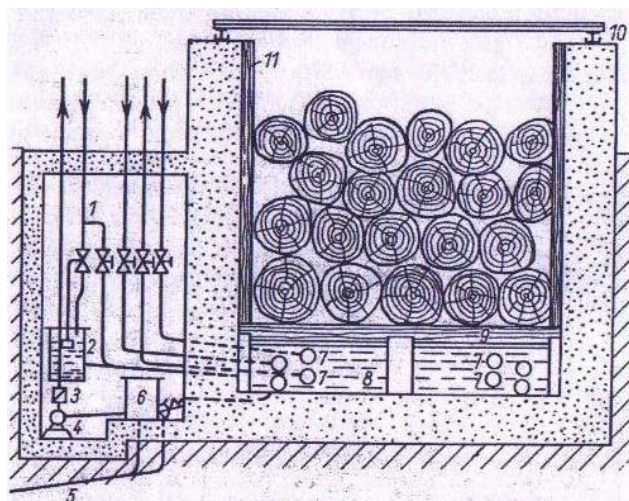
2.2.6 Hidrotermična obdelava bukove hlodovine

Hidrotermična obdelava je potrebna, da se izdela furnir enake debeline, zahtevane gladkosti in čvrstosti. Osnovni namen je mehčanje lesa in s tem povečanje plastičnosti lesa in vsebnost vlage.

Načini hidrotermične obdelave so:

- kuhanje,
- parjenje in
- gretje.

Na bukovi hlodovini se najpogosteje vrši parjene, katero se deli na direktno in indirektno (Slika 2).



Slika 2: Indirektno parjenje hlodovine (Mešič, 1998: 53)

Indirektno parjenje pomeni, da imamo na dnu parilne jame v vodo potopljene cevi, po katerih se pretaka para. Cevi segrevajo vodo do vrelišča in s tem ustvarjajo para za hidrotermično obdelavo hlodovine. Ko para odda toploto, se kondenzira in vrača.

S kuhanjem hlodovine se les hlodovine dodatno navlaži tako, da ima po kuhanju običajno višjo vlažnost. Postopek sušenja furnirja, izdelanega iz kuhanih hlodov, je zato daljši, kot je postopek sušenja furnirja, ki je toplotno obdelan po direktnem ali indirektnem načinu parjenja (Mešič, 1998).

Prednosti indirektnega parjenja hlodovine so:

- postopno naraščanje temperature v parilni jami in posledično v hlodovini,
- manj poškodb na hlodovini zaradi parjenja, predvsem manj čelnih razpok, boljši izkoristek ter
- vračanje kondenzata.

Celotni proces hidrotermične obdelave lahko po Mešiču (1998) razdelimo na tri faze:

- segrevanje,
- parjenje ali »gretje« (prevajanje toplote) in
- izenačevanje temperature.

Prva faza segrevanja jame traja do trenutka, ko je dosežena ciljna temperatura na površini hlodov, in traja od 3 do 6 ur, v zimskem času pa do 12 ur. Temperaturo v parilni jami je potrebno dvigovati postopoma, zlasti če imamo opravka s svežo hlodovino in če so zunanje temperature nizke (Mešič, 1998).

Druga faza poteka od trenutka, ko je na površini hlodov dosežena ciljna temperatura, do takrat, ko je v ciljni globini hloda dosežena ciljna temperatura. V tej fazi gre za proces prevajanja toplote (kondukcija). Pri trdnih telesih so nosilci energije predvsem prosti elektroni in vibracijska energija atomov in molekul, v tekočinah pa se toplota prenaša z difuzijskim gibanjem molekul in prenosom vibracij med sosednjimi molekulami (Kollmann s sod., 1984). Na toplotno prevodnost vplivajo gostota lesa, vlažnost lesa, temperatura, ekstraktivi in defekti (grče, razpoke) ter smer prevajanja toplote skozi les. Toplotna prevodnost narašča z naraščajočo gostoto, vlažnostjo in temperaturo. Vz dolžno je približno dvakrat večja kot radialno ali tangencialno (Gorišek s sod., 1994). Toplotna prevodnost lesa z vlažnostjo nad 40 % v odvisnosti od gostote je definirana kot (Gorišek s sod., 1994):

$$\lambda = (d - (21,65 + 5,48 u) + 4,01 \cdot v_a) \cdot 10^{-2} \text{ [W/mK]} \quad \dots(1)$$

d razmerje med nominalno gostoto (R_n) in gostoto vode pri 4°C.

R_n razmerje med maso suhega lesa in volumnom lesa pri določeni vlažnosti

v_a poroznost lesa, delež por v vlažnem lesu.

2.2.7 Izdelava rezanega furnirja

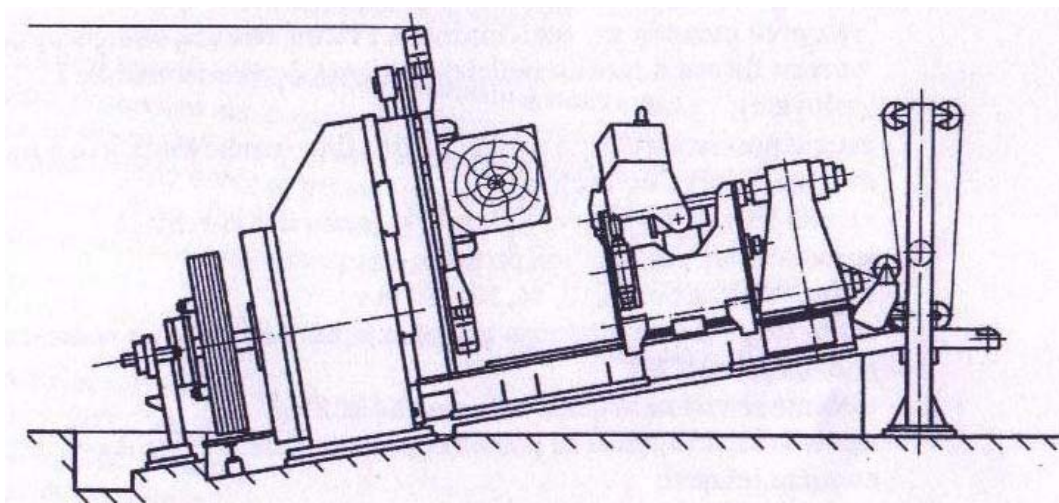
Izdelava plemenitega furnirja se vrši z rezanjem na furnirskem rezalnim stroju. Poznamo več vrst strojev, ki se ločijo po ravnini v kateri je vpet nož. To so:

- horizontalni rezalni stroj za proizvodnjo furnirja,
- poševni furnirski rezalni stroj za proizvodnjo furnirja ter
- vertikalni furnirski rezalni stroj za proizvodnjo furnirja.

Plemeniti furnir se izdeluje tudi z ekscentričnem luščenjem ali staylog sistemom.

2.2.7.1 Vertikalni furnirski rezalni stroj

Vertikalni furnirski rezalni stroj (slika 3) služi za rezanje plemenitih furnirjev. Prizma je pritrjena na delovno mizo s hidravličnimi kleščami in se premika v vertikalni smeri (gor - dol). Suport se v času nedelavnega hoda mize pomakne po vodilih v horizontalni smeri za debelino furnirja (Mešič, 1998). Rezanje se vrši pri gibanju prizme navzgor, kar omogoča avtomatsko odlaganje listov in kontinuiran tok proizvodnje.



Slika 3: Vertikalni furnirski rezalni stroj A. Cremona (Mešič, 1998:72)

Debilne rezanja: 0,1-3,3 mm, $\pm 0,01-0,001$ mm.

Število rezov v minuti: min. 25, maks. 90.

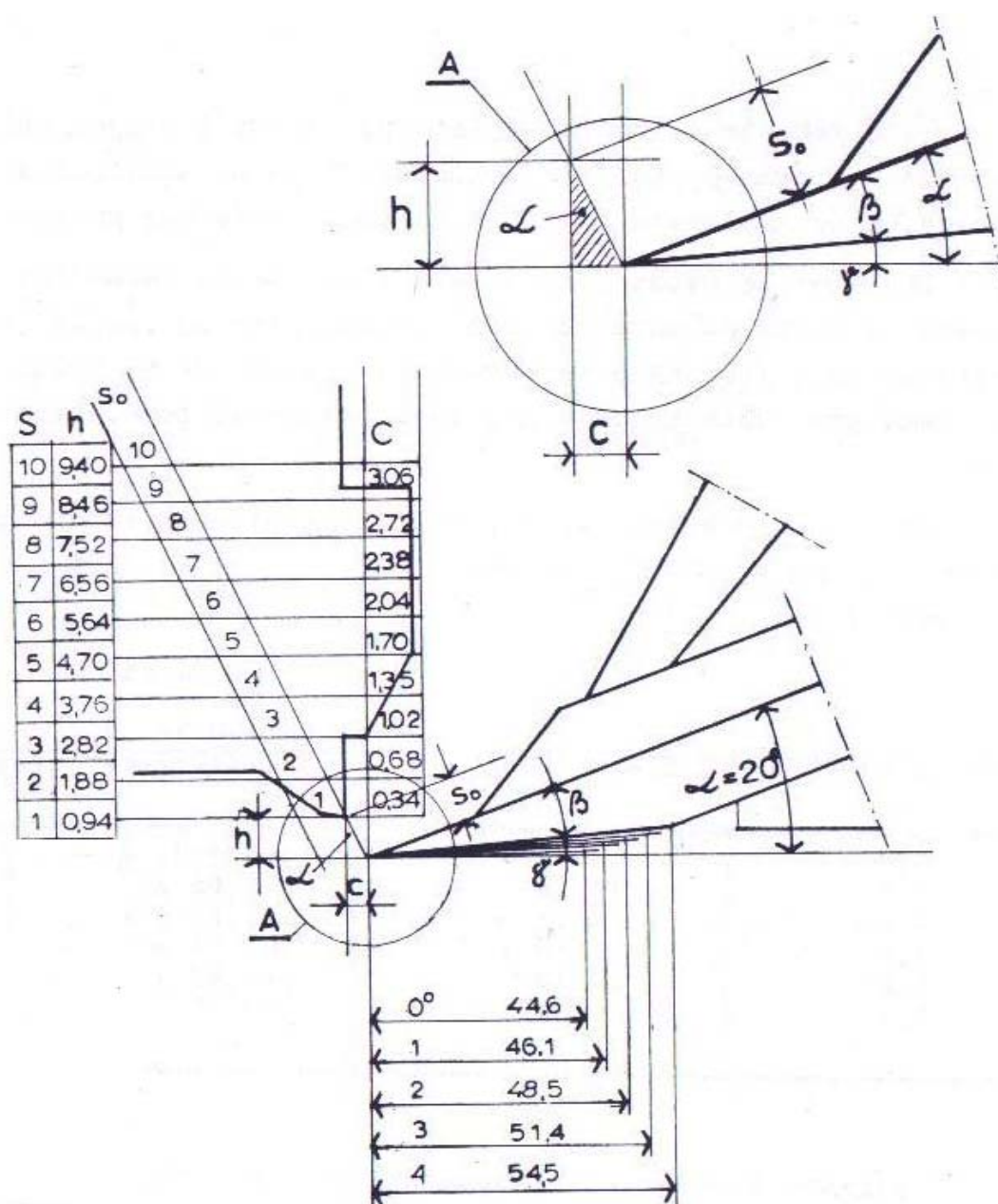
Razmerje med pritiskno letvijo in nožem v horizontalni in vertikalni smeri se odraža kot ozka reža, skozi katero vstopa furnir v času rezanja hloda. To je rezultat pojava sile trenja in drsenje prečno na lesna vlakna. Pravilno razmerje je za določeno vrsto lesa, debelino in ostale tehnološke pogoje ključno za kakovost furnirja.

Razmerje med nožem in pritiskno letvijo vpliva na kakovost furnirja. Pod pogoji pravilne hidrotermične obdelave, izbora in priprave orodij so osnovni parametri reguliranja odnosa med hlodom oziroma prizmo, pritiskne letve in noža (Mešič, 1998):

- kot rezanja α ;
- kot klina β ;
- prosti kot γ ;
- širina odprtine med nožem in pritiskno letvijo S_o ;
- odnos med nožem in pritiskno letvijo v horizontalni ravnini c ;
- stopnja pritiska Δ .

$$\alpha = \beta + \gamma \quad \dots(2)$$

Enačba (2) prikazuje kot rezanja (α) glede na ravnino rezanja, kateri je sestavljen tudi iz kota klina (β) in prostega kota (γ).



Slika 4: Medsebojni odnosi noža in pritisne letve (Mešić, 1998)

Na sliki 4 so po Bibičkovu (v Mešić, 1998; 73) prikazani osnovni parametri rezanja. Stopnja gnetljivosti (Δ) je odvisna od debeline furnirja in vrste lesa, vpliva pa na gladkost površine in čvrstost furnirja.

$$\Delta = (S - S_0) / S \cdot 100 [\%] \quad \dots(3)$$

$$S_0 = S \cdot (1 - \Delta / 100) [\text{mm}] \quad \dots(4)$$

Pri čemer je:

Δ – stopnja gnetljivosti [%]

S_o – najkrajša razdalja med nožem in pritisno letvijo v mm

Stopnja gnetljivosti po Krotovu (v Mešić, 1998; 74) znaša 10–30 %, po Plahovu (v Mešić, 1998; 74) pa v odvisnosti od vrste lesa in debeline furnirja, na primer: za bukov les debeline 0,6 mm znaša stopnja gnetljivosti 5-10 %. Gladkost furnirja zavisi od stopnje gnetljivosti in ravnine rezanja. Povečanje stopnje gnetljivosti do 20 % rezultira zmanjšanje neravnin. Najnižja višina neravnin je pri radialni smeri rezanja.

Horizontalni odmik med vrhom ostrine noža in pritisne letve (c) in vertikalni odmik (h) se izračunava po formulah (Mešić, 1998):

$$c = S_o \sin \alpha = S \sin \alpha (1 - \Delta/100) \quad \dots(5)$$

$$h = S_o \cos \alpha = S \cos \alpha (1 - \Delta/100) \quad \dots(6)$$

2.2.7.2 Napake rezanja furnirja

Napake pri rezanju furnirja nastajajo zaradi neprimerne mehanske in hidrotermične priprave surovine, nepravilnega izbora parametrov rezanja (npr. razmerja med nožem in tlačno letvijo ali stopnje gnetljivosti), nekvalitetne priprave orodij, neizpravnost stroja, nestrokovnega rokovanja s tehnološko opremo in nezadovoljujoče organizacijske urejenosti. Najpogostejše napake so (Mešić, 1998):

- neenakost debeline furnirja,
- neravna, hrapava površina,
- mlahav furnir,
- vlaknasta površina (kosmata),
- valovit furnir
- odrgnine in odtisi,
- razpoke na površini,
- odprte in zaprte razpoke na čelih mokrega furnirja.

2.2.8 Sušenje furnirja

Sušenje se največkrat izvaja v pretočnih sušilnicah, razvile so se pa tudi druge metode sušenja, kot so: vakuumsko sušenje, sušenje z infra žarki in visokofrekvenčno sušenje. Te so primerne za specifično uporabo, saj zaradi velike porabe energije in majhne kapacitete ne pridejo v poštev za masovno proizvodnjo. Sušenje v pretočnih sušilnicah poteka v sušilnih kanalih, ki so sestavljeni iz več prekatov ali segmentov. Sušilna naprava transportira furnir s pomočjo brezkončnega mrežnega traka ali gladkih zaobljenih valjev. Valji omogočajo prosto gibanje furnirja s ciljem preprečevanja pokanja in valovitosti.

Tračne in valjčne sušilne kanale lahko imenujemo tudi konvencionalne sušilnice za furnir. Z enim pretokom furnirja skozi celo dolžino sušilnega kanala je furnir posušen. Medij za

ogrevanje zraka za sušenje je običajno visokotlačna para, ki ogreva zrak v posameznih komorah sušilnega kanala.

V sušilnih kanalih se izvaja proces sušenja furnirja, z zagotavljanjem primerno visoke temperature zraka in kroženjem vročega zraka, kjer gre za sistem prisilne konvekcije. Prvotni sušilni kanali so imeli izvedeno ogrevanje tako, da je temperatura skozi posamezne komore od začetka sušilnice proti koncu postopno naraščala (Kollmann s sod., 1975). Novejši visoko produktivni sušilni kanali pa imajo v prvih komorah višjo temperaturo grelcev, kot v zadnjih komorah. Tako izvedbo grelcev ima npr. sušilni kanal proizvajalca Babcock BSH. Z dovolj visoko temperaturo in s kroženjem zraka na začetku sušenja je zagotovljen hiter odvzem proste vode, ki izhlapi iz celičnih lumnov furnirja in odvzem vezane vode iz celičnih sten. Parna difuzija skozi celice in celične stene se začne zaradi razlik med zračnim tlakom, ki je v celinih lumnih in stenah, ter zračnim tlakom zraka v sušilnem kanalu.

Celoten potek sušenja zajema (Kollmann s sod., 1975):

- kondenzacijo vodne pare na površini furnirja pri procesu segrevanja furnirja,
- konstantno sušenje do točke nasičenosti lesnih vlaken, ko vsa kapilarna voda izpari ter
- sušenje pod točko nasičenosti lesnih vlaken z difuzijo vezane vode.

Mešić (1998) pri sušenju furnirja navaja samo dve fazi:

- sušenje nad točko nasičenosti lesnih vlaken in
- sušenje pod točko nasičenosti lesnih vlaken.

V začetni oziroma prvi fazi sušenja se začne kondenzacija vodne pare na površini furnirjev v prvih segmentih sušilnega kanala. Pri drugi fazi poteka sušenje do točke nasičenosti lesnih vlaken, katera se vrši v nadaljnjih dveh, treh ali štirih sušilnih segmentih, kar je odvisno od izvedbe sušilnice. Tu še ne prihaja do krčenja in pokanja furnirja, zato so v tem delu sušilnika temperature zraka lahko nekoliko višje. Sušenje pod točko nasičenosti celičnih sten se začne v tretji fazi sušenja, ki je v sušilnici v zadnjih sušilnih segmentih. V tej fazi sušenja prihaja do krčenja, pokanja in zvijanja (valovitosti) furnirja. Pokanje furnirja je izrazito predvsem na čelih, kjer je običajno, že pred sušenjem, vlažnost furnirja nekoliko nižja. Valovitost je izrazitejša tudi v vrhnjih slojih paketa furnirja, ki čaka na sušenje, kjer se je furnir nekoliko naravno posušil.

Nadzor nad vsebnostjo vlage v furnirju po sušenju se lahko izvaja tudi z avtomatsko regulacijo hitrosti pomika furnirja skozi sušilnico. Ta regulacija se izvaja na osnovi merjenja dejanske vhodne in izhodne vlažnosti furnirja ter nastavljenih ciljnih končnih vlažnosti. Regulacija pomika je možna le, če so naprave za zaznavanje dejanske vlažnosti dovolj natančne. Kljub temu pa je končni rezultat le čim boljši približek ciljnih končnih vlažnosti.

2.2.8.1 Vlažnost furnirja, temperatura in čas sušenja

Začetna vlažnost furnirja pred sušenjem je zelo različna in lahko variira od 30 % do 110 %, najpogosteje med 50 % in 80 % (Mešić, 1998). Ciljna, končna vlažnost furnirja, pa se običajno giblje v mejah od 6 do 9 %, razen pri furnirju za VF lepljenje, kjer mora biti vlažnost nekaj odstotkov nižja. Merjenje vlažnosti lahko izvedemo ročno z električnimi uporovnimi vlagomeri, prirejenimi za posamezno vrsto lesa, z vlagomeri, ki so vgrajeni v sušilnici, ali pa gravimetrično (Mešić, 1998). Vlažnost se izračuna z izrazom:

$$W = ((m_v - m_o) / m_o) \cdot 100 [\%] \quad \dots(7)$$

Pri čemer je:

W ... vlažnost furnirja [%] ,

m_v ... masa mokrega furnirja [kg] ,

m_o ... masa absolutno suhega furnirja po sušenju v sušilniku [kg] .

Temperature sušenja v valjčnih sušilnicah so običajno od 100 °C do 165 °C, vendar pa je priporočena temperatura sušenja za posamezno drevesno vrsto različna. Za bukov furnir so priporočene temperature v mejah od 150 °C do 165 °C.

Čas sušenja furnirja je odvisen od:

- drevesne vrste,
- začetne vlažnosti,
- klimatskih pogojev v sušilnici,
- priključne moči pare ali drugega medija in
- dolžine sušilnega kanala.

2.2.8.2 Napake pri sušenju furnirja

Pri sušenju v sušilnici nastajajo napake na furnirju. Zaradi različno orientiranih napetosti v furnirju nastajajo pri sušenju napake oziroma deformacije furnirja. Najbolj pogoste deformacije, ki jih v praksi imenujemo tudi napake nastale pri sušenju, so: čelne razpoke, poke po površini, majhne površinske pokline, koritavost, zvitost in valovitost. Če so furnirji sušeni v sušilnici z neskončnim trakom se lahko pojavi zaskoritev in sledovi odtisa mreže. Furnirji se sušijo na visoki temperaturi do 180 °C, pri tem pa je verjetno, da visoka temperatura vpliva na fizikalne lastnosti lesa, kot so: prožnost, sposobnost lepljenja, zvijanje in pokanje, ta vpliv visoke temperature pa ni še raziskan.

2.3 VALOVITOST FURNIRJA

Valovitost furnirja je napaka, ki ovira sestavljanje furnirja po širini, nanašanje lepila na furnir in samo lepljenje. Na valovite furnirje se ne nanese enako debel sloj lepila po površini, pri lepljenju pa prihaja do pokanja in prekrivanja listov. Valovitost se pogosto pojavlja na tankem furnirju listavcev, lahko pa tudi pri beljavi iglavcev. V proizvodnji

vezanega lesa se zelo valoviti listi odrežejo na furnirskih škarjah ali pa se likajo ogrevani stiskalnici. Vzroki valovitosti (Lutz, 1970) so:

- hitrejša sušenja na koncih kot na sredini furnirja,
- prevelika stopnja gnetljivosti pri rezanju,
- izhlapevanje vode na čelih pred sušenjem ali
- nepravilnost teka vlaken.

Valovitost na čelih se preprečuje s prekrivanjem enega lista preko drugega pri vlaganju v sušilnico ali z vlaženjem oziroma pršenjem z vodo pred vlaganjem v sušilnico. Valovitost na čelih se lahko pojavi pri rezanju zaradi prevelike stopnje gnetljivosti (Krpan, 1970).

Valovitost furnirja se pojavlja kot napaka pri sušenju furnirja. Pojavlja se zaradi krčitvene anizotropije, ki je pri bukovini velika, in tudi zaradi različnih inkorporiranih napetosti, ki se ob sušenju lahko sproščajo. Če pa so v lesu prisotne še druge napake, kot so reakcijski les, zavrtost vlaken, grče, nepravilen tek vlaken, diskoloriran les. pa prihaja do dodatnih deformacij lesa. Te napake označimo kot napake sušenja.

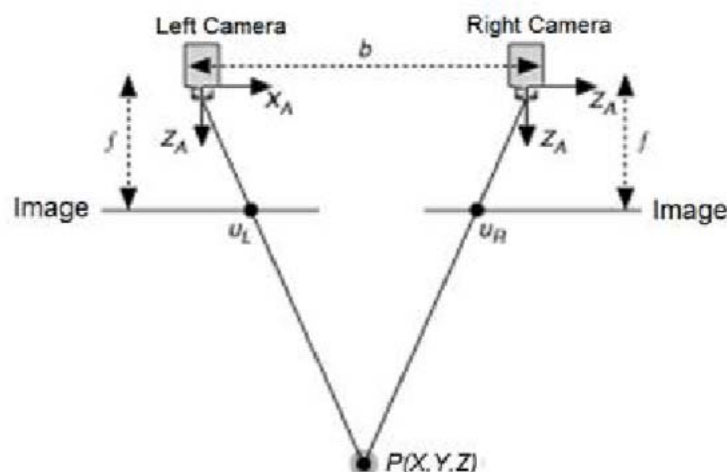
2.3.1 Snemanje valovitosti

Z razvojem optičnih senzorjev ter računalniške in programske opreme se je uporabna vrednost strojnega vida močno povečala: od preprostih aplikacij za potrebe pozicioniranja obdelovanca in nastavljanja izhodišč koordinatnih sistemov pri CAD/CAM obdelavi izdelkov, do danes najbolj natančnih 3D skenerjev, ki se uporabljajo v obrnjenem inženiringu. V lesni industriji pa strojni vid v današnjem času najpogosteje uporabljamo za potrebe preverjanja oziroma zagotavljanja kakovosti izdelkov. Leta 2006 so Yang in sod. preučili možnost uporabe laserskega triangulacijskega sistema za vrednotenje kakovosti oziroma valovitosti novonastale površine po operaciji skobljanja.

2.3.1.1 Načini 3D snemanja

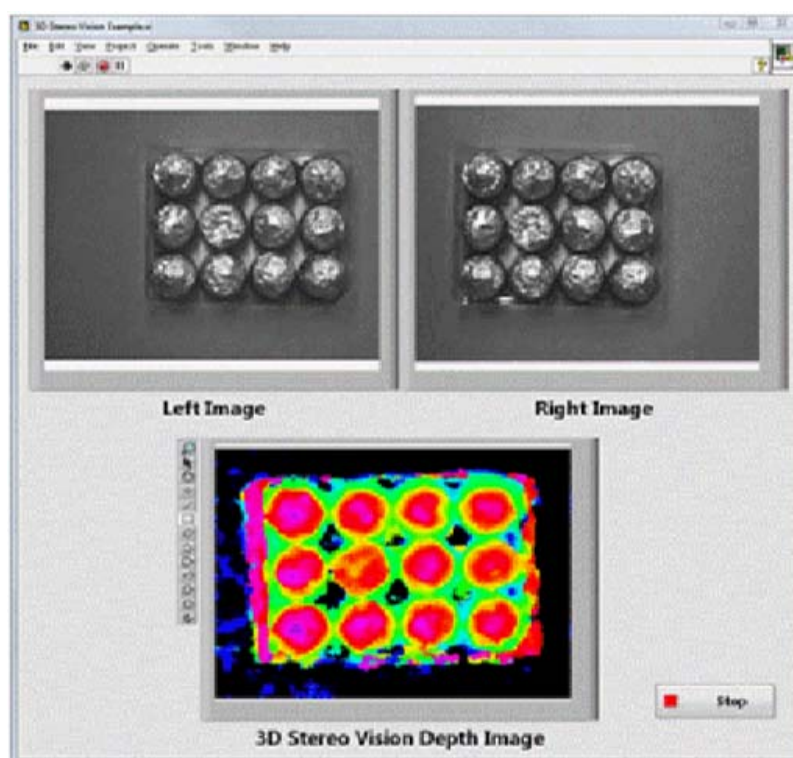
3D tehnologija slikanja, ki je naredila dolgo pot od zasnove do aplikacije v industriji uporablja dovršeno strojno in programsko opremo. Dva najpogosteje uporabljena koncepta 3D slikanja v industrijskih aplikacijah sta stereovizualizacija in laserska triangulacija (3D snemanje, 2013).

Pri stereovizualizaciji se uporabljata dve kameri, ki snemata objekt z dveh različnih pozicij, kar prikazuje slika 5. Za izris 3D slike se uporablja računalniški algoritem, ki deluje podobno kot človeški možgani, saj s pomočjo dveh fotografij rekonstruira 3D sliko.



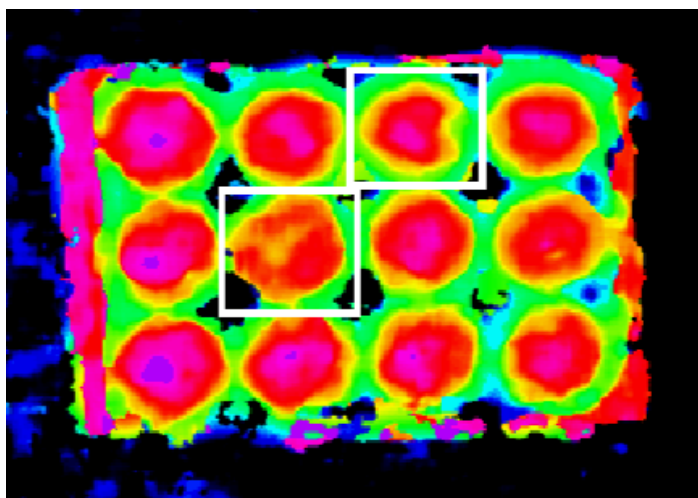
Slika 5: Princip stereo vizualizacije z dvema kamera (3D snemanje, 2013)

Slika 6 prikazuje uporabo stereovizualizacije v primeru kontrole poškodbe čokoladnih bombonov v škatli, pri kateri vidimo levi in desni optični posnetek, spodaj pa 3D posnetek z globinskim obarvanjem.



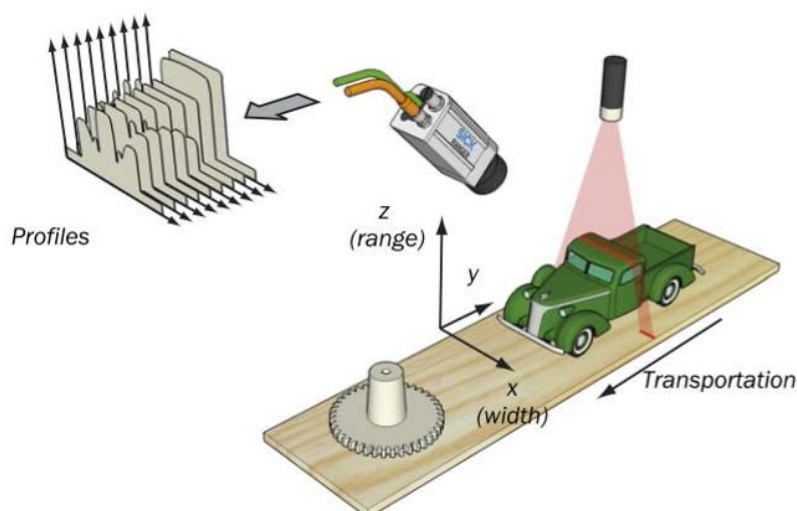
Slika 6: Prikaz stereovizualizacije (3D snemanje, 2013)

Pri analizi 3D posnetka z globinskim obarvanjem je odločitveni algoritem za kontrolo poškodovanih bombonov zaznal dva poškodovana bombona in ju označil z belimi kvadrati (slika 7).



Slika 7: Z belimi kvadrati označena deformacija bombonov (3D snemanje, 2013)

Pri laserski triangulaciji (slika 8) na objekt projiciramo linijski laserski žarek, ki na predmetu izriše presečno krivuljo oziroma profil predmeta, ki ga posnamemo s kamero. 3D sliko predmeta dobimo tako, da sestavimo več profilov predmeta, ki so bili posneti pri znanih in točno določenih razdaljah v smeri premikanja predmeta.



Slika 8: Prikaz laserske triangulacije predmeta (3D snemanje, 2013)

2.4 OPIS PRIZMIRANJA IN SUŠENJA REZANEGA FURNIRJA V PODJETJU JAVOR FURNIR D.O.O.

Prizmiranje hlodovine je ena izmed prvih faz izdelave rezanega furnirja. Tu se vrši vzdolžni rez na hlodovini, katero se kroji glede na napake, izkoristek, zeleno teksturo furnirja in naročilo kupca.

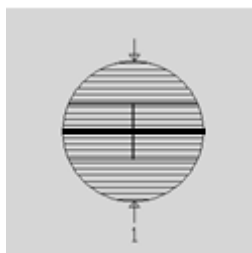
V podjetju Javor furnir d.o.o. vršijo prizmiranje na tračnem žagalnem stroju. Hlodovina prihaja iz skladišča preko lupilne naprave v žagalnico po valjčnem transporterju za hlodovino. Vodja žagalnice hlodovino popiše in oceni ter določi način izdelave prizme.

Furnirska bukova hlodovina se prizмира na različne načine. Kriterij za način prizmiranja so razpoke na čelih hloda ter razne napake na hlodu kot so: krivost, zavrtost in ovalnost hloda, rdeče in ekscentrično srce, grče ter mehanske poškodbe.

S prizmiranjem hlod razrežemo, s tem pa sprostimo napetosti ter preprečimo nadaljnje pokažanje pri toplotni obdelavi (kuhanje, parjenje). Če hloda pred toplotno obdelavo ne razrežemo, se v njem oziroma kasneje na furnirju pojavijo manjše ali večje razpoke, ki so običajno diagonalno razporejene od sredine hloda proti obodu hloda, v največji meri pa se pojavljajo v sami sredini (Česnik, 2010).

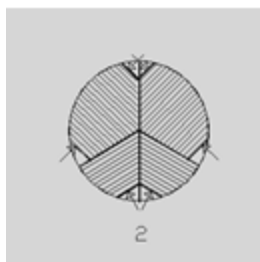
2.4.1 Načini prizmiranja bukove hlodovine

Bukovo hlodovino se prizмира na različne načine, na katere vplivajo razni dejavniki, kot so premer hloda, želena tekstura furnirja (bočna, polbočna, črta), napake na hlodu. Prizmo imenujejo tudi z izrazom »flič«. Najpogostejše uporabljene načine izdelave prizem v Javor furnir d.o.o. in rezanja furnirja prikazujejo slike v nadaljevanju.



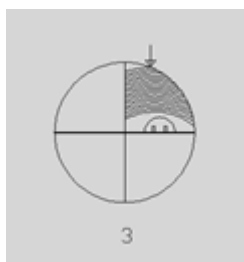
Slika 9: Prikaz prizme 1

Prizma 1 prikazuje najpogostejše prizmiranje bukove hlodovine. Pri prizmiranju se hlod razpolovi, nato pa se pri rezanju furnirja v prvem delu polovice reže furnir, ki ima tangencialno oziroma bočno teksturo. Rezanje se nato ustavi pri določeni debelini te polovice hloda, ta pa se nato po širini prereže (prepara) ter nadaljuje z rezanjem furnirja, pri čemer dobimo radialno teksturo ali »črto«.



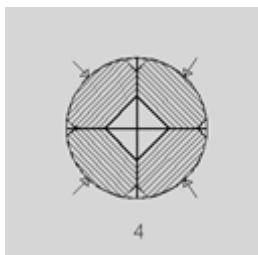
Slika 10: Prikaz prizme 2

Prizma 2 prikazuje način prizmiranja hloda, pri katerem največkrat korigirajo prisotne razpoke na hlodu. Ta način se uporablja za večje premere hlodov (nad 60 cm). Dobimo predvsem radialno teksturo furnirja.



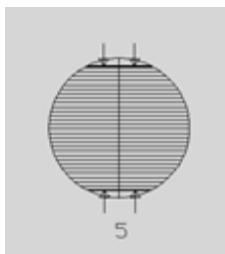
Slika 11: Prikaz prizme 3

Prizma 3 prikazuje način surovine za »staylog« sistem rezanja. Uporablja se za premere hlodov nad 60 cm.



Slika 12: Prikaz prizme 4

Prizma 4 prikazuje primer priprave prizme iz hloda, ki ima napako srčne cone, kot je obarvano srce. Le-ta se zaradi neuporabnosti izloči kot ostanek.



Slika 13: Prikaz prizme 5

Prizma 5 predstavlja polovico hloda, iz katere dobimo na obodnem delu pol bočno ali pol tangencialno teksturo, proti sredinskemu delu pa radialno teksturo (črto) (Česnik, 2010).

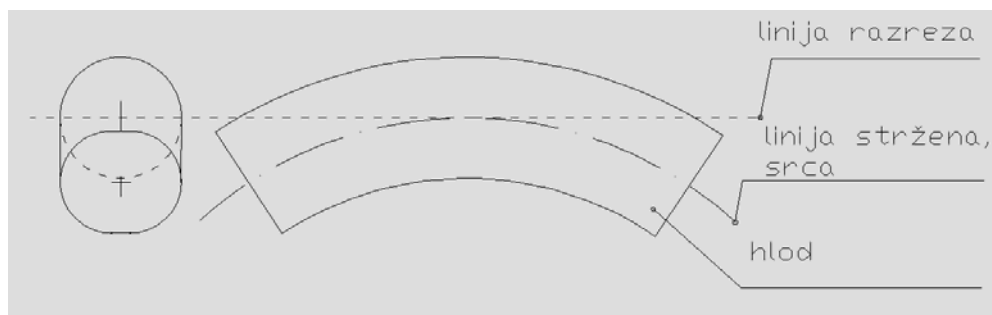
2.4.2 Prizmiranje bukove hlodovine glede na napake na hlodu

Napake na hlodovini nam največkrat narekujejo način izdelave prizme. Pri hlodovini za rezan furnir največkrat naletimo na ukrivljene ali razpokane hlode in hlode z obarvanim ali ekscentričnim srcem.

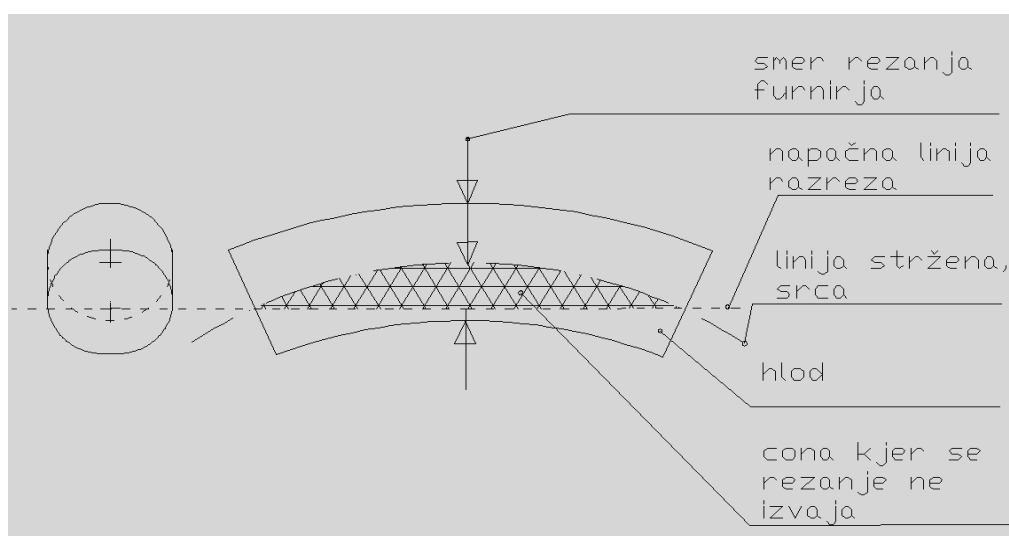
2.4.2.1 Način razžagovanja ukrivljenih hlodov

Ukrivljene hlode (slika 14) se razžaguje čez srce oziroma stržen glede na srednji premer hloda. Taki hlodi se v industriji pojavljajo v največji meri (približno v 60 %) zaradi rastišč na katerih drevesa rastejo (gorski in hriboviti predeli). Takšna hlodovina je najbolj

ukrivljena v spodnjem delu hloda, ki ga imenujemo koreničnik. Če je le-ta prisoten, je lahko hlod močno ukrivljen.



Slika 14: Prikaz razpolovitve ukrivljenega hloda pri prizmiranju

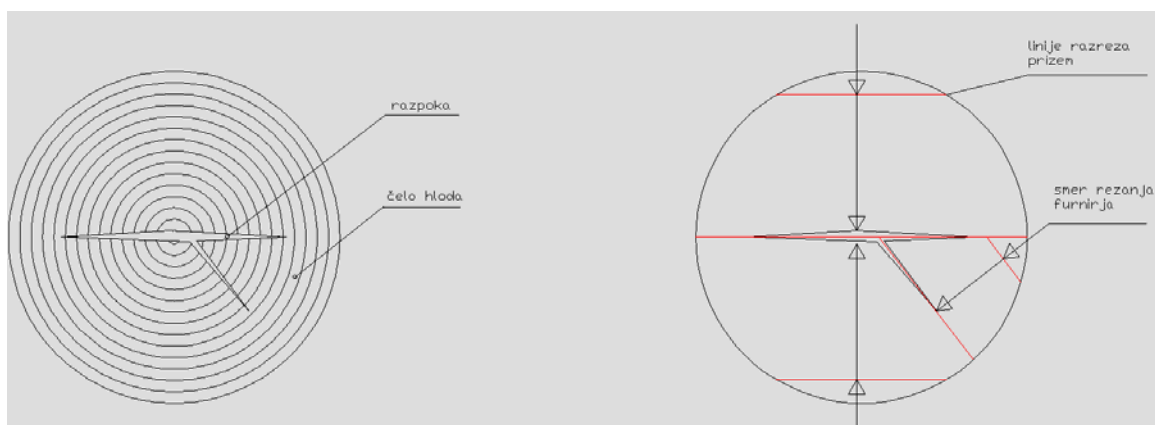


Slika 15: Prikaz napačnega razžagovanja hloda

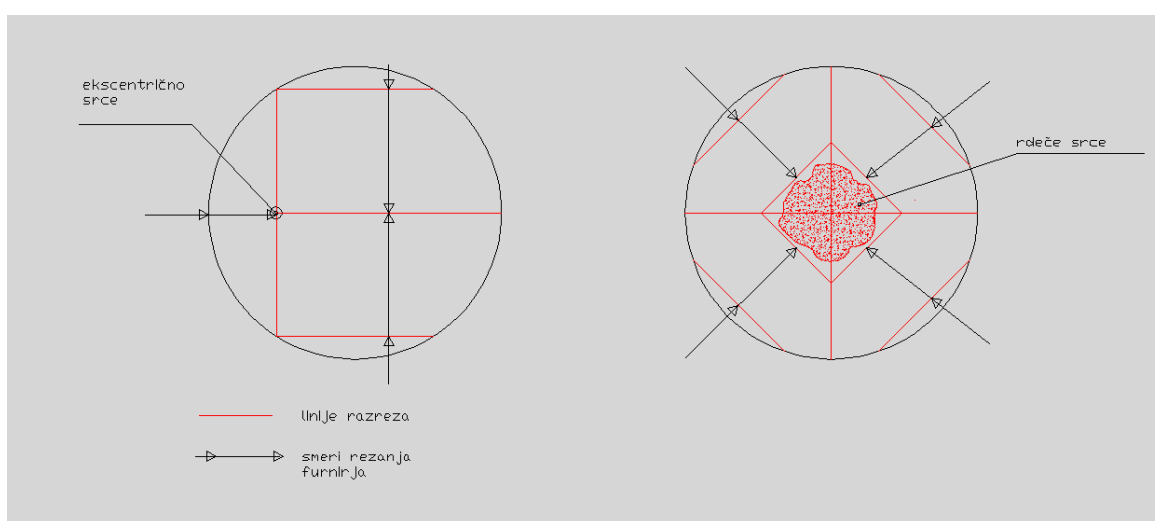
Če se hlod ne razreže po srednjem preseku temveč po zunanjem (slika 15), se nam pri rezanju furnirja pojavi cona, kjer je rezanje onemogočeno (»rezanje čez srce«). Površina furnirja je izredno groba in porozna, zato je tako prizmiranje napačno.

2.4.2.2 Način razžagovanja po razpokah na čelu hloda

Prežagovanje hloda pri prizmiranju je smiselno po razpokah, ki so že na hlodu (slika 16, slika 17). Pri tem se napetosti, ki so v hlodu, sprostijo. Tako zmanjšamo pokanje prizme pri nadaljnji obdelavi, s tem pa tudi številčnost razpokanega furnirja, kar ustreza lažji manipulaciji pri rezanju, sušenju in likanju furnirja.



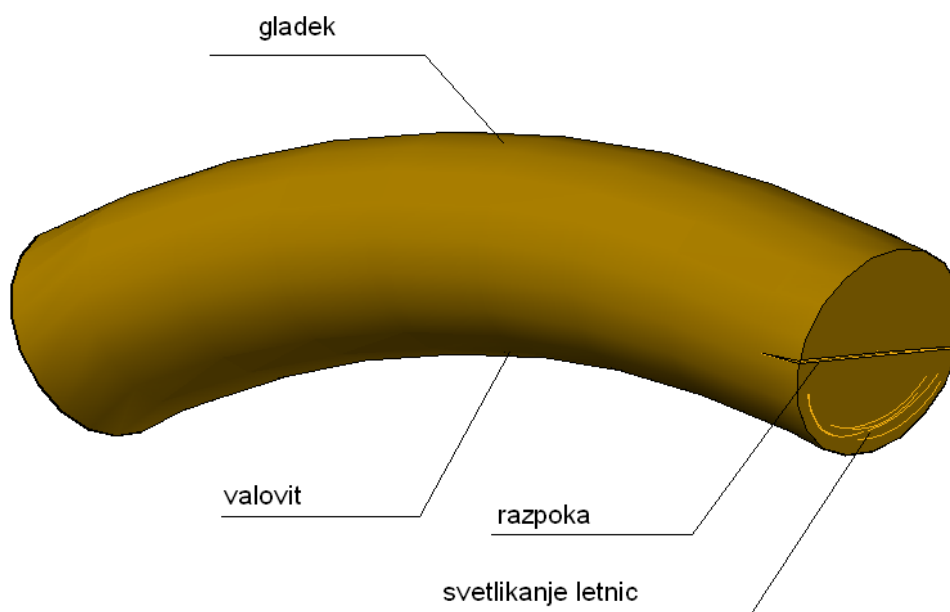
Slika 16: Primer razpokanega hloda in način prizmiranja



Slika 17: Prikaz prizmiranja glede na napake bukove hlodovine pri prisotnosti rdečega in ekscentričnega srca

2.4.3 Predvidevanje valovitega furnirja na hlodu pred prizmiranjem

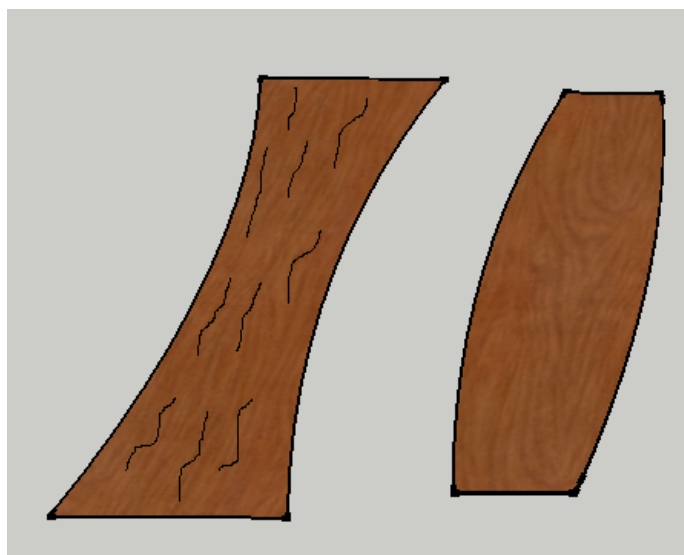
Na hlodovini pred prizmiranjem lahko ocenimo verjetnost pojavljanja valovitega furnirja glede na napake hloda. Najpogostejše napake hlodov, ki verjetno vplivajo na valovitost furnirja, so: ukrivljenost (slika 18, slika 19), zavrtost (slika 20), razpokanost hloda in prisotnost reakcijskega lesa.



Slika 18: Prikaz ukrivljenega hloda

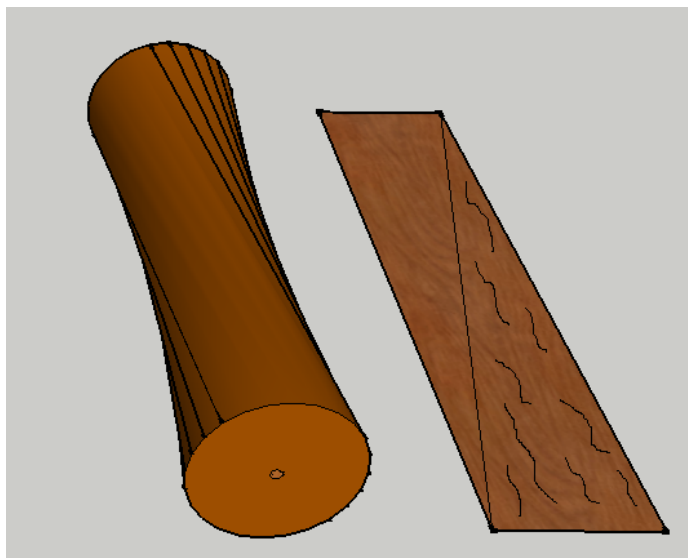
Iz ukrivljenega hloda (slika 18) lahko v zgornjem delu dobimo furnir, ki je gladek. V spodnjem oziroma ukrivljenem delu pa dobimo furnir, ki je z veliko verjetnostjo valovit. Valovitost se pojavlja zaradi prisotnosti reakcijskega ,ki se pojavlja v največji meri v deblih dreves, ki rastejo na pobočjih hribov.

Pri bukovini prepoznamo tenzijski les po svetlih oziroma svetlikajočih letnicah, tako pri ukrivljenih, kot pri ravnih hlodih. Tenzijski les se največkrat nahaja samo na eni polovici hloda, ta polovica pa se večinoma loči z razpoko, ki je bolj ali manj izražena.



Slika 19: Prikaz oblike listov furnirja iz ukrivljenega hloda

Na sliki 19 vidimo oblike listov furnirja iz spodnjega in zgornjega dela ukrivljenega hloda. Furnirji iz spodnjega dela so valoviti zaradi prisotnosti reakcijskega lesa. Do gubanja furnirja pride tudi zaradi večjih skrčkov v aksialni smeri reakcijskega lesa.



Slika 20: Prikaz zavrtosti in lista furnirja iz tega hloda

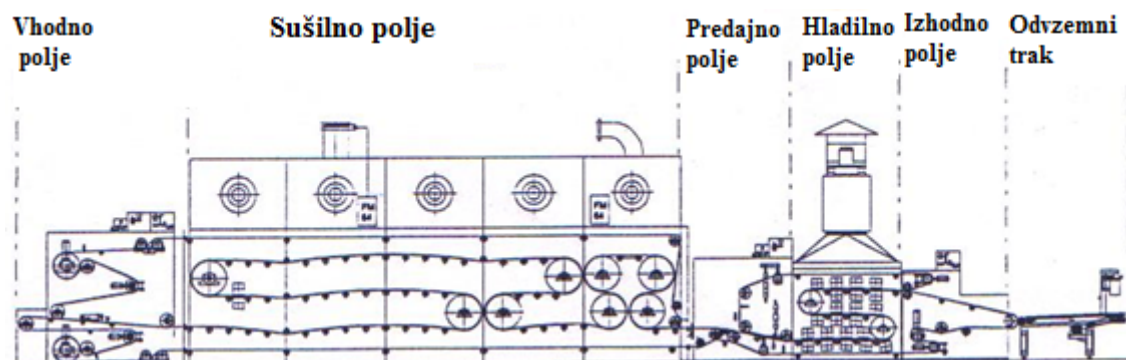
Slika 20 prikazuje zavrtost hloda in lista furnirja hloda. Pri takšnem hlodu je v največji meri furnirski list pol valovit in pol gladek. Hlodi, ki imajo veliko rastnih napetosti, so največkrat križno razpokani na čelu. Tudi pri takih hlokih lahko pričakujemo valovitost na furnirju.

2.4.4 Opis sušilnega kanala in sušenja bukovega furnirja na podjetju Javor furnir d.o.o.

Na podjetju Javor furnir imajo dva sušilna kanala za sušenje furnirja proizvajalca Angelo Cremona in proizvajalca Babcock BSH. Na obeh kanalih poteka sušenje s pomočjo vpihovanja vročega zraka na površino furnirja, ki potuje skozi sušilni kanal po neskončnem traku.

Sušilna naprava je zgrajena po sistemu komponent in je sestavljena iz naslednjih delov:

- vhodno polje,
- sušilno polje,
- predajno polje,
- hladilno polje,
- izhodno polje,
- odzemni trak ter
- stikalna omara (Slika 21).



Slika 21: Stranski pogled v prerezu sušilnice z označenimi sestavnimi deli (Babcock, 2004)

Furnir potuje od vhodne glave proti odvzemnemu traku. Na vhodnem polju zaposleni delavec vstavlja posamezne liste furnirja v sušilni kanal s pomočjo vakuumskega prisesavanja na tekoči trak. Furnirski listi nato potujejo v kanal po transportnem traku, ki je izdelan iz nerjaveče, drobnočlenaste spiralne žice (Babcock, 2004).

V sušilnem polju poteka sušenje furnirja, ki je razdeljeno na dva dela: sušilni in likalno-sušilni del. V sušilnem delu poteka postopek sušenja furnirja po transportnem traku med perforiranimi kanali. Vroč sušeci zrak vpihujemo pravokotno na površino furnirja. V likalno-sušilnem delu potuje furnir prek gladilnih valjev, s čemer furnir gladimo.

V sušilnem polju se furnir suši na želeno končno vlažnost. Klimo v kanalu se regulira s termometri in merilniki vlažnosti zraka. Grelni medij je vroča voda. Furnir se po izhodu iz sušilne komore ohladi v hladilnem polju, nato pa se na odvzemnem traku zлага v pakete. Na tem delu sušilnice sta dva delavca oziroma delavki, ki furnirske liste zlagata v pakete, slabe liste pa izločita. Furnirske liste šteje naprava za štetje listov. Režim sušenja se regulira s temperaturo in vlažnostjo zraka v komori ter hitrostjo pomika transportnega traku.

3 MATERIAL IN METODE

Za eksperimentalni del smo izbrali štiri hlode in iz njih izdelali furnir. Hlode smo označili in jih spremljali skozi celoten tehnološki proces: prizmiranje, rezanje, sušenje in sortiranje. Del furnirja smo sušili pri dveh različnih temperaturah. Spremljali smo delež valovitega furnirja glede na napako hloda in položaj v hlodu. Furnir smo sortirali po kriteriju valovitosti vizualno. Preučili smo tudi možnost avtomatskega merjenja valovitosti furnirja. Valovit furnir smo posneli s 3D kamero in podatke o valovitosti prikazali v 3D grafih.

3.1 POSKUSNI MATERIAL

Poskusni furnir za analizo valovitega furnirja smo izdelali iz hlobovine, ki smo jo izbrali na podlagi vidnih napak. Izbrali smo štiri poskusne hlode, tri z vidnimi napakami kot so prisotnost rdečega srca, ukrivljenost hloda, križno razpoke na čelu. Četrty hlod je bil brez izrazitih napak - »gladek« raven hlod in je služil kot referenčni hlod. Hlode so skozi proizvodnjo spremljali evidenčni list z evidenčno številko in ostalimi podatki. Poskusna hlobovina je bila prizmirana po najpogostejšem načinu prizmiranja (slika 5) pri katerem dobimo pri rezanju najprej tangencialno teksturo oziroma »bočnico«, nato pa po razpolavljanju prizme še radialno teksturo oziroma »črto«.

3.1.1 Značilnosti poskusne hlobovine

Hlod številka 363962/1 je imel srednji premer 50 cm in dolžino 2,6 m. Hlod je imel čelne križne razpoke. Prizmirali smo ga po razpokah, približno na četrtine (slika 22). Hlod, poleg evidenčne številke (zadnje tri številke), v nadaljevanju spremlja tudi črka X, ki označuje križno razpoko.



Slika 22: Križno spokan hlod

Hlod številka 359990/2 je imel premer 45 cm in je bil dolg 2,7 m. Bil je ukrivljen in prizmiran na dve polovici (slika 23 in slika 24). V nadaljevanju je označen s črko U.



Slika 23: Ukrivljen hlod



Slika 24: Prizmiran ukrivljen hlod

Hlod številka 363040/1 s srednjim premerom 54 cm je imel dolžino 2,9 m. Prizmiran je na dve polovici. Ima lepo vidno rdeče srce, zato je v nadaljevanju označen tudi s črkami RS (slika 25 in slika 26).



Slika 25: Hlod RS



Slika 26: Prizmiran hlod RS

Hlod številka 363049/1 je imel srednji premer 56 cm in dolžino 3 m. Izbran je bil kot primer hloda brez napak oziroma z neizrazitimi napakami, in je služil kot referenčni hlod. Prirastek ali letnice so bile enakomerne, široke približno 3 mm. V nadaljevanju je označen tudi s črko G kot »gladek« hlod. Tako se namreč tak hlod označuje v podjetju (slika 27).



Slika 27: Prizmiran gladek hlod

3.2 POTEK SPREMLJANJA

Spremljanje smo začeli pri vizualni oceni hloda pred prizmiranjem, nato je sledilo prizmiranje, zatem pa smo hlodovino spremljali pri rezanju furnirja in sušenju.

3.2.1 Prizmiranje

Pred prizmiranjem smo hlode najprej vizualno ocenili. Na osnovi pregleda oboda in čel hloda smo ugotovili prisotnost in vrsto napak. Le-te so vplivale na način prizmiranja, kot je že opisano v zgornjih poglavjih. Seveda na prizmiranje vpliva tudi željena tekstura oziroma »slika« furnirja (črta, bočnica). Ker je valovitost furnirja v največji meri in najbolj vidna na širokih furnirskih listih tangencialne teksture, smo hlode prizmirali na polovice. Izjema je bil hlod, ki je bil križno razpokan in se je prizmiranje oziroma rezanje prizme vršilo po razpoki.

3.2.2 Rezanja furnirja

Po hidrotermični obdelavi (slika 28) in čiščenju prizem smo izdelali furnir na vertikalnem furnirskem rezalnem stroju. Upravljevec stroja hlod sprejme skupaj z njegovim evidenčnim listom, na katerega vpisuje podatke (slika 29). Za proizvodnjo kakovostnega furnirja je pomembno rezati furnir v času, ko ima prizma še ustrezno vlažnost in temperaturo, zato hlode sproti potegnejo iz parilne jame, očistijo in režejo. Če mora pripravljen hlod oziroma prizma dlje čakati na rezanje, ga pokrijejo s plastificiranim platnom.



Slika 28: Parjenje hlodovine



Slika 29: Vpetje polovice hloda v vertikalni furnirski rezalni stroj

Vpenjanje prizme v vertikalni furnirski rezalni stroj se vrši s pomočjo hidravličnih cilindrov. Ko je vpenjanje končano, sledi rezanje. Prvih nekaj rezov oziroma prvi listi furnirja gredo v izmet zaradi poravnave prizme. V našem poizkusu smo vršili štiri reze iz

hloda, po dva na vsako prizmo. Prvi rez je potekal nekje do polovice prizme, nato se je preostanek prizme preparam na krožnem žagalnem stroju (slika 32). Prerezane polovice se je nato spet vpelo v stroj in nadaljevalo z rezanjem (slika 33). Furnirski listi nato potujejo po tračnih transporterjih do dveh delavcev, ki jih previdno zlagata (slika 30). Štetje furnirskih listov je avtomatsko. Po koncu rezanja se število furnirskih listov izdelanih iz prizme vpiše v evidenčni list hloda. Podatki o številu paketov furnirja so navedeni v prilogi B.



Slika 30: Zlaganje furnirja



Slika 31: Manipulacija prizme med izdelavo furnirja



Slika 32: Razžagovanje drugega dela prizme s krožnim žagalnim strojem



Slika 33: Prikaz vpete polovice prizme za drugi rez

V prilogah so tabele in podatki o številu furnirskih listov izrezanih iz posameznih hlodov.

3.2.3 Sušenje furnirja

Sušenja furnirja je potekalo v sušilnem kanalu znamke Babcock. Kanal ima sušilno komoro razdeljeno v dve coni. Temperatura sušenja se nastavlja za vsako cono posebej (T_1, T_2). Furnir smo sušili v prvi coni s temperaturo 120°C , v drugi coni pa s 135°C . Takšen temperaturni režim se običajno uporablja za sušenje bukovega furnirja debeline 0,55 mm. Vlažnost zraka je bila v prvi coni $100\text{ g H}_2\text{O/kg}$ zraka, v drugi pa $40\text{ g H}_2\text{O/kg}$ zraka, kar v praksi označujejo kot »normalna« klima.

Del poizkusnega furnirja smo v nadaljevanju sušili tudi pri nižji ($T_1 = 105^\circ\text{C}$, $T_2 = 120^\circ\text{C}$) in pa višji ($T_3 = 135^\circ\text{C}$, $T_4 = 150^\circ\text{C}$) temperaturi. Spremljali smo končna vlažnost furnirja, ki je znaša nekje med 8-12 %. Hitrost transportnega traku je bila konstantna in sicer 20 m/min (slika 34).



Slika 34: Parametri sušenja furnirja

Iz hloda U (slika 35) smo polovico furnirja posušili po normalni klimi, drugo polovico pa razdelili na dva dela. Del furnirja smo posušili pri 15° C višji temperaturi, drugega pa pri 15° C nižji temperaturi.



Slika 35: Furnir izdelan iz hloda U

Furnir smo po sušenju zlagali v pakete po 24 kosov (slika 36). Zlaganju sledi obrez, v primeru valovitosti (slika 37) pa likanje in potem obrez.



Slika 36: Paketi furnirja – rahlo valovit furnir



Slika 37: Zelo valovit furnir na transportnem traku na izhodu sušilnice

3.2.4 Sortiranje furnirja

Pakete furnirja smo vizualno ocenili in sortirali oziroma razvrstili na gladek furnir, ki gre na palete za obrez. in na valovit, kjer je pred obrezom potrebno opraviti še fazo likanja. Gladek furnir, ki ima sicer lahko prisoten majhen delež blage valovitosti (5-10 %) gre na obrez (slika 38). Furnir, pri kateremu se valovitost pojavlja okoli napak (grče, razpoke ter neprimerna obarvanost) in ki bodo v nadaljnjem postopku izrezane, gre tudi na obrez. Valovit furnir (slika 39) se po likanju ponovno razvršča in v kolikor je še vedno prisotna valovitost, se postopek likanja ponovi.

Likanje se vrši v stiskalnici z ogrevanima stiskalnima ploščama. Parametri likanja so:

- temperatura stiskalnih plošč 90° C,
- tlak stiskanja 200 barov,

- čas stiskanja 7 min.



Slika 38: Furnirski paketi na paleti za obrez



Slika 39: Paleta valovitega furnirja, ki gre na likanje



Slika 40: Prikaz ekstremno valovitega furnirja

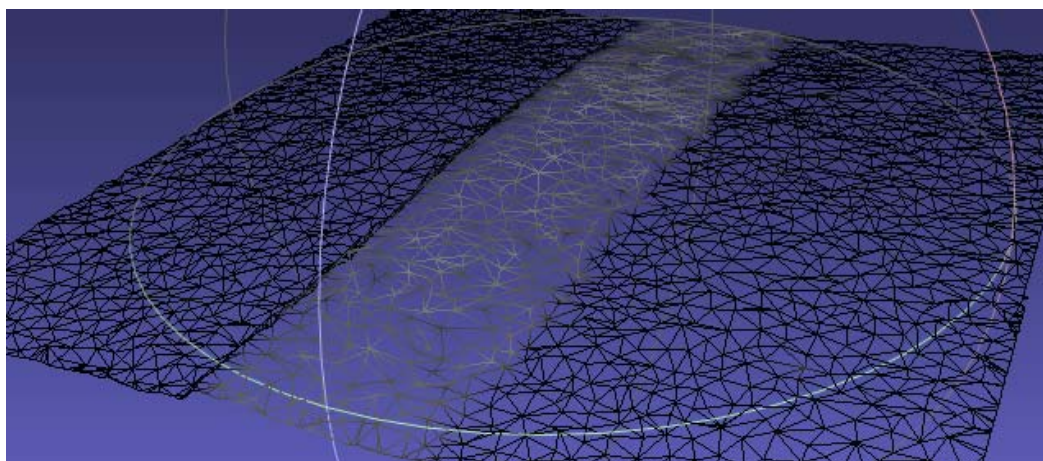
V primerih, ko je valovitost preveč izrazita in se ne da odpraviti tudi z večkratno ponovitvijo likanja, je potrebno napako obrezati. Na sliki 40 je lepo vidna valovitost, značilna za povečan skrček v longitudinalni smeri zaradi verjetne prisotnosti tenzijskega lesa na levi strani furnirja.

Za snemanje smo izbrali dva valovita furnirja, ki sta bila kvalificirana za likanje, in enega kvalificiranega za obrez (ravni furnir). Valovitost furnirja smo snemali s 3D kamero XBOX 360 Kinect (slika 41). Kamera deluje po konceptu stereovizualizacije.

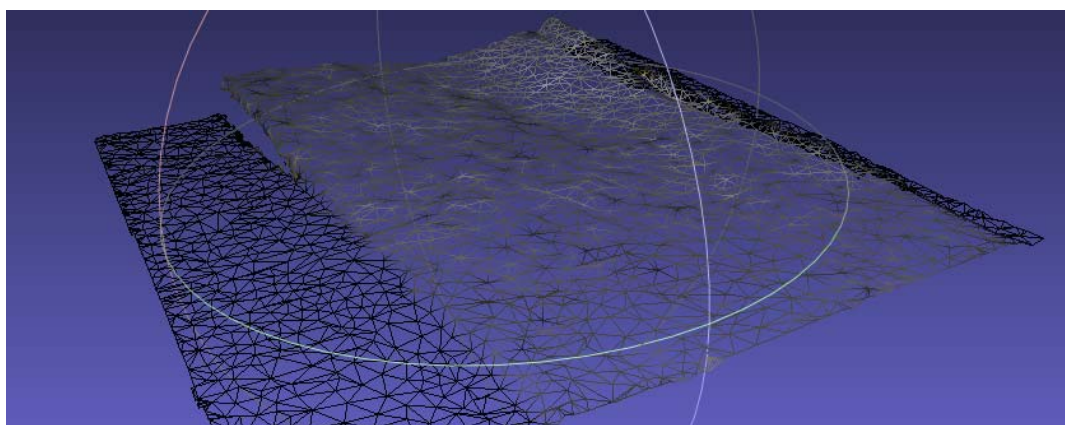


Slika 41: 3D kamera XBOX 360 Kinect (3D kamera,2015)

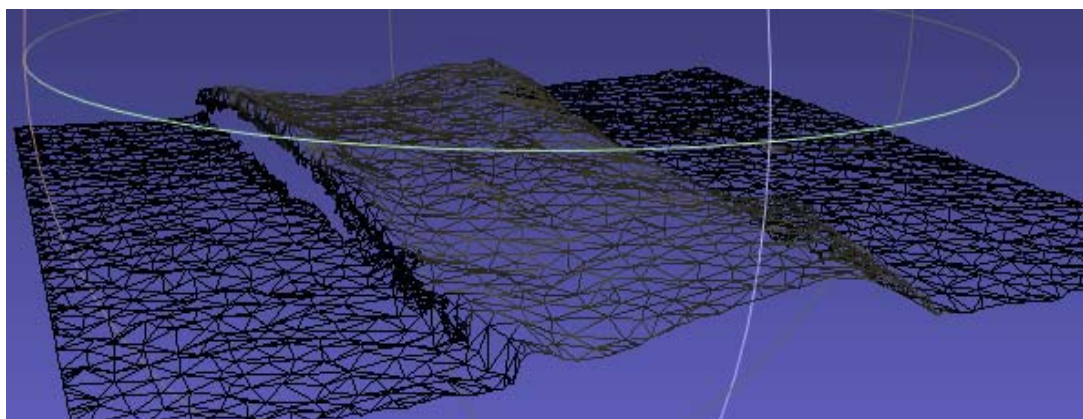
S kamero posnete slike furnirjev (.ply datoteka) smo s programom Meshlab (slika 42, slika 43 in slika 44) obrezali in jih shranili v datotečni obliki točkovnega zapisa (.xyz datoteka), katere smo izrisali v programi Diadem.



Slika 42: Slika ravnega furnirja (program Mashlab)



Slika 43: Slika srednje valovitega furnirja (program Mashlab)



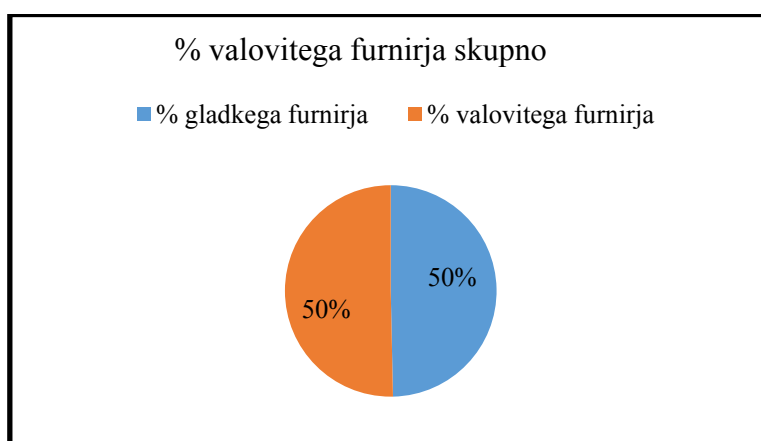
Slika 44: Slika močno valovitega furnirja (program Mashlab)

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Preučevali smo prisotnost valovitosti furnirja, izdelanega iz hlodov, ki so imeli različne napake (ukrivljenost, razpoke, rdeče srce) in iz hloda brez vidnih napak. Iz hlodov smo izdelali prizme, ki so nam omogočile rezanje furnirja s tangencialno teksturo. Po sušenju smo furnir vizualno sortirali glede na valovitost. S 3D skeniranjem smo prikazali možnost digitaliziranja podatkov valovitega furnirja in valovitost prikazali s 3D grafi.

4.1 DELEŽ VALOVITOSTI

Iz vseh poizkusnih hlodov smo izdelali furnir, ki je imel prisotno napako valovitosti. Rezultate razvrščanja furnirja glede na velikost valovitosti kažejo, da je kar 50 % furnirja imelo izrazito valovitost (slika 45), kar pomeni, da ga je bilo potrebno likati.



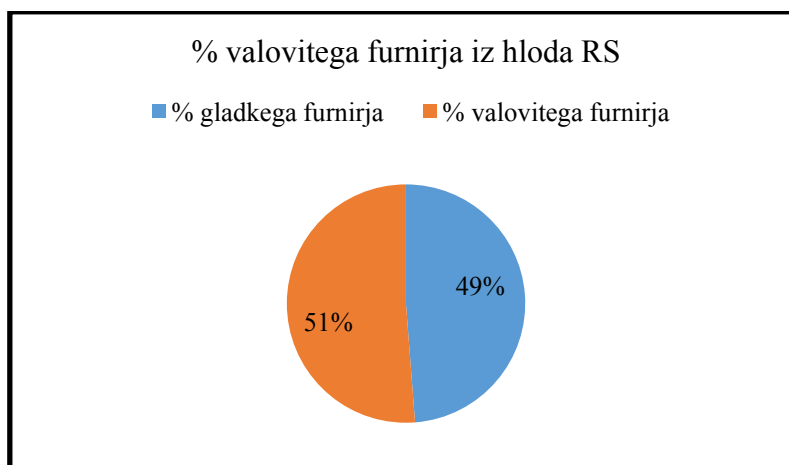
Slika 45: Povprečni delež valovitega furnirja, izrezanega iz poskusnih hlodov

4.1.1 Vpliv napake hloda na valovitost furnirja

Pri izbiri hlodovine smo bili pozorni na to, da ima hlod vidno napako. Tako smo izbrali hlod z prisotnim rdečim srcem označen RS, ukrivljen hlod označen s črko U, križno spokan hlod označen s črko X in hlod, ki ni imel vidne napake označen s črko G kot »gladek« hlod.

4.1.1.1 Delež valovitega furnirja iz hloda s prisotnim rdečim srcem

Furnir izdelan iz hloda s prisotnim rdečim srcem smo sušili z normalno klimo (temperatura v prvi coni sušilnice 120° C, temperatura v drugi coni sušilnice 135° C, končna vlažnost 8-12 %, hitrost mreže sušilnice 20 m/min). Pakete posušenega furnirja smo sortirali: valovitega za likanje in ravnega za obrez. Podatki sortiranja so v prilogi B.

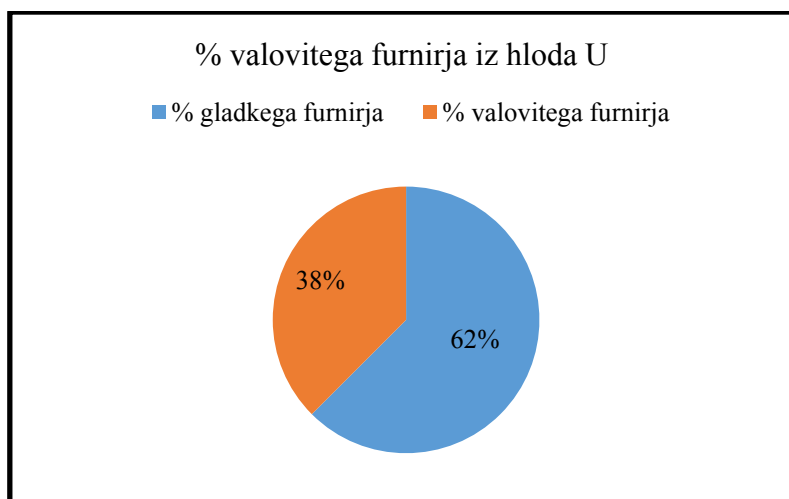


Slika 46: Delež valovitega furnirja v odstotkih pri hlodu z napako rdečega srca

Iz grafa na sliki 46 je razvidno, da je valovitega furnirja 51 %, kar pa ne odstopa od povprečja.

4.1.1.2 Delež valovitega furnirja iz ukrivljenega hloda

Furnir, izdelan iz ukrivljenega hloda, smo sušili z normalno klimo (temperatura v prvi coni sušilnice 120° C, temperatura v drugi coni sušilnice 135° C, končna vlažnost 8-12 %, hitrost pomika 20 m/min). Pakete posušenega furnirja smo sortirali: valovitega za likanje in ravnega za obrez. Podatki sortiranja so v prilogi B, skupni rezultate pa prikazuje slika 47.

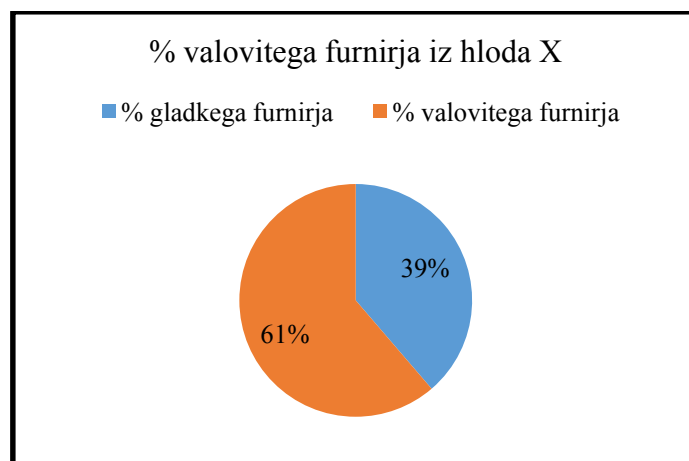


Slika 47: Delež valovitega furnirja v odstotkih pri hlodu z napako ukrivljenosti

Delež valovitega furnirja, ki je izdelan iz ukrivljenega hloda, je 38 %.

4.1.1.3 Delež valovitega furnirja iz križno razpokanega hloda

Furnir, izdelan iz razpokanega hloda, smo sušili z normalno klimo (temperatura v prvi coni sušilnice 120° C, temperatura v drugi coni sušilnice 135° C, končna vlažnost 8-12 %, hitrost pomika 20 m/min) . Pakete posušenega furnirja smo sortirali: valovitega za likanje in ravnega za obrez. Podatki sortiranja so v prilogi B, skupni rezultate pa prikazuje slika 48.

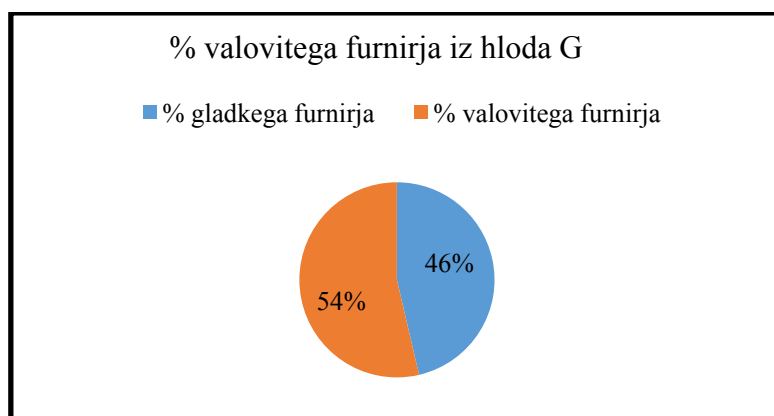


Slika 48: Delež valovitega furnirja v odstotkih pri hlodu z križno razpoko

Vidimo, da je valovitost prisotna kar pri 61 % furnirja, kar smo tudi pričakovali, saj ima tak hlood veliko notranjih napetosti.

4.1.1.4 Delež valovitega furnirja iz hloda, ki nima izrazitih napak.

Hlod brez vidnih napak smo izbrali kot referenčni hlood za primerjavo z ostalimi. Furnir, izdelan iz referenčnega hloda, smo sušili z normalno klimo (temperatura v prvi coni sušilnice 120° C, temperatura v drugi coni sušilnice 135° C, končna vlažnost 8-12 %, hitrost pomika 20 m/min).



Slika 49: Delež valovitega furnirja izdelanega iz hloda, ki ni imel vidne napake

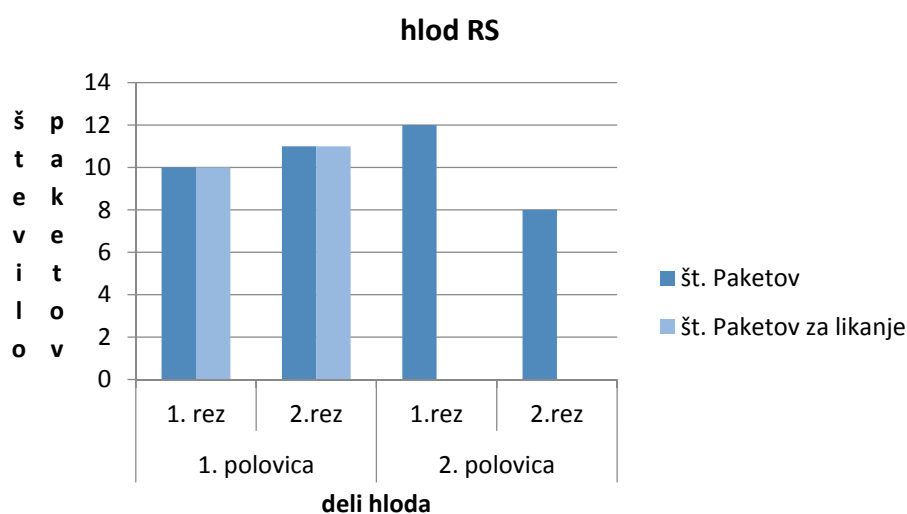
Iz grafa na sliki 49 je razvidno, da je tudi pri lepih hlodih brez napak prisotna valovitost furnirja, vendar v konkretnem primeru v nekoliko večjem obsegu. Ti rezultati kažejo, da je pojav valovitosti, ki je posebej problematična na tangencialni teksturi furnirja, odvisen tudi od drugih dejavnikov, ne le od značilnosti surovine. Valovitost je lahko tudi posledica neustreznih tehnoloških parametrov rezanja (postavitve noža in tlačne letve ter stopnje zgnetljivosti - poglavje 2.2.7), tako da bi bilo smiselno preučiti tudi te dejavnike.

4.2 LOKACIJA VALOVITEGA FURNIRJA V HLODU

Glede na ugotovitve, da je valovitost v večji ali manjši meri prisotna pri vseh furnirjih, izdelanih iz poizkusnih hlodov, smo želeli ugotoviti, ali lahko iz kakšnega dela hloda/prizme pričakujemo manjši oziroma večji delež valovitosti furnirja.

4.2.1 Lokacija valovitosti v hlodu z rdečim srcem

Hlod smo prizmirali na dve polovici. Pri rezanju furnirja se prizma v obliki polovice hloda reže nekje do polovice te prizme, kar se šteje pod 1. rez,. Zatem se prereže na pol, ta furnir pa se šteje pod 2. rez. Natančneje je to opisano v poglavju 3.2.2. Valovitost je prikazana kot število paketov furnirja, ki jih je potrebno zlikati. Rezultati so prikazani na sliki 50, natančne meritve pa v prilogi B.

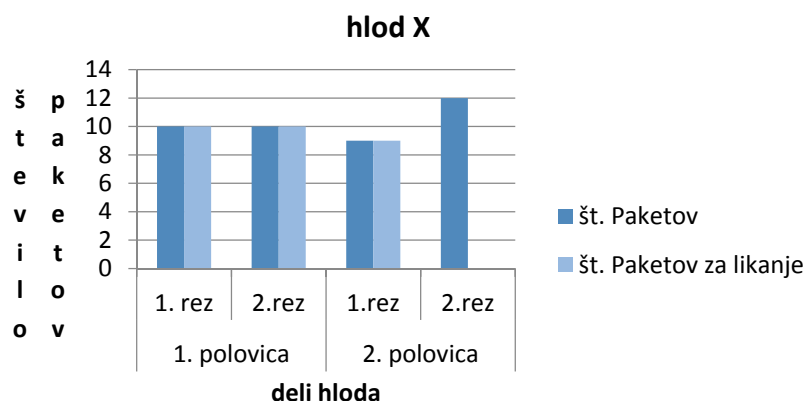


Slika 50: Število paketov furnirja za obrez in število paketov furnirja za likanje glede na del hloda z rdečim srcem

Iz slike 50 lahko razberemo, da je ves furnir iz prve polovice valovit. Pri 1. rezu je valovitega 10 paketov, pri 2. rezu pa 11 paketov. Iz druge polovice je ves furnir gladek (12 in 8 paketov). Iz tega lahko sklepamo, da je imela polovica (v našem primeru prva polovica) tega hloda veliko inkorporiranih rastnih napetosti, saj smo iz nje v celoti dobili valovit furnir.

4.2.2 Lokacija valovitosti v križno razpokanem hlodu

Križno razpokani hlod je imel največji delež valovitega furnirja (podatki v prilogi B).

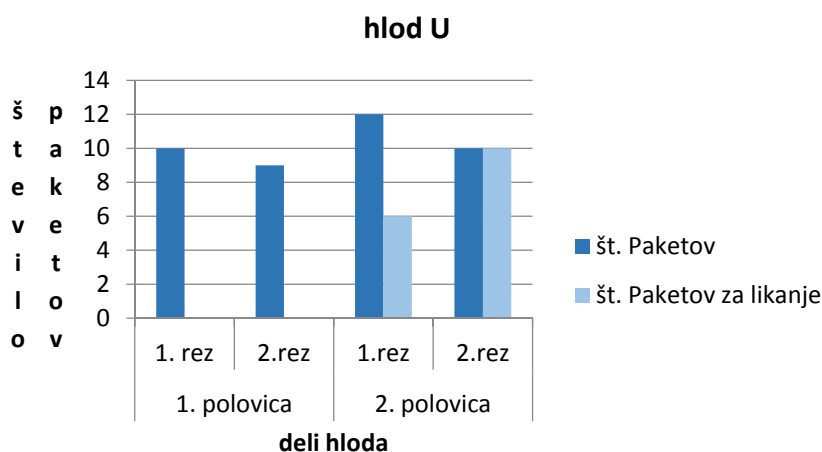


Slika 51: Število paketov furnirja in število paketov furnirja za likanje glede na del križno razpokanega hloda

Iz grafa (slika 51) lahko razberemo, da smo imeli v prvi polovici hloda pri 1. rezu 10 paketov, pri 2. rezu pa tudi 10 paketov. Furnir od obeh rezov je bil valovit. V drugi polovici smo v 1. rezu dobili devet paketov, kateri so bili sortirani za likanje, pri 2. rezu pa 12 paketov, katerih furnir je bil gladek. Iz tega lahko sklepamo, da lahko pri razpokanem hlodu predvidevamo večjo valovitost zaradi sproščanja inkorporiranih rastnih napetosti.

4.2.3 Lokacija valovitosti v ukrivljenem hlodu.

Pri ukrivljenem hlodu se valovitost furnirja pojavlja samo v eni polovici (podatki v prilogi B).



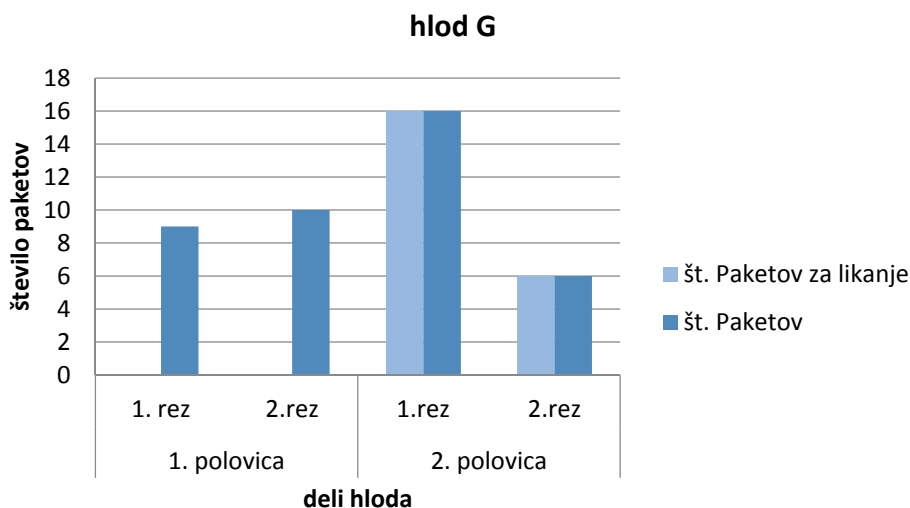
Slika 52: Število paketov furnirja dobljenih iz ukrivljenega hloda

Na sliki 52 je grafični prikaz števil paketov iz ukrivljenega hloda. V 1. polovici smo dobili 10 in 9 paketov ravnega furnirja. Druga polovica nam kaže veliko valovitega furnirja, v prvem rezu 6 paketov, v drugem pa 10.

Iz tega grafa sklepamo, da je valovitost prisotna v drugi polovici hloda, kar je razvidno iz števila paketov za likanje (svetlo modra stolpca). Tu lahko spet rečemo, da gre za napetosti v eni polovici hloda kar se kaže nato na furnirju.

4.2.4 Lokacija valovitosti v gladkem hlodu

Pri rezanju gladekega hloda brez napak smo pričakovali, da bomo dobili kakovostni furnir brez napak, vendar so naše ugotovitve drugačne (podatki v prilogi B).



Slika 53: Število paketov iz gladkega hloda

Kot je razvidno iz grafa na sliki 53 so v drugi polovici vsi paketi z valovitim furnirjem. Dejstvo, da je ena polovica hloda izrazito boljša od druge, nas preseneča. Predvidevamo lahko, da je tudi ta hlood imel inkorporirane rastne napetosti, ki pa smo jih z krojenjem oziroma izdelavo prizme zajeli v eno polovico.

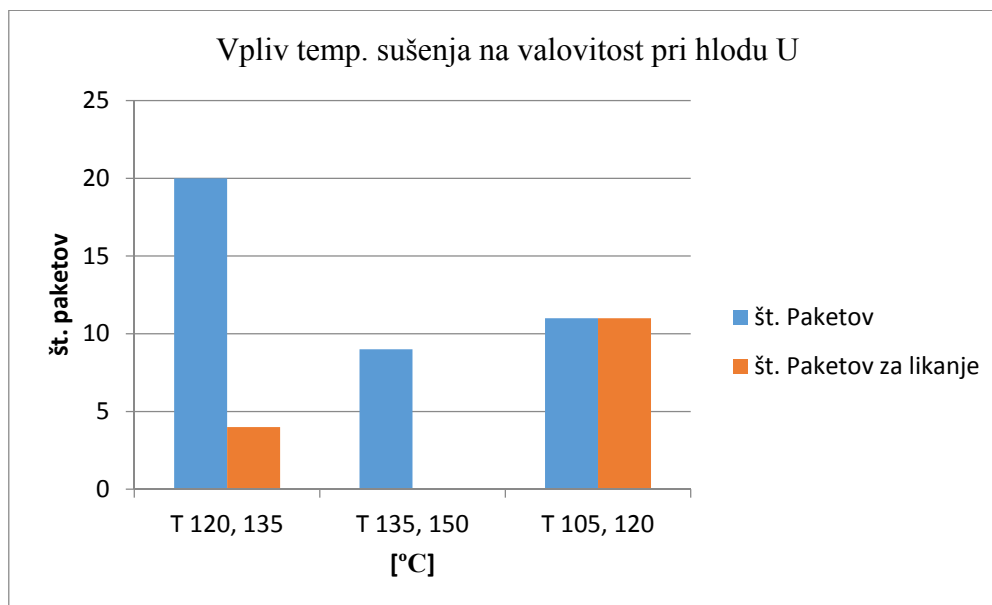
4.3 VPLIV SPREMEMBE TEMPERATURE SUŠENJA NA VALOVITOST FURNIRJA

4.3.1 Vpliv različnih temperatur sušenja na hlodu U

Furnir, izdelan iz hloda U, smo, kot je opisano v poglavju 3.2.3, sušili pri treh različnih temperaturah (podatki v prilogi B).

Iz grafa na sliki 54 je razvidno, da je pri najvišji temperaturi sušenja (135° C, 150° C) furnir gladek, pri nižji temperaturi je od 20 paketov valovitih 4. Na najnižji temperaturi so vsi furnirji morali na likanje. Pri višji temperaturi v drugi coni komore, kjer se vrši tudi

likanje furnirja, je zaradi višje temperature možno, da je prišlo do plastifikacije lesa in s tem tudi do ravnega furnirja po sušenju.



Slika 54: Grafični prikaz števila paketov furnirja sušenega pri različnih temperaturah

V preglednici 1 so podatki o številu paketov, dobljenih od vsakega hloda, številu paketov valovitega furnirja in delež valovitosti v odstotkih. Pri spremembi temperature sušenja pa je rezultat podan v odstotkih valovitosti.

Preglednica 1: Skupni podatki od vseh poskusnih hlodov

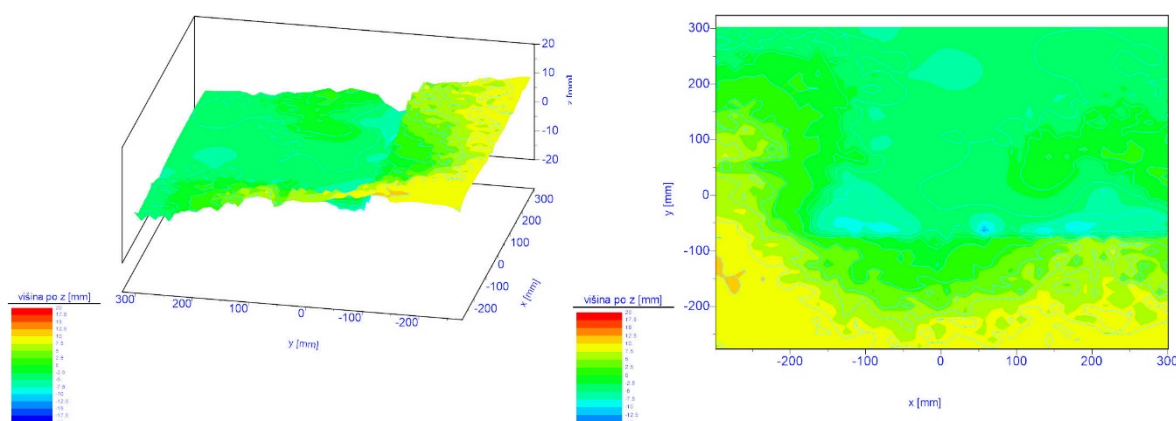
Oznaka hloda	Napaka na hlodu	Število paketov	Število paketov za likanje	Delež [%] valovitosti	Delež [%] valovitosti pri nižji temperaturi	Delež [%] pri višji temperaturi
RS	rdeče srce	41	20	51		
X	razpoke	31	29	61		
U	ukrivljenost	41	16	38	100	0
G	brez napak	41	22	54		

4.4 GRAFIČNI PRIKAZ VALOVITOSTI S 3D SKENIRANJEM

Za grafični prikaz 3D meritev je bilo s 3D kamero potrebno posneti valovit furnir in 3D sliko izvoziti iz programa ter konvertirati datoteko za pridobitev 3D točk x,y,z koordinat. S tem ni bil naš namen klasificiranje oziroma sortiranje furnirja, ampak preizkus uporabnosti kamere za spremljanje in ugotavljanje valovitosti.

4.4.1 Prikaz ravnega furnirja

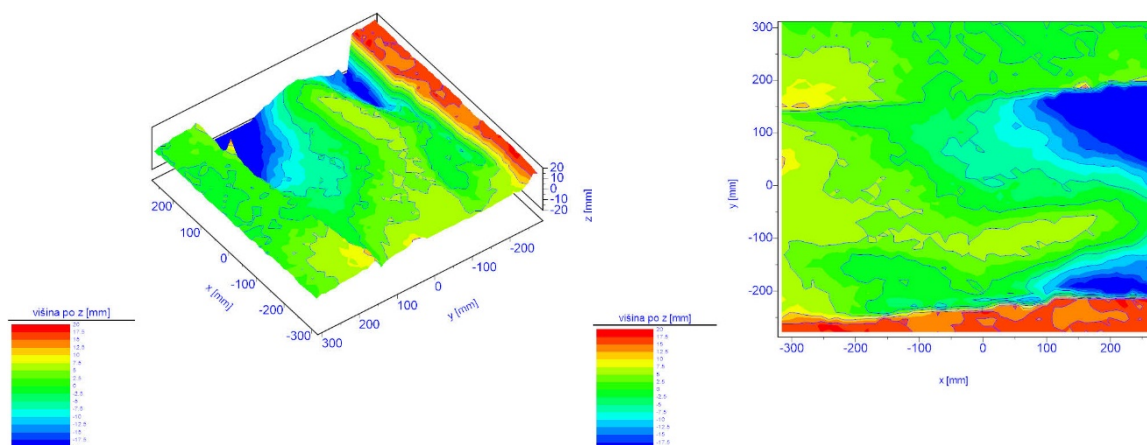
Na sliki 55 je prikazan 3D graf ravnega furnirja, kar vidimo tudi pri obarvanem reliefu. Tu se graf večinoma nahaja v rumenem in zelenem območju. Odstopanje višin po z osi je 10 mm (-5 do +5 mm). To je iztočnica za merjenje valovitosti v naslednjih primerih.



Slika 55: 3D grafični prikaz ravnega furnirja

4.4.2 Prikaz srednje valovitega furnirja

Slika 56 prikazuje 3D graf valovitega furnirja, ki je bil po vizualni oceni nekje srednje valovit. Iz barvnega reliefa je lepo razvidno odstopanje po z osi. Rdeča barva prikazuje odstopanje nad 20 mm v pozitivno smer. Lepo vidna tudi temno modra barva, kar pomeni odstopanje po globini nad 20 mm v negativni smeri.

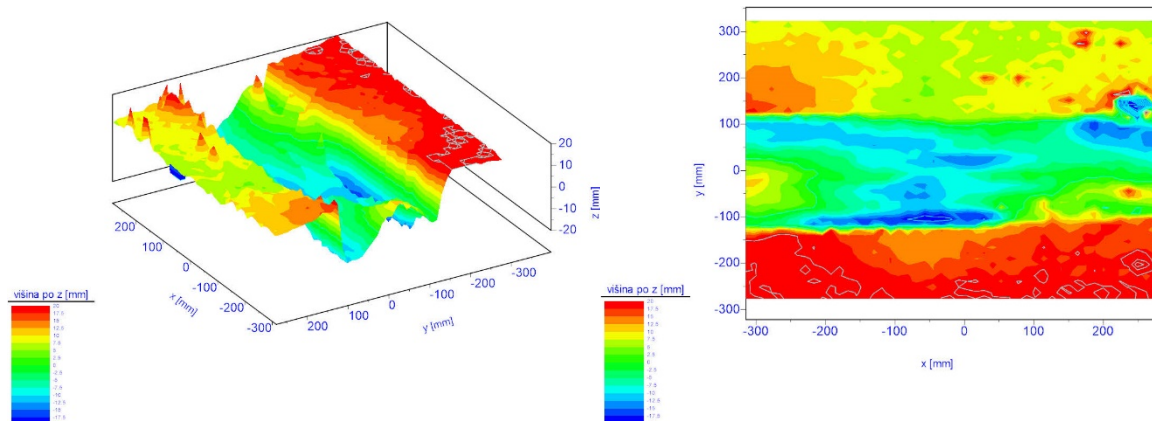


Slika 56: 3D grafični prikaz srednje valovitega furnirja

4.4.3 Prikaz močno valovitega furnirja

Iz slike 57 je razviden velik delež rdečega in nekaj temno modrega obarvanega polja, kar pomeni, da je odstopanje od ravnine več kot 20 mm v pozitivno in negativno smer. V

barvnem tlorisu različnih višin oziroma globin prikazan graf posnetega furnirja lahko zaradi variiranja barv hitro sklepamo, da gre za valovitost.



Slika 57: 3D grafični prikaz močno valovitega furnirja

5 SKLEPI

Valovitost furnirja je napaka, ki znižuje vrednost furnirja in v proizvodnji furnirja zahteva dodatno fazo likanja. Problem valovitosti je prisoten zlasti pri proizvodnji rezanega bukovega furnirja. Pojavnost valovitosti je odvisna tako od same surovine in njenih lastnosti, kot tudi od tehnoloških parametrov pri proizvodnji furnirja. V nalogi smo želeli preučiti nekatere značilnosti surovine in tehnološke parametre, ki lahko vplivajo na valovitost. Ker se v proizvodnji valovitost furnirja praviloma določa samo na vizualni oceni, smo preučili tudi možnosti uporabe 3D kamere za avtomatizirano spremljanje valovitosti furnirja.

Vpliv surovine smo preučevali pri hlodih, ki so imeli tri najpogostejše napake in sicer ukrivljenost, križno razpoko in prisotnost rdečega srca. Kot referenčni hlood smo izbrali hlood brez vidnih napak. Iz hloodov smo naredili prizme in po hidrotermični obdelavi izdelali furnir. Temu je sledilo sušenje in sortiranje furnirja po kriteriju valovitosti.

Ugotovili smo, da se je valovitost pojavila na tangencialni teksturi furnirja, izdelanega iz vsakega hlooda, ne glede na prisotne napake hlooda. Izmerili pa smo odstopanja glede na prisotno napako. Prišli smo tudi do sledečih ugotovitev:

- Valovitost je v povprečju prisotna v obsegu 50 % v vsakem hloodu.
- Prisotnost rdečega srca ne povečuje deleža valovitosti furnirja.
- Ukrivljeni hlood je imel samo 38 % valovitega furnirja. Tu smo pričakovali večji odstotek, saj pri za ukrivljenem hloodu lahko pričakujemo veliko notranjih napetosti. Relativno majhne delež valovitega furnirja lahko obrazložimo s tem, da smo, očitno z ustrezno pripravo prizme, te napetosti nevtralizirali kar v največji možni meri.
- Pri križno razpokanim hloodu se delež valovitega furnirja poveča zaradi velikih napetosti in s tem tudi velikim delovanjem in krčenjem lesa.
- Hlood brez vidnih napak oziroma referenčni hlood je imel relativno velik delež valovitega furnirja. Valovitost je bila izrazito velika pri eni polovici hlooda..
- Furnir, ki je izdelan iz hlood s križno razpoko je bolj valovit.

Vsak hlood smo prizmirali na dve prizmi. Pri spremljanju in analizi lokacije prisotnosti valovitega furnirja smo ugotovili, da se valovitost izraziteje ali v celoti pojavljala v eni polovici hlooda oziroma prizmi, v drugi pa se valovitost pojavlja manj ali pa se sploh ne pojavlja. S predvidevanjem in ustreznim obračanjem hlooda bi lahko iz polovice hlooda, kjer se predvideva večji delež valovitega furnirja, izdelali prizme za rezanje furnirja z radialno teksturo. Pri radialnem furnirju valovitost ni problematična.

Analizirali smo tudi vpliv temperature sušenja na pojav valovitosti. Pričakovali bi, da bo furnir, ki je sušen pri nižji temperaturi (v prvi coni 105°C, v drugi coni 120 °C) in posledično z milejšo klimo sušenja, manj valovit, vendar se ni izkazalo tako. Graf kaže ravno obratno sliko: pri višji temperaturi (v prvi coni 135°C, v drugi coni 150 °C) sušenja je bil delež valovitega furnirja nizek oziroma valovitega furnirja ni bilo (slika 54). Predvidevamo, da višja temperatura sušenja naredi furnir bolj plastičen, kar se odraža predvsem v zadnji fazi sušenja, ki ima vključeno tudi fazo likanja. Trditve ne moremo posplošiti, ker je bila količina furnirja premajhna.

Valovitost furnirja se v preučevani proizvodnji trenutno spremlja vizualno na subjektivni oceni. Preučili smo možnost avtomatiziranega merjenja in spremljanja valovitosti s 3D kamero. Posneli smo površine gladkega, srednje valovitega in valovitega furnirja ter valovitost grafično prikazali. Ugotovili smo, da je predlagan način spremljanja valovitosti možen in da omogoča tudi kvantitativno sortiranje valovitosti glede na dane zahteve in s tem tudi možnost avtomatizacije proizvodnje linije med sušilnico in likalnico.

Seveda je pri tem ključnega pomena zmogljivost 3D kamere in opreme. S snemanjem s 3D kamero se pojavi problem po zahtevah visoke resolucije in velikih dimenzij posnetka (furnir dolžine npr. 4 m) ter sodobne računalniške opreme. Ker naša kamera tega ni omogočala, smo posneli izsek iz furnirskega lista. Iz posnetka smo dobili podatke s katerimi smo lahko izdelali grafe in kvalificirali valovitost furnirja. To se nam zdi smiselno pri avtomatizaciji linije in sortiranja furnirskih paketov.

S kamero boljše ločljivosti bi dobili boljše in natančnejše rezultate, vendar smo kljub vsemu dosegli zastavljen cilj. Izbrani način omogoča avtomatizacijo sortiranja furnirja po kriteriju valovitosti. Z ustrezno zmogljivo kamero in izbrano računalniško opremo bi bilo omogočeno tudi sortiranje po drugih kriterijih, npr. po barvah ali po prisotnostih grč in razpok.

6 POVZETEK

Pri izdelavi bukovega furnirja se pojavlja napaka na furnirju, ki daje zgled valov in zgubanosti površine furnirja. Tej napaki rečemo valovitost furnirja, ki za proizvajalca pomeni nižjo kakovost in posledično nižjo ceno. Tak furnir se sortira posebej in potrebuje dodatno fazo proizvodnje – fazo likanja. Sortiranje furnirja poteka ročno in na osnovi vizualne ocene.

Cilji naloge so, da se s spremljanjem nekaterih parametrov tehnološkega postopka proizvodnje furnirja ugotovi vpliv nekaterih dejavnikov na valovitost. Pri tem smo se omejili na preučevanje vpliva kakovosti surovine in pogojev (temperature) sušenja furnirja. Za poskus smo izbrali štiri hlode. Trije hlodi so imeli vidno napako: prisotnost rdečega srca, ukrivljenost in čelne razpoke. En hloed – referenčni, je bil brez vidnih napak.

Pri prizmiranju hloedovine poznamo različne načine, vendar smo izbrali oblike prizem, pri katerih dobimo tangencialno teksturo furnirja, na kateri je napaka valovitosti najbolj očitna.

Sušenje furnirjev je poteklo pri temperaturi 120° C v prvi coni sušilnice in 135° C v drugi. Za sušenje furnirja, izdelanega iz krivega hloda, smo variirali temperaturo sušenja in furnir sušili pri 135° C, 150° C in na 105° C, 120° C. Skušali smo preučiti vpliv temperature sušenja na pojav valovitosti.

Valovitost smo ocenjevali po uveljavljeni metodologiji podjetja. Furnirski paketi vsakega hloda smo sortirali za likanje (valoviti furnirji) ali za obrez (ravni furnirji). Analizirali smo podatke in nato grafično prikazali prisotnost valovitosti furnirja v posameznem hlodu glede na napako hloda ter na mesto furnirja v hlodu. Ker sortiranje poteka samo vizualno in je velikost oziroma stopnja valovitosti prepuščena individualni, subjektivni oceni ocenjevalca, smo želeli ugotoviti, ali lahko sortiranje furnirja po kriteriju valovitosti avtomatiziramo oziroma digitaliziramo. Površino ravnega, rahlo valovitega furnirja smo posneli s 3D kamero in analizirali dobljene podatke oziroma slike.

Ugotovitve so naslednje:

- Valovit furnir izdelan iz poizkusnih hloedov je imel prisotnost valovitosti v povprečju 50 %.
- Glede na napake hloda je imel razpokan hloed kar 61 % delež valovitosti, kar pomeni, da zaradi razpok lahko pričakujemo povečano valovitost furnirja.
- Valovitost furnirja se v večji meri vedno pojavlja v eni polovici hloda.
- Povišana temperatura sušenja je pri sušenju furnirja pokazala dober rezultat, vendar je bil vzorec premajhen, da bi lahko zatrdili, da bi posplošili to trditev.
- Uporabljena metoda vizualizacije in avtomatizacije merjenja valovitosti je uporabna.
- S 3D grafi lahko prikažemo in ovrednotimo profil površine.
- Uporabljena metoda s tehničnimi posodobitvami ima možnost aplikacije v proizvodnji, saj se lahko integrira v proizvodni proces in omogoča merjenje valovitosti furnirja v pretoku.
- Z integrirano optično kamero je tudi možnost aplikacije zaznavanja diskoloriranega lesa, grč, razpok.

7 VIRI

- Babcock. 2004. Tehnična dokumentacija sušilnice; Javor furnir d.o.o.
- Česnik S. 2010. »Priprava hlodov za prizmiranje«. Prestranek, Javor furnir d.o.o. (osebni vir, maj 2010)
- Čufar K. 2001. Opisi lesnih vrst. Študijsko gradivo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 54 str.
- Čufar K. 2002. Anatomija lesa. Študijsko gradivo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta. Oddelek za lesarstvo: 123 str.
- Gorišek Ž., Geršak M., Čop T., Velušček V., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba: 235 str.
- Kollmann F., Cote W. 1968. Principles of Wood Science and Technology, Part I. Solid Wood. Berlin, Springer - Verlag: 592 str.
- Kollmann F., Edward W. Kvenzi, Alfred J. Stamm. 1975. Principles of Wood Science and Technology, Part II. Wood based Materials. Berlin, Heidelberg, New York, Springer - Verlag: 703 str.
- Krpan J 1965. Sušenje i parjenje drva. Zagreb, Institut za drvena industrijska istraživanja. Zagreb: 237 str.
- Lutz J. F. 1970. Bucle in veneer. U.S.D.A Forest service, Research note, FPL-0207, 12 str.
- Mešić N. 1998. Furniri, furnirske i stolarske ploče. Sarajevo, Grafika Šaran: 387 str.
- Mlakar J. 1985. Dendrologija. Drevesa in grmi Slovenije. Ljubljana, Tehniška založba. 164 str.
- Nikolić Mihailo S. 1988. Furniri i slojevite ploče, Beograd, Građevinska knjiga: 414 str.
- Peplinski R., Dudzinski J., Majka J. 2008. Effects of the initial moisture content variation of beech (*fagus sylvatica* l.) veneer on its waviness and the moisture content distribution after drying. Wood research, 53, 3: 99-110
- Yang D., Jakson M., Parkin R.M. 2006. Inspection of wood surface waviness defect using the light sectioning method. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part 1: Journal of Systems and Control Engineering, 220, 7: 617-626
- 3D kamera- slika, 2015. Spletna trgovina. <https://hidale.com/shop/dp-kinect>. (15.november 2015)

3D snemanje. 2013. National instruments, 3D Lab imaging with NI Labview,
(2.avgust.2013). <http://www.ni.com/white-paper/14103/en/> (15. november 2015)

ZAHVALA

Delo je bilo opravljeno na Katedri za mehansko obdelavo Biotehniške fakultete Oddelka za lesarstvo v Ljubljani.

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Dominiki Gornik Bučar in somentorju dr. Bojanu Gospodariču za nasvete, usmerjanje in pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se recenzentu prof. dr. Željku Gorišku za pregled diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi podjetju Javor furnir d.o.o, kjer so mi omogočili izvedbo eksperimentalnega dela diplomske naloge.

Zahvaljujem se gospodu Robertu Torniču s sodelavci za mentorstvo pri eksperimentalnem delu v podjetju Javor furnir d.o.o.

Zahvaljujem se gospodu Stanetu Česniku za intervju oziroma informacije o prizmiranju in rezanju furnirja.

Hvala vsem, ki ste mi kakorkoli pomagali pri izdelavi diplomske naloge.

PRILOGE

Priloga A: Slikovno gradivo spremljanja proizvodne izdelave furnirja



Slika 1: Na izhodnem transportnem traku lepo viden valovit furnir v paketih



Slika 2: Furnir pripravljen za likanje na začetku linije za likanje



Slika 3: Pogled na vhod stiskalnice kjer se vrši likanje valovitega furnirja



Slika 4: Pogled na izhodni del stiskalnice oziroma likalnice valovitega furnirja



Slika 5: Zlikan furnir na paletnem zložaju, ki čaka na obrez ali skladiščenje



Slika 6: Vidna razlika med ravnim (levo) in valovitim furnirjem (desno)

Priloga B: Zbrani podatki eksperimentalnega dela

Preglednica 1: Zbrani podatki in parametri pri hlodu z rdečim srcem (T – temperatura v ° C, vlažnost v g vode/kg zraka)

hlod		Nastavljena T [° C]		Dejanska T [° C]		Vlažnost zraka [g vode/kg zraka]		Pod. hitrost [m/min]	Št. paketov	Št. pak.za likanje
040/1 (RS)		cona1	cona2	cona1	cona2	cona1	cona2			
1. pol.	1. rez	120	135	121	134	198	40	20.7	10	10
	2.rez	120	135	120	134	233	70	20.7	11	11
2. pol.	1.rez	120	135	121	133	198	40	20.7	12	0
	2.rez	120	135	121	134	233	70	20.7	8	0

Preglednica 2: Zbrani podatki in parametri pri ukrivljenem hlodu (T – temperatura v ° C, vlažnost v g vode/kg zraka)

Hlod		Nastavljena T [° C]		Dejanska T [° C]		Vlažnost zraka [g vode/kg zraka]		Pod. hitrost [m/min]	Št. paketov	Št. pak.za likanje
990/2 (U)		cona1	cona2	cona1	cona2	cona1	cona2			
1. pol.	1. rez	120	135	121	134	235	75	18	5	0
	2.rez	120	135	120	134	235	75	18	5	0
2. pol.	1.rez	120	135	115	133	188	35	18	6	0
	2.rez	120	135	115	133	188	35	18	4	4

Preglednica 3: Zbrani podatki in parametri pri poskusnem furnirju iz ukrivljenega hloda pri povišani temperaturi sušenja

spremenjena temp. [° C]		135, 150								
Hlod 990/2 (U)		Nastavljena T [° C]		Dejanska T [° C]		Vlažnost zraka [g vode/kg zraka]		Pod. hitrost [m/min]	Št. paketov	Št. pak.za likanje
		cona1	cona2	cona1	cona2	cona1	cona2			
1. pol.	1. rez	135	150	143	150	235	66	22	5	0
	2.rez	135	150	140	150	235	66	24	4	0
2. pol.	1.rez									
	2.rez									

Preglednica 4: Zbrani podatki in parametri pri poskusnem furnirju iz ukrivljenega hloda pri znižani temperaturi sušenja

[illegible]

Preglednica 5: Zbrani podatki za križno spokan hlod pri izdelavi furnirja

Hlod 962/1 (X)		Nastavljena T [° C]		Dejanska T [° C]		Vlažnost zraka [g vode/kg zraka]		Pod. hitrost [m/min]	Št. paketov	Št. pak. likanje
		cona1	cona2	cona1	cona2	cona1	cona2			
1. pol.	1. rez	120	135	124	136	190	43	20	10	10
	2.rez	120	135	122	137	190	43	20	10	10
2. pol.	1.rez	120	135	121	135	190	43	20	9	9
	2.rez	120	135	122	136	190	43	20	12	0

Preglednica 6: Zbrani podatki za »gladek« hlod pri izdelavi furnirja

hlod 049/1 (G)		Nastavljena T [° C]		Dejanska T [° C]		Vlažnost zraka [g vode/kg zraka]		Pod. hitrost [m/min]	Št. paketov	Št. pak. likanje
		cona1	cona2	cona1	cona2	cona1	cona2			
1. pol.	1. rez	120	135	120	136	200	50	22	9	0
	2.rez	120	135	120	136	250	80	18.9	10	0
2. pol.	1.rez	120	135	120	136	223	71	24.4	16	16
	2.rez	120	135	120	136	223	71	22	6	6

Priloga C: Podatki za 3D grafe

Preglednica 1: Izsek podatkov za 3D graf ravnega furnirja. Zaradi preobsežnega števila podatkov lahko prikažem samo izsek. Prvi stolpec velja za X os, drugi za Z os in tretji Y os koordinatnega sistema

-203.354996	12.601100	-296.135010
-196.688004	11.639500	-296.128998
-190.535004	12.617300	-296.144989
-183.231003	12.456100	-288.024994
-183.908997	12.290500	-296.138000
-172.626999	12.715800	-291.039001
-174.951004	11.842000	-296.078003
-170.528000	13.664900	-296.131012
-162.360992	12.619200	-296.131989
-128.276001	12.140000	-296.250000
-231.216995	12.772600	-285.304993
-226.311996	12.947300	-289.398010
-218.067993	10.279400	-296.112000
-193.028000	10.906900	-280.882996
-147.167999	11.401000	-287.865997
-210.645996	13.069600	-277.436005
-177.151001	12.196500	-278.138000
-226.244003	10.392300	-277.463013
-154.641006	12.768700	-280.220001
-206.766006	12.563500	-273.100006
-187.492996	10.903300	-273.830994
-251.725006	11.487600	-273.704987
-231.953003	12.130400	-267.056000
-143.759003	12.089900	-269.578003
-245.281006	13.134300	-267.643005
-193.990997	13.668400	-270.686005
-240.218002	12.678200	-252.460999
-224.550995	13.640800	-259.695007
-217.371002	13.636100	-257.397003
-184.757004	12.030400	-256.553009
-252.673004	13.528800	-246.167999
-205.903000	10.778900	-251.143005
-174.382996	11.892600	-254.177002
-213.322006	12.912300	-247.182007
-231.061005	12.863600	-246.309998
-297.110992	12.434700	-242.233994
-286.441986	11.998300	-241.703003
-279.684998	13.521100	-244.781998
-243.406998	11.233800	-240.369003
-289.596985	13.409600	-230.766006
-260.585999	10.528600	-237.600998
-297.070007	11.209000	-231.141998
-230.158005	13.040500	-224.789001
-276.803986	14.000500	-224.565994
-242.494003	10.684400	-230.279999

Preglednica 2: Izsek podatkov za 3D graf 1. valovitega furnirja. Zaradi preobsežnega števila podatkov lahko prikažem samo izsek. Prvi stolpec velja za X os, drugi za Z os in tretji Y os koordinatnega sistema

251.673996	75.309799	-207.686005
247.834000	73.467903	-202.595993
252.598999	71.721298	-202.895996
253.132004	75.720596	-200.518005
255.570999	73.838600	-200.626999
255.565002	71.608101	-201.636993
253.220993	71.608101	-201.720993
255.003006	69.022202	-203.391006
253.143005	68.226799	-207.591995
253.220993	70.161201	-202.953003
253.709000	66.711700	-208.673996
255.445999	66.919502	-205.294998
255.565002	66.920502	-205.179001
255.365005	64.985199	-207.634995
255.994995	62.218800	-205.276993
258.661011	63.293598	-207.173996
259.371002	60.565300	-204.350006
257.908997	62.233002	-203.389008
250.912003	48.264900	-197.873993
253.167007	45.718399	-205.574997
253.238998	49.594200	-197.205002
255.565002	45.643501	-199.024002
247.356995	47.912701	-197.266006
247.505005	48.009602	-193.617996
253.222000	41.142101	-195.919998
255.561996	42.136902	-195.916000
248.636002	38.916801	-193.529007
253.362000	40.373699	-192.147003
248.016006	37.358398	-190.875000
248.011002	37.356998	-190.876007
249.787003	35.071701	-192.779999
253.365005	39.835201	-185.619003
253.238007	34.116100	-191.964996
252.541000	34.108101	-191.233994
248.485001	34.513802	-189.205002
244.356003	34.108101	-188.891006
250.929993	32.053101	-188.929993
250.878006	34.108101	-190.546005
240.253006	29.407700	-198.264999
239.158997	30.541100	-198.266006
236.809006	28.183201	-195.912003
239.158997	30.517799	-193.578003
236.815002	30.548500	-193.578003
239.160995	31.205799	-187.119003
244.876999	31.760000	-188.886993

Preglednica 3: Izsek podatkov za 3D graf 2. valovitega furnirja. Zaradi preobsežnega števila podatkov lahko prikažem samo izsek. Prvi stolpec velja za X os, drugi za Z os in tretji Y os koordinatnega sistema

243.434006	-29.819700	146.498001
250.171997	-31.821100	136.514999
226.399002	-30.300100	157.826004
206.957001	-29.662701	155.350006
215.244995	-32.283001	158.440002
210.516998	-34.785099	163.731995
204.873001	-33.013199	169.809998
190.395004	-29.650900	165.834000
163.395996	-30.052799	176.692001
171.095001	-32.899300	178.806000
177.307999	-33.401402	179.356003
195.457001	-35.679199	183.399002
208.942001	-34.973000	180.569000
222.776993	-36.074699	182.287994
235.464996	-36.866600	184.401993
234.580994	-28.602501	185.770996
261.031006	-28.625099	186.203003
264.799988	-28.594299	186.455994
273.990997	-35.776798	189.535004
279.829010	-28.598101	189.141998
282.880005	-28.593901	187.912003
282.691010	-32.983002	119.171997
282.869995	-33.139400	125.949997
282.878998	-33.743900	137.287994
259.231995	-32.839699	140.791000
268.541992	-32.588600	141.414001
244.000000	-35.099300	154.621002
256.195007	-35.348099	154.626999
265.828003	-34.851101	154.188995
231.901993	-34.811100	161.434006
223.014999	-35.282101	167.710999
251.072006	-35.720200	183.315002
282.932007	-34.648701	186.061005
274.921997	-36.209202	151.244995
282.872986	-36.193401	148.309006
258.251007	-35.516300	170.294006
188.311996	-35.435799	174.707001
282.903015	-35.998901	175.904999
246.126999	-37.177101	176.567001
268.437012	-36.533001	175.597000
262.628998	-37.876202	181.427994
282.806000	-38.952099	180.757996
272.929993	-37.763500	184.589005
282.872009	-39.600201	184.705002

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Dominik SREBOT

DEJAVNIKI VALOVITOSTI REZANEGA FURNIRJA

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2015