

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Luka ŠTUNF

**ANALIZA HIDROTERMIČNE PLASTIFIKACIJE
LESA V PROCESU PRIPRAVE FURNIRSKE
HLODOVINE**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2009

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Luka ŠTUNF

**ANALIZA HIDROTERMIČNE PLASTIFIKACIJE LESA
V PROCESU PRIPRAVE FURNIRSKE HLODOVINE**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**ANALYSIS OF HYDROTHERMAL PLASTICISATION OF WOOD IN
THE PROCESS
OF PREPARING TREE TRUNK VENEERS**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani v sodelovanju z lesno predelovalno industrijo Javor Pivka d.d., kjer so bile opravljene meritve v parilnih jamah.

Študijska komisija Oddelka za lesarstvo je za mentorico diplomskega dela imenovala doc.dr. Dominiko Gornik Bučar, za somentorja izr.prof.dr. Bojana Bučarja, ter za recenzenta izr.prof.dr. Milana Šerneka.

Komisija za oceno in zagovor

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Luka Štunf

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*832.281
KG	luščen furnir/bukovina/hidrotermična plastifikacija/temperatura
AV	ŠTUNF, Luka
SA	GORNIK BUČAR, Dominika (mentorica)/ BUČAR, Bojan (somentor)/ ŠERNEK, Milan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2009
IN	ANALIZA HIDROTERMIČNE PLASTIFIKACIJE LESA V PROCESU PRIPRAVE FURNIRSKE HLODOVINE
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	VI, 35 str., 6 pregl., 23 sl., 12 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Ustrezno izvedena hidrotermična plastifikacija je ključnega pomena za proizvodnjo kakovostnega luščenega furnirja. Spremljali smo potek hidrotermične plastifikacije lesa v procesu priprave furnirske hlodovine, namenjene proizvodnji luščenega furnirja. V podjetju JAVOR Pivka, d.d. smo merili temperature hlodov, nameščenih na različnih pozicijah v parilni jami med hidrotermično plastifikacijo. Spremljali smo tudi hitrost ohlajevanja hlodov po zaključeni hidrotermični plastifikaciji do začetka luščenja hlodov. Za meritve temperature furnirske hlodovine smo uporabljali 2 merilna sistema: Testo (177 T4) in Omega logger (OM-DAQPRO-5300). Merilna sistema Testo in Omega sta bila pri izvajanju meritev zanesljiva, rezultati meritev pa pričakovani. Ugotavljamo, da na proces hidrotermične plastifikacije furnirske hlodovine za proizvodnjo luščenega furnirja vpliva tako začetna temperatura surovine kot tudi položaj hloda v parilni jami. Na hitrost ohlajanja hlodov (v povprečju 4,1 °C/uro) ima največji vpliv temperatura okolice.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 630*832.281
KW peeled veneer/beechn wood/hydrothermal treatment/temperature
AU ŠTUNF, Luka
AA GORNIK BUČAR, Dominika (supervisor)/ BUČAR, Bojan (co-supervisor)/
ŠERNEK Milan (co-advisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c.VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science
and Technology
PY 2009
TI ANALYSIS OF THE HIDROTHERMAL PLASTICISATION OF WOOD
IN THE PROCESS OF VENEER TIMBER PREPARATION
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO VI, 35 p., 6 tab., 23 fig., 12 ref.
LA sl
AL sl/en
AB A suitably carried out hydrothermal treatment has an essential meaning for the
production of quality peeled veneer. The course of hydrothermal plasticisation of
wood in the process of preparing the veneer timber, intended for the production of
peeled veneer, was monitored. In the JAVOR Pivka Company, d.d. the timber
temperature placed at different positions in steam pit during steaming was
measured. So was the rate of timber cooling from after finishing hydrothermal
treatment until the beginning of timber peeling. 2 different measurement systems,
Testo (177 T4) and Omega logger (OM-DAQPRO-5300), for measuring the
temperature of veneer timber were used. The measurement systems Testo and
Omega were reliable; the results of measuring were as expected. It was
established that the production of veneer timber is influenced by the starting
temperature of raw material as well as by the position of timber in a steam pit.
The temperature of the surrounding (4.1 °C per hour on average) has the biggest
influence on the rate of timber cooling after the finished hydrothermal treatment.

Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo slik	VII
Kazalo prilog	VIII

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2	HIPOTEZE IN CILJI	1
2	SPLOŠNI DEL	2
2.1	TEHNOLOŠKE FAZE PROIZVODNJE LUŠČENEGA FURNIRJA	2
2.1.1	Definicija furnirja	2
2.1.2	Sortiranje, zaščita in skladiščenje bukove furnirske hlodovine	3
2.1.3	Hidrotermična plastifikacija surovine	3
2.1.4	Krojenje hlodovine na dolžino furnirja z nadmero	5
2.1.5	Lupljenje hlodovine	6
2.1.6	Luščenje furnirja	7
2.1.7	Krojenje furnirja na mokrih škarjah	7
2.1.8	Sušenje furnirja	8
2.1.9	Kondicioniranje furnirja in obrez na suhih škarjah	8
2.2	HIDROTERMIČNA PLASTIFIKACIJA IN KROJENJE BUKOVINE V PODJETJU JAVOR PIVKA D.D.	8
3	MATERIALI IN METODE DELA	10
3.1	UPORABLJEN LES – BUKOVINA	10
3.1.1	Opis lesa	10
3.1.2	Lastnosti bukovine (po Čufar, 2002)	11
3.2	METODE DELA	12
3.2.1	Spremljanje temperature hlodov v parilnih jamah med parjenjem	12
3.2.1.1	Testo (177 T4)	12
3.2.1.2	Omega logger Omega OM-DAQPRO-5300 (Verzija V 3.0 OM)	13
3.2.2	Spremljanje temperature ohlajanja hlodovine po zaključeni hidrotermični plastifikaciji	14
3.3	POSTOPKI MERITEV	14
4	REZULTATI	16
4.1	TEMPERATURA HIDROTERMIČNE PLASTIFIKACIJE	16
4.1.1	Rezultati meritev z merilnim sistemom Testo (177 T4)	16
4.1.2	Rezultati in grafični prikaz meritev z merilnim sistemom Omega logger OM-DAQPRO-5300	21
4.2	OHLAJANJE HLODOV PO ZAKLJUČENI HIDROTERMIČNI PLASTIFIKACIJI	24
5	RAZPRAVA	29
6	SKLEPI	32
7	POVZETEK	33
8	VIRI	34
9	ZAHVALE	1

10	PRILOGE	1
10.1	PRILOGE 1 DO 5: MERITVE Z MERILNIM SISTEMOM TESTO (177 T4)	2
10.2	PRILOGA 6: MERITVE Z MERILNIM SISTEMOM OMEGA LOGGER OM-DAQPRO-5300	7

KAZALO SLIK

Slika 1:	Krojeni hlodi na zeleno dolžino	6
Slika 2:	Stroj z rezkalno glavo za lupljenje furnirske hlodovine	6
Slika 3:	Parilna jama; pogled na zaprto parilno jamo	9
Slika 4:	Parilna jama; pogled v notranjost parilne jame, kjer so nameščeni hlodi za parjenje	9
Slika 5:	Stacionarni verižni žagalni stroj za krojenje hlodov na zeleno dolžino	9
Slika 6:	Testo (177 T4) za merjenje temperature	12
Slika 7:	Omega logger Omega OM-DAQPRO-5300 (Verzija V 3.0 OM) za merjenje temperature	13
Slika 8:	Presek parilne jame s shematskim prikazom položaja testnih hlodov ter merilne sonde	15
Slika 9:	Naraščanje temperature v odvisnosti od časa (meritev 1)	16
Slika 10:	Naraščanje temperature v odvisnosti od časa (meritev 2)	17
Slika 11:	Naraščanje temperature v odvisnosti od časa (meritev 3)	18
Slika 12:	Naraščanje temperature v odvisnosti od časa (meritev 4)	19
Slika 13:	Naraščanje temperature v odvisnosti od časa (meritev 5)	20
Slika 14:	Naraščanje temperature v različni globini hloda v odvisnosti od časa (sondi 1 in 2)	21
Slika 15:	Naraščanje temperature v različni globini hloda v odvisnosti od časa (sondi 3 in 4)	22
Slika 16:	Naraščanje temperature v različni globini hloda v odvisnosti od časa (sondi 5 in 6)	23
Slika 17:	Ohlajanje hlodov v odvisnosti od časa (temperatura okolice 7.0 °C)	24
Slika 18:	Ohlajanje hlodov v odvisnosti od časa (temperatura okolice 2.0 °C)	25
Slika 19:	Ohlajanje hlodov v odvisnosti od časa (temperatura okolice 4.0 °C)	26
Slika 20:	Ohlajanje hlodov v odvisnosti od časa (temperatura okolice 2.0 °C)	27
Slika 21:	Ohlajanje hlodov v odvisnosti od časa (temperatura okolice 2.0 °C)	28
Slika 22:	Naraščanje temperature v različni globini hloda v odvisnosti od časa	30

KAZALO PRILOG

Priloga 1:	Meritev 1
Priloga 2:	Meritev 2
Priloga 3:	Meritev 3
Priloga 4:	Meritev 4
Priloga 5:	Meritev 5
Priloga 6:	Meritev z merilnim sistemom Omega logger OM-DAQPRO-5300

1 UVOD

Kvalitetno pripravljena in obdelana furnirska hlodovina omogoča pridobivanje kvalitetnega furnirja z želenimi lastnostmi. V podjetju Javor Pivka izdelujejo visoko kvaliteten luščen furnir, za kar je potrebna natančna in nadzorovana obdelava furnirske hlodovine. V vrsto obdelovalnih postopkov spada tudi hidrotermična plastifikacija surovine - parjenje v parilni jami. Proces obsega segrevanje hlodov na določeno temperaturo, vzdrževanje določene temperature določen čas ter ohlajanje hlodovine na željeno temperaturo. Potek hidrotermične plastifikacije (temperatura in trajanje) je odvisno od drevesne vrste, premera hloda, od začetne temperature hloda in od temperature okolice oz. medija. Po končani hidrotermični plastifikaciji se prične ohlajanje hlodovine. Hlodovina se ohlaja vse do procesa luščenja, za opravljanje katerega je nujno potrebna nižja temperatura hlodovine od tiste med parjenjem.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Zanimalo nas je, kako poteka postopek hidrotermične plastifikacije surovine v parilnih jamah podjetja Javor Pivka; kako se spreminja temperatura hlodov med parjenjem na različnih pozicijah v parilni jami ter kako se spreminja temperatura hloda po končani hidrotermični plastifikaciji in odprtju parilne jame.

1.2 HIPOTEZE IN CILJI

Začetna temperatura hloda, ki je direktno odvisna od temperature okolice, vpliva na čas parjenja in na dinamiko segrevanja hloda v parilni jami.

Položaj hloda v parilni jami vpliva na dinamiko segrevanja surovine.

Temperatura okolice vpliva na hitrost ohlajanja hlodovine po končanem parjenju.

Cilj naloge je, da z merjenjem temperatur v hlodih, ki so nameščeni na različnih višinah v parilni jami, natančno spremljamo potek hidrotermične plastifikacije. Pri hlodih bomo spremljali tudi ohlajanje v času po končani hidrotermični plastifikaciji do pričetka postopka luščenja.

2 SPLOŠNI DEL

2.1 TEHNOLOŠKE FAZE PROIZVODNJE LUŠČENEGA FURNIRJA

2.1.1 Definicija furnirja

Furnir je gladek, tanek list lesa debeline do 7 mm (EN 313-2:2000) proizveden z žaganjem, rezanjem ali luščanjem (Gornik Bučar, 2000).

Po načinu izdelave ločimo:

- žagan furnir,
- rezan furnir,
- luščen furnir.

Po uporabi ločimo:

- plemeniti furnir (uporablja se za oplemenitenje),
- konstrukcijski furnir (uporablja se pri izdelavi slojnega lesa, za embalažo ipd.).

Po načinu obdelave ločimo:

- neobrezan furnir,
- obrezan furnir,
- obrezan furnir po naročilu.

Glede na smer rezanja (teksturo) ličimo:

- bleščice (radialna in polradialna),
- bočnice (tangencialna, plamenasta),
- posebne (koreninasta, ikrasta, piramida,...).

Glede na debelino ličimo:

- mikro furnirji (0,09 – 0,19 mm),
- tanki furnirji (0,2 – 1 mm),
- furnirji srednje debeline (1,1 – 3,5 mm),
- debeli furnirji (3,6 – 7 mm).

2.1.2 Sortiranje, zaščita in skladiščenje bukove furnirske hlodovine

Sortiranje, skladiščenje in zaščita hlodovine so začetne faze tehnološkega procesa pri proizvodnji luščenega furnirja.

Skrb za dober izkoristek hlodovine se začne že na prevzemu hlodovine. Najbolje je, da se prevzem izvaja na skladišču gozdarjev ali pri trgovcih s hlodovino brez posrednika ter po predhodnem ogledu hlodovine. Hlodovino se ovrednoti po veljavnih standardih ali po nabavnih specifikacijah. Pri dobavi hlodovine se na osnovi internih standardov in nabavnih specifikacij navadno sklene letne pogodbe z dobavitelji.

Bukovo hlodovino sortiramo po področju uporabe (dolžinah in premerih v dve skupini) :

1. Hlodovina L kvalitete je namenjena za furnirje za notranje in zunanje sloje plošč. Ima lahko več napak, kot so večje ali manjše zdrave grče, diskoloriran les, blaga ukrivljenost hloda, zavita rast. Dovoljene napake hlodovine so natančneje opredeljene v internih standardih.
2. Hlodovina F kvalitete je namenjen za plemenite furnirje. Je brez rdečega srca in brez vidnih rastnih napak.

Na skladišču hlodovine se izvaja zaščita bukove hlodovine s premazom čel in zabijanjem S spon v primeru čelnih razpok. V poletnem času, ko se zunanje temperature dvignejo nad 15° C, bukove hlode skladiščimo v bazenu z vodo ali pa jih polivamo. To prepreči napad insektov in gliv. Hlode L kvalitete škropimo, hlode F kvalitete pa skladiščimo v bazenih.

2.1.3 Hidrotermična plastifikacija surovine

Strokovni krogi proces hidrotermične plastifikacije in učinke, ki naj bi jih s tem postopkom dosegli različno interpretirajo (Gorišek, 1987).

Pri proizvodnji krivljenih elementov, je hidrotermična plastifikacija nepogrešljiv postopek. Nekateri so mnenja, da mora biti vlažnost lesa pred hidrotermično plastifikacijo v območju nasičenja celičnih sten. Spet drugi priporočajo vlažnost med 14% in 16% (Gorišek, 1987).

Razlike so tudi v doseženi vlažnosti lesa po končani hidrotermični plastifikaciji. Če pri normalnem zračnem tlaku hidrotermično plastificiramo svež in osušen les, dobimo v obeh primerih vlažnost med 40% in 50%. Svež les izgublja vlago v začetni fazi segrevanja, nato pa ostaja vlažnost v ravnovesju s pogoji hidrotermične plastifikacije. Osušen les vodo akumulira, ravnovesna vlažnost pa je malo nad točko nasičenja celičnih sten. Nekateri pa navajajo višjo vlažnost po končani hidrotermični plastifikaciji, katera naj bi bila odvisna od vlažnosti lesa pred obdelavo (Gorišek, 1987).

Trdnostne lastnosti se lahko zmanjšajo pri dolgotrajnejši hidrotermični plastifikaciji in pri visoki vlažnosti lesa, ker pride do razgradnje celične stene (Gorišek, 1987).

Postopki hidrotermične plastifikacije bukove hlodovine za furnirje se razlikujejo glede na zelene učinke barve in plastičnosti lesa. Ločimo gretje hlodovine, ki ne spremeni barve lesa in parjenje, pri katerem les postane nekoliko rdečkaste barve – barva se izenači z barvo rdečega srca. Pri gretju se les obdela toliko, da je mogoče luščenje, medtem ko je stopnja plastičnosti lesa po parjenju večja (Mesić, 1998).

Dejavniki, ki vplivajo na trajanje hidrotermične plastifikacije lesa (Mesić, 1998):

- vrsta lesa, ki ga želimo hidrotermično plastificirati in njegove kemijske lastnosti,
- gostota lesa,
- toplotna prevodnost lesa (λ),
- premer hloda (D),
- vlažnost lesa (u),
- stopnja zelene hidrotermične plastifikacije – stopnja plastičnosti,
- zelena barva lesa po končani hidrotermični plastifikaciji.

Toplotna prevodnost lesa z več kot 40% vlažnostjo je definirana z enačbo (Kollman, Kote 1984):

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

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

Toplotna prevodnost je odvisna od gostote lesa, temperature, defektov (grč, razpok) ter od smeri prevajanja v lesu. Narašča z naraščajočo gostoto, vlažnostjo in temperaturo. Vzdolžno je približno dvakrat večja kot radialno ali tangencialno (Gorišek in sod., 1994)

Za izdelavo luščenih furnirjev, hlodovino predhodno parimo v parilnih jamah. To so v zemlji izdelani betonski prostori namenjeni za parjenje in gretje hlodovine. Običajne velikosti jame so 8-10m x 3-4m x 2,5-3m. V zadnjem času se izdelujejo večje parilne jame, kar omogoča parjenje in gretje daljših hlodov, kar zvišuje faktor zapolnitve. Jama ima betonske zidove in pokrov, ki mora dobro tesniti.

Glede na način segrevanja ločimo jame z indirektnim in z direktnim gretjem. V prvem primeru se jama do višine 50 cm napolni z vodo, hlodovino pa se namesti na posebno kovinsko podlogo, tako da je nad gladino vode. Po dnu jame so speljane cevi, ki grejejo vodo, da le-ta izpareva in tako segreva hlodovino. Ta način parjenja omogoča enakomerno razporeditev pare in zato enakomerno mehčanje lesa z manj pokanja, vendar je postopek nekoliko daljši.

Pri jamah za gretje in parjenje z direktnim gretjem para prihaja v jamo skozi šobe. Postopek parjenja v teh vrstah parilnih jam je hitrejši, napeljava cenejša, vendar lahko les ob direktnem udaru pare razpoka.

Bukovo hlodovino hidrotermično plastificiramo pri višjih temperaturah za izboljšanje mehanskih lastnosti lesa in za izenačitev barve. Ob nepravilni hidrotermični plastifikaciji se lahko pojavijo čelne razpoke, ki so še bolj izrazite pri sveže posekani hlodovini, kjer so notranje napetosti neizenačene. Čelne razpoke odpravimo s krojenjem hlodovine. Če so prevelike, poslabšajo kvaliteto in izkoristek furnirja.

Po teoriji parjenja delimo hidrotermično plastifikacijo v tri faze: segrevanje, parjenje, izenačevanje temperature.

Segrevanje je čas od začetka parjenja do dosega želene temperature v globini hloda. Pomembno je, da temperatura v jami raste postopoma, saj se pri hitrem segrevanju lahko pojavijo večje napake in razpoke na lesu, zlasti če gre za svež les. Poleg tega mora biti relativna vlažnost zraka visoka. V tej fazi se les še ne obarva.

Druga faza je parjenje. To je faza, v kateri dobi bukov les nekoliko rdečkasto barvo. Poteka pri stalni maksimalni temperaturi in 100% relativni zračni vlažnosti. Faza parjenja bukovine traja od 65 do 90 ur (Mesić, 1998). Običajno se zelena maksimalna temperatura v parilni jami vzdržuje 72 ur, nato se ustavi dovod pare v parne jame, parna jama pa ostane zaprta še 24 ur.

Sledi tretja faza izenačevanja temperature hlodovine s temperaturo okolice v parilni jami. Pri parjenju bukovine traja ta faza najmanj 12 ur. Za kvalitetno luščenje mora imeti hlodovina 40 do 50 °C (Mesić, 1998).

2.1.4 Krojenje hlodovine na dolžino furnirja z nadmero

Krojenje hlodovine opravimo zato, da iz dolžine, ki jih ima dobavljena hlodovina, dobimo krajše hlode, ki ustrezajo furnirju zelene dolžine (slika1). Pri krojenju je treba strmeti k čim boljšemu izkoristku hlodovine ter na to, da se s krojenjem izognemo določenim napakam, ki bi lahko zmanjšale kvaliteto furnirja. Krojilci morajo imeti na voljo več dolžin, na katere lahko krojijo hlodovino. Krojilci krojijo tiste dolžine, ki jih potrebujejo trenutno v proizvodnji, ne krojijo pa hlodovino, ki bi jo potrebovali kasneje.

Kadar krojimo hlode namenjene za izdelavo furnirjev za notranje sloje plošč, lahko uporabimo slabšo kvaliteto hlodovine oziroma surovino z manjšimi, že na zunaj vidnimi zdravimi slepicami ali grčami.



Slika 1: Krojeni hlodi na zeleno dolžino

2.1.5 Lupljenje hlodovine

Lupljenje hlodovine je odstranjevanje skorje in nečistoč, ki so na površini hloda. Odstranitev skorje zmanjša možnost poškodb noža na luščilnem stroju. Če se nož na luščilnem stroju poškoduje, so vidne sledi na površini furnirja, ki je zato primeren le še za notranje sloje plošč. Poškodovan nož je treba zamenjati, kar je zamudno in drago. Pogostejše brušenje nožev povzroča hitrejšo obrabo le-teh.

Lupljenje poteka na lupilnem stroju z rezkalno glavo (slika 2). Hlod se vrti na sklopu vrtečih se zobatih kolotov, iz zgornje strani pa nanj pritiska rezkalna glava, ki odstrani drevesno skorjo in nečistoče.



Slika 2: Stroj z rezkalno glavo za lupljenje furnirske hlodovine

2.1.6 Luščenje furnirja

Luščenje je najpomembnejša faza v proizvodnji furnirja. Na luščilnikih proizvajamo furnir, ki se uporablja za proizvodnjo vezanega lesa, lesnih kompozitov, embalažo, ... Luščenje je rezanje hlodovine s furnirskim nožem po določeni krivulji, ki jo lahko opišemo z Arhimedovo spiralo. Sestavljeno je iz glavnega (rotacijskega) gibanja, ki ga opravlja obdelovanec in premočrtnega gibanja, ki ga opravlja furnirski nož.

Luščenje je sestavljeno iz več zaporednih faz. Prva faza je centriranje hloda, ki se izvaja z namenom doseganja boljšega izkoristka. Najpogostejše je geometrijsko in avtomatsko centriranje, občasno pa se še vedno uporablja ročno centriranje z različnimi šablonami.

Slaba lastnost optičnega centriranja je ta, da ne upošteva oblike prečnega prereza in zakrivljenosti hloda. Pri avtomatskem centriranju naprava hlod postavi v ustrezen položaj, kateremu sledi vpenjanje. Najnovejše računalniško vodene naprave za centriranje s pomočjo svetlobnih žarkov upoštevajo obliko in tudi stopnjo ukrivljenosti hloda.

Sledi vpetje hloda v luščilni stroj, za kar služita dve vreteni, ki tudi vršita prenos rotacije na hlod. Centralni krmilni sistem s pomočjo elektromotorjev in hidravličnega agregata krmili pomik nosilca noža in tlačne letve proti vrtečem se hlodu.

Pri luščenju sprva nastajajo neuporabne krpe furnirja, sledi pa kontinuiran trak furnirja, ki je želeni proizvod.

Bukov luščen furnir ima lahko različne napake, ki zmanjšajo vrednost in uporabnost furnirja. Napake lahko razdelimo v dve skupini: 1. napake nastale zaradi neustreznega tehnološkega postopka; 2. prisotnost rastnih napak, kot so grče, diskloriran les-rdeče srce bukve in razpoke. Furnirji s temi napakami se lahko uporabljajo samo za notranje sloje vezanih plošč.

Tudi temperatura hloda vpliva na kvalitetno luščenje in gladko površino furnirja. Najustreznejša temperatura bukovine pri luščenju je med 40 °C in 50 °C. Pomembno je tudi, da je temperatura hloda čimbolj enotna v zunanjih in notranjih plasteh (Dundar in sod., 2008, a). Če je temperatura hloda ob začetku luščenja višja od optimalne, se lesna vlakna preveč nabirajo na tlačni letvi luščilnega stroja, nastali furnir pa ima grobo površino (Dundar in sod., 2008, b).

2.1.7 Krojenje furnirja na mokrih škarjah

Pri luščenju prihaja iz luščilnega stroja kontinuiran trak furnirja. Ko je postopek luščenja zaključen, potuje furnir po transportnem traku do optičnih senzorjev za zaznavanje odprtih razpok in izpadlih grč. Za njimi so nameščene rotacijske mokre škarje z dvema glavama. Vsaka glava ima po tri segmentne nože, ki so nameščeni po obodu glav. Mokre škarje dobijo od senzorjev preko krmilnika podatke o napakah, ki jih je treba izsekati. V krmilniku so vneseni podatki o možnih širinah furnirja, ki jih lahko škarje krojijo glede na dodatni podatek o napakah. Krojen furnir potuje po transportnem traku do odlagalnih mest. Na krmilniku mokrih škarij je vnesen tudi podatek, na katera odlagalna mesta bomo odlagali furnirje posameznih dimenzij.

2.1.8 Sušenje furnirja

Po luščenju moramo furnir čim hitreje posušiti. Če furnirja ne posušimo, ga namreč posebno v poletnem času napadejo glive in plesni, kar lahko povzročijo obarvanje.

Sušenje furnirja izvajamo v pretočni valjčni sušilnici pri temperaturi 160-170 °C, 3 do 6 minut. Vstopna vlažnost furnirja je 70-80 %, po končanem sušenju pa 5-12 %. Pri tem se furnir krči.

S sušenjem furnirja pridejo do izraza tudi številne napake, ki po luščenju niso bile vidne. Drevesa, ki so rasla na močno nagnjenih terenih, imajo veliko tenzijskega lesa, ki je glavni vzrok za zvijanje in valovitost furnirja. Napetosti v furnirju lahko v določenem obsegu zmanjšamo z ustreznimi režimi sušenja. Zaradi krčenja lesa pa pride pri sušenju do razpok, ki so najbolj izrazite na furnirju iz juvenilnega lesa, ki ga dobimo proti koncu luščenja.

2.1.9 Kondicioniranje furnirja in obrez na suhih škarjah

Pri nadaljnji obdelavi moramo posušen furnir kondicionirati vsaj 24 ur, da se tako umirijo notranje napetosti.

Furnir, ki ga bomo uporabili za notranje sloje plošč, dimenzijsko in kvalitetno ustreza namenu uporabe in ga ne obdelujemo več.

Furnirje, ki so namenjeni za vidne strani plošč, moramo dodatno obrezati. Tako izločimo napake, ki jih prej optični senzorji niso zaznali, in jih šele nato spojimo. Za obrezovanje suhega furnirja uporabljamo dve vrsti suhih škarij. Prve so skoraj enake mokrim škarjam s senzorji in krmilnikom in se uporabljajo le za obrez furnirjev za notranje sloje plošč. Te škarje izsekujejo odprte razpoke in izpadle grče. Druge škarje se vodijo ročno in so namenjene za krojenje furnirjev za zunanje sloje plošč. Pri teh delavci izločijo napake, ki jih senzorji ne morejo zaznati, kot so zdrave grče, razlike v barvi furnirja in piravost.

2.2 HIDROTERMIČNA PLASTIFIKACIJA IN KROJENJE BUKOVINE V PODJETJU JAVOR PIVKA D.D.

V podjetju Javor Pivka izvajajo hidrotermično plastifikacijo hlodovine z indirektnim parjenjem v parilni jami (Slika 3, 4, 5). Za parjenje uporabljajo 8 parilnih jam velikosti 10m x 5m x 3m, v katere lahko namestijo okrog 70m³ hlodovine. Jama ima betonske zidove in lesen pokrov, ki dobro tesni.

Za polnjenje in praznjenje parilnih jam se uporablja mostni žerjav.

Po končani hidrotermični obdelavi sledi krojenje hlodovine, ki ga opravljajo na stacionarnem verižnem žagalnem stroju (Dolmar).

Sledi lupljenje, ki poteka na lupilnem stroju (Heva) z rezkalno glavo.



Slika 3: Parilna jama; pogled na zaprto parilno jamo



Slika 4: Parilna jama; pogled v notranjost parilne jame, kjer so nameščeni hlodi za parjenje



Slika 5: Stacionarni verižni žagalni stroj za krojenje hlodov na željeno dolžino

3 MATERIALI IN METODE DELA

3.1 UPORABLJEN LES – BUKOVINA

Meritve smo opravljali na bukovih hlodih, ki so ustrezali kakovostnim zahtevam za proizvodnjo luščenega furnirja. Surovina je bila posekana v jesenskem času.

3.1.1 Opis lesa

Bukev (*Fagus Sylvatica* L.) je pri nas najbolj razširjen listavec in naša najpomembnejša lesna vrsta. Do sredine 19. stoletja so jo uporabljali skoraj izključeno za kurjavo. Bukev je razširjena po dolinah in sredogorjih zahodne, srednje in južne Evrope do Kavkaza. Drevo bukke doseže višino do 30 m, v redkih primerih tudi preko 40 m in premer debla 100-150 cm. Dolžina debla brez vej znaša 15 m in več. Skorja je gladka in ima v starosti biseren lesk in je srebrno sive barve.

Posekano bukovino je potrebno takoj spraviti iz gozda, ker je nezaščiten podvržena okužbam z insekti in glivami. V toplejšem obdobju leta je potrebna zaščita bukovega lesa tudi na skladišču, kar dosežemo z namakanjem oziroma skladiščenjem v bazenih z vodo.

Bukov les je rdečkasto-bel. Beljava in jedrovina se navadno barvno ne ločita. Drugače je pri diskloraciji, ko postane les rdeče-rjav, v prečnem prerezu pa oblakast. Bukov les ima jasno vidne branike in je v radialnem prerezu nekoliko progast, v tangencialnem pa nekoliko plamenast. Parjen bukov les je rdečkaste do rdeče-rjave barve.

Da dosežemo izenačenje barve, zmanjšamo notranje napetosti ter s tem zvijanje in pokanje lesa, bukovino parimo. Parimo lahko hlodovino ali decimirane elemente. Les mora biti pred parjenjem dovolj vlažen, da ob parjenju ne nastajajo madeži

Živo drevo bukke je sposobno prevajanja vode, kar postopno upada od perefirije proti notranjost debla. V isti smeri upada tudi vitalnost parenhimskih celic, ki pa lahko preživijo tudi 100 let in več, če v njihovem razvoju ne pride do nenadne smrti pod vplivom zunanje dejavnika. To sproži tudi nastanek diskloriranega lesa.

Pri nas se bukov les uporablja kot surovina v 90 % za izdelavo vezanih plošč, luščenega furnirja in izdelke iz slojastega lesa. Na trgu se prodaja bukovina kot hlodovina, žagan les, furnir, in razni polizdelki.

3.1.2 Lastnosti bukovine (po Čufar, 2002)

Srednje vrednosti za E-modul in trdnost veljajo za vzorce brez napak z vlažnostjo $u=12\%$ (ravnovesna vlažnost v normalni klimi pod DIN 50014-20/65-1).

Gostota

R 490...680...880 kg/m³ * R15 540...720...910 kg/m³ **

E-modul – upogibni, vzporedno s potekom aksialnih elementov
16 000 N/mm² 14 000 N/mm² **

Tlačna trdnost – vzporedno s potekom aksialnih elementov
53 N/mm² 60 N/mm² **

Natezna trdnost – vzporedna s potekom aksialnih elementov
135 N/mm² 135 N/mm² **

Upogibna trdnost – vzporedna s potekom aksialnih elementov
105 N/mm² 120 N/mm² **

Strižna trdnost – vzporedna s potekom aksialnih elementov
8 N/mm² 10 N/mm² **

Krčenje β – (v %) od svežega do suhega stanja preračunano na dimenzije svežega lesa

vzdolžno 0,3 *
tangencialno 11,8 *
radialno 5,8 *
volumsko 14,0 *

Diferencialno nabrekanje – procentualni nabrek ob spremembi lesne vlažnosti za 1%

Radialno 0,20 *
tangencialno 0,41 *
anizotropija nabrekanja tang/rad 2,1 *

Toplotna prevodnost – pravokotno na potek aksialnih elementov za zračno suh les +15%,
pri gostoti $r_{15} = 720$
0,157 W/mK (0,135 kcal/mho C) ***

Dovoljene obremenitve za les so opisane v DIN 1052, list 1, (Holzbauwerke, Berechnung und Ausführung).

* Vrednost za elastičnost in trdnost so povzete po tabelah L za bukev (Holz als Roh – und Werkstoff 1939).

**V drugi koloni so podane vrednosti po DIN 68364 (Kennwerte von Holzarten, Festigkeit, Elastizität, Reesistenz).

*** Toplotna prevodnost po DIN 4108 (Toplotna zaščita pri visokih gradnjah) pri upoštevanju varnostnega faktorja za vlažnost in gostoto.

3.2 METODE DELA

3.2.1 Spremljanje temperature hlodov v parilnih jamah med parjenjem

3.2.1.1 Testo (177 T4)

Meritve hidrotermične plastifikacije v hlodu in v parilni jami, smo izvajali z merilnim sistemom Testo 177-T4. Merilna naprava ima dve sondi, s katerima zaznava temperaturo. Eno sondo smo namestili 22-23 cm v hlod, drugo sondo pa smo pustili prosto v parilni jami.

Testo 177-T4 je štiri kanalni merilec temperature. Vežemo ga vzporedno.

Zunanji T/C senzorji so tipa K, T ali J, ki imajo različne razpore:

Razpon ($^{\circ}\text{C}$):

Tip K	od - 195 do +1000
Tip T	od - 200 do + 400
Tip J	od - 100 do + 750

Občutljivost senzorja je $\pm 0,1$ $^{\circ}\text{C}$.

Pri meritvi smo uporabljali dva vzporedna senzorja tipa T. Meritve smo beležili vsakih 60 minut.

Za prenos podatkov računalniško bazo smo uporabili opremo Testo-Comfort-Software CFR. Računalniška oprema omogoča tudi združevanje, obdelavo podatkov ter njihovo prikazovanje v obliki tabel.



Slika 6: Testo (177 T4) za merjenje temperature

3.2.1.2 Omega logger Omega OM-DAQPRO-5300 (Verzija V 3.0 OM)

Pri merjenju temperatur, kjer smo primerjali temperature hlodov glede na položaj v parilni jami, smo izvajali s pomočjo Omega loggerja.

Merilni sistem Omega logger Omega OM-DAQPRO-5300 sestavljajo

1. OM – DAQPRO – 5300 Portable Handheld Datalogger, Omega, Stamford, CT
2. OM – DAQPRO – 5300 Prenosni ročni zapisovalec podatkov Omega Engineering, Stamford, CT

OM – DAQPRO – 5300 je osem kanalni prenosni sistem za zajemanje in beleženje podatkov z grafičnim prikazom in vgrajeno analizo teh podatkov. Z nastavljivo pogostostjo meritev lahko meri napetost, tok in temperaturo v realnem času. Za enostavno povezavo so na koncu vhodnih kanalov pritrdilni vijaki. Vgrajeno ima uro in koledar, ki omogočajo datiranje meritev. Računalniška oprema Daqlab omogoča prenos podatkov iz OM – DAQPRO – 5300 na računalnik ter prikaz podatkov v obliki tabel ali grafov, matematične analize in izvoz v druge računalniške programe.

Vsak od osmih senzorjev, ki jih lahko uporabljamo, se lahko individualno konfigurira za katerikoli tip senzorja in temperaturni obseg.

Pri meritvah smo uporabili 6 senzorjev, s katerimi smo merili temperature med hidrotermično plastifikacijo.



Slika 7: Omega logger Omega OM-DAQPRO-5300 (Verzija V 3.0 OM) za merjenje temperature

3.2.2 Spremljanje temperature ohlajanja hlodovine po zaključeni hidrotermični plastifikaciji

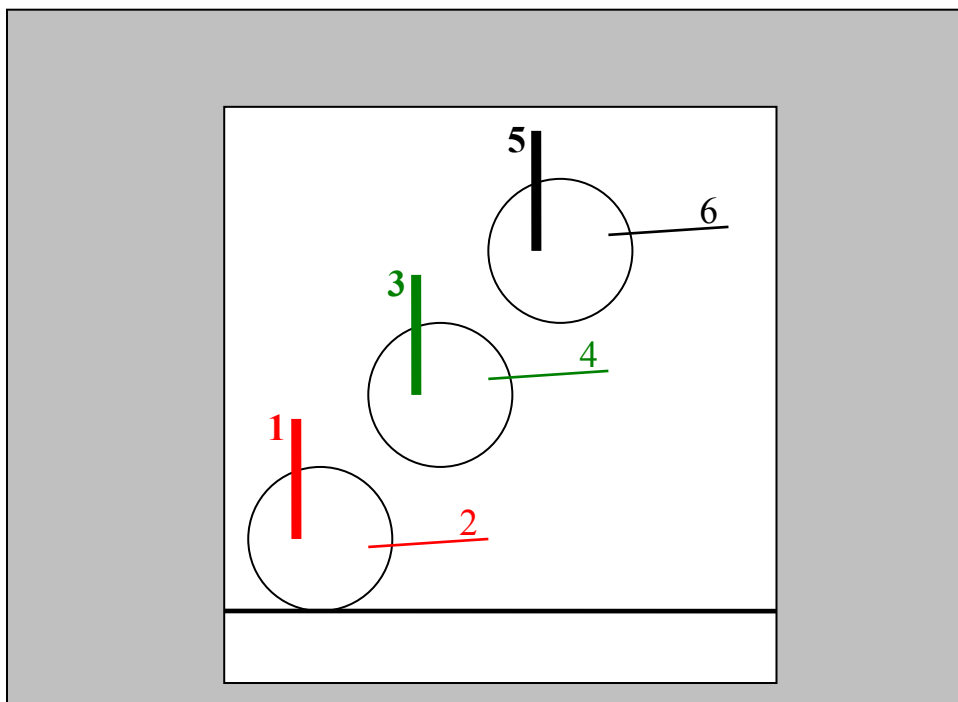
Po zaključeni hidrotermični plastifikaciji parilno jamo odkrijemo. Sledi ohlajanje, ki traja od zaključka hidrotermične plastifikacije do luščenja. Pomembno je, da se temperatura hlodovine med ohlajanjem primerno zniža na optimalnih 40 °C do 50 °C. Zanimalo nas je, kako hitro poteka ohlajanje hlodov ter kakšna je temperatura hloda pred pričetkom luščenja. Z ročnim digitalnim merilcem temperature lesa smo merili temperaturo hlodov po končani hidrotermični plastifikaciji. Izbrali smo 5 naključnih merjencev iz vsake parilne jame, v kateri smo izvajali meritve z merilnim sistemom Testo. Skupaj smo merili ohlajanje 25-ih hlodov.

3.3 POSTOPKI MERITEV

Z merilnim sistemom Testo (177 T4), ki ima dve merilni sondi, smo izvajali meritve temperatur hlodov in temperature okolice pri hidrotermični plastifikaciji v petih parilnih jamah. Meritve so potekale tako, da smo pred začetkom eno sondo namestili 22 do 23 cm v globino hloda, drugo pa prosto v parilni jami. Sonde so nato beležile podatke temperature hloda vsakih 60 minut do končane hidrotermične plastifikacije.

Z merilnim sistemom Omega logger OM-DAQPRO-5300 smo opravili dodatne meritve temperatur hlodov v parni jami med hidrotermično plastifikacijo s 6 sondami. Meritev smo opravili tako, da smo izbrali tri hlode; prvi merjenec je bil na dnu parilne jame (50 cm nad nosilci v parni jami), drugi merjenec je bil na sredini parilne jame (150 cm nad nosilci v parni jami), tretji merjenec je bil na vrhu parilne jame (270 cm nad nosilci v parni jami). V vsak merjenec smo namestili po dve sondi. Eno sondo smo namestili 22 do 23 cm v globino hloda proti centru, drugo sondo pa 7 cm od površine hloda (slika 9). Sonde so merile temperature hlodov vsakih 60 minut. Z merilnim sistemom Omega logger OM-DAQPRO-5300 smo dobili izmere temperatur, ki so prikaze v prilogi.

Za spremljanje ohlajanja hlodovine po končani hidrotermični plastifikaciji smo v vsak merjenec zavrtali 7 cm globoke luknje in na tej globini merili temperaturo vsakih 30 minut od odprtja parilne jame do začetka luščenja.



Slika 8: Presek parilne jame s shematskim prikazom položaja testnih hlodov ter merilne sonde

4 REZULTATI

4.1 TEMPERATURA HIDROTERMIČNE PLASTIFIKACIJE

4.1.1 Rezultati meritev z merilnim sistemom Testo (177 T4)

Meritev 1

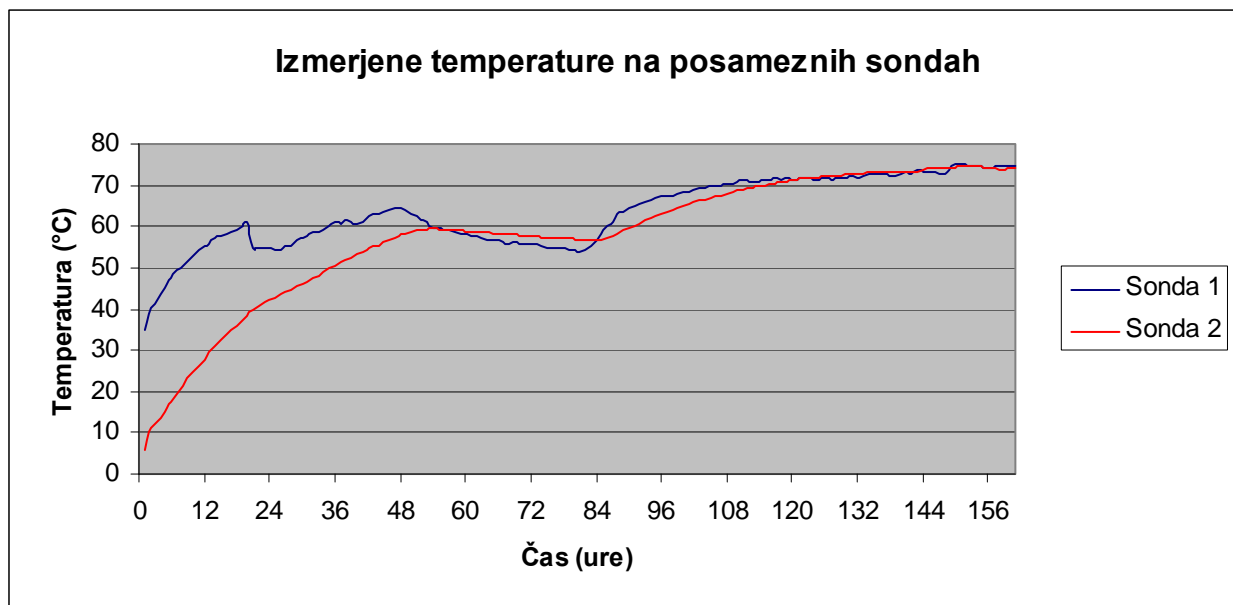
Parilna jama številka 9

Zunanja temperatura 1.0 °C

Sonda 1 je bila nameščena prosto v parilni jami, sonda 2 pa v hlodu

Debelina hloda 64 cm

Rezultati meritev v prilogi 1



Slika 9: Naraščanje temperature v odvisnosti od časa (meritev 1)

Iz meritve 1, ki je potekala v parilni jami številka 9 je razvidno, da je bila začetna temperatura hloda precej nižja kot začetna temperatura parilne jame. Sonda, ki je bila nameščena v parilni jami in je merila temperaturo okolice, je temperaturo 50 °C dosegla po 9-i uri. Sonda, ki je bila nameščena v hlodu pa po 33-i uri. V fazi parjenja, ki je trajala preostalih 120 ur, se je temperatura v parilni jami gibala med 55°C in 75°C, temperatura hlodovine pa se je gibala med 50 °C in 74 °C. Med 50-to in 85-to uro je viden manjši padec temperature v parilni jami (približno 10 °C) in minimalni padec temperature v hlodu (3 °C), kar je posledica zimskega režima parjenja v podjetju Javor Pivka d.d.. V zimskem času se namreč v soboto in nedeljo prekine dovod toplote. V tem primeru je bilo prekinjeno dovajanje toplote 35 ur. Po 84-ti uri sta bili temperaturi v parilni jami in v hlodu praktično izenačeni in sta postopno rasli do konca parjenja. Faze izenačevanja temperature hloda z okolico nismo spremljali.

Meritev 2

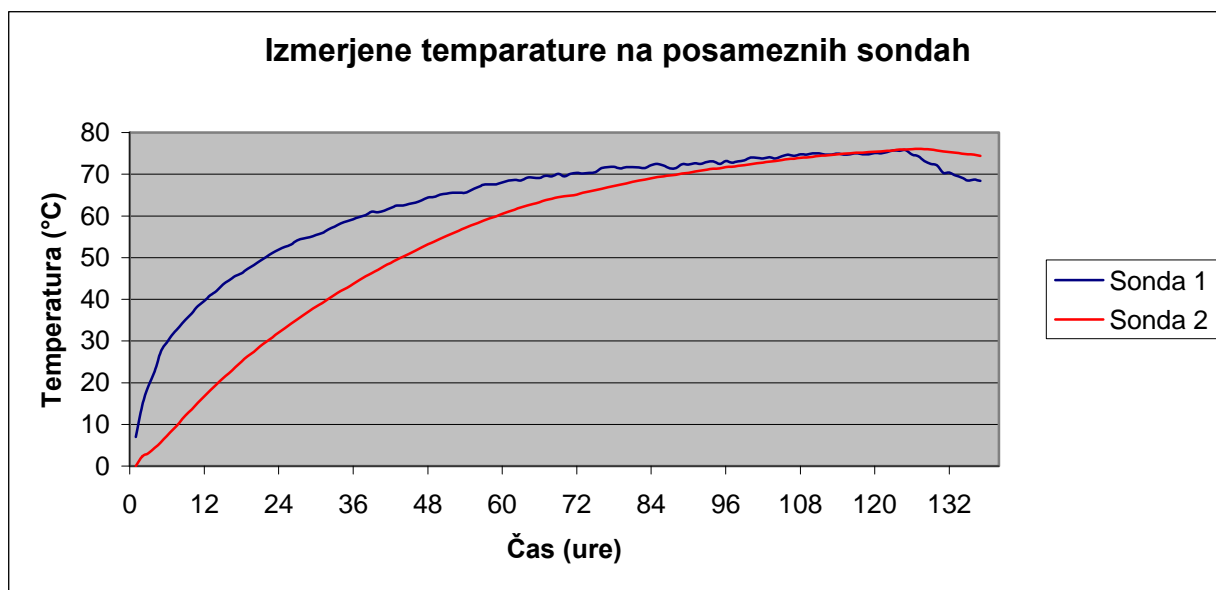
Parilna jama številka 9

Zunanja temperatura 2.0 °C

Sonda 1 je bila nameščena prosto v parilni jami, sonda 2 pa v hlodu

Debelina hloda 58 cm

Rezultati meritev v prilogi 1



Slika 10: Naraščanje temperature v odvisnosti od časa (meritev 2)

Iz meritve 2, ki je potekala v parilni jami številka 9 je razvidno, da sta bili začetna temperatura hloda in začetna temperatura v parilni jami zelo nizki. Temperatura hloda je bila ob začetku parjenja 0 °C in je rasla nekoliko počasneje kot temperatura v parilni jami. V fazi segrevanja je sonda nameščena v parilni jami temperaturo 50 °C dosegla po 22-i uri. Sonda, ki je bila nameščena v hlodu, pa po 42-i uri. Do izenačenja temperature hloda s temperaturo v parni jami je prišlo okrog 113-te ure. Po 125-i uri, ko se prekine dovod toplote, temperatura v parilni jami hitro pada. Temperatura v hlodu še dve uri malo narašča, nato pa začne počasi padati. Faze izenačevanja temperature hloda z okolico nismo spremljali.

Meritev 3

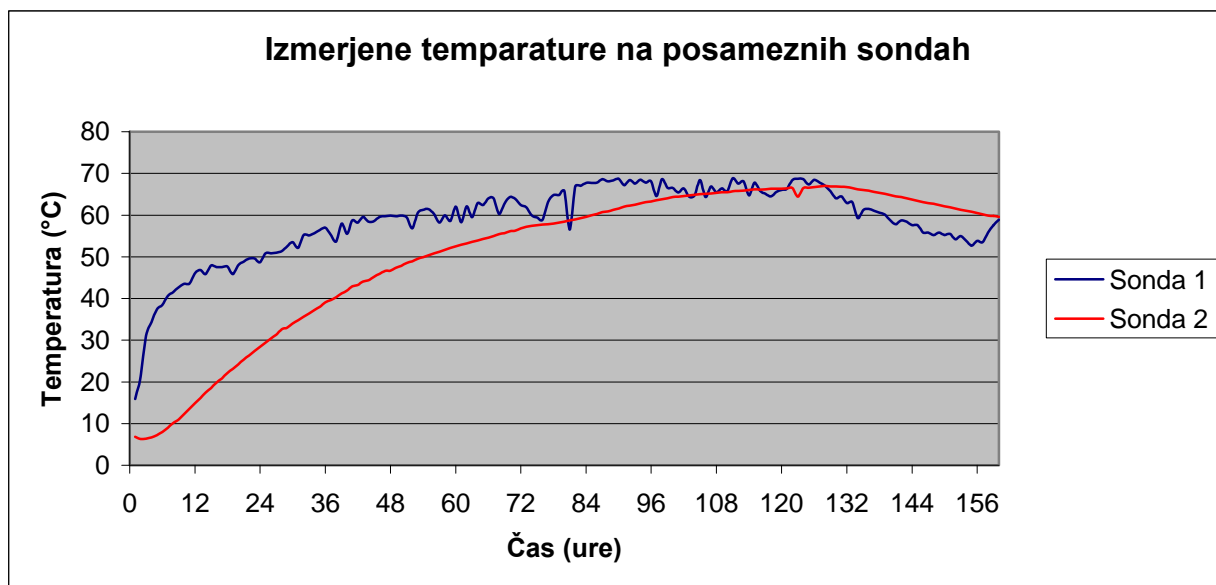
Parilna jama številka 10

Zunanja temperatura -4.0 °C

Sonda 1 je bila nameščena prosto v parilni jami, sonda 2 pa v hlodu

Debelina hloda 63 cm

Rezultati meritev v prilogi 1



Slika 11: Naraščanje temperature v odvisnosti od časa (meritev 3)

Iz meritve 3, ki je potekala v parilni jami številka 10 je razvidno, da je bila temperatura hloda ob začetku parjenja nekoliko nižja in je rasla nekoliko počasneje, vendar bolj enakomerno kot temperatura v parilni jami. V fazi segrevanja je sonda nameščena v parilni jami temperaturo 50 °C dosegla po 22-i uri. Sonda, ki je bila nameščena v hlodu, pa po 53-i uri. V fazi parjenja, ki je trajala preostalih 100 ur, se je temperatura v parilni jami gibala med 58 °C in 79 °C, temperatura hlodovine pa med 50 °C in 67 °C. Nižja temperatura merjenja med parjenjem, je posledica slabega tesnjenja pokrovov in s tem izgubo toplote. Od 130-e ure dalje, je vidna tudi faza izenačevanje, ki traja vse do 155-e ure (25 ur).

Meritev 4

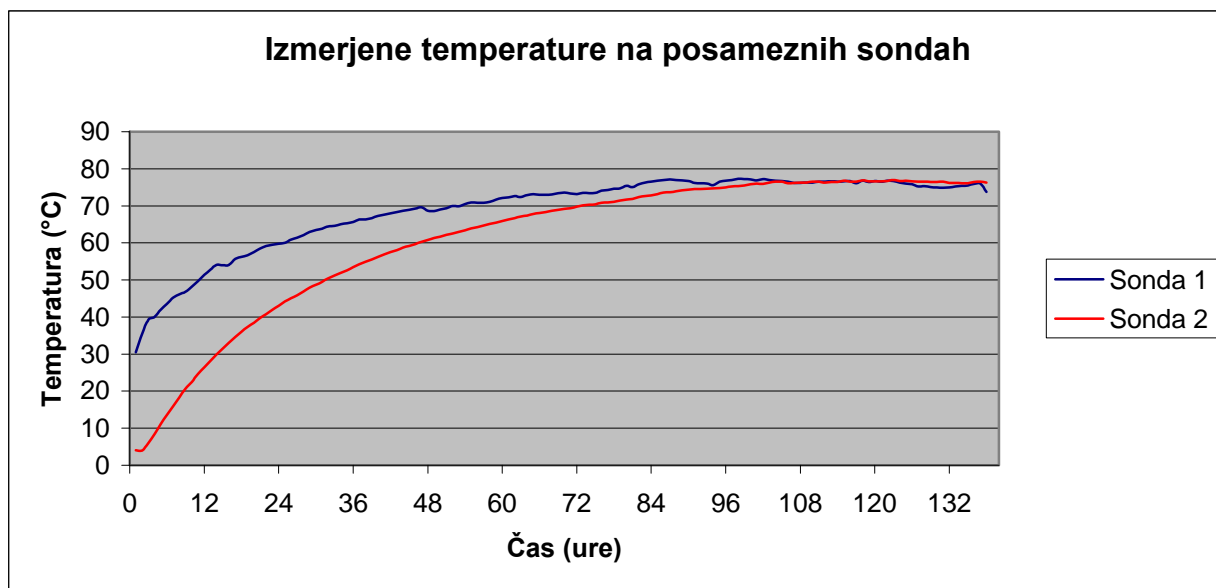
Parilna jama številka 10

Zunanja temperatura -4.0 °C

Sonda 1 je bila nameščena prosto v parilni jami, sonda 2 pa v hlodu

Debelina hloda 54 cm

Rezultati meritev v prilogi 1



Slika 12: Naraščanje temperature v odvisnosti od časa (meritev 4)

Iz meritve 4, ki je potekala v parilni jami številka 10 je razvidno, da je bila temperatura hloda ob začetku parjenja nižja in je rasla nekoliko počasneje kot temperatura v parilni jami. V fazi segrevanja je sonda nameščena v parilni jami temperaturo 50 °C dosegla po 12-i uri. Sonda, ki je bila nameščena v hlodu pa po 30-i uri. V fazi parjenja, ki je trajala preostalih 110 ur, se je temperatura v parilni jami gibala med 65 °C in 78 °C, temperatura hlodovine pa med 50 °C in 78 °C. Do izenačenja temperature v parilni jami s temperaturo hlodovine je prišlo okrog 105-te ure. Faze izenačevanja temperature hloda z okolico nismo spremljali.

Meritev 5

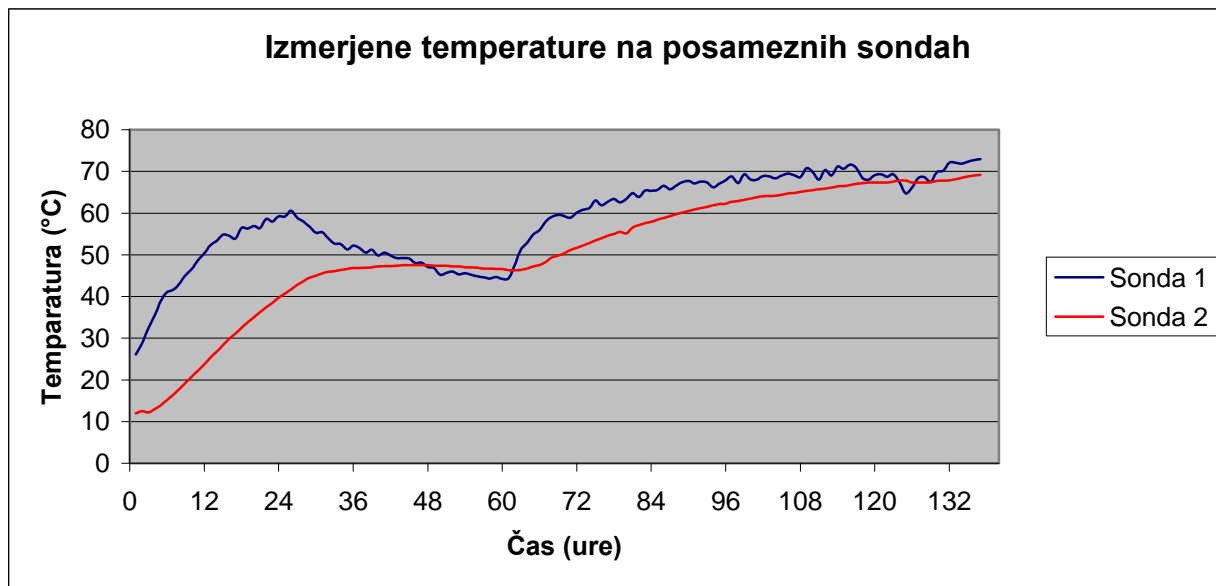
Parilna jama številka 7

Zunanja temperatura 5.0 °C

Sonda 1 je bila nameščena prosto v parilni jami, sonda 2 pa v hlodu

Debelina hloda 52 cm

Rezultati meritev v prilogi 1



Slika 13: Naraščanje temperature v odvisnosti od časa (meritev 5)

Iz meritve 5, ki je potekala v parilni jami številka 7 je razvidno, da je bila začetna temperatura hloda precej nižja kot začetna temperatura v parilni jami; razmerje se je dokaj linearno ohranjalo skozi ves čas segrevanja. V fazi segrevanja je sonda nameščena v parilni jami temperaturo 50 °C dosegla po 12-i uri. Sonda, ki je bila nameščena v hlodu pa po 70-i uri. Podobno kot pri meritvi 1 je med 26-to in 62-to uro viden padec temperature v parilni jami in prehodna zaustavitev naraščanja temperature hloda, kar je, kot smo že omenili, posledica zimskega režima parjenja v podjetju Javor Pivka. V fazi parjenja, ki je trajala preostalih 110 ur, se je temperatura v parilni jami gibala med 45 °C in 72 °C, temperatura hlodovine pa med 45 °C in 71 °C. Faze izenačevanja temperature hloda z okolico nismo spremljali.

4.1.2 Rezultati in grafični prikaz meritev z merilnim sistemom Omega logger OM-DAQPRO-5300

Parilna jama številka 9

Zunanja temperatura 10.0 °C

Razpored sonde v parilni jami: Globoke sonde so bila nameščene 23 cm v hlod, periferne pa 7 cm v hlod

Razporeditev hlodov merjenecv: prvi hlod je bil 50 cm nad gladino vode v parilni jami, drugi 140 cm, tretji pa 270 cm

Rezultati vseh meritev v prilogi 2

Merjenec 1

Pozicija hloda: 50 cm nad gladino vode

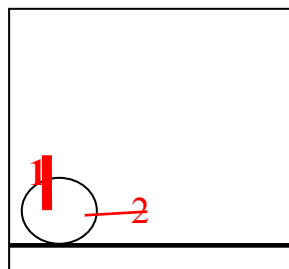
Premer hloda : 64 cm

Sonda 1: 23 cm v globino hloda

Sonda 2: 7 cm v globino hloda

Napaka! Neveljavna povezava.

Slika 14: Naraščanje temperature v različni globini hloda v odvisnosti od časa (sondi 1 in 2)



Merjenec 2

Pozicija hloda: 140 cm nad gladino vode

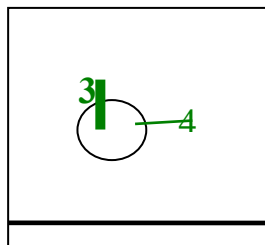
Premer hloda: 65 cm

Sonda 3: 23 cm v globino hloda

Sonda 4: 7 cm v globino hloda

Napaka! Neveljavna povezava.

Slika 15: Naraščanje temperature v različni globini hloda v odvisnosti od časa (sondi 3 in 4)



Merjenec 3

Pozicija hloda: 270 cm nad gladino vode

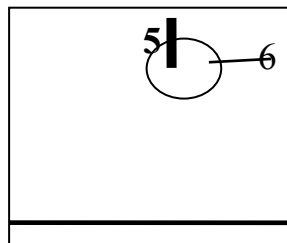
Premer hloda: 70 cm

Sonda 5: 23 cm v globino hloda

Sonda 6: 7 cm v globino hloda

Napaka! Neveljavna povezava.

Slika 16: Naraščanje temperature v različni globini hloda v odvisnosti od časa (sondi 5 in 6)



4.2 OHLAJANJE HLODOV PO ZAKLJUČENI HIDROTERMIČNI PLASTIFIKACIJI

Po zaključeni hidrotermični plastifikaciji hlodovino še krojimo in lupimo. Pri tem je hlodovina izpostavljena zunanji temperaturi, zato nas je zanimala dinamika ohlajanja.

Za spremljanje ohlajanja hlodovine smo izbrali 5 naključnih hlodov iz vsake od petih parilnih jam, v katerih smo izvajali meritve s sistemom Testo. V vsak merjenec smo zavrtali 7 cm globoke luknje in na tej globini merili temperaturo vsakih 30 minut od odprtja parilne jame do začetka luščenja.

Meritev 1

Parilna jama številka 9

Zunanja temperatura 7.0 °C

Pri merjenju ohlajanja je bila merilna sonda ročnega merilca temperature nameščena 7 cm v globino hloda

Debelina hloda 62 cm

Napaka! Neveljavna povezava.

Slika 17: Ohlajanje hlodov v odvisnosti od časa (temperatura okolice 7.0 °C)

Meritev 2

Parilna jama številka 9

Zunanja temperatura 2.0 °C

Pri merjenju ohlajanja je bila merilna sonda ročnega merilca temperature nameščena 7 cm v globino hloda

Debelina hloda 58 cm

Napaka! Neveljavna povezava.

Slika 18: Ohlajanje hlodov v odvisnosti od časa (temperatura okolice 2.0 °C)

Meritev 3

Parilna jama številka 10

Zunanja temperatura 4.0 °C

Pri merjenju ohlajanja je bila merilna sonda ročnega merilca temperature nameščena 7 cm v globino hloda

Debelina hloda 63 cm

Napaka! Neveljavna povezava.

Slika 19: Ohlajanje hlodov v odvisnosti od časa (temperatura okolice 4.0 °C)

Meritev 4

Parilna jama številka 10

Zunanja temperatura -2.0 °C

Pri merjenju ohlajanja je bila merilna sonda ročnega merilca temperature nameščena 7 cm v globino hloda

Debelina hloda 54 cm

Napaka! Neveljavna povezava.

Slika 20: Ohlajanje hlodov v odvisnosti od časa (temperatura okolice 2.0 °C)

Meritev 5

Parilna jama številka 7

Zunanja temperatura 2.0 °C

Pri merjenju ohlajanja je bila merilna sonda ročnega merilca temperature nameščena 7 cm v globino hloda

Debelina hloda 52 cm

Napaka! Neveljavna povezava.

Slika 21: Ohlajanje hlodov v odvisnosti od časa (temperatura okolice 2.0 °C)

5 RAZPRAVA

Hidrotermična plastifikacija lesa je proces, pri katerem se vrši prehod toplote v lesu. Spremembe temperature lesa pri tem lahko pojasnimo s Fourierjevim zakonom o prehodu toplote. Hidrotermična plastifikacija lesa vpliva na njegovo plastičnost, na trdoto lesa, na vsebnost vode v lesu, na barvo, les se sterilizira in postane dimenzijsko bolj obstojen. Predvsem zaradi povečane plastičnosti lesa je lahko postopek luščenja, ki sledi kvaliteten.

Na kvaliteto in tehnično ustreznost končnega izdelka - furnirja pri procesu hidrotermične plastifikacije poleg drevesne vrste vplivajo še temperatura v parilni jami, vlaga v parilni jami, čas in režim parjenja ter geometrijske lastnosti hlodovine (premer in dolžina hloda).

Velik vpliv na dinamiko hidrotermične plastifikacije ima tudi lega posameznega hloda v parilni jami. Segrevanje in parjenje je najbolj enakomerno pri hlodu, ki je v sredini parilne jame.

Ko odpremo parilno jamo, se mora hlodovina hladiti še približno 12 ur, da se pred pričetkom luščenja ohladi na 40 °C do 50 °C. Če se hlodovina ne ohladi na to optimalno temperaturo, pride do nekvalitetnega luščenja in posledično tudi slabše kvalitete furnirja.

V podjetju Javor Pivka d.d. pridelujejo luščen furnir za izdelavo vezanega in slojnatega lesa. Ker so zahteve glede hidrotermične plastifikacije hlodovine za proizvodnjo luščenega furnira nekoliko nižje, je indirektno parjenje najprimernejše za hidrotermično plastifikacijo. Zagotoviti pa je potrebno tako hidrotermično plastifikacijo, da lahko pridelamo kvaliteten luščen furnir z gladko površino. V nalogi smo v podjetju Javor Pivka d.d. merili temperaturo furnirske hlodovine v parilni jami med hidrotermično plastifikacijo, ter po odprtju parilne jame ohlajanje hlodovine do pričetka luščenja.

Optimalna temperatura hidrotermične plastifikacije je odvisna od vrste lesa (gostota, prisotnost grč, tendenca po pokanju na čelih, spremembe barve hlodovine). Za bukev najdemo v literaturi podatek, da poteka indirektno parjenje pri 80 °C 36 ur (Dundar in sod., 2008, b). V naši raziskavi se je temperatura v parilni jami, ki je med merjenjem nismo posebej nadzirali, gibala med 60 °C do 90 °C, kar sodi v razpon normalnih temperatur za parjenje.

Grafi, ki prikazujejo temperature hlodov na različnih višinah v parilni jami pa kažejo na to, da je temperatura hlodov pod vrhom jame nižja kot temperatura hlodov na sredini in na dnu, kar je pri indirektnem načinu parjenja pričakovan pojav.

Priporočen čas parjenja za bukovo hlodovino je od 60 do 90 ur. V naši raziskavi so bili časi parjenja od 68 do 125 ur, v povprečju 99 ur. Do daljših časov hidrotermične plastifikacije pride zaradi zimskega režima (v soboto in v nedeljo prekinejo ogrevanje parilnih jam za približno 35 ur), ki ga izvajajo v podjetju. Optimalen čas parjenja je bil torej prekoračen.

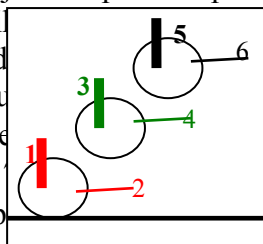
Pomemben parameter hidrotermične plastifikacije je temperatura hlodov, ki se doseže s prenosom toplote v parilni jami na hlode. Hlodi tako proti koncu parjenja dosežejo temperaturo okolice v parilni jami. Iz meritev z merilnim sistemom Testo (177 T4) je razvidno, da se je temperatura v parilni jami dvignila hitreje kot temperatura hloda. Od začetka parjenja do dosežene najvišje temperature v parilni jami (od 67.9 °C do 77.3 °C; povprečno 72.0 °C) je poteklo od 98 do 150 ur, v povprečju 127.7 ur. Od začetka parjenja do dosežene maksimalne temperature hloda (od 66.9 °C do 77.0 °C, povprečno 73.3 °C), je potekalo od 123 do 151 ur, povprečno 134.3 ur. Parilna jama se je hitreje odzvala na segrevanje in je svojo maksimalno temperaturo dosegla povprečno 6.8 ur prej kot hlodovina. Absolutna razlika med maksimalnimi temperaturami, izmerjenimi na posamezni sondi je bila od 0.3 °C do 6.0 °C, povprečna absolutna razlika je bila 2.7 °C. Opazovani čas do dosega maksimalne temperature kaže na to, da časa parjenja ne bi mogli skrajšati, ker bi to pomenilo, da je dosežena temperatura nižja.

Na hitrost segrevanja hlodov v parilni jami (kot tudi ohlajanja) vpliva tudi lega posameznega hloda. Opazili smo, da se je hlod v sredini parilne jame najbolj enakomerno segreval. Prav tako se je najbolj enakomerno ohlajal ob prekinitvi dovajanja toplote.

Napaka! Neveljavna povezava.

Slika 22: Naraščanje temperature v različni globini hloda v odvisnosti od časa

Pri luščenju je za doseganje gladke površine furnirja pomembna tudi homogena porazdelitev temperature centra in periferije hloda (Dundar in sod., 2008, b). Pomembno je, da dosežemo homogeno temperaturo centra in periferije hloda med hidrotermično plastifikacijo. V naši nalogi smo pri merjenju z merilnim sistemom Omega ugotovili, da sta periferija in center hloda dosegla maksimalno temperaturo z zamikom 1 do 3 ure (povprečno 1.19 ure); periferija se je segrela hitreje. Temperaturi periferije in centra hloda sta se v drugi polovici hidrotermične plastifikacije izmerjena na sondah iz periferije hloda (Slika 22). Maksimalne temperature hlodov so bile v 6 primerih na koncu hidrotermične plastifikacije. Pri meritvi 1 je periferija hloda dosegla temperaturo 75.0 °C, ki je trajala dve zaporedni uri, nato pa je nihala med 73.8 °C in 73.5 °C. Sredica istega hloda dosegla 74.5 °C za tri ure in se nato postopno padala ali rahlo nihala med 73.8 °C in 73.5 °C. Preostanek meritev pa je pokazal naslednji vzorec: hlod je dosegel maksimalno temperaturo za 1 uro (1 meritev); nato je temperatura postopno padala ali rahlo nihala od 0.1 °C do 16.2 °C.



Ker gre za proces obdelave hlodovine za izdelavo luščenih furnirjev, ni potrebno (in v opazovanem in merjenem procesu tudi ni izvajano) natančnejše časovno in temperaturno vodenje procesa segrevanja in parjenja. Vemo, da bi spreminjanje temperature v parilni jami vplivalo na čas segrevanja in parjenja. Nenadzorovano zviševanje temperature v parilni jami povzroči spreminjanje barve bukovega lesa med parjenjem. Tudi pri hlodovini kvalitete L se moramo zavedati, da kvalitetno luščenje dosežemo pri temperaturi hlodov od 40 °C do 50 °C.

Optimalna temperatura hloda ob začetku luščenja je od 40 °C do 50 °C. Višje temperature hloda med luščenjem povzročijo večjo hrapavost površine furnirja (Dundar in sod., 2008, b). Z namenom ugotovitve temperature ob začetku luščenja hlodovine v podjetju Javor Pivka smo merili tudi čas in temperaturo hlodovine v času od odprtja parilne jame do začetka luščenja. Iz vsake od petih parilnih jam, v katerih smo izvajali meritve z merilnim sistemom Testo, smo izbrali 5 naključnih hlodov - skupaj 25 merjencev; ter merili ohlajanje s sondo 7 cm v globini hloda. Srednja vrednost temperature hlodov ob odprtju parilne jame je bila 70.5 °C (od 62.8 °C do 76.4 °C). Čas od odprtja parilne jame do začetka luščenja je bil od 60 do 150 minut, v povprečju pa 98.8 minut. Ob začetku luščenja je bila izmerjena temperatura luščencev od 56.3 °C do 71.3 °C, v povprečju 60.1 °C, kar je za 10.1 °C več kot so priporočila. Z dodatnim testiranjem gladkosti površine furnirja bi lahko ugotovili, če in koliko je to vplivalo na povečanje hrapavosti površine furnirja.

6 SKLEPI

Študija merjenja temperature furnirske hlodovine med in po procesu hidrotermične plastifikacije v podjetju Javor Pivka d.d. je pokazala, da je proces segrevanja in parjenja časovno nekoliko daljši od priporočil.

Merilna sistema Testo in Omega sta bila pri izvajanju meritev zanesljiva, meritve pa pričakovane. V izvedeni študiji ugotavljamo, da je proces hidrotermične plastifikacije furnirske hlodovine v podjetju Javor Pivka d.d. zadovoljiv, saj iz tako pripravljene furnirske hlodovine izdelujejo kvaliteten furnir, vendar ni optimalen. Proces parjenja bi se lahko pogojno skrajšal za skoraj tretjino, če bi ob tem dvignili temperaturo v parilni jami. Rezultati kažejo na to, da bi čas od odprtja parilne jame do pričetka luščenja lahko podaljšali.

Ker ni optimalnega režima, se časi hidrotermične plastifikacije razlikujejo tudi do 24 ur. Pri nekaterih meritvah so časi daljši zaradi zimskega režima parjenja, ki ga izvajajo v podjetju (v soboto in v nedeljo prekinejo ogrevanje parilnih jam). Prav tako tudi temperature v parilni jami nihajo pri posameznih ciklih tudi za 10 °C. Ker je trajanje hidrotermične plastifikacije pogojeno s porabo toplote, bi bilo smiselno skrajšati nekatere cikle. Hidrotermična plastifikacija ni samostojen tehnološki postopek, ampak je vezana na nadaljnjo proizvodnjo in se mora tudi po njej ravnati.

Merjenec, ki je na najvišji poziciji v parilni jami, se tudi najpočasneje segreva. Sonda 5, ki je nameščena 23 cm v globino merjenca tik pod pokrovom parilne jame, temperaturo 50 °C zazna po 54-ih urah. Sonda 1, ki je nameščena 23cm v globino merjenca na dnu parilne jame, pa temperaturo 50 °C zazna po 39-ih urah.

Po končani hidrotermični plastifikaciji se hlodovina do pričetka luščenja ohlaja dokaj enakomerno. Pri fazi lupljenja hlodovini odstranimo lubje, ki služi kot izolator. Pri meritvi 4 (slika 20) vidimo izrazito ohlajanje, ki je rezultat odstranitve lubja. Čas od faze lupljenja, do faze luščenja naj bo čim krajši, da se hlodi preveč ne ohladijo.

Najvišja dosežena temperatura hidrotermične plastifikacije je odvisna tudi od tesnjenja pokrovov parilne jame. Pri meritvi 3 (slika 11) vidimo, da je maksimalna temperatura ob koncu hidrotermične plastifikacije 66,9 °C, kar je za 6-10 °C manj kot pri drugih meritvah. Zaradi izgube toplote, so v podjetju pričeli z obnovo pokrovov parilnih jam.

V zadnjem času so v uporabi sodobne računalniško vodene parilne jame, s katerimi dosežemo optimalne pogoje parjenja. S takimi procesi dosežemo enakomerna trajanja in temperature obdelovancev. Ker časi hidrotermične plastifikacije niso predolgi, tudi ni nepotrebne porabe toplotne energije.

7 POVZETEK

Izvedli smo študijo merjenja temperature furnirske hlodovine med in po procesu hidrotermične plastifikacije.

Študija je pol leta potekala v podjetju Javor Pivka. Podatke smo zbirali prospektivno.

Meritve smo izvajali s pomočjo dveh merilnih sistemov: Testo (177 T4) in Omega logger OM-DAQPRO-5300. S prvim sistemom smo izvedli 5 meritev s po dvema sondama: eno nameščeno v parilni jami in drugo v hlod. S slednjim sistemom smo napravili eno meritev s tremi pari sond; te so bile nameščene po ena iz para v periferno hlodovino in po ena v centralno hlodovino. Poleg tega smo merili še ohlajanje petih merjencev po vsaki od meritev s sistemom Testo od odprtja parne jame do začetka luščenja hlodovine. Meritve, zabeležene na sondah, smo prikazali v tabeli in grafično.

Povprečen čas parjenja hlodovine je bil 99 ur, povprečna maksimalna temperatura v hlođu pa 72,6 °C. Maksimalna temperatura se vzdržuje krajši čas (od ene do treh ur) ali pa se ta temperatura doseže ob koncu parjenja. Nato temperatura blago niha ali postopno nekoliko pade. Temperature na perifernih sondah so začele prej in hitreje naraščati kot na centralnih sondah. Ob odprtju parilne jame je povprečna temperatura merjenca 70.5 °C in se v času do začetka luščenja, ki traja v povprečju 98,8 minut, zniža na povprečno 63,8 °C; najnižja izmerjena temperatura pred začetkom luščenja je bila 56,3 °C.

V izvedeni študiji ugotavljamo, da je proces hidrotermične plastifikacije furnirske hlodovine za luščen furnir v podjetju Javor Pivka d.d. zadovoljiv, saj iz tako pripravljene furnirske hlodovine izdelujejo kvaliteten furnir, vendar ni optimalen. Merilna sistema Testo in Omega sta bila pri izvajanju meritev zanesljiva, meritve pa pričakovane.

8 VIRI

- Čufar K. 2002. Anatomija lesa. Študijsko gradivo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 123 str.
- Dundar T., As N., Korkut S., Unsal O. 2008a. The effect of boiling time on the surface roughness of rotary-cut veneers from oriental beech (*Fagus orientalis* L.). J Mat Proc Tech, 199:119-123
- Dundar T., Akbulut T., Korkut S. 2008b. The effects of some manufacturing factors on surface roughness of sliced Maroké (*Tieghemella Heckelii* Pierre Ex A.Chev.) and rotary-cut beech (*Fagus orientalis* L.) veneers. Building and Enviroments, 43:469-474
- Faust TD., Rice JT. 1986. Effect of veneer surface roughness on glue bond quality southern pine. For Prod J: 36: 57-62
- Gorišek Ž., Geršak M., Čop T., Velušček V., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba: 235 str.
- Gornik-Bučar D. 2000. Furnir-namen, proizvodnja in uporaba. Študijsko gradivo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 106 str.
- Kolmann F., Cote WA. 1984. Principles of wood science and technology, volume I: Solid Wood. Berlin, Springer: 592 str.
- Kolmann F., Kunezi EW., Stamm AJ. 1975. Principles of wood science and technology, volume II: wood based materials. Springer – Verlag. Berlin: 703 str.
- Krpan J. 1965. Sušenje i parjenje drva. Zagreb, Institut za drvno-industrijska istraživanja Zagreb: 237 str.
- Mešić N. 1998. Furniri, furnirske i stolarske ploče. Sarajevo, Grafika Šaran: 387 str.
- NS.13.01.01, 1995. Hlodi bukve za luščenje – interni standard.
- Siau JF. 1995. Wood. Influence of moisture on physical properties. Blacksburgh, Department of Wood Science and Forest Products Virginia Polytechnic Institute and State University: 227 str.

9 ZAHVALE

Zahvaljujem se svoji mentorici doc.dr. Dominiki Gornik Bučar, somentorju izr.prof.dr. Bojanu Bučarju, ter recenzentu izr.prof.dr. Milanu Šerneku.

Zahvaljujem se tudi ing. Martinu Sušeljju za pomoč pri izvajanju meritev in podjetju Javor Pivka d.d., da mi je omogočilo izvedbo naloge.

10 PRILOGE

10.1 PRILOGE 1 DO 5: MERITVE Z MERILNIM SISTEMOM TESTO (177 T4)

Priloga 1: Meritev 1

Cas (ure)	Sonda 1 (temp. v °C)	Sonda 2 (temp. v °C)	Cas (ure)	Sonda 1 (temp. v °C)	Sonda 2 (temp. v °C)	Cas (ure)	Sonda 1 (temp. v °C)	Sonda 2 (temp. v °C)
1	35,0	5,9	56	59,3	59,3	111	71,4	69,0
2	38,9	10,2	57	59,2	59,2	112	70,6	69,3
3	41,2	12,1	58	58,7	59,1	113	70,6	69,5
4	43,7	13,8	59	58,4	59,0	114	70,7	69,7
5	46,0	15,8	60	58,0	58,9	115	71,1	69,9
6	47,7	17,6	61	57,7	58,8	116	71,1	70,3
7	49,3	19,5	62	57,8	58,7	117	71,6	70,5
8	50,4	21,4	63	57,0	58,6	118	71,3	70,8
9	51,5	23,1	64	56,8	58,5	119	71,6	71,0
10	52,9	24,7	65	56,8	58,4	120	71,5	71,2
11	54,3	26,3	66	56,7	58,3	121	71,4	71,4
12	55,2	27,8	67	56,4	58,1	122	71,7	71,6
13	56,0	29,4	68	56,0	58,1	123	71,6	71,8
14	57,0	30,8	69	56,1	58,0	124	71,5	72,0
15	57,5	32,3	70	56,0	57,8	125	71,4	72,0
16	58,4	33,7	71	55,9	57,7	126	71,7	72,2
17	58,5	34,9	72	55,7	57,6	127	71,5	72,2
18	59,3	36,0	73	55,6	57,5	128	71,8	72,3
19	60,0	37,2	74	55,5	57,4	129	72,0	72,4
20	60,9	38,3	75	55,0	57,4	130	72,0	72,6
21	54,9	39,6	76	55,0	57,3	131	72,1	72,6
22	54,8	40,6	77	54,6	57,2	132	71,8	72,7
23	54,8	41,6	78	54,6	57,1	133	72,1	72,9
24	54,6	42,3	79	54,4	57,0	134	72,8	73,1
25	54,5	42,9	80	54,2	56,9	135	72,9	73,2
26	54,5	43,4	81	53,9	56,8	136	72,6	73,4
27	55,2	44,0	82	54,2	56,8	137	72,8	73,4
28	55,3	44,6	83	55,3	56,8	138	72,1	73,4
29	56,5	45,5	84	56,8	56,7	139	72,2	73,4
30	57,4	46,1	85	58,4	56,9	140	72,5	73,4
31	57,6	46,6	86	59,9	57,2	141	73,1	73,4
32	58,7	47,3	87	61,1	57,8	142	72,7	73,4
33	58,8	48,1	88	62,9	58,3	143	73,6	73,3
34	59,2	49,0	89	63,4	59,1	144	73,4	73,7
35	60,2	49,7	90	64,4	59,7	145	73,1	74,0
36	61,1	50,4	91	64,9	60,0	146	73,0	74,1
37	60,6	51,3	92	65,4	60,8	147	72,7	74,3
38	61,4	51,9	93	66,0	61,4	148	72,8	74,3
39	61,2	52,5	94	66,3	62,0	149	73,6	74,3
40	60,4	53,2	95	66,8	62,5	150	75,0	74,3
41	61,3	53,8	96	67,3	63,0	151	75,0	74,5
42	62,1	54,5	97	67,4	63,6	152	74,8	74,5
43	62,8	55,1	98	67,6	64,0	153	74,8	74,5
44	63,2	55,4	99	68,1	64,4	154	74,9	74,5
45	63,5	56,1	100	68,3	65,0	155	74,4	74,4
46	63,9	56,6	101	68,4	65,4	156	74,3	74,2
47	64,4	57,1	102	68,8	65,9	157	74,1	74,0
48	64,4	58,0	103	69,3	66,2	158	74,5	73,8
49	63,9	58,2	104	69,3	66,5	159	74,6	73,9
50	63,0	58,8	105	69,9	67,0	160	74,8	74,0
51	62,5	59,1	106	69,9	67,2	161	74,8	74,1
52	61,7	59,3	107	69,9	67,6			
53	61,0	59,3	108	70,4	68,0			
54	59,6	59,5	109	70,4	68,3			
55	59,7	59,3	110	70,7	68,7			

Priloga 2: Meritev 2

Čas (ure)	Sonda 1 (temp. v °C)	Sonda 2 (temp. v °C)	Čas (ure)	Sonda 1 (temp. v °C)	Sonda 2 (temp. v °C)	Čas (ure)	Sonda 1 (temp. v °C)	Sonda 2 (temp. v °C)
1	7,0	0,0	56	66,9	58,3	111	75,0	74,4
2	14,5	2,3	57	67,5	58,9	112	74,7	74,5
3	19,1	3,1	58	67,6	59,4	113	74,7	74,6
4	22,7	4,4	59	67,6	59,9	114	74,9	74,8
5	27,4	5,7	60	68,0	60,5	115	74,7	74,9
6	29,6	7,2	61	68,5	61,0	116	74,8	75,0
7	31,8	8,8	62	68,6	61,5	117	75,0	75,2
8	33,4	10,4	63	68,5	62,0	118	74,8	75,2
9	35,1	12,1	64	69,2	62,5	119	74,8	75,3
10	36,6	13,6	65	69,2	62,9	120	75,1	75,4
11	38,4	15,2	66	69,1	63,3	121	75,0	75,5
12	39,6	16,7	67	69,6	63,8	122	75,3	75,6
13	41,0	18,2	68	69,5	64,1	123	75,7	75,7
14	42,0	19,6	69	70,1	64,5	124	75,6	75,9
15	43,5	21,0	70	69,5	64,7	125	75,8	75,9
16	44,5	22,3	71	70,1	64,9	126	74,7	76,0
17	45,6	23,7	72	70,3	65,1	127	74,3	76,1
18	46,2	25,0	73	70,2	65,6	128	73,2	76,0
19	47,3	26,3	74	70,3	65,9	129	72,5	75,9
20	48,2	27,4	75	70,5	66,2	130	72,2	75,7
21	49,2	28,7	76	71,5	66,5	131	70,3	75,5
22	50,1	29,8	77	71,7	66,9	132	70,4	75,3
23	51,1	30,9	78	71,8	67,2	133	69,7	75,2
24	51,9	32,0	79	71,4	67,5	134	69,2	74,9
25	52,6	33,1	80	71,7	67,8	135	68,5	74,8
26	53,1	34,2	81	71,7	68,2	136	68,7	74,7
27	54,1	35,2	82	71,6	68,5	137	68,4	74,4
28	54,6	36,2	83	71,5	68,7			
29	54,9	37,2	84	72,2	69,0			
30	55,4	38,2	85	72,5	69,3			
31	55,9	39,1	86	72,1	69,5			
32	56,7	40,1	87	71,4	69,7			
33	57,4	41,1	88	71,5	69,9			
34	58,2	42,0	89	72,4	70,2			
35	58,7	42,8	90	72,3	70,3			
36	59,2	43,7	91	72,6	70,6			
37	59,7	44,6	92	72,5	70,9			
38	60,2	45,5	93	72,9	71,1			
39	61,0	46,3	94	73,1	71,3			
40	60,9	47,1	95	72,5	71,4			
41	61,3	48,0	96	73,2	71,7			
42	61,9	48,7	97	72,8	71,8			
43	62,5	49,5	98	73,1	72,0			
44	62,5	50,2	99	73,3	72,2			
45	62,9	50,9	100	74,0	72,4			
46	63,2	51,7	101	73,9	72,6			
47	63,7	52,4	102	73,8	72,8			
48	64,4	53,2	103	74,1	73,0			
49	64,6	53,8	104	73,8	73,2			
50	65,1	54,5	105	74,3	73,4			
51	65,3	55,2	106	74,7	73,6			
52	65,6	55,8	107	74,4	73,7			
53	65,6	56,4	108	74,8	73,9			
54	65,6	57,1	109	74,7	74,0			
55	66,2	57,7	110	75,0	74,2			

Priloga 3: Meritev 3

Čas (ure)	Sonda 1 (temp. v °C)	Sonda 2 (temp. v °C)	Čas (ure)	Sonda 1 (temp. v °C)	Sonda 2 (temp. v °C)	Čas (ure)	Sonda 1 (temp. v °C)	Sonda 2 (temp. v °C)
1	15,9	6,8	56	60,3	50,8	111	68,9	65,7
2	21,3	6,3	57	58,2	51,2	112	67,6	65,8
3	31,1	6,4	58	60,0	51,7	113	68,1	65,9
4	34,3	6,7	59	58,6	52,1	114	64,7	66,0
5	37,4	7,2	60	62,0	52,5	115	67,8	66,2
6	38,5	8,0	61	58,3	52,9	116	65,8	66,1
7	40,6	9,0	62	62,1	53,2	117	65,1	66,2
8	41,5	10,1	63	59,5	53,6	118	64,5	66,3
9	42,7	11,0	64	62,9	53,9	119	65,6	66,3
10	43,5	12,3	65	62,4	54,3	120	66,0	66,3
11	43,6	13,6	66	64,0	54,6	121	66,3	66,4
12	46,1	14,9	67	64,0	55,0	122	68,4	66,5
13	46,8	16,1	68	60,3	55,4	123	68,7	64,4
14	45,8	17,4	69	62,7	55,7	124	68,6	66,5
15	47,9	18,5	70	64,3	56,1	125	67,3	66,6
16	47,5	19,8	71	63,9	56,3	126	68,5	66,7
17	47,5	20,8	72	62,4	56,8	127	67,8	66,9
18	47,7	22,1	73	61,9	57,2	128	67,0	67,0
19	45,8	23,1	74	60,0	57,4	129	65,7	66,9
20	48,0	24,2	75	59,4	57,6	130	64,0	66,9
21	48,8	25,3	76	58,9	57,7	131	64,5	66,8
22	49,6	26,3	77	63,1	57,8	132	62,9	66,7
23	49,6	27,4	78	64,8	58,0	133	63,1	66,5
24	48,7	28,4	79	64,8	58,2	134	59,3	66,2
25	50,8	29,4	80	65,8	58,4	135	61,2	66,0
26	50,8	30,4	81	56,5	58,7	136	61,5	65,9
27	51,0	31,3	82	66,9	59,0	137	61,0	65,6
28	51,4	32,6	83	67,0	59,3	138	60,6	65,3
29	52,5	33,0	84	67,7	59,6	139	60,1	65,1
30	53,5	34,0	85	67,7	60,0	140	58,7	64,8
31	52,1	34,8	86	67,8	60,3	141	57,8	64,5
32	55,2	35,6	87	68,6	60,7	142	58,7	64,3
33	55,1	36,4	88	68,1	60,9	143	58,4	64,0
34	55,7	37,2	89	68,3	61,3	144	57,6	63,7
35	56,4	38,0	90	68,7	61,6	145	57,6	63,4
36	57,0	39,1	91	67,2	62,0	146	55,8	63,1
37	55,3	39,6	92	68,4	62,3	147	55,8	62,9
38	53,7	40,3	93	67,6	62,5	148	55,2	62,7
39	58,0	41,2	94	68,5	62,8	149	55,8	62,4
40	55,5	41,9	95	67,8	63,1	150	55,2	62,1
41	58,7	42,9	96	68,1	63,3	151	55,5	61,9
42	58,2	43,2	97	64,6	63,6	152	54,2	61,6
43	59,6	44,1	98	68,6	63,8	153	55,0	61,3
44	58,4	44,4	99	66,6	64,0	154	53,8	61,0
45	58,6	45,2	100	66,5	64,3	155	52,7	60,8
46	59,6	45,9	101	65,4	64,4	156	53,8	60,5
47	59,7	46,6	102	66,4	64,6	157	53,5	60,2
48	59,9	46,7	103	64,4	64,7	158	55,8	59,9
49	59,7	47,4	104	64,7	64,9	159	57,6	59,8
50	59,9	47,8	105	68,4	65,0	160	58,9	59,6
51	59,4	48,5	106	64,3	65,1			
52	56,8	48,9	107	66,9	65,2			
53	60,5	49,5	108	65,4	65,3			
54	61,3	49,9	109	66,4	65,5			
55	61,4	50,4	110	65,7	65,5			

Priloga 4: Meritev 4

Čas (ure)	Sonda 1 (temp. v °C)	Sonda 2 (temp. v °C)	Čas (ure)	Sonda 1 (temp. v °C)	Sonda 2 (temp. v °C)	Čas (ure)	Sonda 1 (temp. v °C)	Sonda 2 (temp. v °C)
1	30,5	4,1	56	70,8	64,3	111	76,5	76,5
2	35,5	4,0	57	70,8	64,7	112	76,5	76,3
3	39,2	6,0	58	71,1	65,1	113	76,6	76,4
4	40,1	8,5	59	71,7	65,5	114	76,5	76,4
5	42,0	11,1	60	72,1	65,9	115	76,6	76,8
6	43,5	13,6	61	72,3	66,3	116	76,7	76,5
7	45,3	16,0	62	72,6	66,7	117	76,1	76,5
8	46,1	18,3	63	72,4	67,1	118	76,8	76,9
9	46,8	20,6	64	72,9	67,4	119	76,4	76,6
10	48,2	22,5	65	73,2	67,8	120	76,7	76,6
11	49,7	24,6	66	73,0	68,1	121	76,5	76,6
12	51,4	26,4	67	73,0	68,3	122	76,8	76,7
13	52,8	28,2	68	73,1	68,7	123	76,7	77,0
14	54,1	29,9	69	73,4	68,9	124	76,3	76,7
15	54,0	31,5	70	73,6	69,2	125	76,0	76,8
16	54,1	33,1	71	73,3	69,4	126	75,8	76,6
17	55,7	34,6	72	73,2	69,8	127	75,2	76,5
18	56,2	36,0	73	73,5	70,1	128	75,3	76,5
19	56,7	37,3	74	73,4	70,3	129	75,1	76,4
20	57,5	38,4	75	73,5	70,4	130	75,0	76,4
21	58,5	39,7	76	74,1	70,8	131	74,9	76,5
22	59,2	40,8	77	74,3	70,9	132	75,0	76,2
23	59,5	42,0	78	74,6	71,1	133	75,2	76,2
24	59,8	43,0	79	74,7	71,4	134	75,4	76,1
25	60,0	44,2	80	75,4	71,7	135	75,5	76,1
26	60,9	45,1	81	75,1	71,9	136	75,9	76,4
27	61,4	45,9	82	75,8	72,4	137	76,0	76,5
28	62,1	46,9	83	76,3	72,6	138	73,8	76,3
29	63,0	47,9	84	76,5	72,8			
30	63,5	48,7	85	76,8	73,2			
31	63,8	49,5	86	77,0	73,6			
32	64,4	50,4	87	77,1	73,7			
33	64,6	51,2	88	77,0	73,9			
34	65,0	51,9	89	76,9	74,2			
35	65,3	52,6	90	76,7	74,4			
36	65,6	53,5	91	76,2	74,5			
37	66,3	54,2	92	76,1	74,5			
38	66,3	54,9	93	76,0	74,6			
39	66,7	55,5	94	75,6	74,7			
40	67,3	56,2	95	76,5	74,8			
41	67,6	56,9	96	76,8	75,0			
42	68,0	57,5	97	77,0	75,2			
43	68,3	58,0	98	77,3	75,3			
44	68,7	58,7	99	77,2	75,5			
45	68,9	59,2	100	77,1	75,8			
46	69,3	59,7	101	76,9	76,0			
47	69,6	60,3	102	77,2	75,9			
48	68,7	60,8	103	77,0	76,3			
49	68,6	61,3	104	76,8	76,5			
50	69,0	61,7	105	76,7	76,5			
51	69,4	62,2	106	76,5	76,1			
52	70,0	62,5	107	76,2	76,2			
53	69,9	63,0	108	76,2	76,3			
54	70,5	63,4	109	76,3	76,3			
55	70,9	63,9	110	76,3	76,5			

Priloga 5: Meritev 5

Čas (ure)	Sonda 1 (temp. v °C)	Sonda 2 (temp. v °C)	Čas (ure)	Sonda 1 (temp. v °C)	Sonda 2 (temp. v °C)	Čas (ure)	Sonda 1 (temp. v °C)	Sonda 2 (temp. v °C)
1	26,1	12,0	56	44,8	46,9	111	68,0	65,7
2	28,9	12,5	57	44,6	46,7	112	70,3	65,9
3	32,3	12,2	58	44,3	46,7	113	69,0	66,1
4	35,5	13,0	59	44,7	46,6	114	71,2	66,4
5	38,9	13,9	60	44,2	46,6	115	70,6	66,5
6	41,0	15,1	61	44,4	46,3	116	71,6	66,7
7	41,6	16,4	62	47,5	46,3	117	70,9	67,0
8	43,1	17,8	63	51,2	46,4	118	68,4	67,2
9	45,1	19,3	64	52,9	46,7	119	68,0	67,3
10	46,6	20,8	65	54,9	47,2	120	69,1	67,3
11	48,7	22,2	66	55,9	47,5	121	69,3	67,3
12	50,4	23,7	67	58,0	48,3	122	68,7	67,3
13	52,3	25,3	68	59,1	49,4	123	69,3	67,6
14	53,3	26,7	69	59,6	49,8	124	67,3	67,8
15	54,8	28,3	70	59,3	50,4	125	64,7	67,8
16	54,6	29,8	71	58,9	51,1	126	66,2	67,3
17	53,9	31,1	72	60,1	51,7	127	68,4	67,3
18	56,4	32,5	73	60,8	52,2	128	68,6	67,3
19	56,3	33,8	74	61,2	52,8	129	67,5	67,4
20	56,9	35,0	75	63,0	53,4	130	69,8	67,7
21	56,4	36,2	76	61,9	54,0	131	70,2	67,8
22	58,6	37,4	77	62,7	54,6	132	72,1	67,9
23	58,0	38,5	78	63,4	55,0	133	72,1	68,1
24	59,2	39,7	79	62,6	55,5	134	71,9	68,5
25	59,2	40,7	80	63,4	55,1	135	72,3	68,8
26	60,6	41,7	81	64,8	56,5	136	72,7	69,0
27	58,9	42,8	82	63,9	57,1	137	72,9	69,2
28	58,0	43,7	83	65,4	57,6			
29	56,7	44,5	84	65,3	57,9			
30	55,3	45,0	85	65,6	58,4			
31	55,4	45,5	86	66,6	58,8			
32	54,0	45,9	87	65,7	59,3			
33	52,7	46,1	88	66,6	59,7			
34	52,6	46,4	89	67,4	60,1			
35	51,3	46,6	90	67,7	60,5			
36	52,2	46,8	91	67,1	60,9			
37	51,7	46,8	92	67,6	61,2			
38	50,5	46,9	93	67,3	61,5			
39	51,2	47,0	94	66,2	61,9			
40	49,8	47,2	95	67,1	62,2			
41	50,5	47,3	96	67,9	62,3			
42	49,8	47,3	97	68,8	62,7			
43	49,2	47,4	98	67,2	62,9			
44	49,2	47,5	99	69,3	63,2			
45	49,1	47,5	100	68,0	63,5			
46	48,0	47,5	101	68,0	63,8			
47	48,1	47,5	102	68,9	64,0			
48	47,1	47,5	103	68,8	64,1			
49	46,8	47,4	104	68,3	64,2			
50	45,2	47,4	105	69,0	64,4			
51	45,7	47,4	106	69,5	64,7			
52	46,0	47,2	107	69,1	64,8			
53	45,3	47,2	108	68,6	65,1			
54	45,6	47,0	109	70,8	65,3			
55	45,2	47,0	110	69,9	65,5			

10.2 PRILOGA 6: MERITVE Z MERILNIM SISTEMOM OMEGA LOGGER OM-DAQPRO-5300

Priloga 6: Meritev z merilnim sistemom Omega logger OM-DAQPRO-5300

Čas (ure)	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 3	Sonda 4	Sonda 5	Sonda 6
1	17,8	18,9	15,6	16,7	13,0	13,5
2	17,9	19,8	15,6	17,8	12,8	14,8
3	17,9	21,1	15,7	19,5	13,0	16,6
4	18,6	22,6	15,8	21,8	13,2	18,3
5	18,8	24,5	16,1	23,7	13,3	20,7
6	19,2	26,3	16,2	26,2	13,6	22,6
7	19,4	28,2	16,6	28,0	13,9	24,8
8	20,1	30,2	16,9	30,4	14,6	26,8
9	20,6	32,0	17,5	32,2	14,9	28,9
10	21,8	33,9	18,5	34,4	16,0	31,2
11	23,0	35,8	19,5	36,8	16,9	33,1
12	24,1	37,8	20,5	38,2	17,8	35,0
13	25,1	39,5	21,6	40,1	18,9	36,7
14	26,2	40,7	22,6	41,5	19,7	38,5
15	27,4	42,2	23,7	43,2	20,6	39,7
16	28,6	43,5	24,9	44,5	21,5	40,9
17	29,6	44,8	26,1	45,8	22,5	42,3
18	30,5	46,1	27,2	46,8	23,7	43,4
19	31,5	47,0	28,3	47,8	24,6	44,4
20	32,4	48,2	29,6	48,6	25,6	45,5
21	33,4	48,8	30,6	50,1	26,8	46,4
22	34,6	50,0	31,6	51,1	27,6	47,2
23	35,3	51,0	33,0	52,0	28,8	48,4
24	36,2	51,7	33,9	52,8	29,6	49,2
25	37,4	52,7	35,1	53,8	30,6	49,8
26	39,0	53,6	36,9	54,9	31,9	50,9
27	40,0	54,7	38,2	55,5	33,1	51,9
28	41,2	55,4	39,4	56,5	34,1	52,5
29	41,8	55,9	40,2	56,9	35,0	53,3
30	42,9	56,4	41,3	57,7	36,0	53,5
31	43,6	56,9	42,3	58,1	36,9	54,3
32	44,4	57,6	43,3	58,5	37,7	55,1
33	45,3	58,0	44,1	59,2	38,3	55,1
34	46,1	58,5	45,0	59,7	39,2	55,8
35	47,0	59,1	45,8	60,1	39,6	56,2
36	47,5	59,6	46,9	60,5	40,7	56,8
37	48,7	59,9	47,9	61,0	41,2	57,0
38	49,2	60,2	48,9	61,0	42,6	57,3
39	50,2	60,2	50,0	61,2	42,9	57,2
40	50,7	60,2	50,6	61,2	43,9	57,3
41	51,6	60,4	51,5	61,1	44,5	57,4
42	52,1	60,1	52,3	60,9	45,1	57,1
43	52,7	60,2	53,0	60,8	45,6	57,2

44	53,0	59,7	53,4	60,6	46,1	56,7
45	53,4	59,7	54,0	60,6	46,7	56,7
46	53,6	59,2	54,2	60,3	46,8	56,4
47	53,6	59,0	54,6	59,9	47,4	56,5
48	54,1	58,7	55,1	59,8	47,7	56,2
49	54,3	58,5	55,4	59,6	48,1	56,2
50	54,8	58,3	55,6	59,7	48,4	55,8
51	54,8	58,2	56,1	59,4	48,9	55,7
52	55,1	58,1	56,3	59,2	49,2	55,6
53	55,5	58,2	56,7	59,2	49,3	55,5
54	55,5	58,0	57,1	59,4	49,9	55,6
55	56,0	58,0	57,3	59,3	49,8	55,5
56	56,0	58,0	57,4	59,1	50,4	55,6
57	56,1	58,0	57,5	59,1	50,9	55,5
58	56,7	58,2	57,9	59,3	51,0	55,5
59	56,7	58,1	58,0	59,4	51,4	55,5
60	56,8	57,8	58,1	59,2	51,5	55,5
61	56,8	57,9	58,1	58,9	51,5	55,4
62	56,8	57,7	58,2	58,8	51,8	55,3
63	56,8	57,6	58,1	58,4	51,9	55,2
64	56,8	57,2	58,3	58,5	51,9	54,9
65	56,8	57,0	58,1	58,0	51,9	54,8
66	56,7	56,8	58,0	57,9	51,9	54,5
67	56,4	56,8	58,0	57,8	51,9	54,7
68	56,6	56,6	58,1	57,7	52,1	54,3
69	56,9	56,6	58,0	57,5	52,2	54,3
70	56,8	56,4	58,1	57,3	52,3	54,3
71	56,9	56,4	58,1	57,3	52,6	54,0
72	56,9	56,4	58,1	57,2	52,6	54,2
73	57,0	56,3	58,0	57,2	52,4	54,0
74	56,5	56,2	57,8	56,9	52,7	53,9
75	56,6	56,1	57,7	56,9	52,6	53,8
76	56,8	56,1	57,6	56,6	52,5	53,6
77	56,6	55,8	57,7	56,5	52,7	53,9
78	56,6	55,8	57,8	56,3	52,7	53,6
79	56,4	55,7	57,6	56,2	52,9	53,8
80	56,7	55,5	57,6	56,2	52,8	53,5
81	56,7	55,7	57,4	56,0	52,8	53,5
82	56,7	55,7	57,6	55,9	53,1	53,6
83	56,8	55,4	57,4	55,8	53,0	53,3
84	56,6	55,3	57,1	55,7	52,8	53,2
85	56,4	55,3	57,1	55,7	52,8	53,1
86	56,4	55,4	57,1	55,5	52,8	53,3
87	56,5	55,4	57,1	55,9	53,1	53,7
88	56,3	55,5	57,0	56,1	53,1	54,1
89	56,0	56,0	56,8	56,7	52,7	54,6
90	56,0	56,6	56,8	57,1	53,0	55,2
91	55,8	56,9	56,4	57,6	53,0	55,7
92	55,6	57,3	56,2	58,0	52,8	56,4

93	55,3	57,1	56,0	58,2	52,7	56,7
94	56,0	58,3	56,7	59,4	53,6	58,0
95	56,3	59,0	57,0	60,2	54,1	58,9
96	56,8	59,6	57,2	60,6	54,1	59,1
97	57,0	60,1	57,4	61,2	54,7	60,0
98	57,2	60,8	57,5	61,8	55,0	60,4
99	57,6	61,1	58,1	62,1	55,1	60,7
100	57,7	61,4	58,0	62,3	55,2	61,2
101	58,2	61,9	58,2	62,9	55,3	61,3
102	58,5	62,4	58,6	63,3	55,6	61,9
103	58,6	62,7	58,8	63,5	55,9	62,3
104	59,0	63,3	59,1	64,2	56,2	62,7
105	58,8	63,3	59,2	64,4	56,6	63,1
106	59,2	63,7	59,5	64,7	56,6	63,3
107	59,6	64,3	59,6	65,3	57,0	63,7
108	59,9	64,7	60,2	65,6	57,3	64,3
109	60,2	65,3	60,6	66,4	57,7	64,9
110	60,5	65,7	61,0	66,5	58,1	65,4
111	61,0	66,2	61,4	67,1	58,5	65,7
112	61,7	66,7	61,9	67,7	59,0	66,4
113	61,9	67,1	62,3	68,2	59,4	66,5
114	62,3	67,5	62,7	68,7	59,8	67,2
115	62,7	67,9	63,1	68,8	60,2	67,7
116	62,8	68,0	63,4	69,0	60,5	67,8
117	63,3	68,6	64,0	69,6	60,8	68,0
118	63,8	69,0	64,4	70,0	61,2	68,4
119	64,0	69,2	64,8	70,3	61,7	69,0
120	64,6	69,4	65,3	70,6	62,2	69,2
121	64,8	69,8	65,8	70,7	62,6	69,6
122	65,2	70,1	66,1	71,0	63,0	69,8
123	65,5	70,3	66,3	71,4	63,2	70,1
124	66,0	70,5	66,9	71,6	63,4	70,2
125	66,2	70,7	67,2	72,0	64,0	70,5
126	66,6	71,0	67,5	72,2	64,3	70,9
127	66,9	71,2	67,8	72,2	64,7	71,1
128	67,4	71,6	68,6	72,6	65,2	71,4
129	68,1	72,1	68,7	73,3	65,8	72,0
130	68,1	72,2	69,3	73,2	65,8	72,2
131	68,4	72,5	69,3	73,7	66,2	72,6
132	68,7	72,6	69,8	73,7	66,6	72,8
133	69,0	73,0	70,1	74,0	66,6	72,9
134	69,1	73,5	70,4	74,5	67,2	73,1
135	69,4	73,6	70,7	74,5	67,7	73,5
136	69,6	74,0	71,1	74,9	68,0	73,8
137	70,2	73,8	71,3	74,8	67,9	73,9