

# Savijanje parenih elemenata cerovine

---

**Kvakan, Vid**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:182462>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-11**



*Repository / Repozitorij:*

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**ZAVOD ZA ZNANOST O DRVU**

**DIPLOMSKI STUDIJ**

**OBLIKOVANJE PROIZVODA OD DRVA**

**VID KVAKAN**

**SAVIJANJE PARENIH ELEMENATA CEROVINE  
(QUERCUS CERRIS L.)**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, 2022.**



**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**

**DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**SAVIJANJE PARENIH ELEMENATA CEROVINE  
(QUERCUS CERRIS L.)**

**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij:	Oblikovanje proizvoda od drva
Predmet:	Istraživanje fizikalnih i mehaničkih svojstava drva
Ispitno povjerenstvo:	1. (mentor) doc. dr.sc. Tomislav Sedlar 2. (član - komentor) prof. dr.sc. Stjepan Pervan 3. (član) prof. dr.sc. Mladen Brezović
Student:	Vid Kvakani
JMBAG:	0068229824
Datum odobrenja teme:	25.04.2022.
Datum predaje rada:	18.09.2022. 22.09.2022.
Datum obrane rada:	28.09.2022.


**Zagreb, kolovoz, 2022.**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov:	Savijanje parenih elemenata cerovine
Autor:	Vid Kvakon
Adresa autora:	Goljak 33, 10000 Zagreb
Mjesto izradbe:	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave:	Diplomski rad
Mentor:	doc. dr. sc. Tomislav Sedlar
Komentor:	prof. dr. sc. Stjepan Pervan
Godina objave:	2022.
Obujam:	I-VIII + 31 str., 55 slika, 1 tablica i 14 navoda literature
Ključne riječi:	Furnir, savijanje, parenje, cerovina, radijus
Sažetak:	<p>U ovom diplomskom radu provedeno je istraživanje utjecaja parenja na minimalni radijus savijanja furnira drva cerovine. Korištene su dvije debljine furnira, 0,6 mm i 1 mm te uzorci dvije različite teksture, radijalne i tangentne. Uz ovo ispitivanje provedeno je i upogonjavanje novog prototipa kotla za parenje u kojem su pareni uzorci za istraživanje. Rezultati ispitivanja pokazali su da se parenjem smanjuje minimalni radijus savijanja furnira cerovine, u prosjeku za 36 %. Također, na razliku u minimalnom radijusu savijanja veći utjecaj ima debljina furnira nego tekstura drva.</p>

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Title:	Bending of steamed Turkey Oak elements
Author:	Vid Kvakán
Adress of Author:	Goljak 33, 10000 Zagreb
Thesis performed at:	Faculty of forestry and wood technology, University of Zagreb
Publication Type:	Master's thesis
Supervisor:	doc. dr. sc. Tomislav Sedlar
Co-supervisor:	prof. dr. sc. Stjepan Pervan
Publication year:	2022.
Volume:	I-VIII + 31 pages, 1 table, 55 figures and 14 references
Key words:	Veneer, bending, steaming, Turkey Oak, radius
Abstract:	<p>In this master's thesis, research was carried out on the influence of steaming on the minimum bending radius of Turkey Oak wood veneer. Two veneer thicknesses, 0.6 mm and 1 mm, and two different textures, radial and tangential, were used. In addition to this test, a new prototype of the steaming chamber was tested and brought into operation and in which samples were steamed for this research. The results of the study showed that steaming reduces the minimum bending radius of Turkey Oak veneer, by an average of 36 %. Also, the difference in the minimum bending radius is influenced more by the thickness of the veneer than the texture of the wood.</p>

	<b>IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI</b>	<b>OB ŠF 05 07</b>
		Revizija: 2
		Datum: 29.04.2021.

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Zagrebu, 22.09.2022.

---

*vlastoručni potpis*

Vid Kvakana

## SADRŽAJ

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA.....	I
BASIC DOCUMENTATION CARD .....	II
SADRŽAJ.....	IV
POPIS SLIKA.....	V
POPIS TABLICA.....	VII
ZAHVALA .....	VIII
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1. Furnir .....	1
1.2. Parenje drva .....	2
1.2.1. Parenje furnira.....	2
1.3. Hrast cer (Quercus Cerris L.).....	2
<b>2. CILJ ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>3</b>
<b>3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>4</b>
3.1. Kotao za parenje.....	4
3.1.1. Priprema kotla za parenje .....	7
3.1.2. Dodatna oprema.....	9
3.2. Materijal za izradu uzoraka .....	9
3.2.1. Priprema uzoraka .....	11
3.3. Metode.....	12
3.3.1. Grafički prikazi temperature u kotlu.....	16
3.3.2. Parenje uzoraka .....	20
3.3.1. Postupak testiranja .....	21
<b>4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA S RASPRAVOM.....</b>	<b>22</b>
4.1. Rezultati.....	22
4.2. Rasprava .....	26
<b>5. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>29</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>30</b>



## POPIS SLIKA

<b>Slika 1:</b> Primjer listova furnira različitih vrsta drva (izvor: <a href="https://www.indiamart.com/proddetail/wood-veneer-11458143430.html">https://www.indiamart.com/proddetail/wood-veneer-11458143430.html</a> ).....	1
<b>Slika 2:</b> Površina lista furnira cerovine (fotografija: Kvakana, 2022.).....	2
<b>Slika 3:</b> Primjer savijanja parenog furnira cerovine (fotografija: Kvakana, 2022.) .....	3
<b>Slika 4:</b> Kotao sa stalkom i kolicima (fotografija: Kvakana, 2022.).....	4
<b>Slika 5:</b> Kotao za parenje pod tlakom (fotografija: Kvakana, 2022.) .....	5
<b>Slika 6:</b> Termometar/barometar ugrađen u kotao (fotografija: Kvakana, 2022.) .....	5
<b>Slika 7:</b> Kontrolna ploča za tri grijača (fotografija: Kvakana, 2022.) .....	6
<b>Slika 8:</b> Okrugla vrata kotla s gumenom brtvom i prihvatima za vijčano učvršćenje vrata (foto: Kvakana, 2022.) .	6
<b>Slika 9:</b> Kolica za građu (fotografija: Kvakana, 2022.).....	6
<b>Slika 10:</b> Sigurnosni ventil (fotografija: Kvakana, 2022.) .....	6
<b>Slika 11:</b> Spremnik za vodu s grijačima, ventil za vodu (fotografija: Kvakana, 2022.).....	7
<b>Slika 12:</b> Termopar (izvor: <a href="https://senstech.cn/cylinder-probe-rtd-sensor/">https://senstech.cn/cylinder-probe-rtd-sensor/</a> ) .....	7
<b>Slika 13:</b> Računalo povezano s termoparovima, .....	7
<b>Slika 14:</b> Šuplji čep sa šesterokutnom glavom i provrtom za žicu (fotografija: Kvakana, 2022.).....	8
<b>Slika 15:</b> Ugradnja termoparova (fotografija: Kvakana, 2022.).....	8
<b>Slika 16:</b> Ugrađen i zabrtvljen termopar (fotografija: Kvakana, 2022.).....	8
<b>Slika 17:</b> Testiranje termoparova (fotografija: Todaro, 2022.) .....	8
<b>Slika 18:</b> Termometar/vlagomjer za provjeravanje uvjeta u laboratoriju (fotografija: Kvakana, 2022.) .....	9
<b>Slika 19:</b> Laserski rezač korišten za izradu kalupa (fotografija: Kvakana, 2022.) .....	9
<b>Slika 20:</b> Svežnjevi furnira cerovine (fotografija: Kvakana, 2022.).....	9
<b>Slika 21:</b> Svežnjevi furnira cerovine debljine 1 mm, za izradu uzoraka korišten je donji svežanj na slici (fotografija: Kvakana, 2022.) .....	10
<b>Slika 22:</b> Svežnjevi furnira cerovine debljine 0,6 mm, za izradu uzoraka korišten je najgornji svežanj (fotografija: Kvakana, 2022.).....	10
<b>Slika 23:</b> Izrezivanje uzoraka izbjegavajući greške (fotografija: Kvakana, 2022.).....	11
<b>Slika 24:</b> Uzorak cerovine dimenzija 300 × 30 mm (fotografija: Kvakana, 2022.) .....	11
<b>Slika 25:</b> Namakanje uzoraka, prekriveni su listom cijelim listom furnira i opterećeni kako bi ostali ispod površine vode (fotografija: Kvakana, 2022.).....	12
<b>Slika 26:</b> Primjer prstenova izrađenih od savijenog furnira (fotografija: Kvakana, 2022.) .....	12
<b>Slika 27:</b> Opis testiranja i mogući rezultati (Chanda i Bhattacharyya, 2018).....	13
<b>Slika 28:</b> Shema za kalup, verzija s kutom od 180 °(izvor: Autodesk Inventor 2022, Kvakana, 2022.) .....	13
<b>Slika 29:</b> Shema za kalup s utorom za vođenje pri savijanju, kut od 90 °(izvor: Inventor 2022, Kvakana, 2022.) ..	13
<b>Slika 30:</b> Shema za kalup bez utora, kut od 90 °(izvor: Autodesk <b>Inventor</b> 2022, Kvakana, 2022.).....	14
<b>Slika 31:</b> Konačna Shema (1) – podloga; (2) - oznaka radijusa; (3) - učvršćivači kalupa; (4) - kalup (izvor: Autodesk Inventor 2022, Kvakana, 2022.) .....	14
<b>Slika 32:</b> Dio rasporeda kalupa za izrezivanje na laserskom rezaču (izvor: AutoCAD 2022, Kvakana, 2022.) .....	14
<b>Slika 33:</b> Izrezivanje kalupa na laserskom rezaču (fotografija: Kvakana, 2022.) .....	14
<b>Slika 34:</b> Sortiranje kalupa prema radijusu (fotografija: Kvakana, 2022.).....	15
<b>Slika 35:</b> Pripremljeni kalup (fotografija: Kvakana, 2022.) .....	15
<b>Slika 36:</b> Graf zagrijavanja kotla za parenje (izvor: WoodWizard 2.2, Kvakana, 2022.).....	16
<b>Slika 37:</b> Graf hlađenja kotla tijekom noći (izvor: WoodWizard 2.2, Kvakana, 2022.).....	17
<b>Slika 38:</b> Graf zagrijavanja i hlađenja kotla (izvor: WoodWizard 2.2, Kvakana, 2022.).....	18
<b>Slika 39:</b> Graf otpuštanja pritiska i otvaranja vrata kotla (izvor: WoodWizard 2.2, Kvakana, 2022.) .....	18
<b>Slika 40:</b> Graf prilikom testiranja (izvor: WoodWizard 2.2, Kvakana, 2022.).....	19
<b>Slika 41:</b> Dio uzoraka na kolicima odmah nakon parenja (fotografija: Kvakana, 2022.).....	20
<b>Slika 42:</b> Postupak testiranja uzorka (fotografija: Kvakana, 2022.).....	21

<b>Slika 43:</b> Potpuno savinuti pareni uzorak prema opisanoj metodi (fotografija: Rocco, 2022.).....	21
<b>Slika 44:</b> Testiranje 1, uzorci: 0,6 mm, tangentna tekstura, nepareni .....	23
<b>Slika 45:</b> Testiranje 2, uzorci: 0,6 mm, tangentna tekstura, pareni .....	23
<b>Slika 46:</b> Testiranje 3, uzorci: 1 mm, tangentna tekstura, nepareni .....	23
<b>Slika 47:</b> Testiranje 4, uzorci: 1 mm, tangentna tekstura, pareni .....	24
<b>Slika 48:</b> Testiranje 5, uzorci: 0,6 mm, radialna tekstura, nepareni.....	24
<b>Slika 49:</b> Testiranje 6, uzorci: 0,6 mm, radialna tekstura, pareni.....	24
<b>Slika 50:</b> Testiranje 7, uzorci: 1 mm, radialna tekstura, nepareni.....	25
<b>Slika 51:</b> Testiranje 8, uzorci: 1 mm, radialna tekstura, pareni.....	25
<b>Slika 52:</b> Graf usporedbe testiranja T1 (nepareni) i T2 (pareni), uzorci: 0,6 mm, tangentna tekstura .....	26
<b>Slika 53:</b> Graf usporedbe testiranja T3 (nepareni) i T4 (pareni), uzorci: 1 mm, tangentna tekstura .....	27
<b>Slika 54:</b> Graf usporedbe testiranja T5 (nepareni) i T6 (pareni), uzorci: 0,6 mm, radialna tekstura .....	27
<b>Slika 55:</b> Graf usporedbe testiranja T7 (nepareni) i T8 (pareni), uzorci: 1 mm, radialna tekstura.....	28

## POPIS TABLICA

**Tablica 1:** *Primjer tablice sirovih podataka prikupljenih pri testiranju* ..... 22

## ZAHVALA

Prilikom izrade ovog rada želio bih se zahvaliti mentoru doc. dr. sc. Tomislavu Sedlaru za veliku pomoć i savjete. Također bih se zahvalio svom mentoru na razmjeni u Italiji, prof. dr. sc. Luigi Todaru koji me prihvatio kao svojeg studenta i vodio kroz cijelo moje istraživanje.

Želio bih se zahvaliti komentoru prof. dr. sc. Stjepanu Pervanu i prof. dr. sc. Silvani Prekrat za veliku podršku tijekom cijelog studiranja i neophodnu pomoć pri izradi ovog rada.

Pri izradi kalupa za testiranje pomogao je stolar Luca Colacicco iz Matere (grada udaljenog sat vremena automobilom od Potenze, gdje je provedeno istraživanje za ovaj rad) koji je ustupio svoju radionu, laserski rezač i vrijeme.

Na kraju želio bih se zahvaliti svim prijateljima na potpori i cijeloj svojoj obitelji, a pogotovo roditeljima i bratu Natku što su me podržavali tijekom cijelog školovanja, a posebno na fakultetu.

Vid Kvakán

# 1. UVOD

Zbog klimatskih promjena količina i kvaliteta drvnih resursa pada. Smanjuje se broj starih šuma i sve veći broj šumskih požara smanjuje šumske površine. Zbog toga potrebno je pronaći nove upotrebe za drvo koje se koristi isključivo kao ogrjevno, jedna od takvih vrsta drva je hrast cer (*Quercus Cerris L.*). Karakterističan za mediteransko područje dostupan je i iako ima loša tehnička svojstva, Todaro et al. (2012) navodi da bi hidrotermička obrada mogla predstavljati rješenje za poboljšanje svojstava cerovine.

Drvo ima široki spektar upotrebe u skoro svim dijelovima ljudskog života. Premda se koristi toliko dugo vremena još uvijek nisu istražena sva svojstva i mogućnosti pri uporabi ovog svestranog materijala. Jedno od tih svojstava je savijanje, bitno svojstvo pri izradi mnogih proizvoda u drvenoj industriji. Drvo se može preraditi u furnir, tanak list od drva koji se može savijati (**Slika 1**). „Formiranje furnira ima ograničenja zbog anizotropne i nehomogene prirode drva ovisne o okolišu. Konceptija stabilnog procesa oblikovanja i predviđanje formabilnosti određene geometrije teško je zbog tih karakteristika.“ (Zerbst et al., 2020). Zbog toga potrebno je dublje istražiti mogućnosti savijanja furnira i osmisliti nove metode ispitivanja i provedbe istraživanja furnira.

## 1.1. Furnir

„Furniri su glatki, tanki listovi drveta, debljine od 0,4 do 10 mm, koji se izrađuju sječenjem, piljenjem, rezanjem i ljuštenjem.“ (Mešić, 1998). Imaju mnogobrojne primjene, od namještaja do lameliranog drva. Većinski se proizvode ljuštenjem, a manji dio rezanjem, iz trupaca. Nakon proizvodnje rezani furniri slažu se u svežnjeve po 32 lista. Prema položaju u trupcu listovi furnira imaju teksturu blistače, polubočnice (polublistače) ili bočnice.



**Slika 1:** Primjer listova furnira različitih vrsta drva

(izvor: <https://www.indiamart.com/proddetail/wood-veneer-11458143430.html>)

### 1.2. Parenje drva

Parenje ili obrada drva vodenom parom je postupak djelovanja vrućom zasićenom parom na drvo kako bi se istom promijenila određena svojstva. Bitna promjena do koje dolazi parenjem je omekšavanje, tj. plastifikacija drva, primjerice za proizvodnju furnira: „Trupci i polovnjaci omekšavaju se toplinom prije rezanja i ljuštenja kako bi se lakše preradili u glatke i neispucane furnire. [...] Drvo se omekšava parom (postupkom parenja) ili vrućom vodom (postupkom kuhanja).“ (Pervan, 2009). Ovaj postupak radi se pri samoj proizvodnji furnira koji se prodaje osušen u svežnjevima.

#### 1.2.1. Parenje furnira

U pravilu parenje furnira, nakon što su već rezani i sušeni, se ne radi osim ako je potrebno u proizvodnji nekog komada namještaja ili drugog proizvoda. U ovom radu to je bilo potrebno kako bi se vidjela razlika u savijanju između suhog i parenog furnira. Razlog za ovakvo ispitivanje je korištenje već suhog furnira u proizvodnji.

### 1.3. Hrast cer (*Quercus Cerris* L.)

Uzorci u ovom diplomskom radu izrađeni su iz cerovine. Cer je brzorastuće stablo koji može narasti do 40 metara, a prisutan je u južnoj Europi i maloj Aziji te je karakterističan za područje južne Italije gdje se, zbog velike količine, traže nove upotrebe za njega.

Cerovina je tvrda i lomljiva, prosječne gustoće između 800 i 880 kg/m<sup>3</sup> i zbog male tehničke vrijednosti koristi se za privremene konstrukcije i kao ogrjevno drvo. Najveća ograničenja u primjeni cerovine su: mala dimenzijska stabilnost, velika unutrašnja naprezanja, jako bubrenje i utezanje te mala trajnost (Giordano, 1981). Također, Ferrari, S. et al. (2013) navodi da je cerovinu teško tretirati jer je vrlo sklona unutarnjim ili površinskim pukotinama, raspucavanju i vitoperenju tijekom procesa prerade (**Slika 2**). Boja jako varira unutar jednog stabla, a i velika je razlika u boji srži i bjeljike.

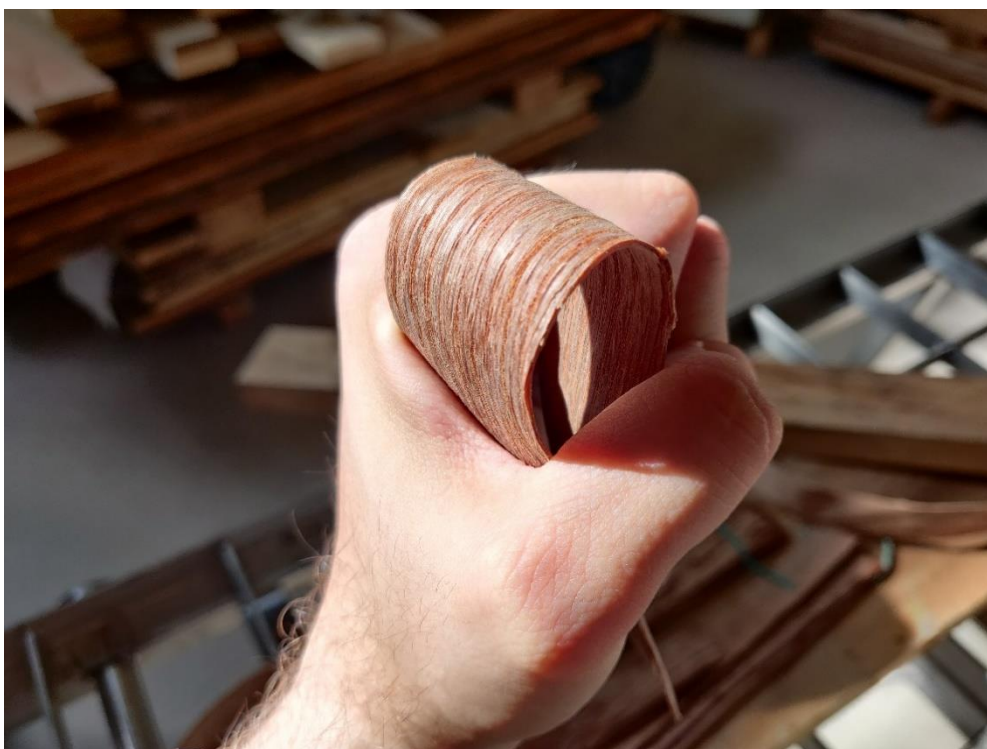


**Slika 2:** Površina lista furnira cerovine  
(fotografija: Kvakana, 2022.)

### 2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog rada bio je postaviti i provesti istraživanje savijanja elemenata cerovine, izrađenih iz furnira, prije i poslije parenja u kotlu za parenje. S obzirom na to da je ovo istraživanje provedeno na novom prototipu kotla za parenje, dodatni cilj je upogoniti kotao tako da se provjeri sva oprema na kotlu, brtva na vratima, ugrade temperaturne probe i spoje na računalo s potrebnom programskom podrškom.

Testiranje se provodi na temelju minimalnog polumjera (radijusa) savijanja furnira prije vidljivog puknuća te se traži iznos smanjenja polumjera savijanja uslijed parenja. **Slika 3** prikazuje primjer savijenog furnira nakon postupka parenja.



**Slika 3:** *Primjer savijanja parenog furnira cerovine  
(fotografija: Kvakana, 2022.)*

## 3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

Eksperimentalni dio ovog rada rađen je u Italiji, Sveučilište Basilicata, „*School of Agricultural, Forest, Food, and Environmental Sciences – SAFE*“, u laboratoriju za drvenu tehnologiju. Voditelj laboratorija i profesor drvene tehnologije prof. dr. sc. Luigi Todaro je naručio izradu kotla za parenje korištenog u ovom radu prema uzoru na slični kotao u jednoj tvrtki na sjeveru Italije.

### 3.1. Kotao za parenje

Ovaj diplomski rad rađen je na prototipu kotla za parenje (**Slika 5**) prema uzoru na slični kotao. Izrađen je u potpunosti od nehrđajućeg čelika. Sastoji se od glavnog i dodatnog cilindra, 3 grijača, 2 termometra/barometra (**Slika 6**), sigurnosnog ventila (**Slika 10**) i kontrolne sklopke za grijače (**Slika 7**). Unutar glavnog cilindra nalaze se kolica na kotačima (**Slika 9**), također od nehrđajućeg čelika, koja se mogu izvući iz kotla na dodatni stalak s tračnicama (**Slika 4**).

Dodatna oprema za kotao su termoparovi (engl. Thermocouple – T/C), vrsta osjetila za mjerenje temperature (Bolf, 2016) (**Slika 12**), razvodna kutija za spajanje proba s računalom (**Slika 7**) i računalo (**Slika 13**).



**Slika 4:** Kotao sa stalkom i kolicima  
(fotografija: Kvakon, 2022.)

Unutarnje dimenzije glavnog cilindra kotla su 264 centimetara dužine s promjerom od 80 centimetara. Ispod glavnog cilindra nalazi se dodatni cilindar gdje se nalazi i zagrijava voda potrebna za parenje, on je visine 44 centimetara s promjerom od 60 centimetara (**Slika 11**). U njemu se nalaze 3 grijača vode ravnomjerno raspoređeni pri dnu cilindra. Ukupni volumen unutar parionice iznosi 1,46 m<sup>3</sup>.



### 3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

---

Važno je napomenuti da je iznimno opasno otvarati kotao za parenje dok je u njemu prisutan tlak jer može doći do ozbiljnih opekлина vodenom parom ili drugih ozljeda. Prilikom otvaranja kotla potrebno je imati svu propisanu zaštitnu opremu poput rukavica otpornih na toplinu, odjeće s dugim rukavima i nogavicama, zaštitnu obuću te zaštitne naočale kako bi se minimizirao rizik od ozljeda.



**Slika 5:** Kotao za parenje pod tlakom  
(fotografija: Kvakana, 2022.)



**Slika 6:** Termometar/barometar ugrađen u kotao  
(fotografija: Kvakana, 2022.)

### 3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA



**Slika 7:** Kontrolna ploča za tri grijača  
(fotografija: Kvakan, 2022.)



**Slika 8:** Okrugla vrata kotla s gumenom brtvom i prihvatom za vijčano učvršćenje vrata  
(foto: Kvakan, 2022.)



**Slika 9:** Kolica za građu  
(fotografija: Kvakan, 2022.)



**Slika 10:** Sigurnosni ventil  
(fotografija: Kvakan, 2022.)

### 3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

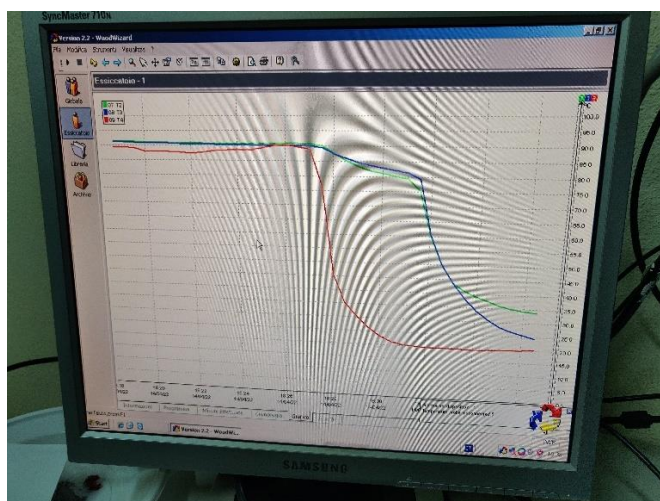
---



**Slika 11:** Spremnik za vodu s grijačima, ventil za vodu  
(fotografija: Kvakon, 2022.)



**Slika 12:** Termopar  
(izvor: <https://senstech.cn/cylinder-probe-rt-d-sensor/>)



**Slika 13:** Računalo povezano s termoparovima, nadziranje istih kroz program WoodWizard 2.2  
(fotografija: Kvakon, 2022.)

#### 3.1.1. Priprema kotla za parenje

S obzirom na to da se radi o novom prototipu kotla za parenje bilo je potrebno izvesti probna ispitivanja, tj. provjeriti da ne dolazi do puštanja pare, pada u tlaku ili slično te provjeriti ispravnost termoparova. Kotao nema izolacijski sloj mineralne vune s vanjske strane koji pomaže kod gubitka topline i bržeg zagrijavanja. Stoga je zagrijavanje trajalo duže nego uobičajeno kod ovakvog kotla.

Pri prvom testiranju došlo je do puštanja vodene pare na vratima kotla (**Slika 8**) te je zbog toga stavljena mast za brtvljenje pod tlakom otporna na visoke temperature na gumenu brtvi. Potom je testirano podizanje tlaka u kotlu do 1,3 bara (limit kotla je 1,5 bara prema uputama i upozorenju na kontrolnoj ploči (**Slika 7**)).

Usljedila je ugradnja termoparova kroz 3 otvora u glavnom cilindru kotla uz pomoć tehničkog suradnika sa strojarskog fakulteta Sveučilišta Basilicata. Termoparovi su provedeni kroz provrte u šupljim čepovima sa šesterokutnom glavom

### 3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

---

(Slika 14), a ti čepovi ugrađeni u glavni cilindar s teflonskom trakom za brtvljenje. Žica termopara je zabrtvljena pomoću elastomera Motorsil D i dvokomponentne elastične epoksidne smole otporne na visoke temperature na provrtu čepa kako bi se ostvario hermetički zatvoren sustav.

Testiranje termoparova provedeno je njihovim postavljanjem u kotao i u uzorke drva. Temperatura je nadzirana termometrom postavljenim na glavni cilindar i preko programa WoodWizard za kontroliranje termoparova.



**Slika 14:** Šuplji čep sa šesterokutnom glavom i provrtom za žicu  
(fotografija: Kvakan, 2022.)



**Slika 15:** Ugradnja termoparova  
(fotografija: Kvakan, 2022.)



**Slika 16:** Ugrađen i zabrtvljen termopar  
(fotografija: Kvakan, 2022.)



**Slika 17:** Testiranje termoparova  
(fotografija: Todaro, 2022.)

#### 3.1.2. Dodatna oprema

Od dodatne opreme korišteni su razni alati za upogonjavanje kotla i izradu uzoraka, prijenosno računalo, analitička vaga, termometar/vlagomjer (**Slika 18**), kalupi za testiranje (**Slika 33**) te laserski rezač (**Slika 19**) za izradu kalupa.



**Slika 18:** Termometar/vlagomjer za provjeravanje uvjeta u laboratoriju (fotografija: Kvakana, 2022.)



**Slika 19:** Laserski rezač korišten za izradu kalupa (fotografija: Kvakana, 2022.)

#### 3.2. Materijal za izradu uzoraka



**Slika 20:** Svežnjevi furnira cerovine (fotografija: Kvakana, 2022.)

Korišteni uzorci izrađeni su od listova furnira cerovine, debljine 1 i 0,6 mm. Svežanj furnira debljine 1 mm i svežanj furnira debljine 0,6 mm su rezani iz trupaca parenih na 130 °C, tj. na istoj temperaturi tako da prijašnji tretman ne bi utjecao na rezultate. Uzorci su dimenzija 300 x 30 mm s uzdužnom orijentacijom vlakana (**Slika 24**). Dimenzije uzoraka za ispitivanje su određene kao u istraživanju koje su proveli Chanda i Bhattacharyya (2018). Dimenzije su slične, ali ne iste zbog bolje

### 3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

---

iskoristivosti listova furnira iz kojih su uzorci izrađeni te kako bi se lakše odredila razlika između teksture blistače ili bočnice na uzorcima te kako bi se umanjio broj uzoraka s teksturom polubočnice, tj. polublistače.



**Slika 21:** Svežnjevi furnira cerovine debljine 1 mm, za izradu uzoraka korišten je donji svežanj na slici (fotografija: Kvakon, 2022.)



**Slika 22:** Svežnjevi furnira cerovine debljine 0,6 mm, za izradu uzoraka korišten je najgornji svežanj (fotografija: Kvakon, 2022.)

#### 3.2.1. Priprema uzoraka

Iz listova furnira škarama i skalpelom izrezani su uzorci navedenih dimenzija pri tome izbjegavajući vidljive pukotine, veće kvрге i druge očite greške drva (**Slika 21** i **Slika 23**). "... rezultati sugeriraju da bi za cerovinu moglo biti vrlo važno odabrati trupce bez nedostataka kako bi se povećala njihova iskoristivost i kvaliteta [...] za finalne proizvode." (Todaro et al., 2011). Uzorci su označeni brojevima i polovica je odvojena za parenje. Ukupno je izrađeno oko dvije tisuće uzoraka, nisu svi uzorci testirani zbog grešaka u drvu. Takav furnir ne bi se koristio ni u proizvodnji pa je zato maknut iz ispitivanja. Listovi furnira imali su teksturu bočnice i blistače te je izrađen podjednak broj uzoraka s ove dvije vrste tekstura.



**Slika 23:** Izrezivanje uzoraka izbjegavajući greške  
(fotografija: Kvakana, 2022.)

Uzorci su kondicionirani u klimatiziranom laboratoriju na temperaturi  $23 \pm 2$  °C i  $50 \pm 5$  % relativne vlage zraka 72 sata prema normi EN ISO 291. Pareni uzorci namočeni su u vodi sobne temperature 24 sata prije parenja. Test parenja s uzorcima bez prethodnog namakanja pokazalo je loše rezultate savijanja i prebrzo sušenje uzoraka. „Jako osušeno drvo iz vodene pare prima vlagu. To znači da se tijekom postupka sušenja sadržaj vode zadržava na oko 40 do 60 %.“ (Pervan, 2009).



**Slika 24:** Uzorak cerovine dimenzija 300 x 30 mm  
(fotografija: Kvakana, 2022.)



**Slika 25:** Namakanje uzoraka, prekriveni su listom cijelim listom furnira i opterećeni kako bi ostali ispod površine vode  
(fotografija: Kvakon, 2022.)

Prije parenja određen je sadržaj vode u uzorcima gravimetrijskom metodom prema normi HRN EN 13183-1:2008 Moisture content of a piece of sawn timber – Part 1: Determination by oven dry method. Prilikom provođenja ove metode korišten je stručni rad autora Stjepana Pervana, Miljenka Klarića i Marka Slivara, naslova „Normirane metode određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u Republici Hrvatskoj“. U neparenim uzorcima sadržaj vode iznosio je između 8 i 9 %.

### 3.3. Metode

Ideja za ovo istraživanje došla je iz hobija izrade prstenova iz savijenog furnira (**Slika 26**). Postupak izrade sastoji se od izrezivanja kratke trake furnira (u pravilu između 20 i 30 centimetara) omekšavanja iste parenjem ili kuhanjem, savijanja trake oko kalupa *određenog promjera* ovisno o željenoj veličini prstena, sušenja (prirodno ili sušilom za kosu), lijepljenja trake oko kalupa cijanoakrilatnim ljepilom niske viskoznosti (Loctite 406) kako bi ljepilo prodrlo u drvo te brušenja i poliranja do željenog sjaja.



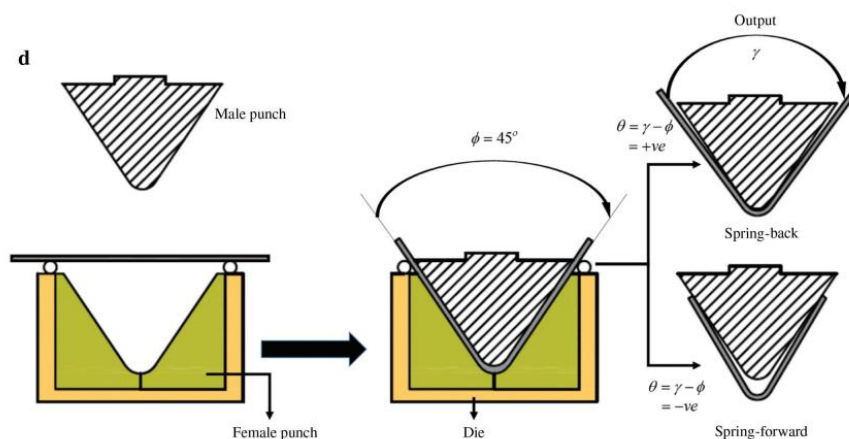
**Slika 26:** Primjer prstenova izrađenih od savijenog furnira  
(fotografija: Kvakon, 2022.)



### 3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

Prema vlastitom iskustvu ova metoda izrade jako ovisi o vrsti drva, metodi omekšavanja i *željenom promjeru* konačnog proizvoda stoga se nastojalo istražiti koliko utječe parenje furnira na minimalni mogući radijus savijanja.

U istraživanju koje su proveli Chanda i Bhattacharyya koristi se veličina uzoraka slična veličini traka za izradu prstenova pa je taj članak početna točka metode ovog ispitivanja. Metoda korištena u tom članku sastoji se od savijanja u obliku slova V s patricom i matricom, a varira radijus vrha kalupa.

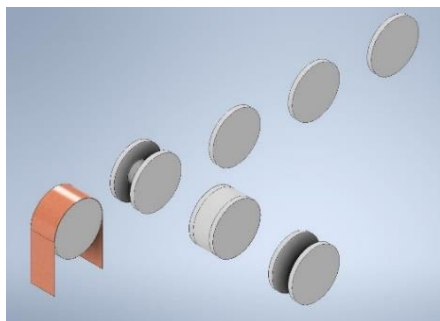


**Slika 27:** Opis testiranja i mogući rezultati (Chanda i Bhattacharyya, 2018)

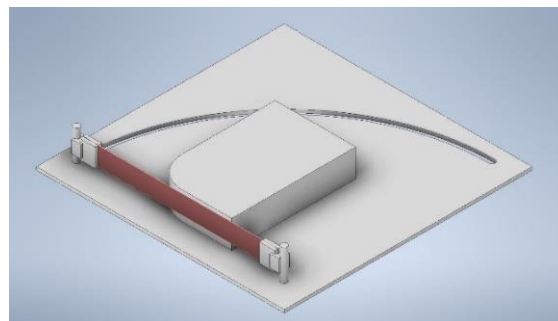
Bitan zaključak autora iz tog članka glasi: „pri korištenju kalupa s vrhom radijusa 4 mm ili manje je došlo do loma furnira“ (Chanda i Bhattacharyya, 2018) te je prema tome zaključeno da se ne uzima radijus testiranja manji od 5 mm.

Eksperimentalnim putem zaključeno je da su se svi uzorci suhog furnira bez problema savinuli na radijusima većim od 30 mm osim ako se na mjestu savijanja nalazi veća greška u drvu poput nesrasle kvrge ili pukotine u smjeru vlakana. Tako da su za ovo istraživanje napravljeni kalupi za testiranje uzoraka s radijusima od 5 do 30 milimetara.

Sheme za kalup nacrtane su u programu Autodesk Inventor 2022:

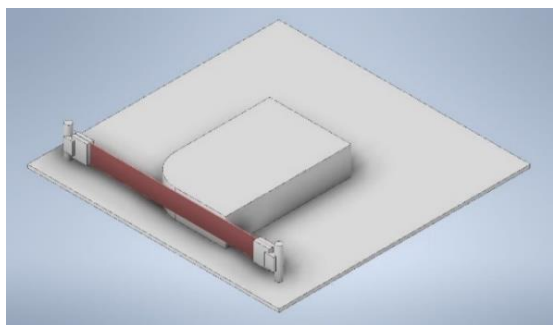


**Slika 28:** Shema za kalup, verzija s kutom od  $180^\circ$   
(izvor: Autodesk Inventor 2022, Kvakana, 2022.)



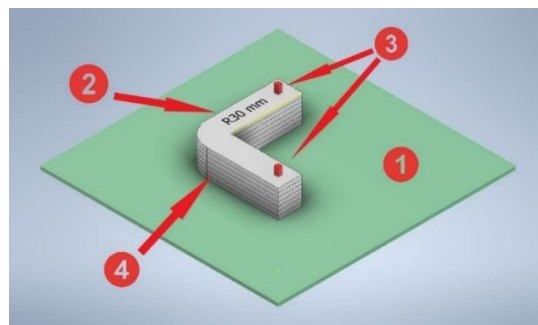
**Slika 29:** Shema za kalup s utorom za vođenje pri savijanju, kut od  $90^\circ$   
(izvor: Inventor 2022, Kvakana, 2022.)

### 3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA



**Slika 30:** Shema za kalup bez utora, kut od 90°

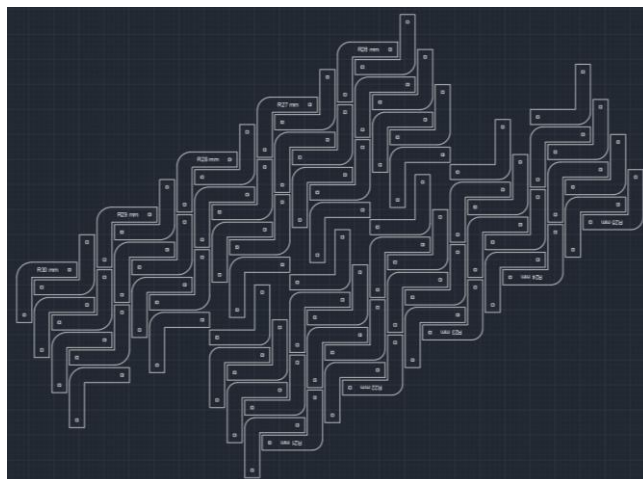
(izvor: Autodesk **Inventor** 2022, Kvakon, 2022.)



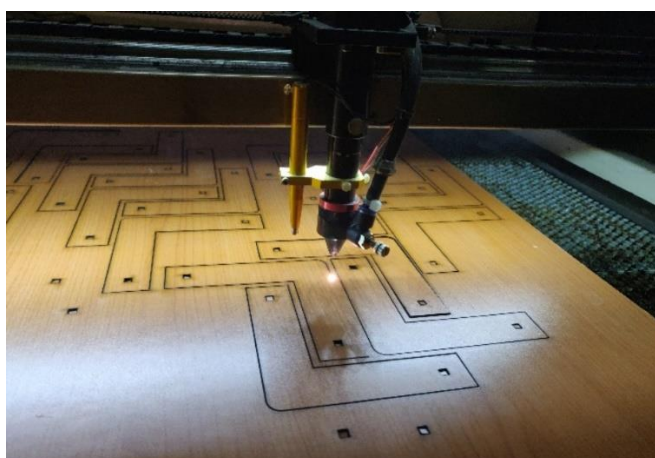
**Slika 31:** Konačna Shema

(1) – podloga; (2) - oznaka radijusa;  
(3) - učvršćivači kalupa; (4) - kalup  
(izvor: Autodesk **Inventor** 2022, Kvakon, 2022.)

Za izradu kalupa korištena je ploča vlaknatica (HDF) debljine 3 milimetra te je svaki kalup izrađen od 7 slojeva. Napravljen je raspored za sve potrebne kalupe u AutoCAD-u (**Slika 32**) te je prebačen u program za laserski rezač. Rezanje je trajalo nekoliko sati jer je bilo potrebno 175 izrezaka.



**Slika 32:** Dio rasporeda kalupa za izrezivanje na laserskom rezaču  
(izvor: AutoCAD 2022, Kvakon, 2022.)



**Slika 33:** Izrezivanje kalupa na laserskom rezaču  
(fotografija: Kvakon, 2022.)

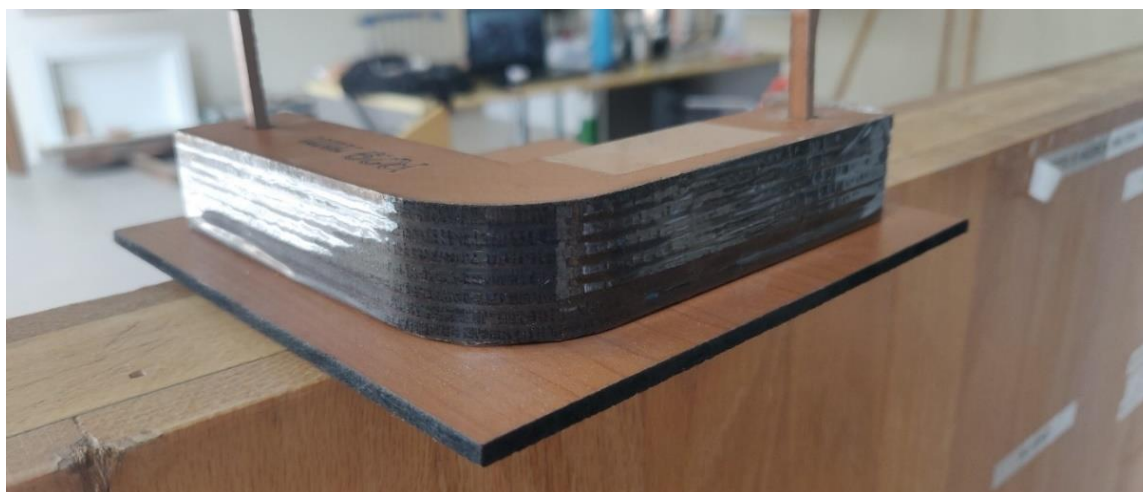
### 3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

---

Nakon izrezivanja, kalupi su sortirani prema radijusu i oblijepljeni ljepljivom trakom kako ne bi došlo do upijanja vode prilikom testiranja parenih uzoraka.



**Slika 34:** Sortiranje kalupa prema radijusu  
(fotografija: Kvakana, 2022.)

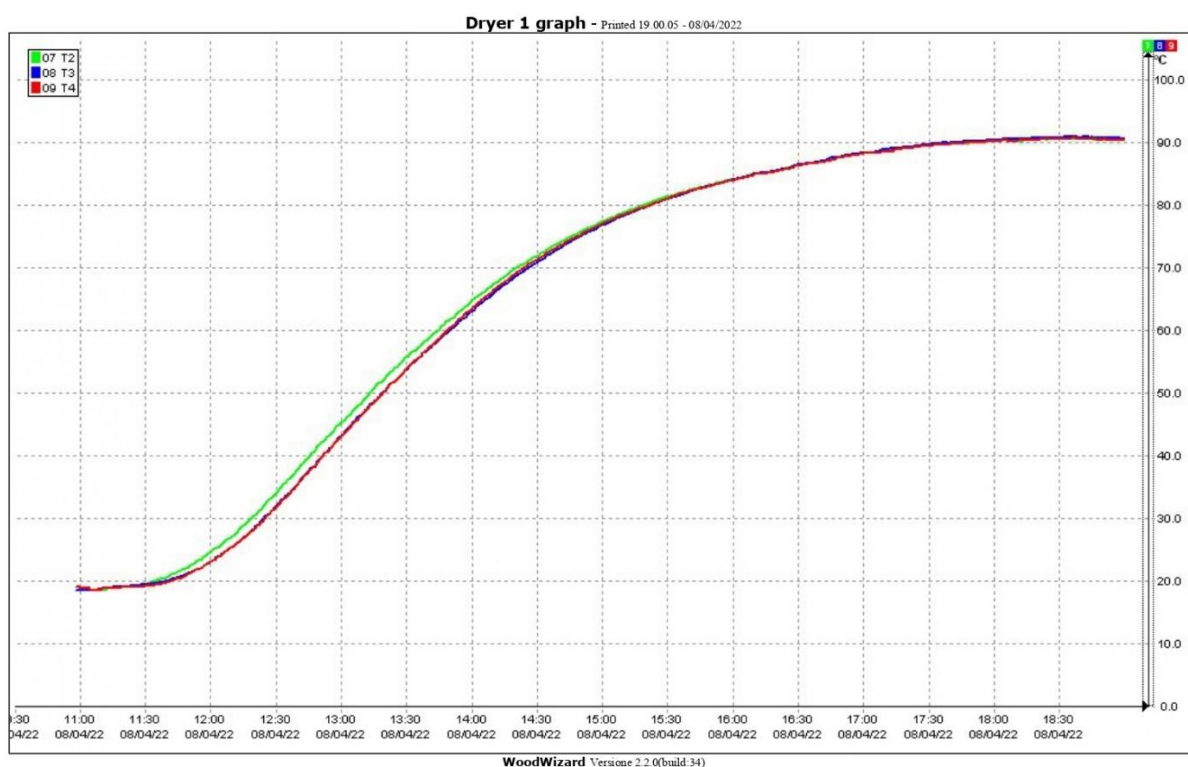


**Slika 35:** Pripremljeni kalup  
(fotografija: Kvakana, 2022.)

#### 3.3.1. Grafički prikazi temperature u kotlu

Program korišten u ovom ispitivanju koji obrađuje i pokazuje podatke koje šalju termoparovi zove se WoodWizard 2.2, to je program osmišljen za nadzor sušionica drva, ali se može koristiti i u ovakvom slučaju. Grafovi temperature izvađeni su direktno iz programa. Za nadziranje temperature u kotlu termoparovi su postavljeni slobodno unutar kotla kako bi prikazivali ambijentalnu temperaturu koja je prikazana na grafovima.

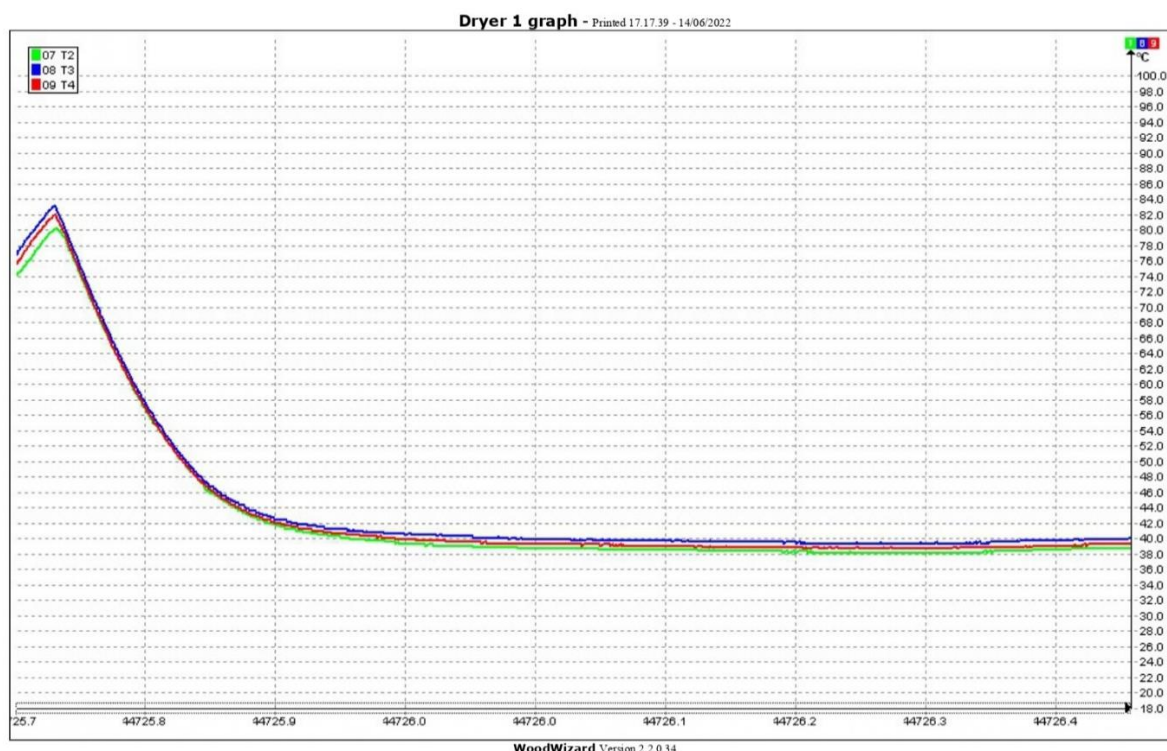
**Slika 36** prikazuje zagrijavanje kotla sa sobne temperature na temperaturu za parenje. Iz grafa se vidi da je zagrijavanje trajalo šest sati i 30 minuta zbog manjka izolacije na vanjskoj površini glavnog cilindra. 3 boje linija (zelena, plava i crvena) označavaju tri termopara unutar kotla na ovom i na sljedećim grafovima.



**Slika 36:** Graf zagrijavanja kotla za parenje  
(izvor: WoodWizard 2.2, Kvakon, 2022.)

Prilikom korištenja kotla tijekom noći temperatura grijača postavljena je na 40 °C kako bi se spriječilo podizanje tlaka unutar kotla bez nadzora, tj. zbog sigurnosti. **Slika 37** prikazuje graf hlađenja kotla tijekom jedne noći. Zbog ograničenja programa nažalost nije bilo moguće prikazati sate na donjoj osi (kao **Slika 36**). Hlađenje je trajalo otprilike 4 sata do konstantne temperature što se može iščitati na kasnijem grafu (**Slika 38**).

### 3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

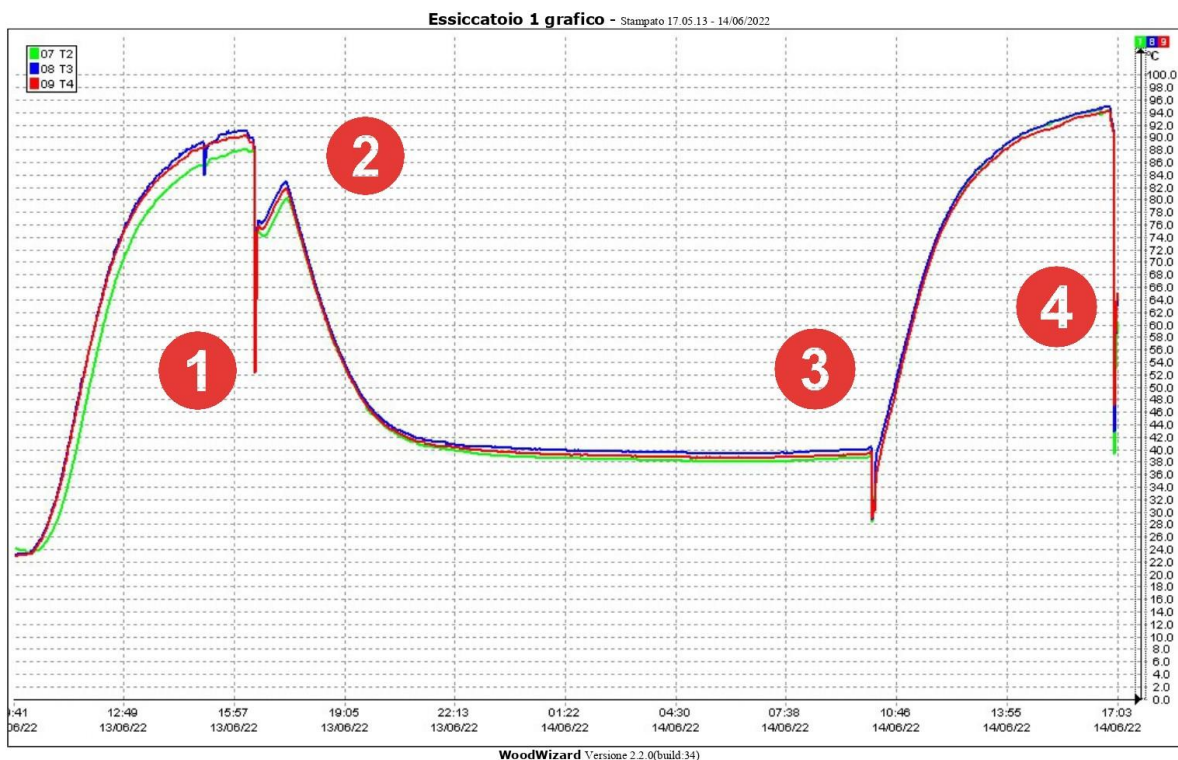


**Slika 37:** Graf hlađenja kotla tijekom noći  
(izvor: WoodWizard 2.2, Kvakon, 2022.)

Slijedi prikaz cijelog dana gdje je kotao u funkciji s nekoliko zanimljivih događaja. **Slika 38**, kod oznake 1, prikazuje pad u temperaturi s 90 °C na 52 °C, tj. razlika temperature  $\Delta T$  iznosi 38 °C prilikom otvaranja vrata kotla. Nakon zatvaranja temperatura ubrzano raste do 75 °C gdje opet počinje polagano zagrijavanje (**Slika 38**, oznaka 2). To znači da je moguće držati uzorke u kotlu nakon parenja bez da se uzorci potpuno ohlade. Nakon cijele noći pri konstantnoj temperaturi oko 40 °C ponovno se jednom otvaraju vrata i dolazi do dodatnog hlađenja od 12 °C (**Slika 38**, oznaka 3) te počinje polagano zagrijavanje i na kraju otvaranje vrata s ugašenim grijačima (**Slika 38**, oznaka 4).

Kada je kotao na radnoj temperaturi i pod tlakom, prije otpuštanja vijaka i otvaranja vrata, potrebno je otvoriti sigurnosni ventil na kotlu i ispustiti vodenu paru kako bi tlak pao na nula bara. Svako otvaranje kotla dok je još pod tlakom je iznimno opasno i nije dopušteno. **Slika 39** prikazuje otvaranje kotla s prijašnjim smanjenjem tlaka. Taj postupak traje nekoliko minuta ovisno o veličini tlaka u kotlu. Kod oznake 1 (**Slika 39**) vidi se mali pad u temperaturi od otprilike 4 °C zbog ispuštanja vodene pare, a kod oznake 2 vidi se postupan rast temperature nakon zatvaranja vrata, prisutna je razlika u termoparovima zbog njihove različite udaljenosti od vrata i izvora topline, tj. od spremnika s vodom.

### 3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA



**Slika 38:** Graf zagrijavanja i hlađenja kotla  
(izvor: WoodWizard 2.2, Kvakon, 2022.)

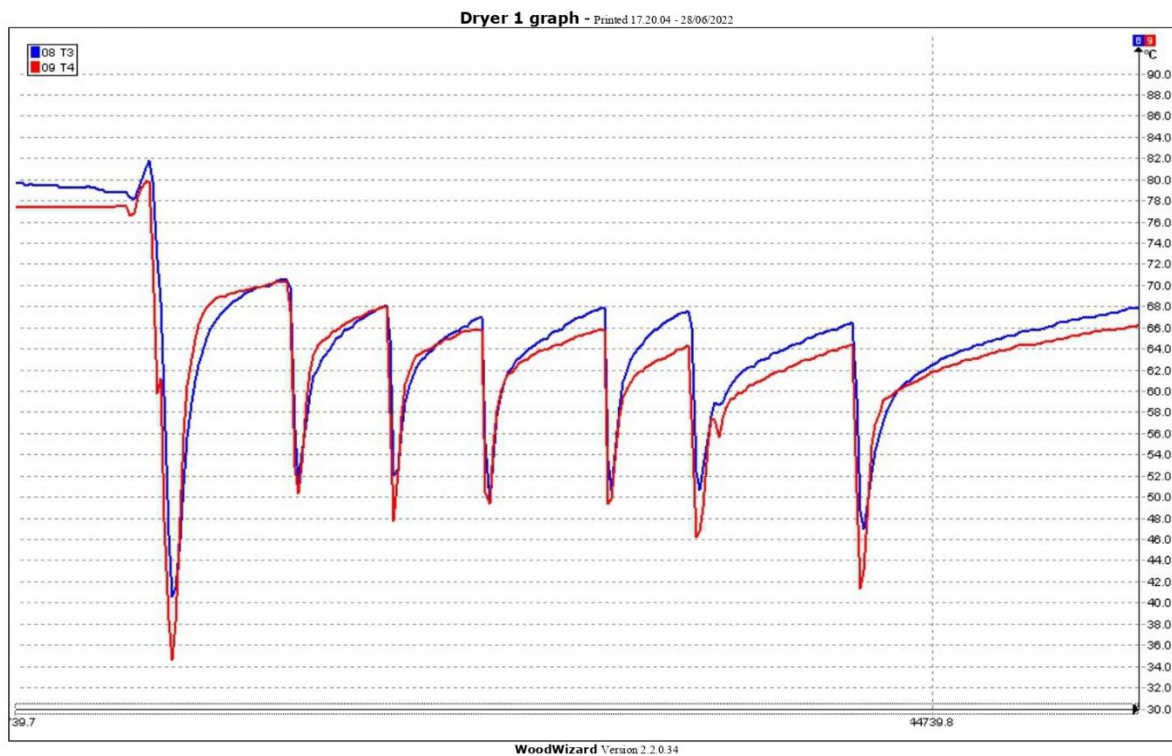


**Slika 39:** Graf otpuštanja pritiska i otvaranja vrata kotla  
(izvor: WoodWizard 2.2, Kvakon, 2022.)

Prilikom testiranja uzoraka vrata su se otvarala više puta u malom vremenskom periodu (**Slika 40**) i bila su aktivna dva termopara. Nakon parenja uzoraka i prilikom početka ispitivanja tlak unutar kotla smanjen je na 0 bara i ispuštena je vodena para

### 3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

kako bi se snizila temperatura u kotlu na približno 80 °C zbog sigurnijeg i bržeg otvaranja i zatvaranja kotla prilikom testiranja. **Slika 40** prikazuje 7 otvaranja vrata za vađenje uzoraka, vidi se razlika u padu temperature ovisno o tome koliko dugo su vrata bila otvorena.



**Slika 40:** Graf prilikom testiranja  
(izvor: WoodWizard 2.2, Kvakan, 2022.)

#### 3.3.2. Parenje uzoraka

Svi uzorci potrebni za testiranje pareni su odjedanput kako bi uvjeti parenja bili jednaki za sve uzorke.

Kotao za parenje zagrijan je na temperaturu od 90 °C, a na kolicima je stavljeno nekoliko listova suhog furnira kako uzorci ne bi propadali kroz kolica. Prije otvaranja kotla smanjen je tlak pomoću sigurnosnog ventila. Uzorci su postavljeni na listove furnira i kolica su vraćena u kotao što brže kako bi se minimizirao gubitak topline unutar kotla.

Postupak parenja trajao je 6 sati i 30 minuta s uračunatim vremenom potrebnim za zagrijavanje kotla na radnu temperaturu nakon otvaranja vrata. Temperatura parenja iznosila je oko 90 °C. **Slika 41** prikazuje uzorke odmah nakon parenja. Zbog namakanja furnira prije parenja oni su ostali dovoljno vlažni da bi se moglo provesti testiranje, a listovi furnira ispod uzoraka odmah su se osušili.



**Slika 41:** Dio uzoraka na kolicima odmah nakon parenja  
(fotografija: Kvakon, 2022.)

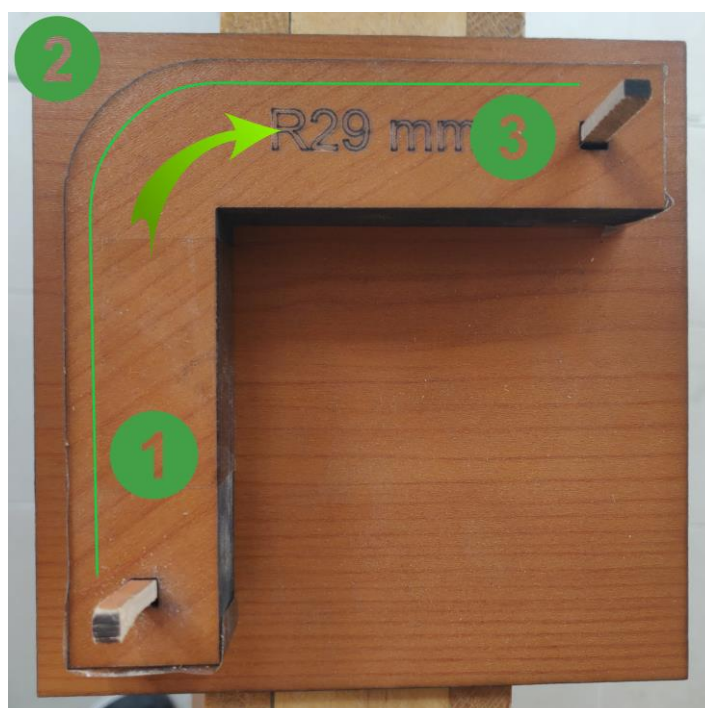
Uzorci su uzeti za testiranje u hrpama i odmah pri vađenju iz kotla stavljani su u kutiju s poklopcem kako bi se minimiziralo njihovo sušenje i hlađenje. Ostatak uzoraka ostao je u kotlu na temperaturi između 60 i 65 °C, temperatura je varirala ovisno o frekvenciji otvaranja vrata kotla tijekom testiranja.



#### 3.3.1. Postupak testiranja

Prilikom savijanja parenih elemenata poželjno je koristiti metalni lim na vanjskoj strani savijanja kako bi se smanjilo vlačno opterećenje na element, ali u ovom istraživanju bilo je potrebno vidjeti vanjsku površinu prilikom savijanja pa je postupak savijanja malo drugačiji. Zbog nemogućnosti izrade sprave za testiranje ono se provodi ručno uz moguće greške pri pritisku i brzini savijanja.

Uzorak se postavlja na lijevu stranicu kalupa (**Slika 42** – oznaka 1) i prstima pritisne uz kalup. Slijedeći dužinu uzorka s desnom rukom se savija preko radijusa s vanjske strane kalupa (**Slika 42** - 2) jednolikim pritiskom do nalijeganja na gornju stranicu kalupa (**Slika 42** - 3) i u vremenu od deset sekundi kako bi uvjeti testiranja svih uzoraka bili isti. Uzorak se zadržava na tom mjestu i vizualno se proučava vanjska površina uzorka na radijusu savijanja (**Slika 43**).



**Slika 42:** Postupak testiranja uzorka  
(fotografija: Kvakana, 2022.)



**Slika 43:** Potpuno savinuti pareni uzorak prema opisanoj metodi  
(fotografija: Rocco, 2022.)

## 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA S RASPRAVOM

### 4.1. Rezultati

Testirano je 8 kategorija uzoraka ovisno o navedenim kriterijima (**Tablica 1**). Za svaki testirani radijus testirano je 10 uzoraka. Uzorci su raspoređeni prema sljedećim kriterijima:

Stanje uzorka	nepareni/pareni
Tekstura uzorka	tangentna/radijalna
Debljina uzorka	0,6 mm / 1 mm

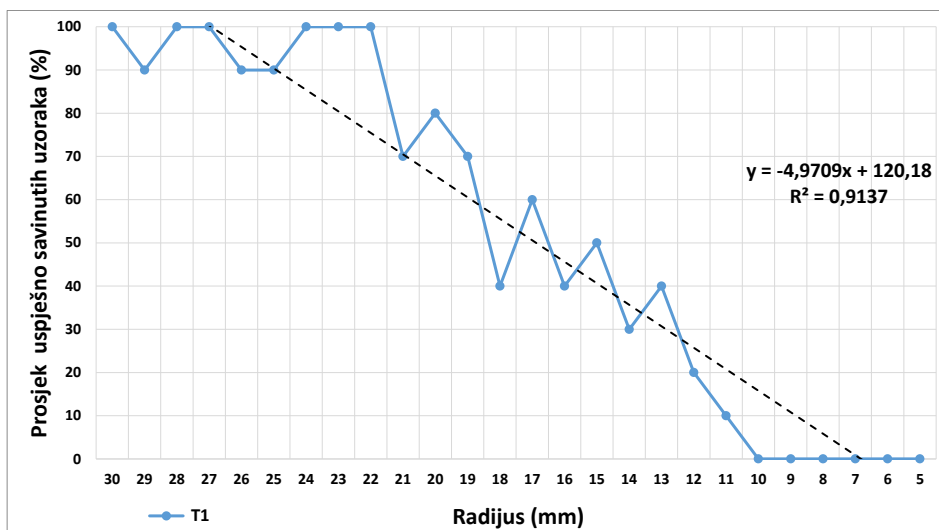
Vizualnom inspekcijom uzoraka određena je uspješnost savijanja uzorka na testiranom radijusu. Ako vanjska površina uzorka na radijusu (**Slika 43**) nema pukotina i vidljivih oštećenja onda je testiranje pozitivno i u tablicu je upisano *da*. U slučaju da su vidljive pukotine i/ili izdizanje vlaknaca onda je testiranje negativno i upisano je *ne*. Testiranje je provedeno za sve uzorke.

**Tablica 1:** Primjer tablice sirovih podataka prikupljenih pri testiranju

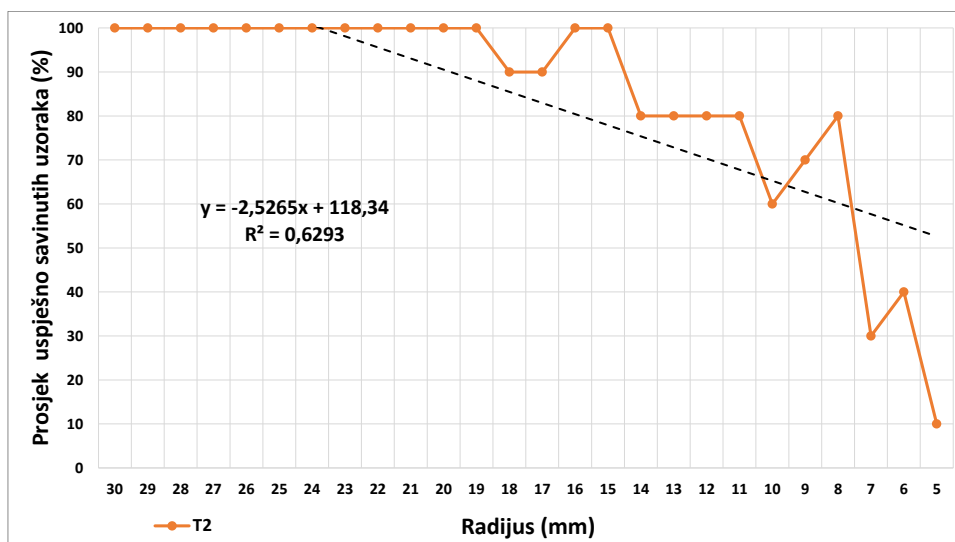
Tablica	stanje uzorka		debljina furnira		tekstura furnira					
T1	Nepareni		0,6 mm		tang					
Radius (mm)	Broj uzorka									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30	da	da	da	da	da	da	da	da	da	da
29	da	da	da	da	da	da	da	da	da	ne
28	da	da	da	da	da	da	da	da	da	da
27	da	da	da	da	da	da	da	da	da	da
26	da	da	ne	da	da	da	da	da	da	da
25	da	da	da	da	da	ne	da	da	da	da
24	da	da	da	da	da	da	da	da	da	da
23	da	da	da	da	da	da	da	da	da	da
22	da	da	da	da	da	da	da	da	da	da
21	ne	da	ne	da	ne	da	da	da	da	da
20	da	da	da	ne	da	da	da	da	da	ne
19	da	da	da	da	da	ne	da	da	ne	ne
18	ne	ne	ne	da	ne	da	da	ne	da	ne
17	da	ne	da	ne	da	ne	ne	da	da	da
16	ne	da	ne	da	ne	ne	ne	ne	da	da
15	ne	da	ne	da	ne	da	ne	da	ne	da
14	ne	ne	ne	ne	ne	da	da	ne	da	ne
13	da	ne	ne	da	ne	ne	da	da	ne	ne
12	ne	ne	da	ne	ne	ne	ne	ne	da	ne
11	ne	ne	ne	da	ne	ne	ne	ne	ne	ne
10	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
9	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
8	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
7	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
6	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
5	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne

Za bolju obradu podataka i izradu grafova, vrijednosti u tablicama su pretvorene u *nula* za *ne* i *jedan* za *da*.

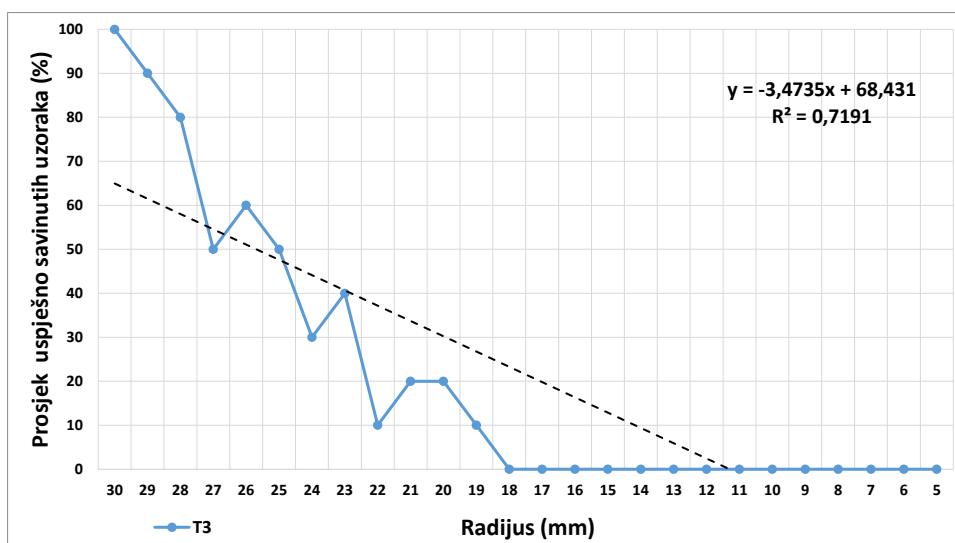
#### 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA S RASPRAVOM



Slika 44: Testiranje 1, uzorci: 0,6 mm, tangenta tekstura, nepareni

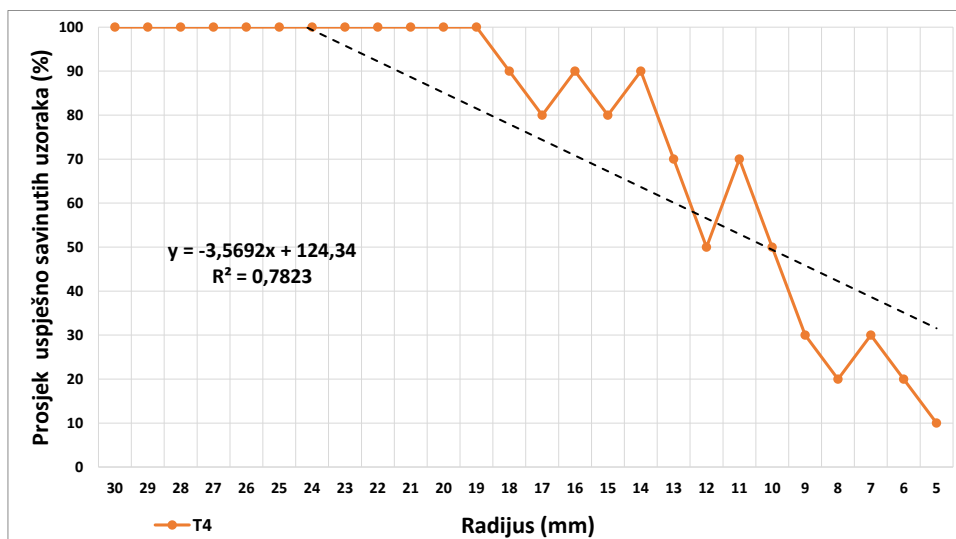


Slika 45: Testiranje 2, uzorci: 0,6 mm, tangenta tekstura, pareni

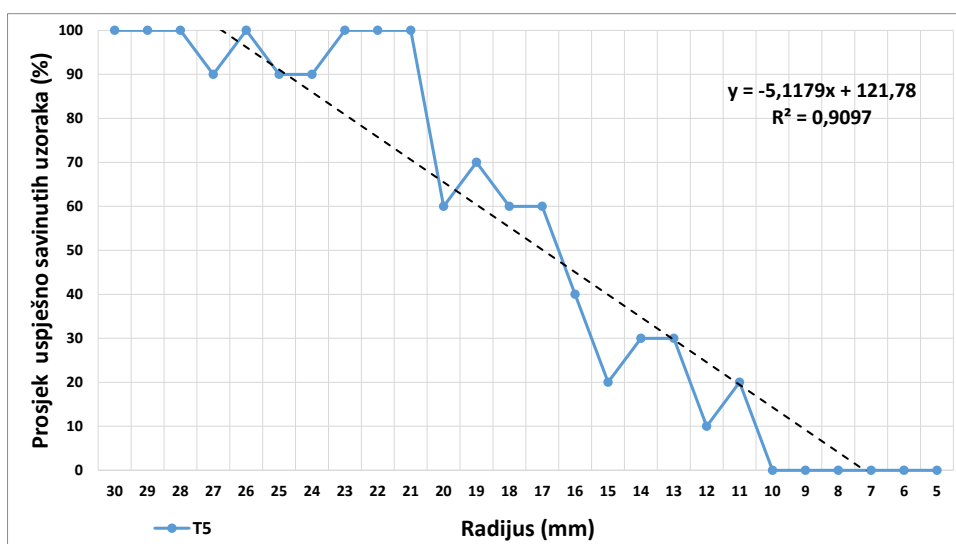


Slika 46: Testiranje 3, uzorci: 1 mm, tangenta tekstura, nepareni

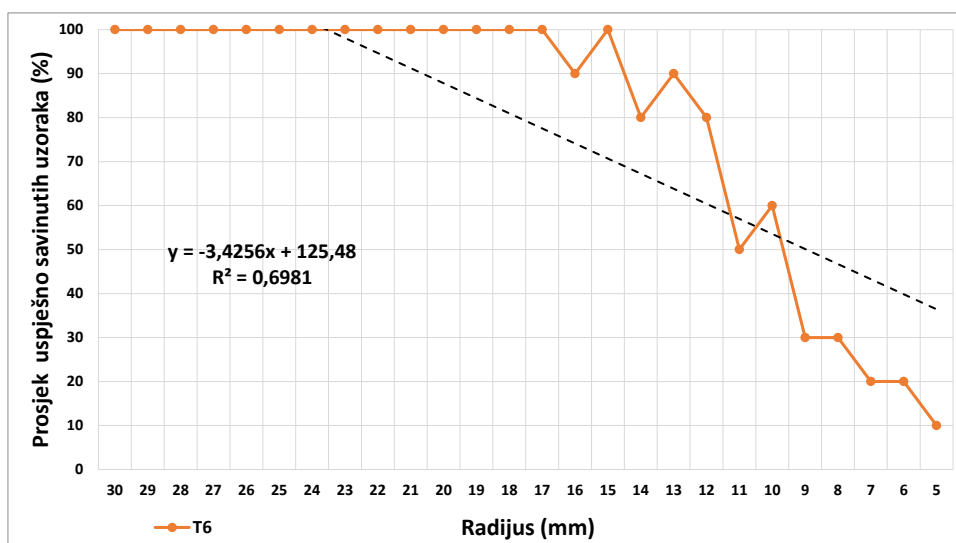
#### 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA S RASPRAVOM



**Slika 47:** Testiranje 4, uzorci: 1 mm, tangenta tekstura, pareni

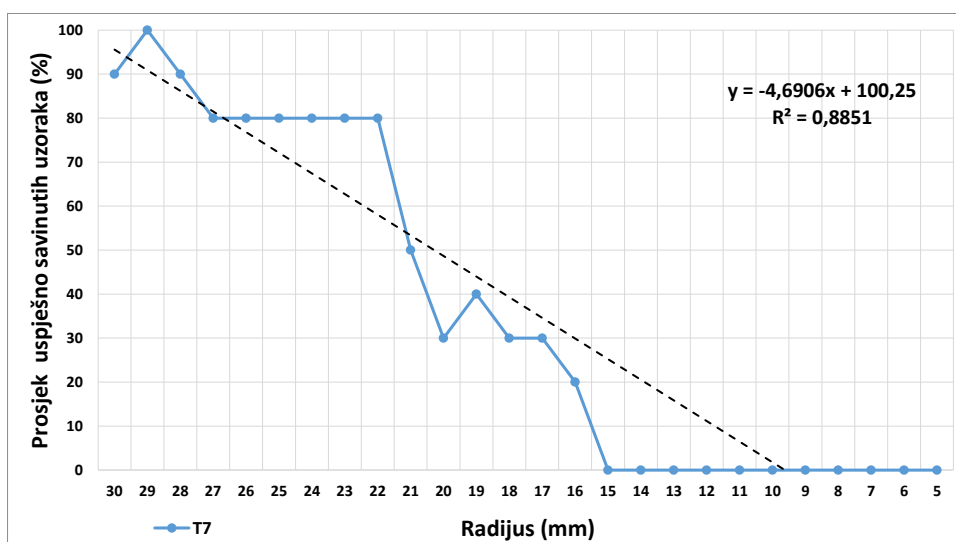


**Slika 48:** Testiranje 5, uzorci: 0,6 mm, radialna tekstura, nepareni

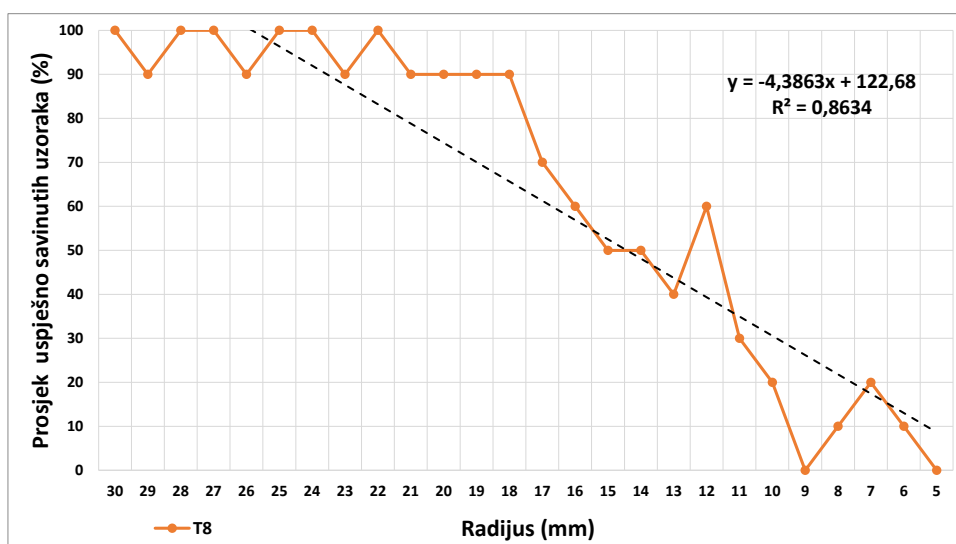


**Slika 49:** Testiranje 6, uzorci: 0,6 mm, radialna tekstura, pareni

#### 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA S RASPRAVOM



**Slika 50:** Testiranje 7, uzorci: 1 mm, radijalna tekstura, nepareni



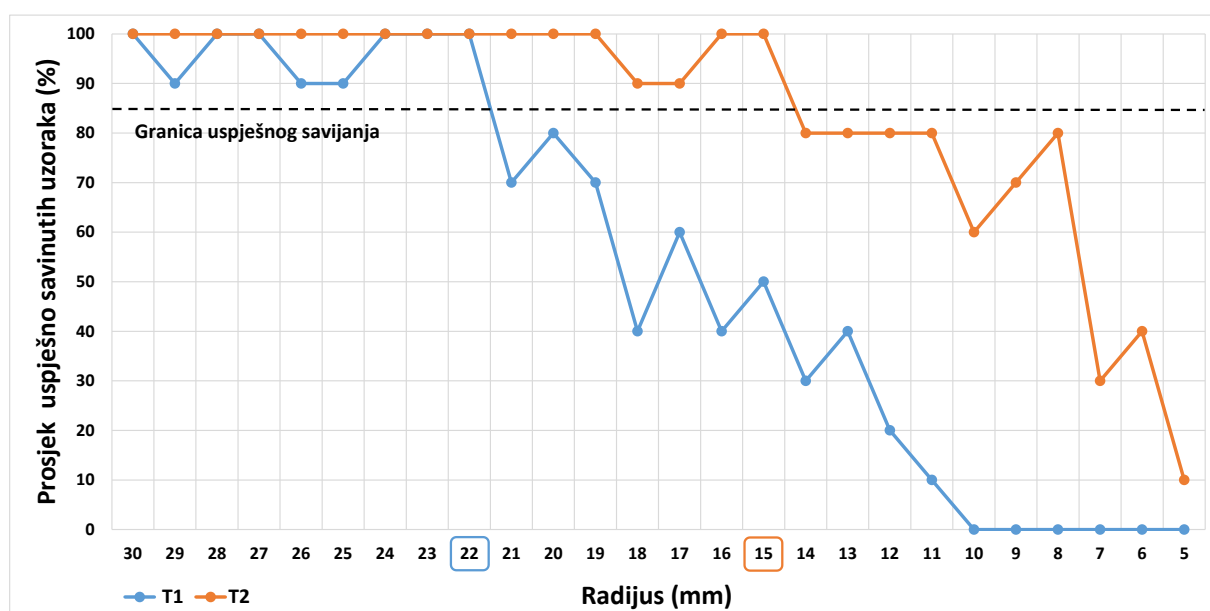
**Slika 51:** Testiranje 8, uzorci: 1 mm, radijalna tekstura, pareni

Na slikama 44 do 51 prikazani su rezultati svih 8 testiranja, tj. prosjeci 10 uzoraka testiranih za svaki radijus (oznake linija grafa skraćene su prema modelu Testiranje 1 → T1, Testiranje 2 → T2 itd.). Nepareni uzorci prikazani su na grafovima s linijom plave boje, a pareni uzorci na grafovima s linijom narančaste boje.

## 4.2. Rasprava

Na grafovima usporedbe neparenih i parnih uzoraka prikazana je *Granica uspješnog savijanja*, tj. ako je pri testiranju došlo do više od 10 % negativno ocijenjenih uzoraka onda savijanje furnira tih karakteristika (stanje i tekstura) na tom radijusu nije preporučeno zbog prevelike mogućnosti pojave pukotina. Granica je postavljena između linija za 80 i 90 % kako bi se jasnije vidjela linija grafa, ali je ta granica na 90 %. Točka u kojoj se sijeku granica uspješnog savijanja i linija grafa označava minimalni radijus savijanja za furnir cerovine u uvjetima navedenim u tom testiranju, prvi veći radijus prije te točke zaokružen je na horizontalnoj osi bojom koja odgovara boji linije tog testiranja (npr. **Slika 52**, zaokruženi su radijusi 22 i 15 mm).

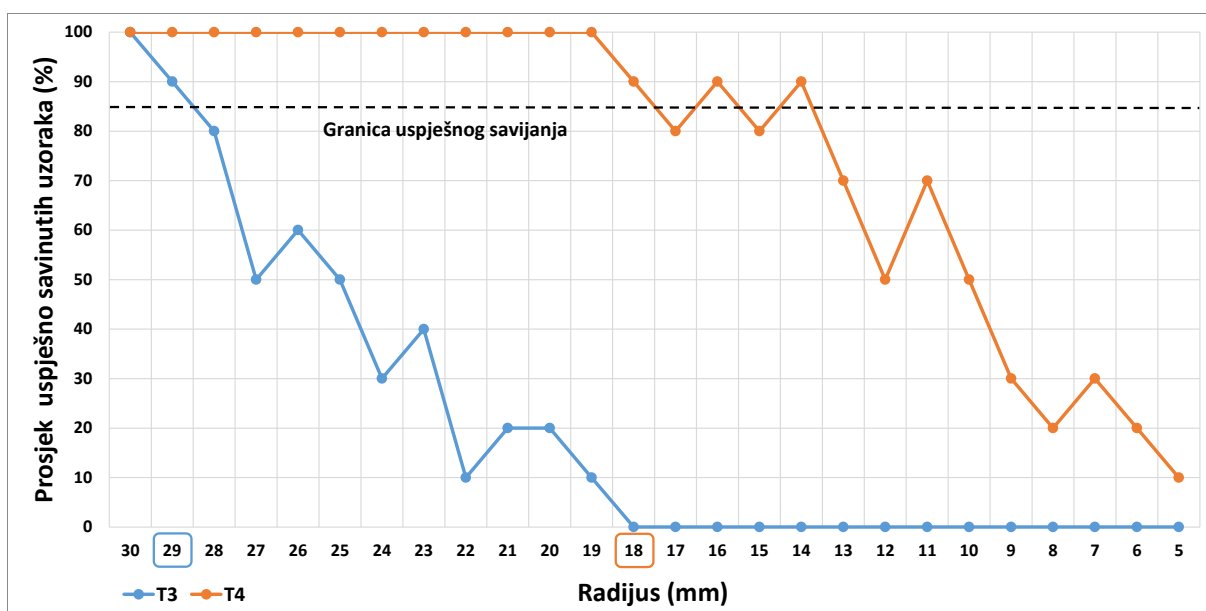
Kao dozvoljena greška uzeto je 10 % zbog pojave nasumičnih negativnih uzoraka testiranja pri većim radijusima, npr. kod radijusa 29, 26 i 25 mm (**Tablica 1**) gdje nakon toga u nekoliko manjih radijusa nema niti jednog negativnog testiranja. Do greške je došlo zbog lošeg uzorka koji bi i u proizvodnji bio odbačen.



**Slika 52:** Graf usporedbe testiranja T1 (nepareni) i T2 (pareni), uzorci: 0,6 mm, tangenta tekstura

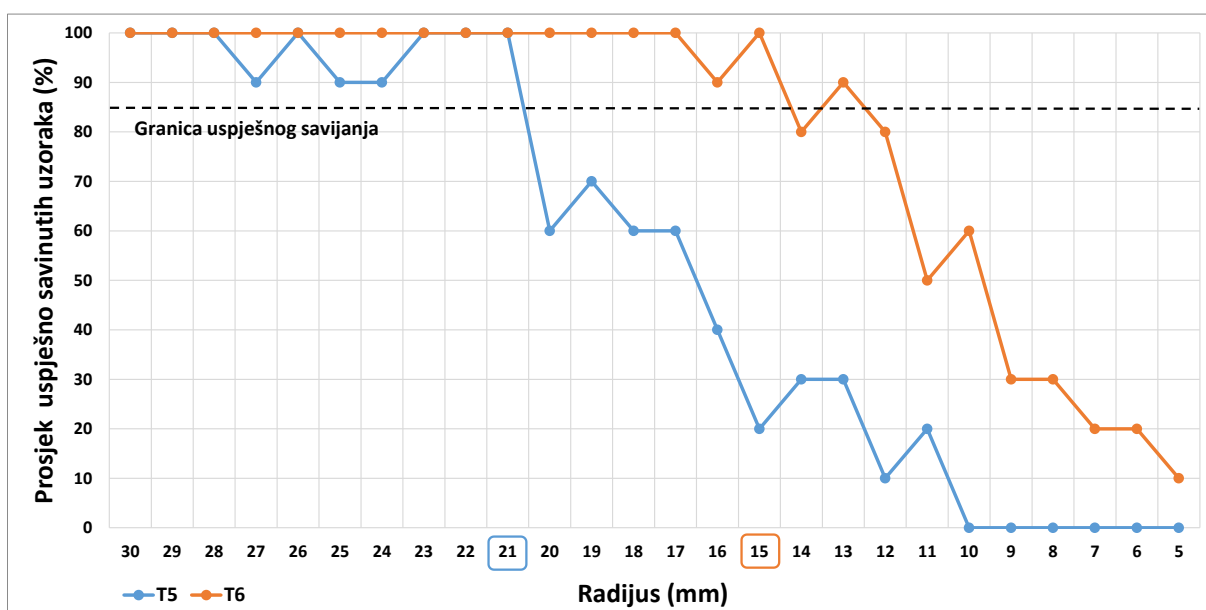
Graf (**Slika 52**) prikazuje usporedbu testiranja uzoraka debljine 0,6 mm, tangentne teksture. Kod testiranja 1 (T1) minimalni radijus savijanja iznosi 22 mm. Nakon parenja (T2) minimalni radijus iznosi 15 mm. To je poboljšanje od 28 % ili 7 mm (izračunato na rasponu testiranja od 5 do 30 mm).

#### 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA S RASPRAVOM



**Slika 53:** Graf usporedbe testiranja T3 (nepareni) i T4 (pareni), uzorci: 1 mm, tangenta tekstura

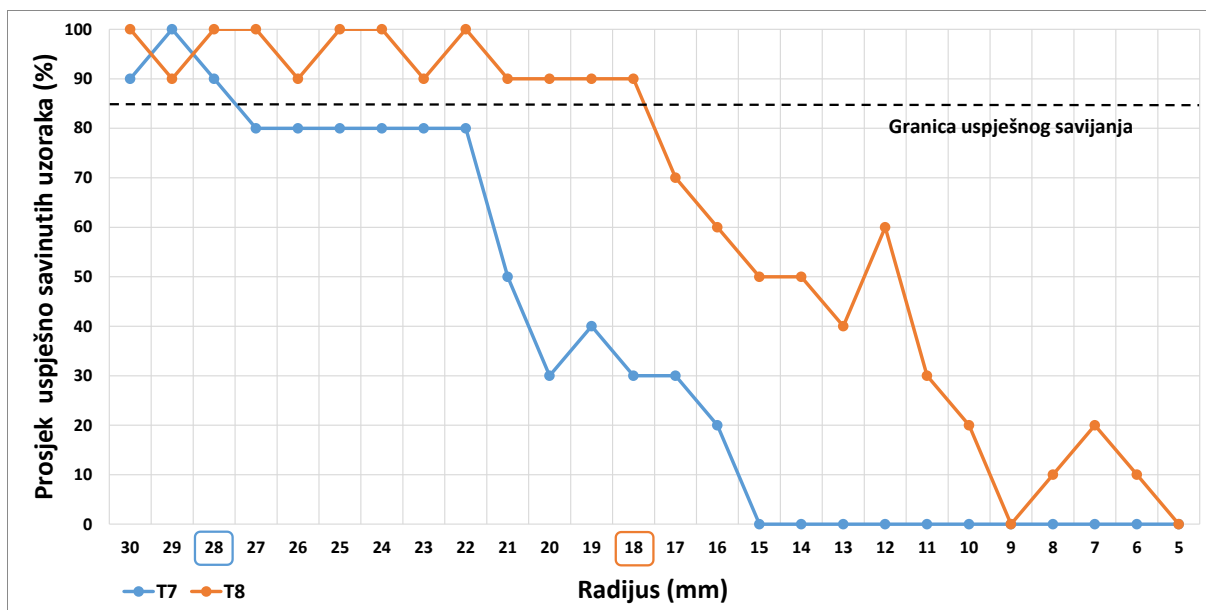
Graf (**Slika 53**) prikazuje usporedbu testiranja uzoraka debljine 1 mm, tangentne teksture. Kod T3 minimalni radijus savijanja iznosi 29 mm, uspješno su savinuti uzorci kod samo 2 radijusa. Nakon parenja (T4) minimalni radijus iznosi 18 mm, prvi pad ispod 90 % uzet je kao neuspješno savijanje. To je poboljšanje od čak 52 % ili 11 mm u odnosu na neparene uzorke.



**Slika 54:** Graf usporedbe testiranja T5 (nepareni) i T6 (pareni), uzorci: 0,6 mm, radijalna tekstura

Graf (**Slika 54**) prikazuje usporedbu testiranja uzoraka debljine 0,6 mm, radijalne teksture. Kod T5 minimalni radijus savijanja iznosi 21 mm. Nakon parenja (T6) minimalni radijus iznosi 15 mm što je poboljšanje od 24 % ili 6 mm.

#### 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA S RASPRAVOM



**Slika 55:** Graf usporedbe testiranja T7 (nepareni) i T8 (pareni), uzorci: 1 mm, radijalna tekstura

Graf (**Slika 55**) prikazuje usporedbu testiranja uzoraka debljine 1 mm, radijalne teksture. Kod T7 minimalni radijus savijanja iznosi 28 mm. Nakon parenja (T8) minimalni radijus iznosi 18 mm što je poboljšanje od 40 % ili 10 mm.

Testiranje je provedeno ručno, to znači da do ljudske greške može uvijek doći i to bi se trebalo uzeti u obzir pri interpretaciji dobivenih rezultata.

Prema dobivenim rezultatima prosječno poboljšanje minimalnog radijusa savijanja furnira cerovina iznosi 36 %. Kod furnira debljine 0,6 mm prosječno poboljšanje iznosi 26 %, a kod furnira debljina 1 mm poboljšanje iznosi čak 46 %.

Zbog razlike u debljini uzoraka nije moguće usporediti sve uzorke radijalne ili tangentne teksture. Također nema smisla uspoređivati sve uzorke debljine 0,6 mm s uzorcima 1 mm jer su različite teksture, iako prema podacima ovog istraživanja na razliku u minimalnom radijusu savijanja veći utjecaj ima debljina furnira nego tekstura drva.



### 5. ZAKLJUČAK

1. Rezultati ovog istraživanja pokazuju da se navedenom metodom testiranja može zapaziti poboljšanje u minimalnom radijusu savijanja furnira cerovine procesom parenja. Parenjem furnira debljina 0,6 i 1 mm može se smanjiti minimalni radijus savijanja radijalne i tangentne teksture za 24 % do 52 %. Kako bi se preciznije odredilo poboljšanje savijanja uslijed parenja potrebno je detaljnije istražiti ovu metodu na većem broju uzoraka te na ciljanim radijusima savijanja.
2. Metoda je razvijena na temelju nekoliko bibliografskih izvora i prema dostupnim materijalima pa je potrebno daljnjim istraživanjem dodatno razraditi i unaprijediti ovu metodu, a najbitniji dio je provedba testiranja uzoraka.
3. Kotao za parenje pogodan je za laboratorijska istraživanja jer je prijenosan, manjih dimenzija, moguće je povećanje tlaka pare tijekom postupka parenja zbog čega se skraćuje vrijeme parenja. Ako je kotao dobro izveden također su smanjeni toplinski gubitci, troškovi održavanja i može se postići dobra kvaliteta parene građe.
4. Hrast cer još uvijek ostaje zanemarena vrsta drva za tehničku upotrebu. Uslijed svih događanja u svijetu, ponajprije klimatskih promjena, koja dovode do manjka prirodnih resursa (poput drva) potrebno je posebnu pozornost obratiti takvim vrstama koje bi jednog dana mogle zamijeniti naše glavne vrste drva bez obzira na to što zahtijevaju dodatne vrste obrada (npr. hidrotermička) u procesu prerade.

## LITERATURA

1. Angst, V.; Arne Malo, K., 2012: Effect of self-tapping screws on moisture induced stresses in glulam. *Engineering Structures*, 45: 299-306. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.06.048>.
2. Bolf (ur.), N., 2020: Mjerna i regulacijska tehnika, *Kemija u industriji*, 69 7(8): 451-454.
3. Chanda, A., Bhattacharyya, D., 2018: Formability of wood veneers: a parametric approach for understanding some manufacturing issues. *Holzforschung*, vol. 72(10): str. 881-887. <https://doi.org/10.1515/hf-2017-0186>
4. Ferrari, S., Allegretti, O., Cuccui, I., Moretti, N., Marra, M., Todaro, L., 2013: A Revaluation of Turkey Oak Wood (*Quercus cerris* L.) Through Combined Steaming and Thermo-vacuum Treatments. *BioResources*, 8(4). <https://doi.org/10.15376/biores.8.4.5051-5066>.
5. Giordano, G., 1981: *Tecnologia del legno*. 1. izdanje. Torino, UTET, str. 1256.
6. Mešić, N., 1998: *Furniri, furnirske i stolarske ploče*. Grafika Šaran. Zagreb, str. 7
7. Pervan, S., 2009: *Tehnologija obrade drva vodenom parom*. 1. izdanje. Zagreb, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
8. Pervan, S., Klarić, M., Slivar, M., 2013: Normirane metode određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u drvu u Republici Hrvatskoj. *Drvna Industrija*, 64(2): 149–157. <https://doi.org/10.5552/drind.2013.1217>.
9. Todaro, L., Zanuttini, R., Scopa, A., Moretti, N., 2011: Influence of combined hydro-thermal treatments on selected properties of Turkey oak (*Quercus cerris* L.) wood. *Wood Science and Technology*, 46(1-3): 563–578. <https://doi.org/10.1007/s00226-011-0430-2>.
10. Todaro, L., 2012: Effect of steaming treatment on resistance to footprints in Turkey oak wood for flooring. *Eur. J. Wood Wood Prod*, 70(1-3): 209-214. <https://doi.org/10.1007/s00107-011-0542-2>.
11. Zerbst, D., Affronti, E., Gereke, T., Buchelt, B., Clauß, S., Merklein, M., Cherif, C., 2020: Experimental analysis of the forming behavior of ash wood veneer with nonwoven backings. *Eur. J. Wood Wood Prod*. 78: 321–331. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01494-0>.

12. \*\*\* HRN EN 13183-1:2008 Moisture content of a piece of sawn timber – Part 1: Determination by oven dry method
13. \*\*\* <https://www.indiamart.com/proddetail/wood-veneer-11458143430.html>  
(pristupljeno 06.09.2022.)
14. \*\*\* <https://senstech.cn/cylinder-probe-rtd-sensor/> (pristupljeno 06.09.2022.)