

## WAVINESS OF BEECH SLICED VENEER VALOVITOST BUKOVEGA REZANEGA FURNIRJA

Dominika GORNIK BUČAR<sup>1</sup>, Bojan GOSPODARIČ<sup>2</sup>

(1) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, dominika.gornik@bf.uni-lj.si

(2) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, bojan.gospodaric@bf.uni-lj.si

### ABSTRACT

In wood industry, decorative veneer is a product of high added value. Although the technological process of sliced veneer is well known, its quality and price depend on many technological parameters of production, particularly on the quality of logs. The research, which was focused on the influence of visual defects of beech (*Fagus sylvatica* L.) logs and the impact of climatic conditions in the drying phase of sliced veneer on the surface veneer waviness, was conducted in an industrial environment. The results indicate that the largest share of waved veneer was cut from cracked logs (71%) and less from curved logs (20%). The veneer was sorted manually by experienced controllers from this branch of industry. Their subjective criteria can affect the accuracy of classification of veneer and, consequently, the research results. Therefore, the possibility of using 3D camera for measuring veneer waviness and grading the veneer into quality classes was examined.

**Key words:** beech (*Fagus sylvatica* L.), sliced veneer, quality, drying, waviness, 3D measuring

### IZVLEČEK

V lesni industriji je plemeniti furnir izdelek z visoko dodano vrednostjo. Tehnološki proces izdelave je razmeroma dobro poznan, vendar na kakovost izdelanega furnirja in posledično ceno vpliva veliko tehnoloških parametrov izdelave, največji vpliv pa ima kakovost hlodovine. V raziskavi smo preučili vpliv optičnih napak bukove (*Fagus sylvatica* L.) hlodovine in vpliv klimatskih razmer v fazi sušenja rezanega furnirja na valovitost površine. Raziskava je bila opravljena v industrijskem okolju. Rezultati kažejo, da je bilo procentualno največ valovitega furnirja izrezanega iz razpokanega hloda (71 %), najmanj pa iz ukrivljenega hloda (20 %). Kakovostno razvrščanje furnirja je bilo ročno in po subjektivnem kriteriju izkušenih kontrolorjev iz industrije. Kljub njihovim izkušnjam pa lahko subjektivna ocena vpliva na natančnost razvrščanja in s tem na rezultate raziskave. Zato smo preučili tudi možnost integracije 3D kamere za merjenje valovitosti furnirja in razvrščanje furnirja v kakovostne razrede.

**Ključne besede:** bukev (*Fagus sylvatica* L.), rezani furnir, kakovost, sušenje, valovitost, 3D-meritve

GDK 832.281:851:176.1Fagus sylvatica L.(045)=163.6  
DOI 10.20315/ASetL.110.1

Prispelo / Received: 19.09.2016  
Sprejeto / Accepted: 28.10.2016

### 1 UVOD

#### 1 INTRODUCTION

V lesni industriji je plemeniti rezani furnir izdelek z visoko dodano vrednostjo. Tehnološki proces izdelave je razmeroma dobro poznan, vendar na kakovost izdelanega furnirja in posledično ceno furnirja vpliva mnogo dejavnikov. Za doseganje zelene kakovosti furnirja je poleg ustreznih tehnoloških parametrov v vsaki posamezni fazi izdelave furnirja ključna vhodna surovina oziroma furnirska hlodovina. Poleg natančnosti dimenzij in vizualnih značilnosti furnirja (tekstura, barvni odtenek, sijaj...) sta pomembna kriterija tudi gladkost površine in valovitost furnirja. Slednje je zelo moteče tudi v nadaljnji uporabi plemenitega furnirja.

Krojenje hlodovine in izdelava prizem, ki je prvi mehanski postopek izdelave rezanega furnirja, zahteva veliko izkušenj in znanja, saj je pomembno, da pri krojenju upoštevamo vse vidne napake in predvidimo tudi

skrite napake hlodovine. Sledi hidrotermična obdelava prizem t.i. parjenje, s katero dosežemo zeleno barvo furnirja, surovino zmečamo in ji povečamo plastičnost ter zagotovimo ustrezno temperaturo in vlažnost surovine, ki jo zahtevajo tehnološki parametri rezanja.

Tanritanir in sod. (2006) so preučevali vpliv trajanja parjenja bukove (*Fagus orientalis* L.) hlodovine pri izdelavi luščenega furnirja na hrapavost furnirja. Parametre hrapavosti  $R_a$ ,  $R_z$  in  $R_{max}$  so merili z industrijskim kontaktnim merilnikom. Rezultati meritev kažejo, da trajanje parjenja značilno ne vpliva na hrapavost furnirja, proizvedenega iz zunanjega dela hloda, medtem ko ima daljši čas parjenja značilen vpliv na hrapavost furnirja, izdelanega iz notranjega dela hloda. Najmanjšo hrapavost so izmerili pri furnirju, izdelanem iz hlodovine, ki se je parila 20 ur. Gungor in sod. (2010) so raziskali vpliv temperature in hitrost sušenja na hrapavost hrastovih (*Quercus* L.) lamel debeline 4,2 mm, ki

so bile izdelane po štirih različnih tehnološke postopkih. Lamele z začetno 30-odstotno vlažnostjo so sušili pri dveh temperaturah, in sicer 90 °C ter 130 °C do končne vlažnosti 10 %. Hrapavost so merili s kontaktnim merilnikom. Predvidevali so, da hitrost sušenja in temperatura sušenja lahko vplivala na hrapavost. Rezultati meritev so pokazali, da značilnih razlik v hrapavosti lamel ni bilo.

Po fazi rezanja furnirja na furnirskem rezalnem stroju sledi sušenje furnirskih listov, najpogosteje v pretočnem sušilnem kanalu, kjer furnirske liste posušimo na končno vlažnost med 8 % in 12 %. Klimatske razmere (temperatura, vlažnost in hitrost zraka) v sušilnem kanalu odločilno vplivajo na trajanje sušenja in pojavnost napak sušenja.

Thant in sod. (2009) so numerično modelirali proces sušenja. Numerične rezultate so preverili z eksperimentalnimi rezultati v sušilnem kanalu. Začetna vlažnost furnirskih listov je bila med 75 % in 85 %, končna vlažnost pa med 8 % in 12 %. Odklon eksperimentalnih in numeričnih rezultatov je bil manjši kot 10 %, zato so potrdili, da je model uporaben pri načrtovanju časa sušenja furnirja v sušilnem kanalu tudi v industriji. Pepinski in sod. (2008) so raziskali učinke različnih vlažnosti furnirja pred sušenjem na njegovo valovitost in vlažnost po sušenju. Valovitost so analizirali pred in po sušenju ter lokacijsko skozi presek hloda (na obođu, sredina, blizu središča luščenja). Ugotovili so, da je valovitost pri višji začetni vlažnosti, ki je bila zabeležena bliže obođu hloda (70 - 80 %), večja. Valovitost so podani kot odklone od ravnine pred in po sušenju (15 - 30 mm). V primerjavi s furnirjem, izdelanega blizu središča hloda z začetno vlažnostjo (60 - 65 %), pa je bila valovitost manjša (5 - 10 mm).

Po fazi sušenja sledi določanje kakovosti furnirja. Običajno gre za okularno oceno valovitosti in obarvanosti furnirskih listov. Postopek je navadno opravljen z vizualnim pregledom kontrolorja, ki glede na svoje izkušnje oceni kakovostni razred furnirskega lista. V želji, da preprečimo subjektivnost ocenjevanja oziroma napake pri vrednotenju, je smiselna uporaba strojnega vida.

V primeru valovitosti furnirskih listov le-te še dodatno (vroče ali hladno) stisnejo s t.i. likanjem, da fur-

nirske liste zravnavajo. To pomeni dodatno fazo v izdelavi, višje stroške in posledično manjšo dodano vrednost furnirja.

Optimalne parametre vročega stikanja v operaciji ravnanja furnirja (likanje) so Stainhagen in sod. (1995) določevali v laboratorijski raziskavi za evkaliptusov (*Eucalyptus globulus* L.) furnir debeline 0,5 mm. Raziskavo so opravili na 146 listih furnirja z vlažnostjo od 6 % do 87 %. Tlak stikanja so spreminjali v območju 200 kPa do 500 kPa; temperaturo od 80 °C do 200 °C s časom stikanja med 5 s in 40 s. Rezultati raziskave kažejo, da je temperatura najvplivnejši parameter v procesu. Zelo pomembna dejavnika pa sta tudi začetna valovitost in vlažnost furnirja.

Večina omenjenih raziskav je bila opravljena na luščenem furnirju, zato smo se odločili, da bomo raziskali vpliv kakovosti hlodovine na valovitost bukovega rezanega furnirja.

## 2 MATERIAL IN METODE

### 2 MATERIALS AND METHODS

Furnir smo izdelali iz furnirske bukove (*Fagus sylvatica* L.) hlodovine v industrijskih razmerah.

Bukovina je lesna vrsta z izrazito krčivno anizotropijo ( $q_T/q_R = 2,1$ ; Gorišek 2009). Na podlagi vidnih napak smo izbrali štiri furnirske hlode različne kakovosti (slika 1), ki so bili namenjeni redni proizvodnji, in sicer hlod brez napak, hlod z rdečim srcem, močno ukrivljen hlod in hlod, ki je imel križno razpoko na čelu. Geometrijske lastnosti izbrane hlodovine so prikazane v preglednici 1.

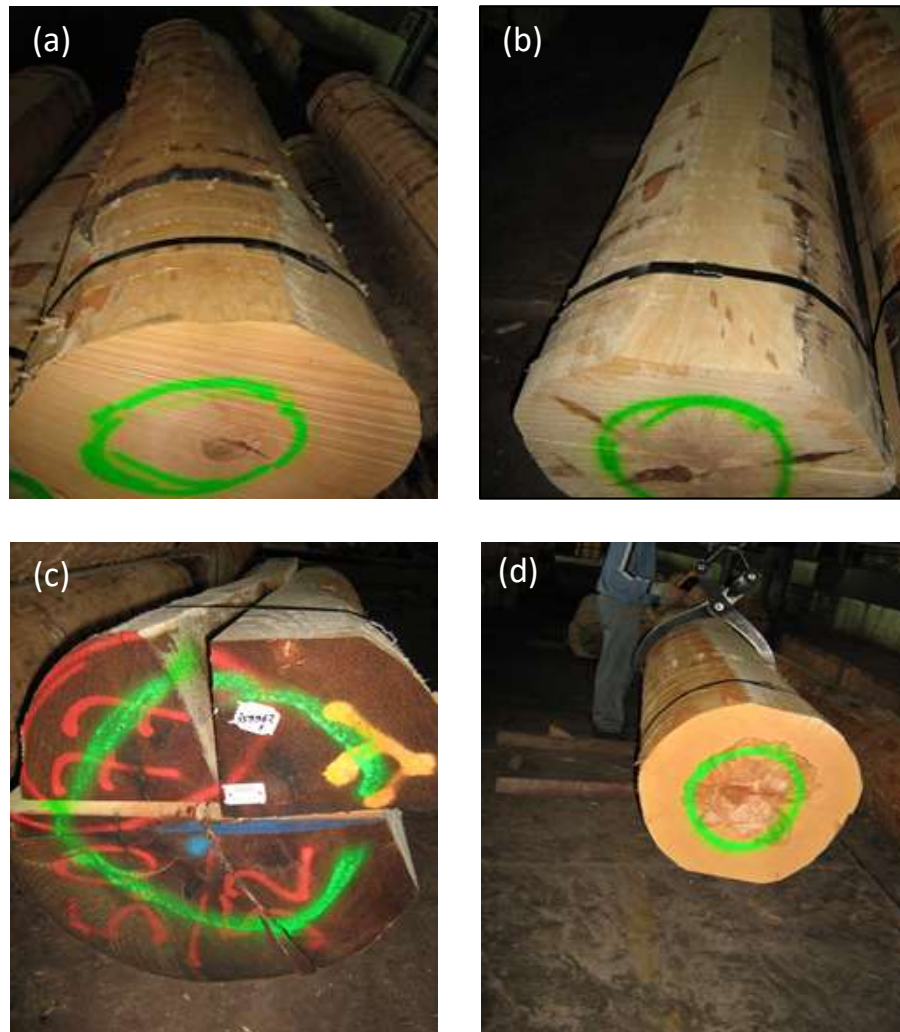
Pojavnost valovitosti furnirja je največja na širokih furnirskih listih tangencialne teksture, zato smo hlode prizirali na polovice, ki pa smo jih kasneje v procesu rezanja furnirja vzdolžno preplovali. Postopek priziranja je grafično prikazan na sliki 2. Izjema je bil hlod s križno razpoko (hlod X), ki smo ga prizirali po razpoki.

Sledilo je parjenje prizem in rezanje furnirja na vertikalnem furnirskem rezalnem stroju. Rezali smo furnir nominalne debeline 0,55 mm. Parametri rezanja se med prizirami niso spreminjali in niso bili posebej prilagojeni naši raziskavi.

**Preglednica 1:** Geometrijske lastnosti izbrane bukove hlodovine

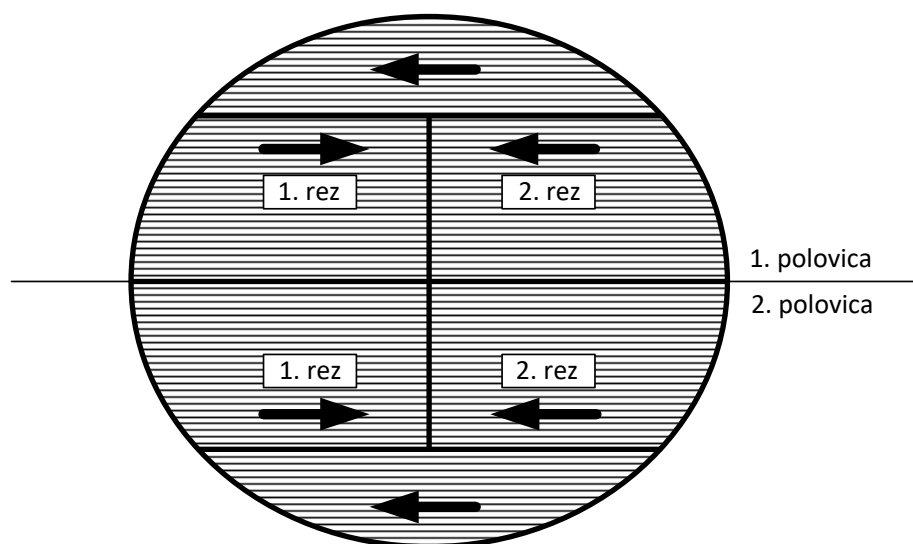
Oznaka hloda	Opis	Premer [cm]	Dolžina [cm]
B	Raven hlod brez vidnih napak	56	300
RS	Raven hlod z rdečim srcem.	54	290
U	Ukrivljen hlod	45	270
X	Hlod s križno razpoko	50	260

**Table 1:** Geometrical properties of beech logs



**Slika 1:** Hlodovina po prizmiranju: (a) hlod brez napak, (b) močno ukrivljen hlod, (c) križno razpokan hlod in (d) hlod z rdečim srcem

**Fig. 1:** Flitches: (a) log without defects, (b) curved log, (c) cross-cracked log, and (d) log with red heart



**Slika 2:** Prikaz izdelave prizem

**Fig. 2:** Plan for log sawing into flitches

**Preglednica 2:** Klimatske razmere v sušilnem kanalu pri različnih klimah

Klima	Cona 1		Cona 2	
	Temperatura [°C]	Vlaga [g H <sub>2</sub> O/kg zraka]	Temperatura [°C]	Vlaga [g H <sub>2</sub> O/kg zraka]
Hladnejša	105	100	120	40
Normalna	120	100	135	40
Vročča	135	100	150	40

**Table 2:** Climatic conditions in the drying channel

Po razrezu smo furnirske liste sušili v sušilnem kanalu do končne vlage med 8 do 12 %. Sušilni kanal ima dve coni, v katerih lahko neodvisno nastavljamo sušilne parametre. V raziskavi smo v sušilnem kanalu nastavili tri različne klime, kot je predstavljeno v preglednici 2.

Ročno sortiranje in vrednotenje kakovosti furnirskih listov po sušenju sta opravljala dva izkušena kontrolorja z dolgoletnimi izkušnjami. Valovitost sta ocenjevala vizualno. Merilo pri oceni ravnega furnirja je majhen delež (5 % - 10 %) blage valovitosti. Upoštevala sta tudi kriterij lokacije valovitosti, saj nista upoštevala valovitosti, ki se je pojavlja okoli grč, razpok in obarvanosti in je bila v postopku obreza furnirskih listov izrezana. Furnirske liste, ki niso izpolnjevali postavljenih zahtev glede ravnosti, so označili kot valovit furnir.

### 3 REZULTATI IN RAZPRAVA

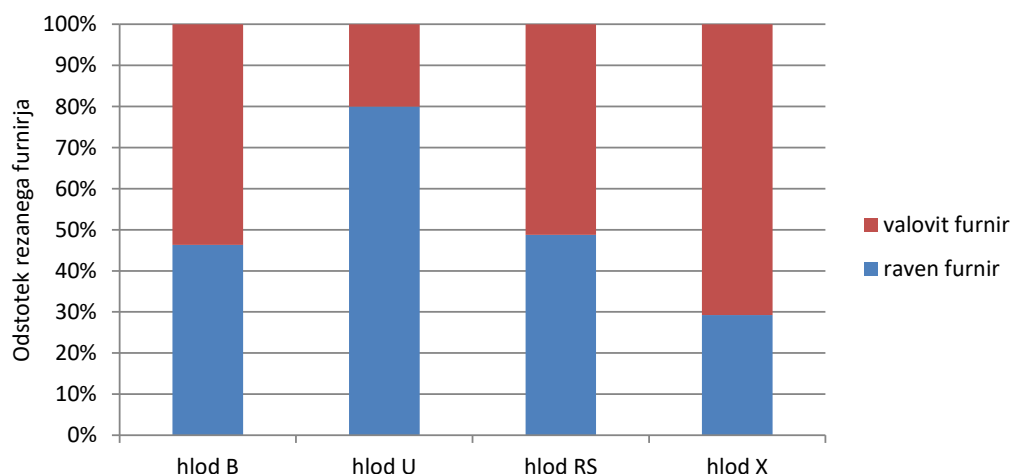
#### 3 RESULTS AND DISCUSSION

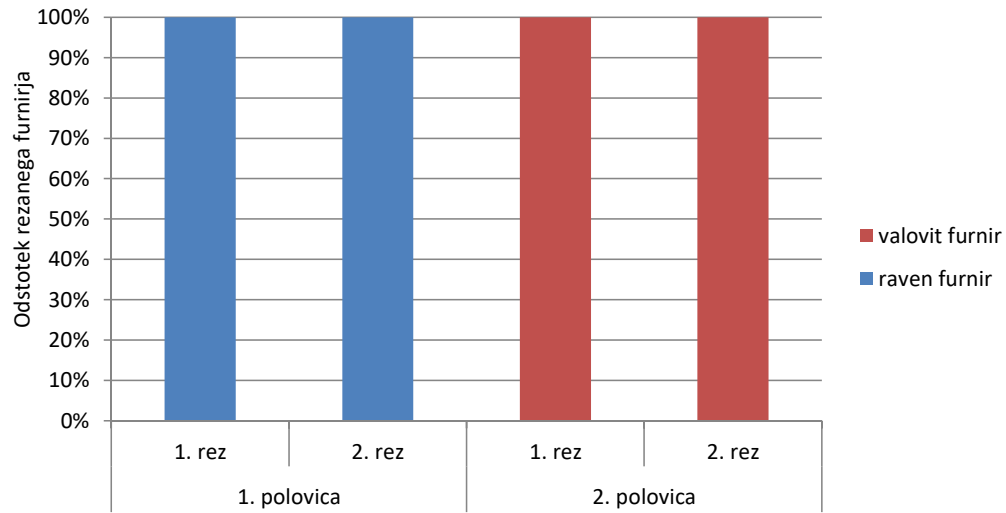
Rezultati eksperimentalnega dela so predstavljeni v grafični obliki na sliki 3, ki prikazuje deleže ravnega in valovitega furnirja. Najmanjši delež valovitega fur-

nirja je pri rezanju furnirja iz močno ukrivljenega hloda (hlod U), in sicer 20 %. Pri rezanju furnirja iz hloda brez vidnih napak (hlod B) je delež valovitega furnirja presenetljivo velik in znaša 53 %. Podoben delež valovitega furnirja je tudi pri hlodu z rdečim srcem, in sicer 51 %. Pričakovano je največji delež valovitega furnirja v križno razpokanem hlodu (hlod X), ki je znašal kar 71 %.

V podrobni analizi pojavnosti valovitega furnirja glede na mesto prizme v hlodu pa lahko ugotovimo, da je v primeru hloda brez vidnih napak (hlod B) celoten delež valovitega furnirja izrezan iz 2. polovice hloda (slika 4). Meritve klimatskih razmer v sušilnem kanalu pri sušenju furnirja, izrezanega iz hloda brez vidnih napak (hlod B), so prikazane na sliki 5.

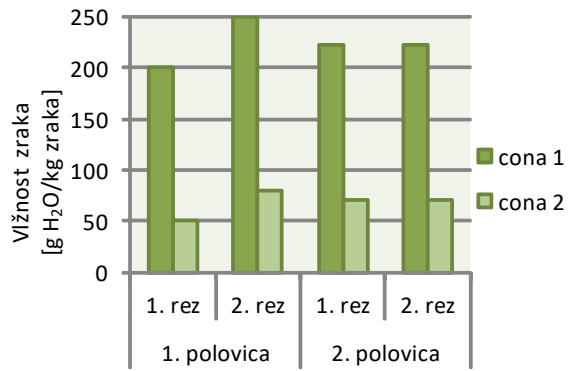
Razvidno je, da so se dejanski sušilni parametri v sušilnem kanalu razlikovali od nastavljenih (preglednica 2). Velik odklon je predvsem v vlažnosti sušilnega zraka v sušilnem kanalu. Kljub manj stabilnim parametrom v času sušenja furnirja, rezanega iz 1. polovice hloda (slika 5), je bil ves furnir raven, kar nakazuje, da so bile v hlodu brez vidnih napak na obodu hloda skrite napake, ki so bile v procesu krojenja zajete v eno po-

**Slika 3:** Delež ravnega in valovitega furnirja pri različni kakovosti z normalnimi klimatskimi razmerami v sušilnem kanalu**Fig. 3:** The share of flat and waived veneer from different quality of the logs dried in normal climatic conditions in the drying channel

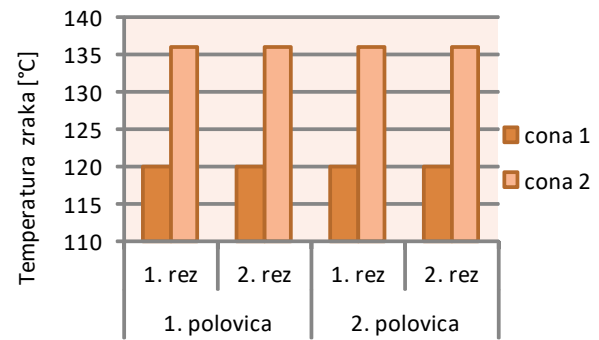


**Slika 4:** Delež ravnega in valovitega furnirja pri hlodu brez vidnih napak glede na položaj pri krojenju

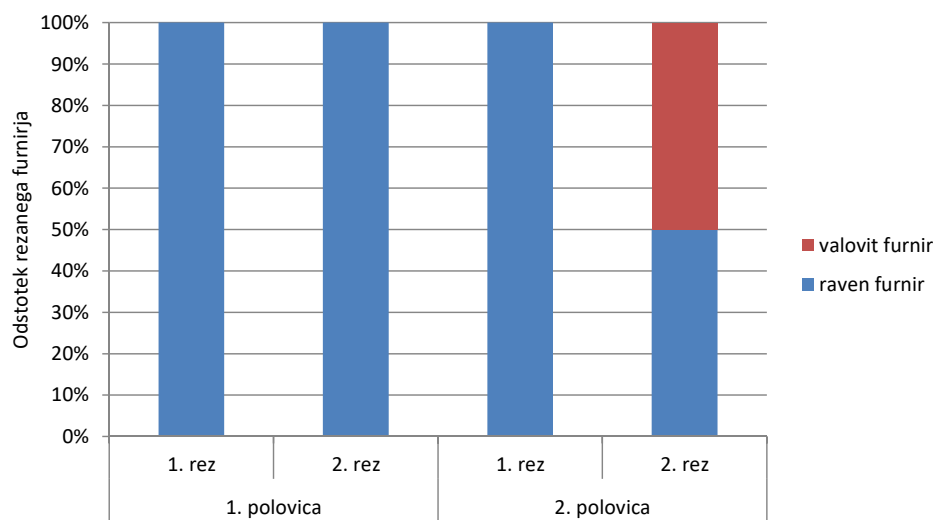
**Fig. 4:** The share of flat and waivered veneer from the log without visual defects depending on the position in the log



**Slika 5:** Klimatske razmere v sušilnem kanalu pri sušenju furnirja rezanem iz hloda brez vidnih napak

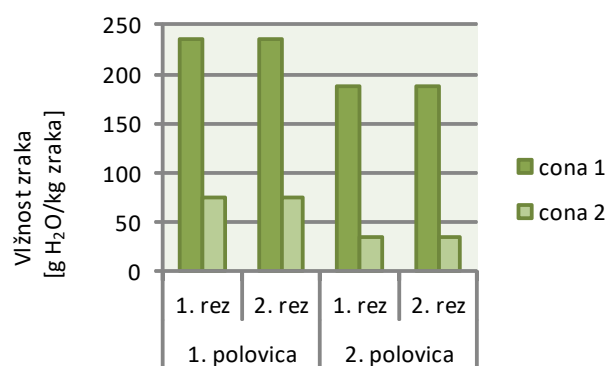


**Fig. 5:** Climatic conditions in the drying channel for drying veneers cut from log without visible defects



**Slika 6:** Delež ravnega in valovitega furnirja pri ukrivljenem hlodu glede na položaj pri krojenju

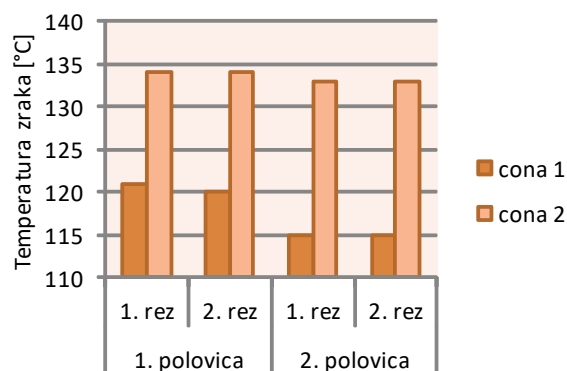
**Fig. 6:** The share of flat and waivered veneer from curved log depending on the position in the log.



**Slika 7:** Klimatske razmere v sušilnem kanalu pri sušenju furnirja rezanem iz ukrivljenega hloda

lovico hloda. Predvidevamo, da je bil v 2. polovici hloda prisoten reakcijski oziroma tenzijski les.

Bukova hlobovina, ki se uporablja za proizvodnjo rezanega furnirja in prihaja iz rastišč v Sloveniji, je pogosto zaradi rastiščnih razmer ukrivljena. Po nekaterih virih (Srebot, 2015) je delež ukrivljene hlobovine, ki prihaja na hloboišča furnirskih obratov kar 60-odstoten. V primeru, da drevo raste na nagnjenih rastiščih, je ukrivljenost hloda močneje izražena v spodnjem delu. Zato so nekoliko presenetljivi rezultati (slika 6), da je valovit furnir, izrezan iz ukrivljenega hloda (hlod U), samo v eni (2.) polovici hloda, in to samo v 2. rezu s 50-odstotnim deležem. Na sliki 7 lahko opazimo, da je potekalo sušenje furnirjev, rezanih iz druge polovice hloda, z nižjo temperaturo in nižjo vlažnostjo sušilnega zraka, kar pa po izkušnjah operaterjev naj ne bi vplivalo na valovitost furnirja. Ob upoštevanju teh dejstev lahko ponovno zaključimo, da je bilo krojenje oz. izdelava prizme iz ukrivljenega hloda optimalno.

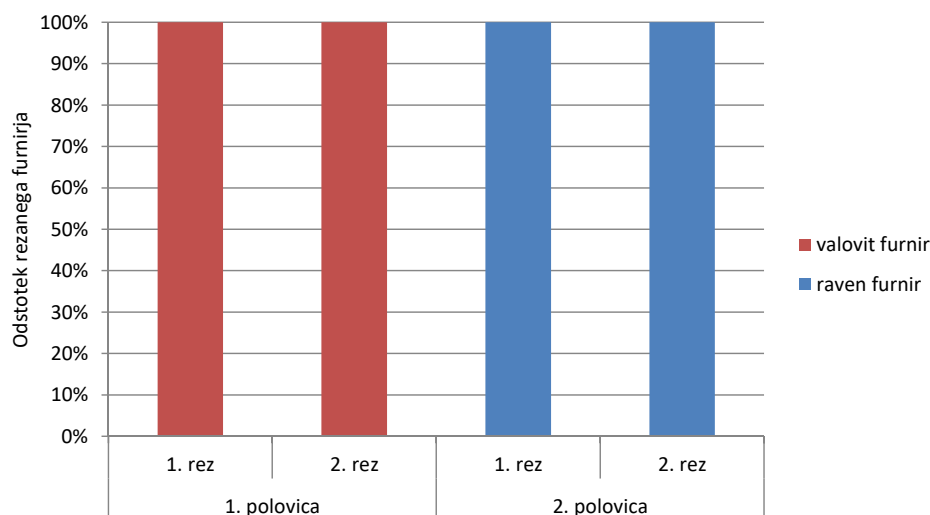


**Fig. 7:** Climatic conditions in the drying channel for drying veneers cut from curved log

Pri furnirju, ki je bil rezan iz hloda z izrazito rdečim srcem (hlod RS), vidimo, da so bili vsi furnirji iz 1. polovice hloda valoviti, furnirji iz 2. polovice pa vsi ravni (slika 8). Klimatske razmere sušenja furnirja iz hloda z rdečim srcem so bile popolnoma enake za 1. polovico in 2. polovico (slika 9). To ponovno potrjuje, da klimatske razmere sušenja, kljub manjšim odklonom, v veliki meri ne vplivajo na valovitost furnirja.

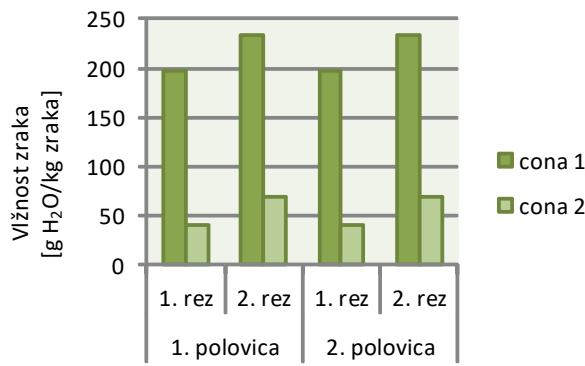
Na sliki 10 so predstavljeni deleži valovitega furnirja, izrezanega iz hloda, ki je imel na čelu veliko križno razpoko. Prizmiranje hloda je bilo drugačno kot v prejšnjih primerih. Hlod se je prizmiral po sami razpoki. Velik delež valovitega furnirja je pričakovan, saj je križna razpoka najverjetneje posledica inkorporiranih velikih rastiščnih napetosti v drevesu.

Klimatske razmere v sušilnem kanalu pri sušenju furnirja s križno razpoko so predstavljene na sliki 11. Klimatske razmere pri sušenju furnirja so bile primerljive z razmerami sušenja furnirja, zrezanega iz hlobo-



**Slika 8:** Delež ravnega in valovitega furnirja pri hlodu z rdečim srcem glede na položaj pri krojenju

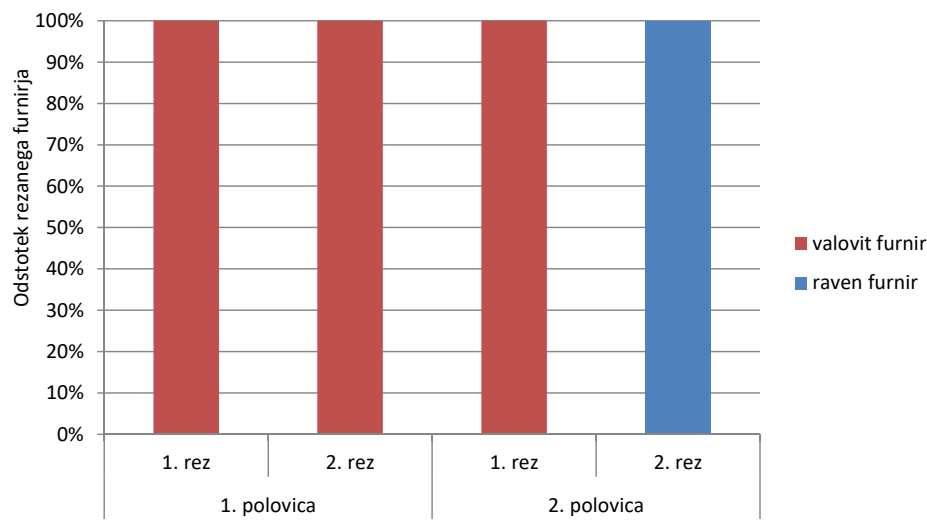
**Fig. 8:** The share of flat and wavy veneer from the log with red heart depending on the position in the log



**Slika 9:** Klimatske razmere v sušilnem kanalu pri sušenju furnirja rezanem iz hloda z rdečim srcem

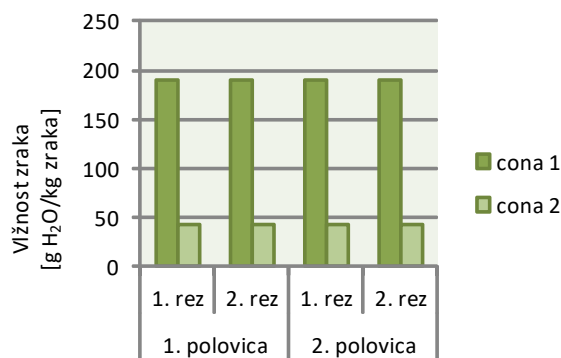


**Fig. 9:** Climatic conditions in the drying channel for drying veneers cut from logs with red hart

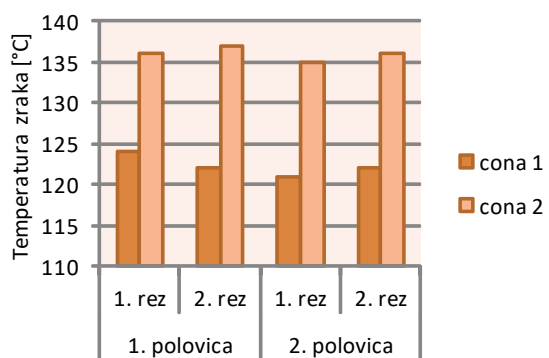


**Slika 10:** Delež ravnega in valovitega furnirja pri hlodu s križno razpoko glede na položaj pri krojenju

**Fig. 10:** The share of flat and waived veneer from the log with cross crack depending on the position during bucking



**Slika 11:** Klimatske razmere v sušilnem kanalu pri sušenju furnirja, rezanega iz hloda s križno razpoko



**Fig. 11:** Climatic conditions in the drying channel for drying veneers cut from logs with cross crack

vine, ki je imela druge napake, zato lahko zaključimo, da le te niso vplivale na valovitost furnirja.

Primerjava rezultatov kaže, da je pojavnost valovitega furnirja v prizmah, izdelanih iz istega hloda, zelo različna. V raziskavi smo ugotovili, da je lahko furnir, ki je rezan iz ene polovice hloda, v celoti raven in da

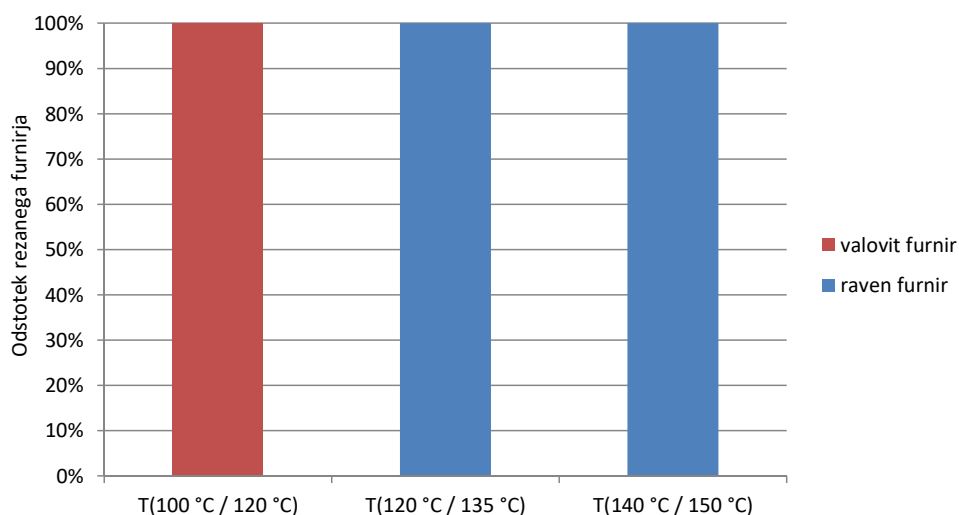
iz druge polovice hloda izrežemo v celoti valovit furnir. Prisotnost valovitega furnirja v eni polovici prizem kaže na to, da so bile prizme ustrezno izdelane, oziroma da je bil postopek krojenja opravljen optimalno. Glede na to, da se med posameznimi prizmami tehnološki parametri rezanja (geometrija noža in kot



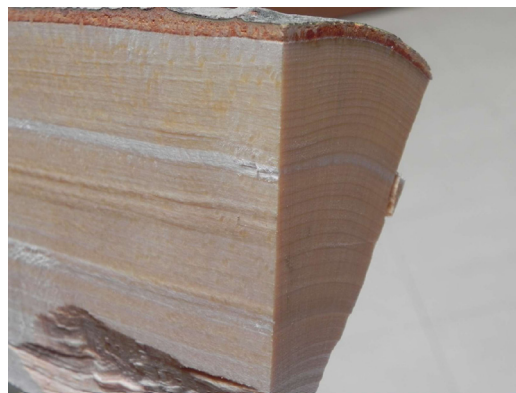
**Slika 12:** Tenzijski les

rezanja) niso spreminjali, lahko pojav valovitosti pripišemo prisotnosti reakcijskega lesu v hlodu. Reakcijski les oziroma tenzijski les je posledica rastnih razmer drevesa in ga najdemo samo v zgornji strani nagnjenih debel. Pojavlja se v drevesih z nesimetrično krošnjo, pri drevesih, ki rastejo na strmih pobočju ali so izpostavljeni stalnim vetrovom. Pri sveži bukovini prepoznamo tenzijski les po svetlih oziroma svetlikajočih se letnicah (slika 12). Vzrok za valovitost furnirja je lahko v tem, da je aksialni skrček tenzijskega lesa do 1,5 % in je znatno večji od zanemarljivega aksialnega skrčka normalnega lesa.

V raziskavi smo eksperimentalno preverili vpliv klimatskih razmer sušenja furnirja v sušilnem kanalu. Rezultati na sliki 13 prikazujejo delež valovitega furnirja, ki je bil izrezan iz istega hloda, sušenega pri treh različnih temperaturnih režimih (preglednica 2). Furnir, ki je bil sušen z najmilejšo klimo je v celoti valovit, vendar brez nadaljnjih raziskav tega ne moremo pripisati samo klimatskim pogojem v času sušenja.



**Slika 13:** Delež ravnega in valovitega furnirja pri ukrivljenem hlodu pri različnih temperaturah sušenja v sušilnem kanalu



**Fig. 12:** Tension wood

Izmerjene klimatske razmere in nastavljena hitrost gibanja furnirja v kanalu pri sušenju z različnimi pogoji so zapisane v preglednici 3. S hitrostjo gibanja furnirja v sušilnem kanalu smo nastavljali čas sušenja furnirja, ki pa je bil odvisen od nastavljene temperature.

Predstavljeni rezultati na slikah 4, 6, 8, 10 in 12 so rezultati vizualnega ročnega vrednotenja valovitosti, zato je kljub izkušnosti kontrolorja pričakovati napake pri razvrščanju furnirja v kakovostne razrede. Hitrosti industrijskih transporterjev, kjer poteka razvrščanje, so lahko tudi 2,2 m/s. V primeru, da je razvrščanje v kakovostne razrede furnirja ročno, je delo kontrolorja zelo stresno, saj nenadna izguba pozornosti lahko povzroči napačno odločitev in razvrstitev v napačni kakovostni razred, kar pa ima za posledico nadaljnjo obdelavo furnirja oziroma manjšo dodano vrednost. Huber in sod. (1985) so ugotovili, da je natančnost vizualnega pregleda lesnih plošč operaterja 68-odstotna. Podobno raziskavo so opravili Polzleitner in sod. (1992), v kateri so zaznali le 55-odstotno na-

**Fig. 13:** The share of flat and waivered veneer in curved log at different drying temperatures in the drying channel



**Preglednica 3:** Izmerjene klimatske razmere v sušilnem kanalu in hitrost gibanja furnirja v kanalu

Klima	Temperatura [°C]		Vlaga [g H <sub>2</sub> O/kg zraka]		Hitrost [m/s]
	cona 1	cona 2	cona 1	cona 2	
Hladnejša	100	118	170	42	16
Normalna	121	134	235	75	18
Vroča	143	150	235	66	22

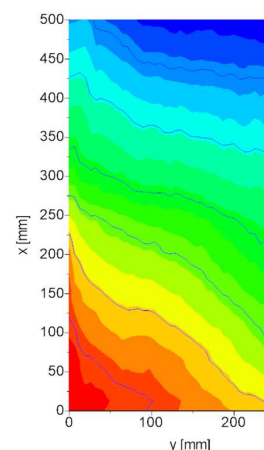
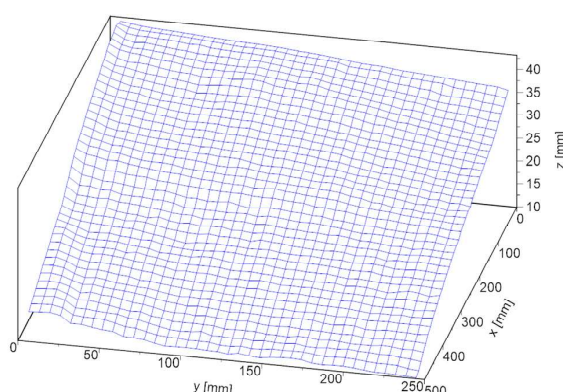
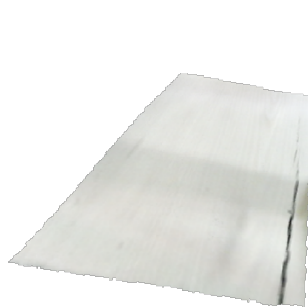
**Table 3:** Observed climatic conditions in the drying channel and the speed of veneer's movement in the channel

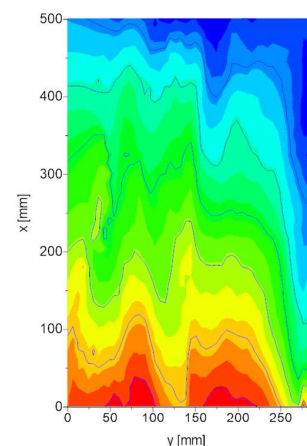
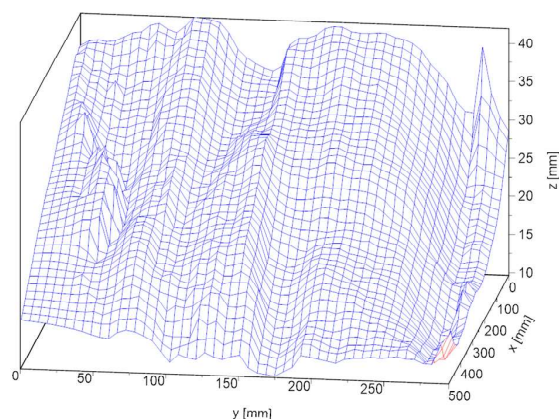
tančnost razvrščanja. Omenjeni dejstvi sta tako lahko v veliki meri vplivali tudi na rezultate naše raziskave, saj je bilo razvrščanje ročno in kljub večletnim izkušnjam delavcev z razvrščanjem furnirja odvisno od subjektivne presoje ocenjevalca.

V želji, da zagotovimo večjo natančnost razvrščanja in dodano vrednost furnirja, je treba izključiti subjektivno presojo in možnost napak, zato je smiselno v proizvodnjo furnirja uvesti samodejni vizualni pregled furnirskih listov. Prve raziskave v smeri strojnega vizualnega pregleda furnirskih listov v kakovostne razrede so opravili Drake in sod. (1998). Uporabili so nevronske mreže z enajstimi slikami napak vhodov in trinajstimi izhodi oziroma z enim izhodom za vsak kakovostni razred furnirja. Za boljšo natančnost so uporabili normalizirane razlike razreda pri izbiri najbolj primerne napake furnirja za uvrstitev v kakovostni razred. Packianather in sod. (2000) so predstavili nevronske mreže, ki na podlagi sedemnajstih kriterijev razdeli furnir v trinajst kakovostnih razredov. V algoritmu so poleg normalizirane razlike med razredi upoštevali tudi normalizirane razlike znotraj razreda in njihovo korelacijo v razredu, kar pomeni, da se je število vhodov zmanjšalo za šest. Čas razvrščanja se je s tem

skrajšal za 30 %, natančnost razvrščanja pa se je povečala. Li in sod. (2008) so predlagali učinkovit hibridni pristop nevronske mreže z optimizacijo relevantnih informacij podatkov. Eksperimentalni rezultati so pokazali veliko natančnost s kratkim odločitvenim časom. Omenjene raziskave so optično vrednotile napake, kot so grče, obarvanost, razpoke..., medtem ko so problem vrednotenja valovitosti površine preučili Yang in sod. (2006) z vrednotenjem kakovosti skobljane površine. Na obdelano površino so projicirali lasersko črto, ki so jo snemali pod kotom s kamero in tako dobili profil novonastale površine.

V laboratoriju za mehanske obdelovalne tehnologije na Biotehniški fakulteti, UL pa smo preverili možnost uporabe 3D-kamere za merjenje valovitosti furnirja in možnost uporabe le te pri vrednotenju valovitosti furnirja, kar je prikazano na slikah 14 in 15. Ugotovili smo, da je možno relativno enostavno implementirati kamero, ki zapiše obliko furnirja z oblakom točk s koordinatami X,Y in Z. Te lahko predstavimo v 2D-sliki, v kateri je koordinata Z obarvana z različnimi odtenki barv. Tako zapisani relief furnirja pa lahko razvrstimo v razrede valovitosti po že znanih algoritmih za optično razvrščanje v kakovostne razrede. Z avtomatiziranim načinom raz-

**Slika 14:** 3D grafični prikaz ravnega furnirja**Fig. 14:** 3D graphical presentation of flatness of the veneer's surface



**Slika 15:** 3D grafični prikaz valovitega furnirja

vrščanja furnirja v kakovostne razrede so kriteriji kakovosti zapisani kvantitativno. Kriteriji kakovosti lahko poleg valovitosti furnirja upoštevajo še dimenzije, barvo in druge poškodbe (razpoke, grče ...) furnirskih listov. Število kakovostnih razredov in kriterije za posamezni razred lahko enostavno prilagodimo želji naročnika ali pa glede na namembnost uporabe furnirja.

#### 4 SKLEP

#### 4 CONCLUSION

Rezultati opravljene raziskave ugotavljanja pojavljanja valovitosti pri bukovem furnirju, ki je potekala v industrijskem okolju, kažejo, da ima surovina s svojimi značilnostmi in morebitnimi napakami velik vpliv na pojavnost valovitega furnirja. Delež valovitosti lahko v določenem obsegu zmanjšamo tudi z ustrezno izdelavo prizem, pri kateri upoštevamo značilnosti posameznega hloda. Za pravilno prizmiranje potrebujemo veliko znanja in izkušenj, saj je veliko dejavnikov, ki vplivajo na valovitost, vizualno skritih. Eden takih pomembnih značilnosti, ki vplivajo na valovitost, je prisotnost reakcijskega lesa oziroma v primeru bukovine tenzijskega lesa. Furnir, ki se je sušil v klimi z nižjim temperaturnim režimom (100 °/120 °C), je sicer imel večji delež valovitosti, vendar le-tega ne moremo brez nadaljnjih preizkusov pripisati režimu sušenja. Na samo natančnost dobljenih rezultatov raziskave, ki je potekala v industrijskem okolju, je lahko vplivala tudi subjektivna ocena kontrolorjev pri razvrščanju furnirja v kakovostne razrede. Tem vplivom pa bi se lahko izognili z uporabo 3D-kamere, ki bi furnir natančno in brez napak razvrstila v ustrezni kakovostni razred po predhodno natančno in eksaktno opredeljenih kriterijih.

**Fig. 15:** 3D graphical presentation of waviness of the veneer's surface

#### 5 POVZETEK

Tehnološki proces izdelave rezanega furnirja je razmeroma dobro poznan. Na kakovost izdelanega furnirja in posledično ceno vpliva mnogo dejavnikov. Vhodna surovina s svojimi značilnostmi in pa tehnološki parametri v posameznih fazah izdelave furnirja so ključni za doseganje kakovosti furnirja. Poleg natančnosti dimenzij in vizualnih značilnosti (tekstura, barvni odtenek, sijaj...) furnirja sta pomembna kriterija tudi gladkost površine in pa valovitost furnirja.

Večina raziskav valovitosti je bila opravljena na luščenem furnirju, zato smo se odločili, da bomo raziskali vpliv kakovosti bukove (*Fagus sylvatica* L.) hlodovine na valovitost rezanega furnirja. Raziskavo smo opravili v industrijskih razmerah. Furnir smo rezali iz furnirskih bukovih hlodov, ki so bili namenjeni redni proizvodnji. Na podlagi vidnih napak smo izbrali štiri furnirske hlode različne kakovosti (slika 2) in sicer hloed brez napak, hloed z rdečim srcem, močno ukrivljen hloed in hloed, ki je imel križno razpoko na čelu. Geometrijske lastnosti izbranih hlodov so prikazane v preglednici 1. Sledila je izdelava prizem, ki je bila deloma odvisna od napake hloda. Po parjenju prizem je sledilo rezanje furnirja na vertikalnem furnirskem rezalnem stroju. Rezali smo furnir debeline 0,55 mm. Pogoji parjenja in parametri rezanja se med prizmami niso spreminjali in niso bili posebej prilagojeni naši raziskavi. Po razrezu smo furnirske liste sušili v sušilnem kanalu do končne vlage med 8 do 12 %. Sušilni kanal ima dve coni, v katerih lahko neodvisno nastavljamo sušilne parametre. V raziskavi smo v sušilnem kanalu nastavili tri sušilne režime, ki so predstavljeni v preglednici 2. Sortiranje in vrednotenje kakovosti furnirskih listov sta opravljala dva izkušena kontrolorja z dolgoletnimi izkušnjami.

Valovitost sta ocenjevala vizualno. Merilo pri oceni ravnega furnirja je majhen delež (5 % - 10 %) blage valovitosti. Valoviti furnir je nižje kakovosti in v proizvodnji zahteva dodatno fazo likanja.

Rezultati eksperimentalnega dela so predstavljeni v grafični obliki na sliki 3, ki prikazuje deleže ravnega in valovitega furnirja. Najmanjši delež valovitega furnirja je pri rezanju furnirja iz močno ukrivljenega hloda (hlod U), in sicer 20 %. Pri rezanju furnirja iz hloda brez vidnih napak (hlod B) je delež valovitega furnirja presenetljivo velik, saj znaša 53 %. Podoben delež valovitega furnirja je tudi pri hlodu z rdečim srcem, in sicer 51 %. Pričakovano je največji delež valovitega furnirja v križno razpokanem hlodu (hlod X), kjer je dosegel kar 71 %.

Glede na to, da se med posameznimi prizdami tehnološki parametri rezanja (geometrija noža in kot rezanja) niso spreminjali, lahko pojav valovitosti pripišemo prisotnosti reakcijskega lesa v hlodu, ki je posledica rastnih razmer drevesa in se pojavlja samo v zgornji strani nagnjenih debel zaradi nesimetrične krošnje drevesa, stalnega vetra in v primerih, ko drevo raste na strmih pobočju. Pri sveži bukovini prepoznamo tenzijski les po svetlih oziroma svetlikajočih se letnicah (slika 12). Vzrok za valovitost furnirja je lahko v tem, da je aksialni skrček tenzijskega lesa do 1,5 % in je znatno večji od zanemarljivega aksialnega skrčka normalnega lesa.

V primeru, da je razvrščanje v kakovostne razrede furnirja ročno, je delo kontrolorja zelo stresno, saj nenadna izguba pozornosti lahko povzroči napačno odločitev in razvrstitev v napačni kakovostni razred, ki pa ima za posledico nadaljnjo obdelavo furnirja oziroma manjšo dodano vrednost. V laboratoriju za mehanske obdelovalne tehnologije na Biotehniški fakulteti, UL pa smo preverili možnost uporabe 3D-kamere za merjenje valovitosti furnirja in možnost uporabe le te pri vrednotenju valovitosti furnirja, kar prikazuje slika 14. Ugotovili smo, da je možno relativno enostavno implementirati kamero, ki zapiše obliko furnirja z oblakom točk s koordinatami X, Y in Z. Te lahko predstavimo v 2D-sliki, v kateri je koordinata Z obarvana z različnimi odtenki. Tako zapisani relief furnirja pa lahko razvrstimo v razrede valovitosti po že znanih algoritmih za optično razvrščanje v kakovostne razrede.

## 5 SUMMARY

The technological process of producing decorative veneer is relatively well known. Raw material with its own characteristics and the technological parameters of various stages of production affect the quality and, consequently, the price of the final product. Beside the

precision dimensions and visual characteristics (texture, gloss...) of veneer, the smoothness of the surface and waviness of veneer are also important criteria.

Most of the research has been conducted on peeled veneer, so we decided to investigate the effect of quality of beech (*Fagus sylvatica* L.) logs on the waviness of sliced veneer. The research was conducted under industrial conditions. We cut veneer from beech logs. Based on visual defects, we chose veneer logs of four different qualities (Figure 2), log without visual defects, log with present red heart, strongly curved log, and cross-cracked log. The geometrical properties of the selected logs are shown in Table 1. This was followed by flitching, steaming and cutting veneer on the vertical veneer slicer. We cut 0.55 mm thick veneer. The parameters of steaming and veneers cutting were not changed and not specifically adapted for our research. After the cutting, the veneer sheets were dried in the veneer dryer channel to the final moisture between 8 and 12 %. Dryer channel has two zones in which climatic conditions can be set independently. Three different climatic conditions were set and are presented in Table 2. The sorting and evaluation of veneer's quality were carried out by two controllers with years of experience. The criterion for the waviness level of veneer is a small proportion (5% - 10%) of mild waviness. The waviness of veneer reduces the quality and value of the veneer and requires in the production of sliced veneer an additional technological phase of flattening.

The results of the experimental work are presented in graphical form in Figure 3, which shows the portions of flat and waived veneer. The lowest share, 20 % of waived veneer, was cut from curved logs (log U). Surprisingly large share of waived veneer, 53 %, was cut from the log without visible defects (log B), and a similar proportion, 51 %, from the log with the red heart. Expectedly the largest share of waived veneer, 71 %, was cut from cross-cracked log (log X).

Due to the fact that the technological parameters of cutting (the geometry of the knife and the cutting angle) were not altered between the individual flitches, the veneer's waviness can be attributed to the presence of reaction wood in the log. This is a consequence of the growing conditions of the tree and in case of deciduous trees is present only in the upper side of inclined trunks due to asymmetric growth of the crown, constant presence of winds or in trees growing on slopes. In fresh beech wood, the tension wood can be recognized by the bright and shimmering rings (Figure 12). The reason for the waviness of veneer may be in the fact that the axial shrinkage of tension wood is up

to 1.5% and is significantly greater than the negligible axial contraction of normal wood.

In case of manual classification of sliced veneer, the controller's loss of attention can result in wrong classification of the veneer, which can lead to further processing of veneer and, in turn, to lesser added value. In the laboratory for mechanical processing technologies at the Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, we are testing the possibility of using a 3D camera for measuring the waviness of veneer and the possibility to use it in classification of veneer (Figure 14). We have found that it is possible to relatively easily implement a 3D camera, which records the form of veneer by a cloud of points with X, Y and Z coordinates. These can be presented in 2D image in which Z coordinate is marked with different colours and grading of veneer's waviness into classes done with well-known algorithms for optical quality grading.

## 6 VIRI

### 6 REFERENCES

- Drake P. R., Packianather M. S. 1998. Decision tree of neural networks for classifying images of wood veneer. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 14: 280-285
- Gorišek Ž. 2009. Les: Zgradba in lastnosti - njegova variabilnost in heterogenost. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str.
- Gungor N., Kantay R., Korkut S. 2010. Effect of surface roughness on drying speed of drying lamellas in veneer roller dryer. *African Journal of Biotechnology*, 9, 25: 3840-3846
- Huber H.A., McMilin C.W., McKinney J.P. 1985. Lumber defect detection abilities of furniture rough mill employees. *Forest Products Journal*, 35, 11/12: 79-82
- Packianather M. S., Drake P. R. 2000. Neural networks for classifying images of wood veneer Part 2. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 16: 424-433
- 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
- Polzleitner W., Schwingshagl G. 1992. Real-time surface grading of profiled wooden boards. *Industrial Metrology*. 2283-298
- Srebot D. 2015. Dejavniki valovitosti rezanega furnirja. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Diplomsko delo, 70 str.
- Steinhagen H. P., Sagner V. F., Ananias R. A., Jesus Poblete M. 1995. Flattening wavy eucalyptus veneer through pressure and temperature - A preliminary laboratory study. *Forest Products Journal*, 45, 11/12: 71-73
- Tanritanir E., Hiziroglu S., As N. 2006. Effect of steaming time on surface roughness of beech veneer. *Building and Environment*, 41, 1494-1497
- Thant A. A., Yee S. S., Htike T. T. 2009. Modeling drying time during veneer drying and comparison with experimental study. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2009, March 18 - 20, 2009, Hong Kong, IMECS 2009, Vol II, 1911-1914*
- 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