

Sušenje lamela izrađenih od abonosa i recentnog hrasta

Crnojević, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:631030>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-19**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK
DIPLOMSKI STUDIJ
DRVNOTEHNOLOŠKI PROCESI

MARKO CRNOJEVIĆ

SUŠENJE LAMELA IZRAĐENIH OD ABONOSA I
RECENTNOG HRASTA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK

SUŠENJE LAMELA IZRAĐENIH OD ABONOSA I
RECENTNOG HRASTA

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Drvnotehnološki procesi

Predmet: Hidrotermička obrada drva

Ispitno povjerenstvo: 1. (mentor) doc. dr. sc. Miljenko Klarić
2. (član) prof. dr. sc. Stjepan Pervan
3. (član) doc. dr. sc. Nikola Španić

Student: Marko Crnojević

JMBAG: 0068226245

Datum odobrenja teme: 4.5.2021.

Datum predaje rada: 14.10.2021.

Datum obrane rada: 15.10.2021.

Zagreb, listopad, 2021.

Temeljna dokumentacijska kartica

Naslov:	Sušenje lamela izrađenih od abonosa i recentnog hrasta
Autor:	Marko Crnojević
Adresa autora:	Vinogradska ulica 12, Novska
Mjesto izrade:	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave:	Diplomski rad
Mentor:	doc. dr. sc. Miljenko Klarić
Izradu rada pomogao:	/
Godina objave:	2021.
Opseg:	I-VIII + 37 stranica, 41 slika, 6 navoda literature
Ključne riječi:	Abonos, hrast lužnjak, vakuumsko sušenje, klasično komorno sušenje
Sažetak:	<p>Svrha je sušenja da transformira prirodno sirovo drvo, s njegovim širokim spektrom različitih kemijskih i strukturnih osobina i obilježja, u kvalitetan i obradiv materijal. Za potrebe ovog istraživanja odabrane su dvije sirovine, drvo recentnog hrasta lužnjaka (<i>Quercus robur</i> L.) i drvo abonosa, koje su na početku svog životnog vijeka jako slične, no utjecajem prirode dobivamo dva materijala različitih svojstava. Ovim istraživanjem želi se istražiti utjecaj vakuum-press sušenja u području iznad točke zasićenosti vlakanaca na sadržaj vode i boju drva abonosa i drva recentnog hrasta lužnjaka (<i>Quercus robur</i> L.), a s ciljem dobivanja što kvalitetnijeg i vrjednijeg osušenog drva.</p>

Basic Documentation Card

Title:	Drying Lamellae Made From Abonos and Recent Oak
Author:	Marko Crnojević
Address of Author:	Vinogradska ulica 12, Novska
Thesis Performed at:	Faculty of Forestry and Wood Technology, University of Zagreb
Publication Type:	Master's thesis
Supervisor:	Assistant professor Miljenko Klarić, PhD
Preparation Assistant:	/
Publication year:	2021
Volume:	I-VIII + 37 pages, 41 pictures and 6 references
Key words:	Bog-wood, oak wood, vacuum drying of wood, conventional drying of wood
Abstract:	<p>The purpose of drying is to transform natural raw wood, with its wide range of different chemical and structural properties and characteristics, into a quality and workable material. For the purposes of this research, two raw materials were selected, recent pedunculated oak (<i>Quercus robur</i> L.) wood and bog-wood, which are very similar at the beginning of their life, but by the influence of nature we get two materials with different properties. This research aims to investigate the impact of vacuum-press drying in the area above the fibre saturation point on the water content and colour of bog-wood and wood of recent pedunculate oak (<i>Quercus robur</i> L.), with the aim of obtaining the highest quality and most valuable dried wood.</p>

	IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI	OB FŠDT 05 07
		Revizija: 2
		Datum: 2.2.2021.

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

Zagreb, 16. listopada 2021.

vlastoručni potpis

Marko Crnojević

Sadržaj

Temeljna dokumentacijska kartica	I
Basic Documentation Card	II
IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI	III
Sadržaj	IV
Popis slika	VI
Predgovor	VIII
1 Uvod	1
1.1 Sušenje	1
1.2 Abonos	1
1.3 Hrast lužnjak	2
2 Cilj istraživanja	4
3 Materijali i metode	5
3.1 Sirovina	5
3.2 Piljenje lamela	8
3.3 Sušenje lamela	12
3.4 Mjerenje sadržaja vode (gravimetrija)	17
3.5 Mjerenje boje	18
3.6 Određivanje topljivosti u toploj i hladnoj vodi	20
4 Rezultati i diskusija	25
4.1 Brzina sušenja drva u vakuum-press sušionici	25
4.2 Sadržaj vode uzoraka abonosa po dužini prije početka sušenja (gravimetrija)	26
4.3 Sadržaj vode drva abonosa i recentnog hrasta nakon sušenja u vakuum- press sušionici	27
4.4 Promjene boje na uzorcima abonosa i recentnog hrasta nakon sušenja u vakuumskoj sušionici	29

4.5	Promjene boje na uzorcima abonosa nakon sušenja u vakuumskoj i klasičnoj komornoj sušionici	31
4.6	Topivost u toploj i hladnoj vodi.....	32
4.7	Greške sušenja	32
5	Zaključak.....	35
	Literatura.....	37

Popis slika

Slika 1. Podizanje trupaca na površinu vode zračnim balonom

Slika 2. Odvoženje trupca do mjesta izvlačenja iz vode

Slika 3. Trupac Abonosa

Slika 4. Recentni hrast, trupci

Slika 5. Raspiljivanje trupca abonosa na tračnoj pili trupčari

Slika 6. Obrada piljenica abonosa na višelisnoj kružnoj pili

Slika 7. Obrada piljenica abonosa na horizontalnoj pili za rezanje tankog furnira

Slika 8. Obrada piljenica abonosa na fleksibilnoj tračnoj pili za tanko rezanje

Slika 9. Obrada piljenica recentnog hrasta na višelisnoj kružnoj pili

Slika 10. Obrada piljenica recentnog hrasta na optimizoru

Slika 11. Obrada piljenica recentnog hrasta na fleksibilnoj tračnoj pili za tanko rezanje

Slika 12. Pila s obostranim nazubljenjem

Slika 13. Vakuumska sušionica

Slika 14. Vakuumska dizalica

Slika 15. Prikaz sučelja za upravljanje vakuum-press sušionice

Slika 16. Naizmjenično složeni buntovi lamela

Slika 17. Shema slaganja lamela na grijaću ploču u vakuum-press sušionici

Slika 18. Sonde za kontrolu sadržaja vode tijekom sušenja

Slika 19. Uzorci recentnog hrasta u sušioniku

Slika 20. Uzorci abonosa u sušioniku

*Slika 19. CIE L*a*b sustav*

Slika 22. Mjerenje boje spektrofotometrom

Slika 203. Analitička vaga

Slika 21. Uzorci drvnog iverja abonosa u sušioniku

Slika 25. Uzorci abonosa u laboratorijskoj vodenoj kupelji

Slika 26. Vakuum filtracija uzoraka abonosa

Slika 27. Ekstrahirani uzorci abonosa u sušioniku

Slika 28. Ekstrakcija na elektromagnetskoj miješalici

Slika 29. Promjena sadržaja vode recentnog hrasta prilikom sušenja po danima

Slika 30. Početni sadržaj vode drva abonosa (blistača i bočnica), po dužini

Slika 31. Dužinski gradijent sadržaja vode drva recentnog hrasta nakon sušenja

Slika 32. Dužinski gradijent sadržaja vode drva abonosa nakon sušenja

Slika 33. Usporedni prikaz komponenti boje abonosa prije i poslije vakuum-press sušenja

Slika 34. Usporedni prikaz komponenti boje recentnog hrasta prije i poslije vakuum-press sušenja

Slika 35. Usporedni prikaz razlika komponenti boje abonosa i recentnog hrasta prije i poslije vakuum-press sušenja

Slika 36. Usporedni prikaz razlika komponenti boje abonosa nakon vakuum-press i klasičnog sušenja

Slika 37. Topljivost abonosa u toploj i hladnoj vodi

Slika 38. Čeone pukotine na uzorcima abonosa i gljive

Slika 39. Plijesan na uzorcima abonosa

Slika 40. Izvitopereni uzorak abonosa

Slika 41. Čeona pukotina na uzorku recentnog hrasta

Predgovor

Zahvaljujem se svome mentoru, doc. dr. sc. Miljenku Klariću, koji mi je predložio ovu temu te omogućio realizaciju diplomskog rada. Posebno mu zahvaljujem na utrošenom vremenu, angažiranosti u izradi uzoraka i ispitivanju istih.

Također, zahvaljujem se i asistentima koji su mi pomogli u izradi ovog diplomskog rada.

Veliko hvala gospodinu Darku Franjiću na ustupljenoj sirovini te tvrtkama Ante Mijić – Quercus d.o.o., koja je ustupila svoje strojeve za izradu i sušenje uzoraka i Spin Valis d.d., koja je omogućila pristup i korištenje vakuum-press sušionica.

Najveće hvala mojoj obitelji, roditeljima i bratu, što su bili uz mene, poticali me u mom radu te vjerovali u mene i moj uspjeh, a posebno hvala mojoj djevojci Jeleni na potpori i razumijevanju kako tijekom studiranja, tako i u periodu izrade diplomskog rada.

1 Uvod

1.1 Sušenje

Drvo je materijal koji se prilagođava uvjetima okoline u kojoj se nalazi, što znači da se s promjenom klimatskih uvjeta također mijenja i sadržaj vode u drvu, odnosno on raste ili pada. U prirodi drvo sadrži veliku količinu vode, a s početkom prerade drva ta voda predstavlja sve veći problem. Drvna sirovina prolazi kroz brojne faze obrade da bismo dobili finalan proizvod čiji sadržaj vode mora odgovarati uvjetima u kojima se proizvod koristi. Iz tog razloga, jedna od najvažnijih faza obrade je sušenje drva. Sušenjem se prirodno sirovo drvo, s njegovim širokim spektrom različitih kemijskih i strukturnih obilježja, transformira u kvalitetan i obradiv materijal, odnosno sušenje drva predstavlja postupak odstranjivanja najčešće jednog dijela ili sve vode iz drva na način da mu se ne umanjuje kvaliteta. Iako postoji mogućnost prirodnog sušenja drva, zbog sve veće potrebe za drvnom sirovinom i sve većim vremenskim ograničenjima, sušenje drva najčešće se provodi u sušionicama u kojima je vremenski period sušenja znatno kraći. U drvnoindustrijskim poduzećima drvo se u većini slučajeva suši u klasičnim komornim sušionicama u kojima se okolina u kojoj se suši sastoji od mješavine zraka i vodene pare, a sušenje se odvija na temperaturi manjoj od 100 °C. U posljednje vrijeme počinje se značajnije primjenjivati metoda vakuumske sušenja drva. Dvije glavne prednosti vakuumske sušenja u odnosu na sušenje pod normalnim tlakom, jesu sušenje na niskim, blažim temperaturama te velika brzina sušenja, što zajedno rezultira blagim, a istovremeno vrlo brzim sušenjem. Također, budući da drvo nije potrebno zagrijavati na vrlo visoke temperature, dolazi do uštede energije. S druge strane, vakuumsko sušenje ima i poneku manu, od kojih se osobito ističe mali kapacitet sušionice. Isto tako, klasična komorna sušionica lako se puni viličarom, dok je punjenje vakuumske sušionice moguće samo uz pomoć valjčanih transportera ili kolica na tračnicama. U tehnologiji vakuumske sušenja postoji nekoliko načina zagrijavanja drva, a to su: zagrijavanje tekućim grijaćim medijem, zagrijavanje cirkulacijom zagrijanog zraka, zagrijavanje zračenjem te zagrijavanje grijaćim pločama, a koje smo koristili za potrebe ovog ispitivanja.

1.2 Abonos

Modifikacija drva predstavlja metodu kojom se, manje ili više, ciljano mijenjaju prirodna svojstva drva. Osnovna podjela modifikacije drva je na prirodnu i na umjetnu modifikaciju. Prirodna modifikacija predstavlja promjene u kemijskoj strukturi drva koje su

nastale prirodnim putem, odnosno pod utjecajem vanjskih prirodnih čimbenika, a uključuje procese petrifikacije i karbonizacije. Petrifikacija ili okamenjivanje proces je koji se samostalno odvija u prirodi, a kojim nastaje okamenjeno drvo. Poput petrifikacije, i karbonizacija se samostalno odvija u prirodi, ali kao rezultat tog procesa nastaje abonos. Zbog stalne promjene toka rijeke često krivudaju dolinama, a vodena struja vrši erozivno djelovanje na zemljište uz korito rijeke. Uslijed tog erozivnog djelovanja voda često potkopava obalu nad kojom raste drveće te ono pada u vodu i svojim granama i korijenom zapinje za dno rijeke, a zatim ga prekriva mulj, pijesak i šljunak. Od tada drvo više nije u doticaju sa zrakom i započinje dugi proces humifikacije kojim se stvara abonos. Abonos je drvo, najčešće hrasta lužnjaka, koje je nekoliko tisuća godina „sazrijevalo“ u mulju rijeka, bez prisustva zraka, mijenjajući svoja svojstva. Najuočljivija promjena do koje dolazi je promjena boje drva od svijetle do bakrenosmeđe i crne, a koja nastaje kao posljedica međusobne reakcije tanina u drvu i iona željeza u vodi. Abonos se nalazi pod utjecajem tekuće vode koja osigurava nepovoljne uvjete za razvoj mikroorganizama i gljiva koji vrše destrukciju drva, a taloženje minerala iz tekuće vode osigurava konzervaciju i trajnost elemenata građe drva (Sinković i drugi, 2009). Uz promjenu boje, drvu se pod utjecajem vode mijenja i kemijski sastav te fizikalna i mehanička svojstva. Jedna od važnijih promjena do koje dolazi u kemijskom sastavu drva je znatno povećanje udjela ekstraktivnih tvari i pepela, dok se od fizikalnih svojstava najviše ističu dvostruko veća utezanja nego što je to slučaj kod recentnog hrasta (Sinković i drugi, 2009). Također, gustoća abonosa veća je od gustoće recentnog hrasta, a samim time veća je i tvrdoća abonosa. Rijetka su nalazišta takvoga drva, a u svijetu se može pronaći u rijekama Engleske, Irske, Rusije, Ukrajine, Bosne i Hercegovine te Republike Hrvatske. Upravo se slavonski hrast lužnjak, nakon tisuća godina odležanih na dnu rijeke Save, pretvara u jedan od najkvalitetnijih abonosa. Najčešće ga možemo pronaći u rijeci Savi, između Županje u Republici Hrvatskoj i Orašja u Bosni i Hercegovini. Svakako se ističe i nalazište abonosa u rijeci Krapini.

1.3 Hrast lužnjak

Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) je listopadna vrsta koja raste na dubokim, glinastim ili pjeskovitim, plodnim, pretežno vlažnim tlima s visokom razinom podzemne vode. U Hrvatskoj jedna desetina šuma otpada na hrast lužnjak koji je naša najvrjednija vrsta drva, rasprostranjena diljem zemlje, a osobito u istočnom dijelu, na području Slavonije. Drvo hrasta lužnjaka iz tog područja je tvrdo, čvrsto i trajno pa je svjetski poznato kao „slavonska

hrastovina" koja je izuzetno cijenjena zbog svojih mehaničkih i estetskih svojstava. Takvo drvo je pogodno za izradu parketa, namještaja, željezničkih pragova, brodova te mostova. Hrastovina se lako obrađuje, ali teško i sporo suši te sklona je skorjelosti.

2 Cilj istraživanja

Budući da je već spomenuta kvaliteta i vrijednost abonosa, u interesu je postići što veće iskorištenje takve sirovine. Najčešće se abonos koristi za unutrašnje uređenje, izradu skupocjenog namještaja, izradu dijelova glazbala i za rezbarske radove te je takvo drvo vrlo traženo i cijenjeno, posebno kad se upotrebljava kao furnir. Budući da je prirodno sušenje drva izrazito dug proces, dok je umjetno sušenje abonosa tehnički vrlo zahtjevno, a osobito kada se radi o masivnom drvu, cilj je ovog istraživanja proučiti postupak umjetnog sušenja lamela od abonosa u vakuumskoj sušionici. Za istraživanje je odabrano vakuumsko sušenje upravo iz razloga osjetljivosti abonosa prilikom sušenja te se u vakuumskim sušionicama provodi blaži režim sušenja koji u pravilu uzrokuje manje grešaka u drvu. Cilj istraživanja je i paralelna provedba sušenja recentnog hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L) u vakuumskoj sušionici, kako bi ga se usporedilo s abonosom. Također, nema značajnijih znanstvenih istraživanja i iskustvenih znanja iz prakse vezano za sušenje hrasta lužnjaka u vakuumskim sušionicama, stoga smo pristupili sušenju hrasta lužnjaka u vakuum-press sušionici. Prvenstveno je praćeno sušenje od potpuno sirovog stanja do točke zasićenosti vlakanaca, pri čemu se je pažnja posvetila utvrđivanju promjene boje, sadržaja vode i pojavi grešaka sušenja.

3 Materijali i metode

3.1 Sirovina

Kao što je već spomenuto, abonos je drvo koje nalazimo u koritima rijeka, što od samog početka otežava postupak dobave trupaca. Takvo drvo najčešće se pronalazi prilikom zemljanih radova, podvodnih radova, iskapanja šljunka, isušivanja močvara i sličnih aktivnosti, a nakon pronalaska važnu ulogu ima ronilac koji mora točno označiti mjesto pronađenog trupca predviđenog za vađenje. Ronioci koji obavljaju taj posao moraju biti specijalno obučeni za rad u mutnim vodama, a sam postupak vađenja trupca iz vode vrlo je zahtjevan te se obavlja uz pomoć zračnog balona. Nakon označavanja mjesta na kojem će se vršiti vađenje, ronilac pričvršćuje balone za trupac te ih puni zrakom, što omogućava podizanje trupaca na površinu vode.



Slika 1. Podizanje trupaca na površinu vode zračnim balonom



Slika 2. Odvoženje trupca do mjesta izvlačenja iz vode

Sljedeći korak nakon podizanja trupaca na površinu vode je njihovo odvoženje do mjesta izvlačenja na obalu. Na tom mjestu trupac u vodi čeka izvlačenje koje se obavlja uz pomoć dizalice. Od trenutka izvlačenja trupca iz vode posebnu pažnju treba posvetiti njegovoj zaštiti. Prvi korak je zaštićivanje čela trupca zaštitnim premazom kako drvo naglim sušenjem na zraku ne bi popucalo. Isušivanje trupca također se sprječava posebnim postupkom zamotavanja u plastičnu foliju. Tako zaštićeni trupci dovoze se na stovarište pilane u kojoj će se vršiti njihova daljnja prerada koju je bitno započeti što brže nakon dopremanja trupaca.



Slika 3. Trupac Abonosa

Osim abonosa, u ovom istraživanju korišteno je i drvo recentnog slavonskog hrasta (*Quercus robur* L.), koji je iznimno vrijedna i cijenjena domaća vrsta drva. Drvo hrasta je srednje teško, tvrdo, čvrsto i elastično te se lako obrađuje i velike je trajnosti. Bjeljika hrasta je žućkastobijela i uska, dok je srž žućkastosmeđa, što predstavlja veliku razliku u odnosu na tamnu boju abonosa.



Slika 4. Recentni hrast, trupci

3.2 Piljenje lamela

Proces izrade uzoraka abonosa započinje raspiljivanjem trupca na tračnoj pili trupčari čime se dobivaju piljenice debljine 10 cm. Piljenice su zatim okrajčene.



Slika 5. Raspiljivanje trupca abonosa na tračnoj pili trupčari

Piljenice se zatim prikraćuju na duljinu od jednog metra, nakon čega se obrađuju na višelisnoj kružnoj pili talijanskog proizvođača C.M.L. Engineering, modela SCA 320 RI 350, čime se dobivaju gređice dimenzija poprečnog presjeka 130×100 mm i 230×100 mm, teksture blistače i bočnice.



Slika 6. Obrada piljenica abonosa na višelisnoj kružnoj pili

Nakon dobivanja gredica u zadanim dimenzijama, obrada se nastavlja na horizontalnoj pili za rezanje tankog furnira slovenskog proizvođača Wravor, model 1050. Tim postupkom dobivamo piljeni furnir u dvije različite debljine, a to su 6,7 mm i 10 mm.



Slika 7. Obrada piljenica abonosa na horizontalnoj pili za rezanje tankog furnira

Nakon raspiljivanja na horizontalnoj pili za rezanje tankog furnira, osim piljenog furnira dobivamo i dasku ostatka debljine 30 mm, a koju smo zatim raspilili na fleksibilnoj tračnoj pili za tanko rezanje austrijskog proizvođača Wintersteiger, modela DSB Singlehead 310 i također dobili piljeni furnir debljine 6,7 mm i 10 mm. Piljeni furnir se zatim slaže na paletu i tako složen pažljivo se omotava u plastičnu foliju.



Slika 8. Obrada piljenica abonosa na fleksibilnoj tračnoj pili za tanko rezanje

Proces izrade uzoraka recentnog hrasta započinje na isti način kao i proces izrade uzoraka abonosa, odnosno raspiljivanjem trupca na tračnoj pili trupčari, samo što u ovom slučaju dobivamo piljenice debljine 30 mm. Tehnološki proces izrade piljenog furnira nastavlja se okrajčivanjem piljenica na željenu širinu piljenog furnira na višelisnoj kružnoj pili talijanskog proizvođača C.M.L. Engineering, modela SCA 320 RI 350, koja ima mogućnost pomicanja jedne kružne pile, a to omogućava radniku prilagođavanje širine piljenja i iskorištavanje najvrjednijeg dijela piljenice. Na konstrukciju višelisne kružne pile ugrađen je za svaku pilu po jedan laser koji prikazuje liniju rezanja te olakšava radniku postavljanje piljenice najpovoljnije u odnosu na položaj eventualne greške i raspored pila.



Slika 9. Obrada piljenica recentnog hrasta na višelisnoj kružnoj pili

Obrada se nastavlja na optimizeru talijanskog proizvođača Omega, modela T.2020 NC CE, gdje se piljenice prikraćuju na željenu dužinu.



Slika 10. Obrada piljenica recentnog hrasta na optimizeru

Proces dobivanja piljenog furnira iz recentnog hrasta završava raspiljivanjem piljenica na fleksibilnoj tračnoj pili za tanko rezanje austrijskog proizvođača Wintersteiger, modela DSB Singlehead 310, čime dobivamo piljeni furnir u širinama od 130 i 230 mm i debljinama od 6,7 i 10 mm.



Slika 11. Obrada piljenica recentnog hrasta na fleksibilnoj tračnoj pili za tanko rezanje

U procesima izrade piljenog furnira možemo primijetiti razliku u načinu dobivanja piljenog furnira. Kod izrade uzoraka piljenog furnira iz abonosa koristili smo horizontalnu pilu za rezanje tankog furnira slovenskog proizvođača Wravor, dok smo kod izrade uzoraka piljenog furnira iz recentnog hrasta koristili fleksibilnu tračnu pilu za tanko rezanje austrijskog proizvođača Wintersteiger. Razlog tome je što su uzorci abonosa mogu oštetiti fini list pile, za razliku od uzoraka recentnog hrasta te smo za njihovo raspiljivanje odlučili koristiti stroj puno čvršće konstrukcije, snažnijih motora te šire, a samim time i čvršće pile. Na oba stroja korištene su pile sa stelitiranim zubima, a razlika je u tome što na horizontalnoj pili za rezanje tankog furnira slovenskog proizvođača Wravor postoji obostrano nazubljenje, što nije slučaj kod fleksibilne tračne pile za tanko rezanje austrijskog proizvođača Wintersteiger kod koje je nazubljenje jednostrano. Iako smo uzorke raspiljivali na jačem i kvalitetnijem stroju, svedjedno je došlo do pojave problema u obliku izlijetanja uzorka sa stroja te njegovog udara u sustav za odsis drvnih čestica.



Slika 12. Pila s obostranim nazubljenjem

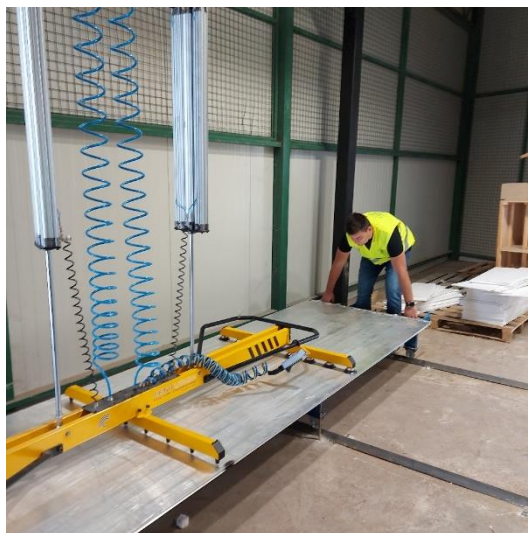
3.3 Sušenje lamela

Za potrebe ovog istraživanja sušenje je provedeno u sušionici slovenskog proizvođača Turbo energetika d.o.o., a radi se o vakuumskoj sušionici za sušenje drva modela VSOP-6 II. Promjer ove vakuumske sušionice iznosi 1,8 metara, dok je dužina 11,8 metara. Sušionica se pomoću dvojih kolica može napuniti dvama složajevima dimenzija 1,18 x 1,3 x 5,06 m.



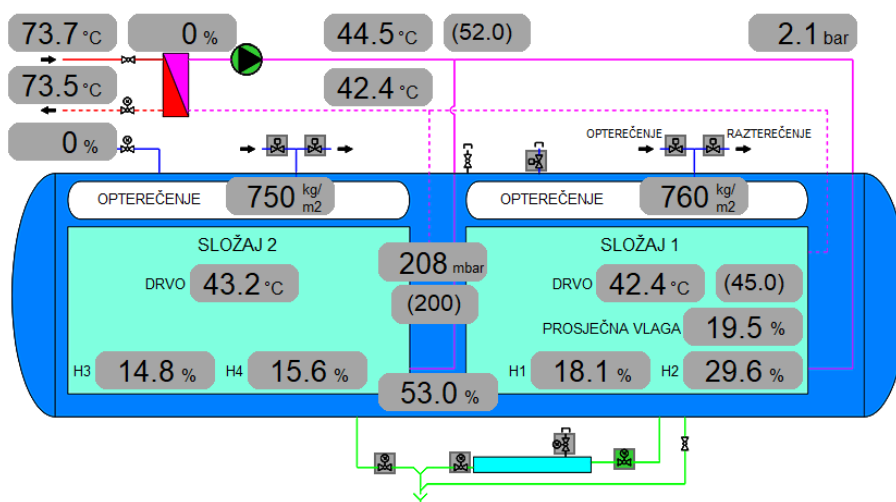
Slika 13. Vakuumska sušionica

Punjenje vakuumske sušionice obavlja se ručnim slaganjem uzoraka na transportno sredstvo u obliku kolica na tračnicama. Ispod i iznad svakog uzorka nalazi se grijaća ploča koja prenosi toplinu, a koja se zbog svoje težine na kolica stavlja uz pomoć vakuumske dizalice. Dimenzije aluminijskih grijaćih ploča su $506 \times 118 \times 1,5$ cm, a ukupno ih u ovoj sušionici ima 44 komada. Medij zagrijavanja je voda, dok snaga zagrijavanja iznosi 100 kW.



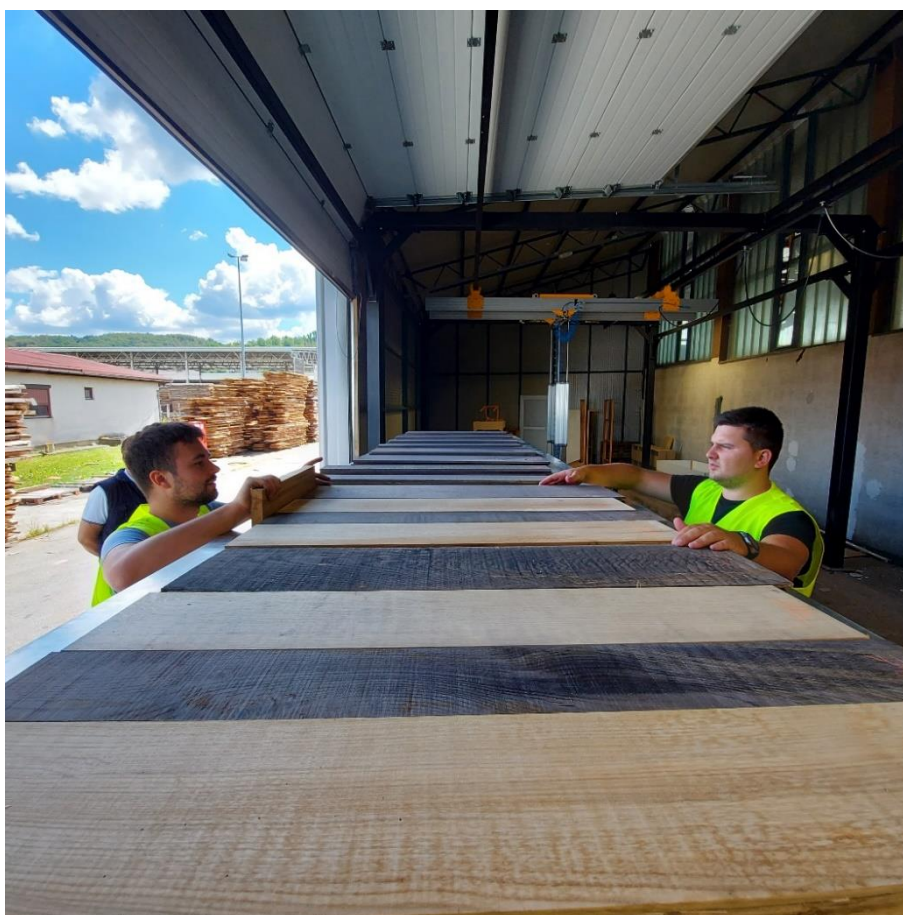
Slika 14. Vakuumska dizalica

U ovom istraživanju režim sušenja bio je podijeljen u 2 faze. Prva faza, faza zagrijavanja, trajala je 10 sati, a brzina zagrijavanja drva iznosila je $2^\circ\text{C}/\text{h}$, pri atmosferskom tlaku. U drugoj fazi, fazi sušenja, temperatura je iznosila 40°C , pri apsolutnom tlaku od 200 mbar. Također, koristila se funkcija programa prilikom koje se otpušta podtlak, odnosno povisuje se apsolutni tlak u trenutku kada započne zagrijavanje drva poradi pada temperature u njemu.



Slika 15. Prikaz sučelja za upravljanje vakuum-press sušionice

Sušionicu smo napunili s ukupno 80 uzoraka, od čega je 40 uzoraka bilo od abonosa, a 40 uzoraka od recentnog hrasta. Uzorci debljine 6,7 mm slagani su u buntove po 4 komada, dok su uzorci debljine 10 mm slagani u buntove po 3 komada. Buntovi su na grijaću ploču slagani naizmjenično, odnosno jedan bunt uzoraka od abonosa, a zatim jedan bunt uzoraka od recentnog hrasta i dalje tim redom. Prve 24 lamele bile su u teksturi blistače, sljedeće 24 lamele bile su u teksturi bočnice, slijedilo je 16 lamela u teksturi blistače i na kraju 16 lamela u teksturi bočnice.



Slika 16. Naizmjenično složeni buntovi lamela

80	4x Hrast Bočnica d=6,7 mm š=130 mm	80 79 78 77
76	4x Abonos Bočnica d=6,7 mm š=130 mm	76 75 74 73
72	4x Hrast Bočnica d=6,7 mm š=230 mm	72 71 70 69
68	4x Abonos Bočnica d=6,7 mm š=230 mm	68 67 66 65
64	4x Hrast Blistača d=6,7 mm š=130 mm	64 63 62 61
60	4x Abonos Blistača d=6,7 mm š=130 mm	60 59 58 57
56	4x Hrast Blistača d=6,7 mm š=230 mm	56 55 54 53
52	4x Abonos Blistača d=6,7 mm š=230 mm	52 51 50 49
48	3x Hrast Bočnica d=10 mm š=130 mm	48 47 46
45	3x Abonos Bočnica d=10 mm š=130 mm	45 44 43
42	3x Hrast Bočnica d=10 mm š=130 mm	42 41 40
39	3x Abonos Bočnica d=10 mm š=130 mm	39 38 37
36	3x Hrast Bočnica d=10 mm š=230 mm	36 35 34
33	3x Abonos Bočnica d=10 mm š=230 mm	33 32 31
30	3x Hrast Bočnica d=10 mm š=230 mm	30 29 28
27	3x Abonos Bočnica d=10 mm š=230 mm	27 26 25
24	3x Hrast Blistača d=10 mm š=130 mm	24 23 22
21	3x Abonos Blistača d=10 mm š=130 mm	21 20 19
18	3x Hrast Blistača d=10 mm š=130 mm	18 17 16
15	3x Abonos Blistača d=10 mm š=130 mm	15 14 13
12	3x Hrast Blistača d=10 mm š=230 mm	12 11 10
9	3x Abonos Blistača d=10 mm š=230 mm	9 8 7
6	3x Hrast Blistača d=10 mm š=230 mm	6 5 4
3	3x Abonos Blistača d=10 mm š=230 mm	3 2 1

Slika 17. Shema slaganja lamela na grijaću ploču u vakuum-press sušionici

Tijekom sušenja sadržaj vode u uzorcima lamela kontrolira se pomoću sonde unutar sušionice, odnosno elektrootpornom metodom. Elektrootporna metoda procjenjuje sadržaj vode u drvu preko električnog otpora koji drvo pruža, a prednosti ove metode su što je praktična, brza i jednostavna. Budući da su uzorci lamela relativno tanki, sonde smo postavili na hrastove elemente debljine 30 mm koji su se u isto vrijeme nalazili u sušionici, a bili su gotovo identičnog početnog sadržaja vode kao i lamele.



Slika 18. Sonde za kontrolu sadržaja vode tijekom sušenja

Osim sušenja u vakuumskoj sušionici, dio uzoraka osušen je u klasičnoj komornoj sušionici austrijskog proizvođača Mühlböck. Sušilo se 6 lamela abonosa i 6 lamela recentnog hrasta tijekom 5 dana na temperaturi od 28 °C do 45 °C. Sušenje se odvijalo u četiri faze, a to su: zagrijavanje sušionice, zagrijavanje lamela, sušenje lamela i kondicioniranje.

3.4 Mjerenje sadržaja vode (gravimetrija)

Mjerenje sadržaja vode na uzorcima abonosa u sirovom stanju te na uzorcima abonosa i recentnog hrasta nakon sušenja provedeno je gravimetrijskom metodom. Gravimetrijska metoda je postupak mjerenja količine odstranjene vode do 0 % konačnog sadržaja vode u drvu, odnosno do apsolutno suhog stanja. Količina odstranjene vode izražena je u postocima u odnosu na apsolutno suho drvo. Prednost ove referentne metode za određivanje sadržaja vode je što je najtočnija od normiranih metoda, no vremenski duže traje i kompleksnija je (Pervan, i dr. 2013). Također, za provedbu ove metode rukovatelj mora biti stručno osposobljen te zahtjeva ulaganje u opremu. Oprema koja je neizostavna pri provođenju ove metode je sušionik koji mora osiguravati slobodnu unutrašnju cirkulaciju zraka te održavati konstantnu temperaturu od 103 ± 2 °C i potrebna nam je vaga s točnošću od 0,01 do 0,1 g, ovisno o masi uzorka. Formula za izračun sadržaja vode u drvu po gravimetrijskoj metodi je:

$$u = \frac{m_s - m_0}{m_0} \times 100 [\%],$$

u kojoj u označava sadržaj vode u drvu u postocima, m_s je masa kontrolnog uzorka u sirovom stanju u gramima te je m_0 masa kontrolnog uzorka u apsolutno suhom stanju u gramima (Crnojević, 2018). Za potrebe ovog istraživanja sadržaj vode abonosa prije sušenja određen je gravimetrijskom metodom na 6 uzoraka od kojih su 3 uzorka u teksturi blistače, a 3 uzorka u teksturi bočnice. Svaki od uzoraka izrezan je na 10 dijelova kojima se zatim mjerio sadržaj vode. Sadržaj vode recentnog hrasta u sirovom stanju pokušalo se odrediti elektrootpornom metodom. Mjerenjem elektrootpornim vlagomjerom ne mogu se dobiti točni rezultati budući da je sadržaj vode iznosio više od 73 %, a vlagomjer ne može očitati te vrijednosti.



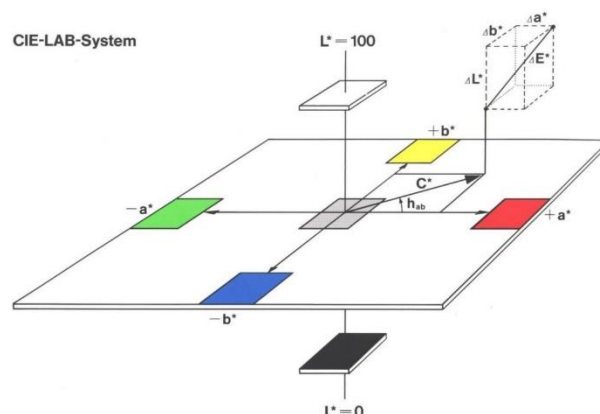
Slika 19. Uzorci recentnog hrasta u sušioniku



Slika 20. Uzorci abonosa u sušioniku

3.5 Mjerenje boje

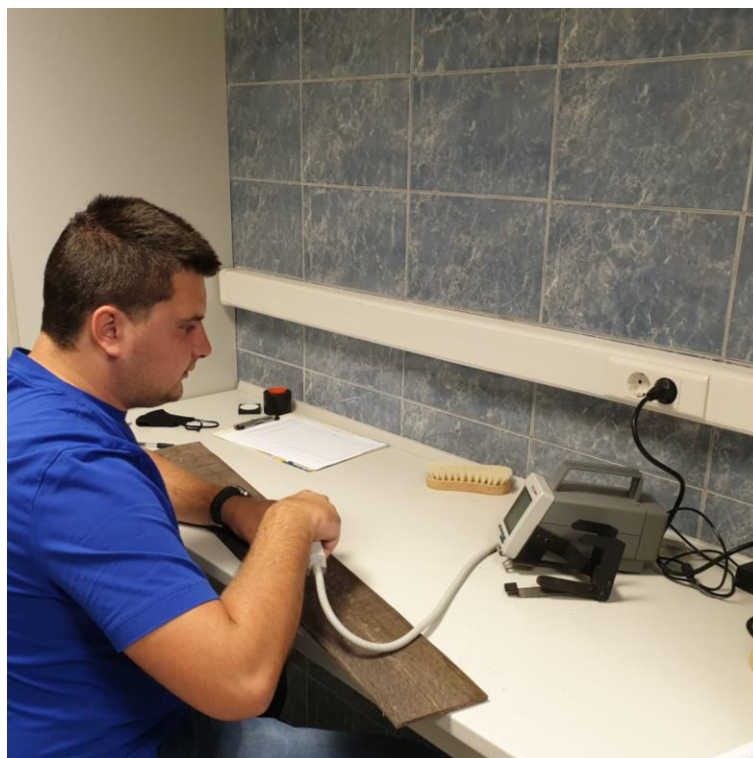
Boja nije fizička realnost, nego je psihički doživljaj izazvan fizičkim uzrokom. Tvar je obojena ako selektivno apsorbira vidljivi dio spektra određenih valnih duljina, točnije onih između 380 i 780 nm, a propušta ili reflektira elektromagnetsko zračenje ostalih valnih dužina u tom dijelu spektra. Kada to zračenje dođe u mrežnicu oka, ono izaziva osjet boje. Postoje tri osnovna fiziološka obilježja osjeta boje, a to su: ton, kromatičnost i svjetlina. Ton predstavlja svaku nijansu neke boje koja je određena kemijskim sastavom tvari, te se može definirati kao doživljaj promatrača uzrokovan svjetlom iz različitih dijelova spektra. Kromatičnost je pojam koji označava stupanj zasićenosti nekog tona, odnosno određuje koliko ima dominantnog tona u nekom obojenju te se na osnovi zasićenosti boje dijele na akromatske i kromatske boje. Svjetlina boje daje informaciju o tome transmitira li tijelo ili reflektira veću ili manju količinu svjetlosti. Međunarodna komisija za rasvjetu (Commission Internationale de l'Eclairage - CIE) je 1931. godine dala matematički sustav boja. No, taj sustav imao je nedostatak vizualne predodžbe boje koji je riješen novim CIE L*a*b sustavom koji je i danas u primjeni. Međunarodna komisija za rasvjetu preporuča 1976. godine CIE L*a*b sustav kao ujednačeni prostor boja koji daje upotrebljivu mjeru za numeričko određivanje razlika boja te je temeljen na objektivnom vrednovanju boja i najbliži je vizualnoj percepciji.



Slika 21. CIE $L^*a^*b^*$ sustav, izvor: Jirouš-Rajković, 2015.

Osi a^* i b^* čine ravninu obojenih tonova, a u ishodištu koordinatnog sustava nalaze se nekromatske boje. Os L^* koja je okomita na osi a^* i b^* predočuje svjetlinu te ima vrijednost nula za idealno crno, a 100 za idealno bijelo. Kut vektora h_{ab} (kut boje) definira ton boje u ravnini koju tvore osi a^* i b^* te vrijednost od 0° označava crveno, a 90° označava žuto. Duljina vektora h_{ab} označava se kao zasićenost C^* (Jirouš-Rajković, 2015). Za mjerenje boje najčešće se koriste instrumenti kolorimetar i spektrofotometar. Kolorimetar je uređaj koji mjeri tristimulusne vrijednosti boja (na način sličan ljudskom doživljaju boja), u pravilu podešenom prema krivulji standardnog promatrača. Standardni promatrač označava statistički podatak dobiven nizom mjerenja u kojima su sudjelovali ljudi ispravnog vida. Svjetlo reflektirano od objekta prolazi kroz crveni, zeleni i plavi stakleni filter i na taj način simulira funkcije standardnog promatrača za određeni izvor svjetlosti. Fotodetektor koji se nalazi iza svakog filtra mjeri količinu svjetlosti koja je prošla kroz određeni filter. Mjerenje boja kolorimetrom temelji se na uspoređivanju ispitivane boje s onom bojom koja je nastala u kolorimetru. Većina kolorimetara prikazuje vrijednosti u jednom od CIE prostora boja, a u ovom ispitivanju vrijednosti su prikazane pomoću CIE $L^*a^*b^*$ sustava. Jedna od najvažnijih prednosti kolorimetra je mogućnosti izračunavanja ΔE razlike boja, na temelju razlika u svjetlini, tonu i kromatičnosti. Nedostatak kolorimetra je ograničenost na standardnog promatrača i na samo jedan standardni izvor svjetla (D50 ili D65), pa ne mogu provjeriti poklapaju li se vizualno dva različita uzorka boja pod različitim izvorima svjetla. Spektrofotometar je uređaj koji mjeri promjene u refleksiji, transmisiji ili zračenju, u intervalima, duž valnih dužina vidljivog dijela spektra. Kao rezultat mjerenja faktora refleksije ili transmisije u pojedinim valnim područjima dobiva se spektrofotometrijska

krivulja. Rad uređaja temelji se na rastavljanju bijelog svjetla na pojedinačne valne dužine (ili intervale valnih dužina) pomoću monokromatora. Monokromator je optički instrument za izdvajanje zračenja sasvim uskoga područja spektra, odnosno za dobivanje monokromatske (jednobojne) svjetlosti. Kao monokromator koristi se prizma ili optička rešetka. Pojedinačnim valnim dužinama izdvojenim monokromatorom, osvjetljava se ispitivani uzorak boje i bijeli standard. Postupak se provodi redom s monokromatskim svjetlima duž čitavog spektra. Reflektirano svjetlo dolazi do fotoćelije, koja ih pretvara u električne impulse. Impulsi se dalje preračunavaju tako da se na skali mogu očitati faktor refleksije ili transmisije, pri određenoj valnoj dužini, u odnosu na bijeli standard. Kao grafički prikaz mjerenja dobije se spomenuta, spektrofotometrijska krivulja. Suvremeni spektrofotometri sadrže informacije o CIE standardnom promatraču, krivuljama spektralne emisije za mnoge standardne izvore svjetla i mikroracunalo za izračunavanje CIE tristimulusnih vrijednosti (Strgar Kurečić, n.d.).



Slika 22. Mjerenje boje spektrofotometrom

3.6 Određivanje topljivosti u toploj i hladnoj vodi

Drvo abonosa bilo je izloženo vodi tijekom dugog vremenskog razdoblja, a tijekom hidrotermičke obrade, drvo je često također izloženo vodi. Stoga je određena topljivost u

vodi drva abonosa. Za određivanje topljivosti vršila se ekstrakcija, a kao otapalo koristila se deionizirana voda. Korištena je metoda ekstrakcije vrućom i hladnom vodom. Mjerna oprema obuhvaća: mlin Retsch 300, mlin Retsch ZM 200, sita otvora oka 425 µm i 250 µm, analitičku vagu, laboratorijski sušionik, elektromagnetsku miješalicu, vodenu kupelj te aparaturu za vakuum filtraciju. Eksperiment je rađen prema normi D 1110-84 (Reapproved 2001) naziva „Standard test methods for water solubility of wood“.

Uzorak abonosa primarno je usitnjen na mlinu Retsch 300 opremljenim sa sitom pravokutnog otvora dimenzija oko 1 cm za usitnjavanje bez kontaminacije teškim metalima, te nakon toga finije na mlinu Retsch ZM 200 opremljenim trapeznim sitom otvora 0,5 mm. Nakon usitnjavanja slijedilo je prosijavanje na laboratorijskim sitima od 425 µm i 250 µm te se uzorak zadržan na situ od 250 µm koristio dalje u eksperimentu, dok krupnije i sitnije iverje nije korišteno dalje u eksperimentu.

Gravimetrijsko određivanje sadržaja vode drvnog iverja provedeno je prema normi HRN EN13183-1:2008. Za gravimetrijsku metodu korištena je analitička vaga KERN, ABT 220-4M te laboratorijski sušionik. Za određivanje sadržaja vode uzet je dio prethodno prosijanog uzorka te je u prethodno izvagane posudice odvagano otprilike 1 g uzorka, nakon čega su uzorci stavljeni u sušionik na sušenje pri temperaturi od 103 ± 2 °C do konstantne mase. Nakon sušenja uzorci su stavljeni u eksikator na hlađenje do sobne temperature, a zatim su ponovno izvagani. Sadržaj vode određuje se pomoću formule:

$$\omega = \left[\frac{W_1 - W_0}{W_0} \right] * 100, [\%],$$

u kojoj ω označava sadržaj vode u drvu u postocima, W_1 masu uzorka u sirovom stanju u gramima te W_0 masu uzorka u apsolutno suhom stanju, također u gramima.



Slika 23. Analitička vaga



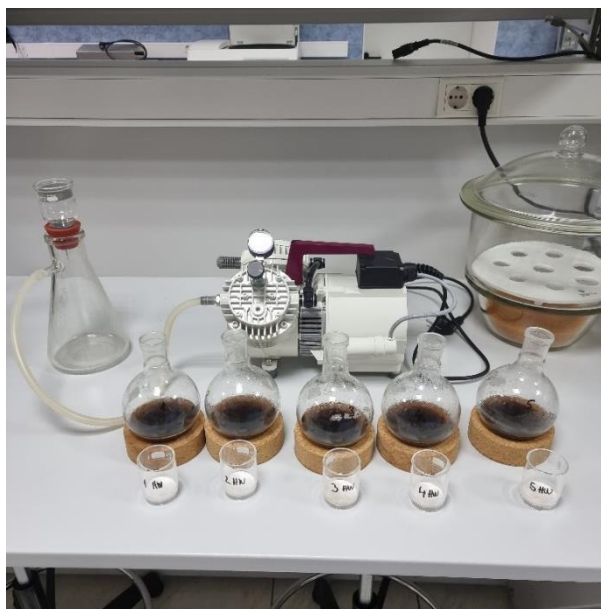
Slika 24. Uzorci drvnog iverja abonosa u sušioniku

Za određivanje topljivosti vrućom vodom, odvađnuto je 2 g osušenog i prosijanog uzorka u okruglu tikvicu s okruglim dnom, u koju se zatim ulilo 100 mL destilirane vode. Pripremljena otopina u tikvici postavljena je u laboratorijsku vodenu kupelj s Liebigovim hladilima koja se sastoji od 6 međusobno spojenih spremnika od nehrđajućeg čelika u kojima se voda lagano zagrijava. Tikvica je postavljena u kupelj tako da je sadržaj unutar tikvice bio ispod nivoa vode.



Slika 25. Uzorci abonosa u laboratorijskoj vodenoj kupelji

Uzorci su se ekstrahirali 3 sata, nakon čega su filtrirani vakuum filtracijom. Aparatura za filtraciju sastoji se od vakuum pumpe, vakuum boce i filter lončića s poroznim dnom, a nakon filtracije sadržaj koji se zadržao na lončiću sušio se na temperaturi od 103 ± 2 °C do konstantne mase.



Slika 26. Vakuum filtracija uzoraka abonosa

Sušenje u prosjeku traje 4 sata, a za sušenje je korišten sušionik Memmert UF 110 PLUS. Po završetku sušenja, lončići se odlažu u eksikator i hlade se do sobne temperature, nakon čega se određuje masa uzorka, s time da se prazni lončići važu prije početka filtracije.



Slika 27. Ekstrahirani uzorci abonosa u sušioniku

Za određivanje topljivosti hladnom vodom odvagnuto je 2 g osušenog i prosijanog uzorka u Erlenmeyerovu tikvicu od 300 mL, u koju se zatim ulilo 300 mL destilirane vode. Pripremljena otopina ekstrahira se na elektromagnetskoj miješalici, uz konstantno miješanje 48 sati. Ekstrakcija se odvija pri sobnoj temperaturi od 23 ± 2 °C, a po završetku ekstrakcije postupak se nastavlja kao i kod određivanja topljivosti vrućom vodom.



Slika 28. Ekstrakcija na elektromagnetskoj miješalici

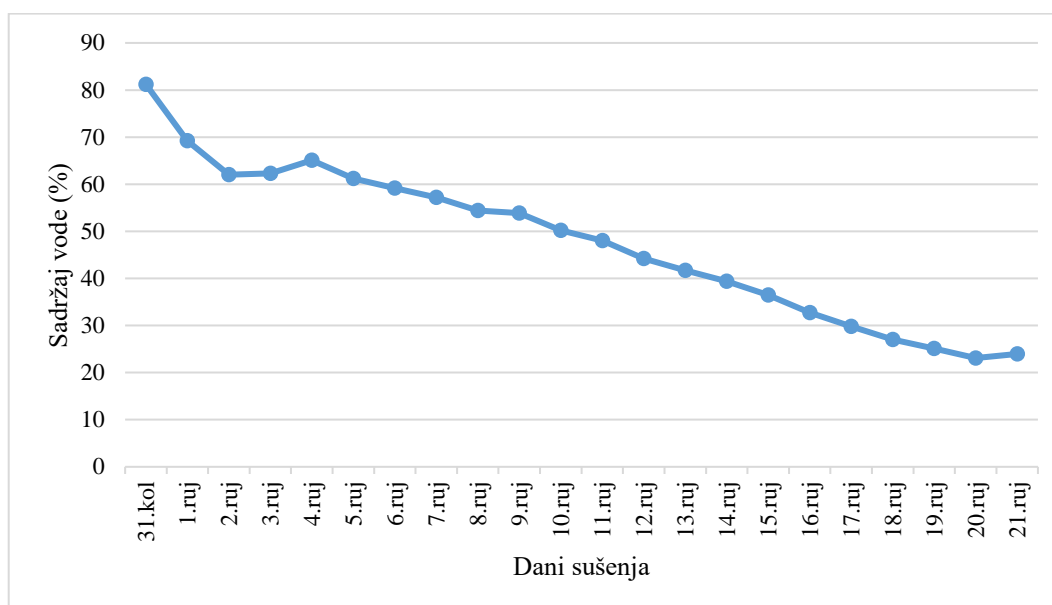
Nakon određenih sadržaja vode i završenih ekstrakcija iz kojih su dobivene vrijednosti mase uzorka, pomoću sljedeće formule izračunata je topljivost:

$$\% = \left[\frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \right] * 100, [\%].$$

U ovoj formuli % označava topljivost u postocima, W_1 je oznaka za masu uzorka prije ekstrakcije u gramima, dok je W_2 masa ekstrahiranog uzorka u gramima. Za uzorak je određena aritmetička sredina svih 5 mjerenja te se ta vrijednosti koristila u daljnjoj analizi.

4 Rezultati i diskusija

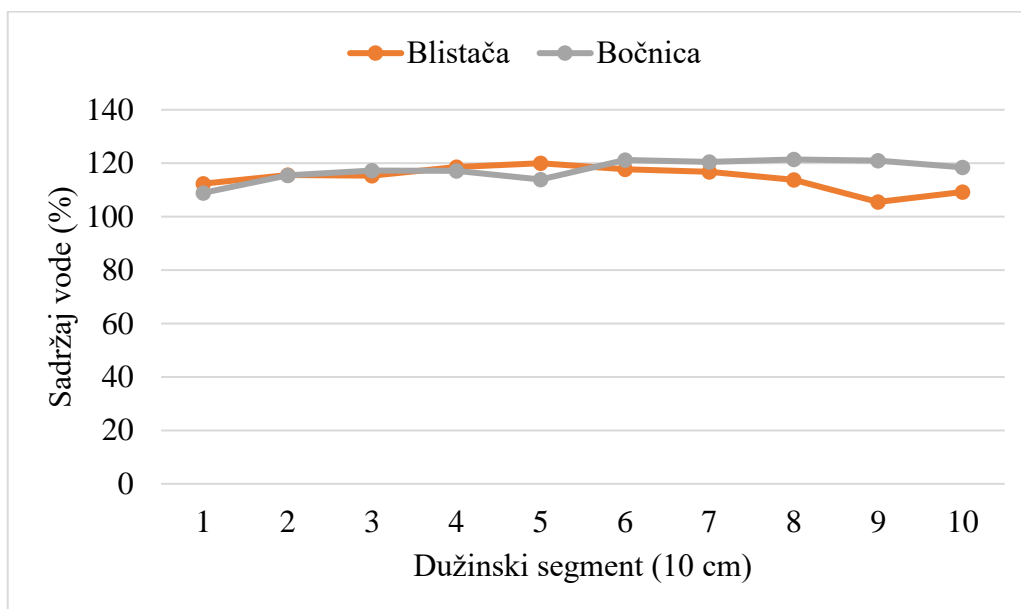
4.1 Brzina sušenja drva u vakuum-press sušionici



Slika 29. Promjena sadržaja vode recentnog hrasta prilikom sušenja po danima

Kao što je i prethodno spomenuto sonde za elektrootporno određivanje i praćenje sadržaja vode bile su zabijene u elemente hrasta debljine 30 mm. Razlog tome je što su sonde bile predebele da bi se zabile u lamele te smo zbog toga sonde zabili u recentni hrast približne vlažnosti. Iz grafa možemo vidjeti kako se najveći pad sadržaja vode dogodio u prva tri dana te je sadržaj vode padao od 10 do 11 % po danu. Nakon trećeg dana linija se ujednačila te je nakon toga sadržaj vode padao za 2 do 3 % po danu i to poprilično uravnoteženo. Veliko je iznenađenje bilo što je sušenje do točke zasićenosti vlaknaca trajalo tako dugo, odnosno tri tjedna. Očekivalo se da će se hrastovina sušiti teže zbog tila i svoje slabije paropropusnosti, no ipak nije očekivana ovakva sporost procesa sušenja. Kod sušenja u vakuum-press sušionici u kojoj se koriste grijače ploče, iznimno je bitno da kontakt drva s grijaćim pločama bude savršen, odnosno da nema odstupanja u debljinama drva. Kod ostalih elemenata koji su se istovremeno sušili u sušionici, a koji nisu bili predmet ovoga istraživanja, primijećeno je da je bilo većih odstupanja u debljini elemenata, a što je sigurno utjecalo na prijenos topline s ploče na drvo. Svakako je potrebno provesti dodatna istraživanja kako bi se ubrzalo sušenje hrastovine u vakuum-press sušionicama, gdje se toplina prenosi kontaktnim putem.

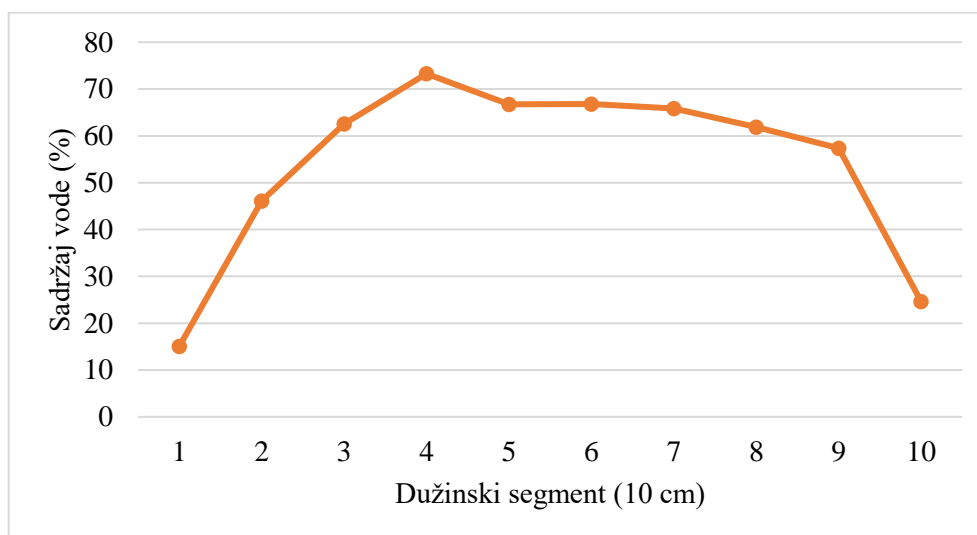
4.2 Sadržaj vode uzoraka abonosa po dužini prije početka sušenja (gravimetrija)



Slika 30. Početni sadržaj vode drva abonosa (blistača i bočnica), po dužini

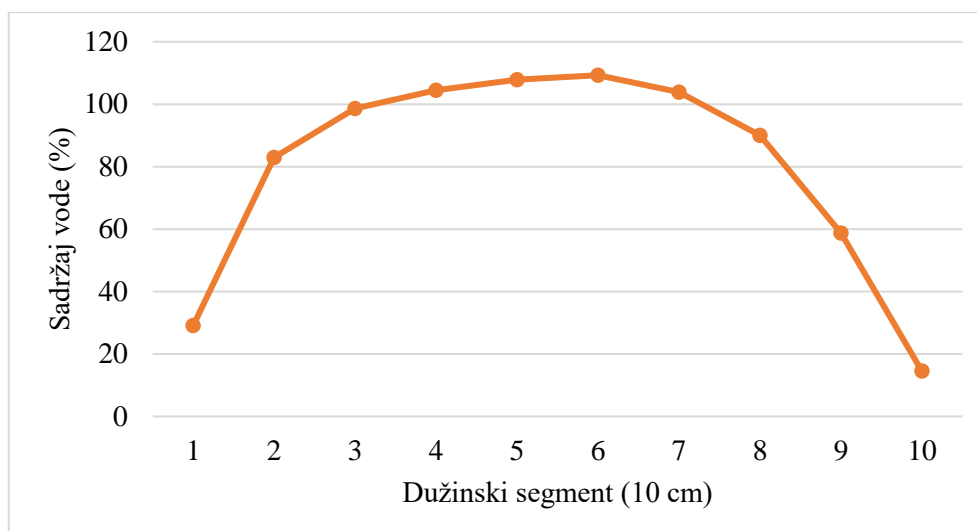
Na prethodnom grafu je prikazana aritmetička sredina sadržaja vode lamela abonosa po dužini, posebno za blistače i posebno za bočnice. Vidljivo je da je početni sadržaj vode drva abonosa bio približno ujednačen kada uspoređujemo blistaču i bočnicu, te nije bilo značajnog gradijenta sadržaja vode po dužini. Blago niži sadržaj vode možemo vidjeti na rubnim segmentima, ali je to zanemarivo i može se pripisati gubitku vode prilikom transporta i prilikom izrade uzoraka. Najveće odstupanje možemo vidjeti kod 9. segmenta gdje je aritmetička sredina sadržaja vode blistača iznosila 105,50 %, dok je kod bočnica iznosila 120,94 %. Aritmetička sredina sadržaja vode blistača je iznosila 114,49 %, a bočnica 117,52 %, što je poprilično ujednačeno.

4.3 Sadržaj vode drva abonosa i recentnog hrasta nakon sušenja u vakuum-press sušionici



Slika 31. Dužinski gradijent sadržaja vode drva recentnog hrasta nakon sušenja

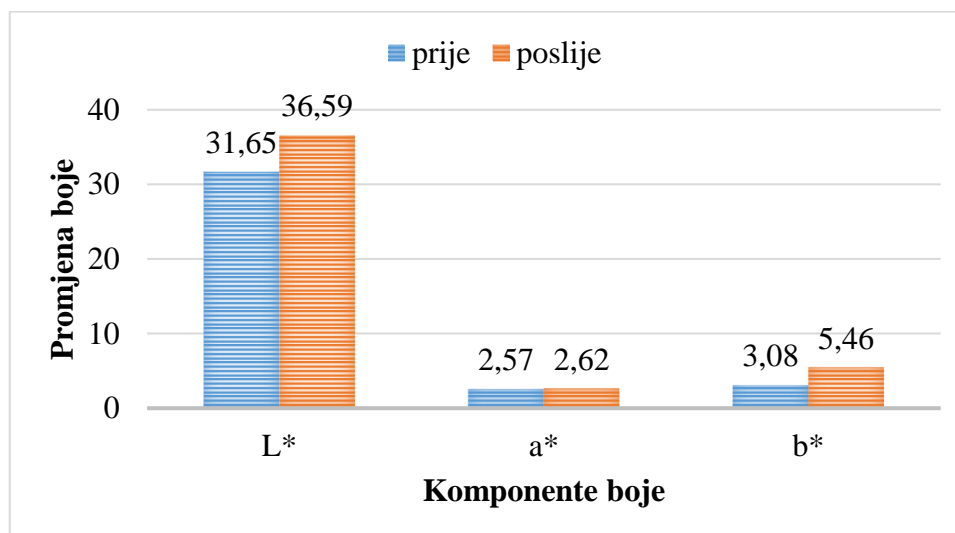
Na prethodnom grafu je prikazana aritmetička sredina sadržaja vode lamela recentnog hrasta po dužini nakon sušenja. Svaki dužinski segment je obuhvatio 10 centimetara dužine elementa koji se je sušio. Vidljivo je da postoji značajan dužinski gradijent sadržaja vode kod recentnog hrasta nakon sušenja od sirovog stanja do približno točke zasićenosti vlakanaca. Na čelima lamela sadržaj vode pao je od 10 do 20 %, dok je prema sredini rastao i dosezao čak do 73 %. Poznato je da se krajevi lamela suše brže od unutarnjih slojeva, stoga je blagi gradijent i očekivan.



Slika 32. Dužinski gradijent sadržaja vode drva abonosa nakon sušenja

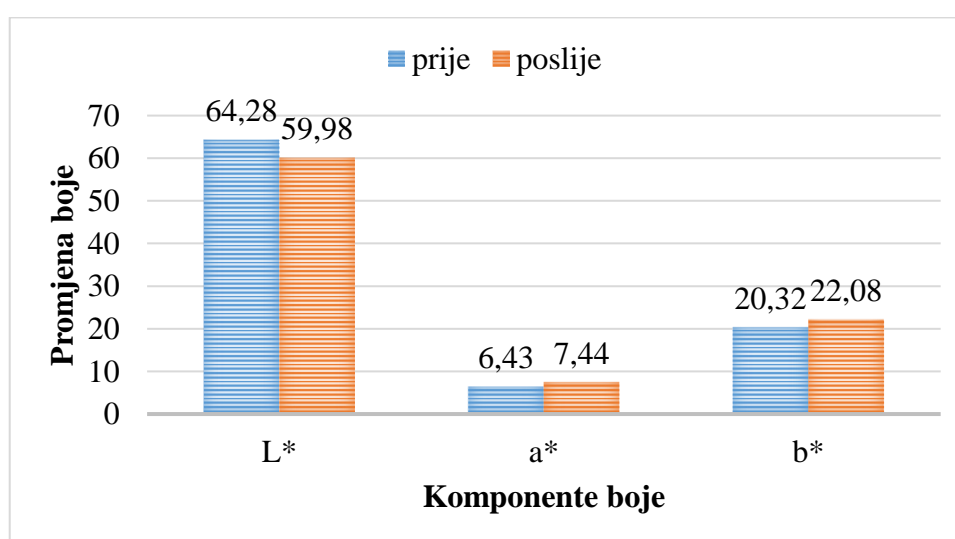
Na prethodnom grafu prikazana je aritmetička sredina sadržaja vode lamela abonosa po dužini. Vidljivo je da postoji značajan dužinski gradijent sadržaja vode kod abonosa nakon sušenja od sirovog stanja do približno točke zasićenosti vlakanaca. Čela lamele, odnosno prvi i posljednji dužinski segment na ovom grafu, imaju najveće promjene sadržaja vode koji se s početnih 108 – 118 % spustio do konačnih 15 – 30 %, dok je prema sredini lamele sadržaj vode rastao i dosežao čak do 109 %. Gradijent je i očekivan, no ne tako velik. Također je očigledno da se drvo abonosa vrlo slabo osušilo, značajnije slabije od drva recentnog hrasta. Moguće je da je i drvo abonosa brže izgubilo kontakt s grijaćom pločom nego drvo recentnog hrasta, poradi većeg koeficijenta utezanja.

4.4 Promjene boje na uzorcima abonosa i recentnog hrasta nakon sušenja u vakuumskoj sušionici



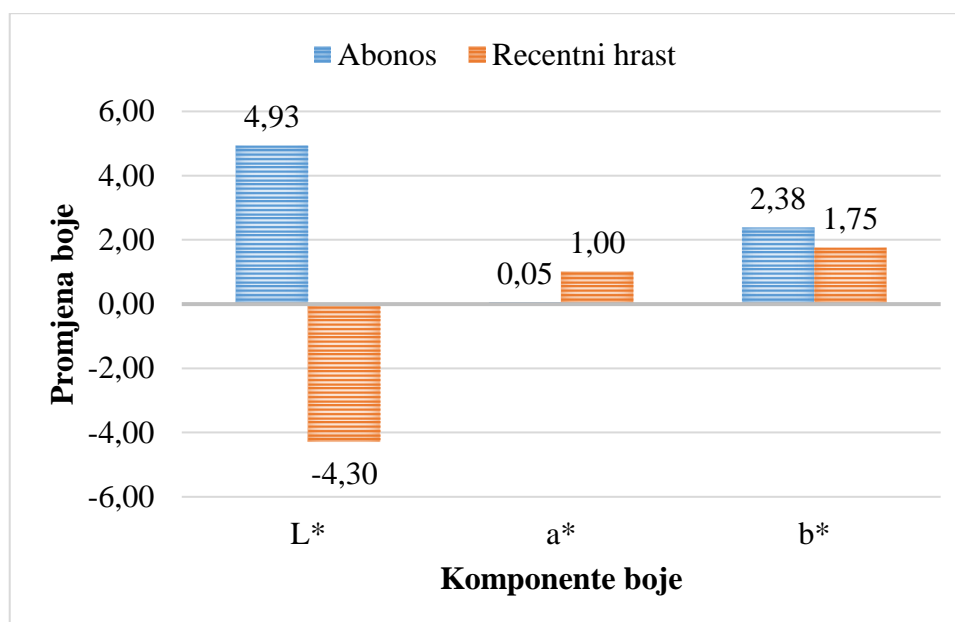
Slika 33. Usporedni prikaz komponenti boje abonosa prije i poslije vakuum-press sušenja

Iz ovog grafa možemo vidjeti da se vrijednost komponente svjetline L* na uzorcima abonosa nakon sušenja u vakuumskoj sušionici povećala, što znači da je drvo postalo svjetlije. Vrijednost komponente crvene boje a* se također povećala, no za vrlo mali iznos. Isto tako, vrijednost komponente žute boje b* se povećala što znači da je drvo poprimilo žući ton.



Slika 34. Usporedni prikaz komponenti boje recentnog hrasta prije i poslije vakuum-press sušenja

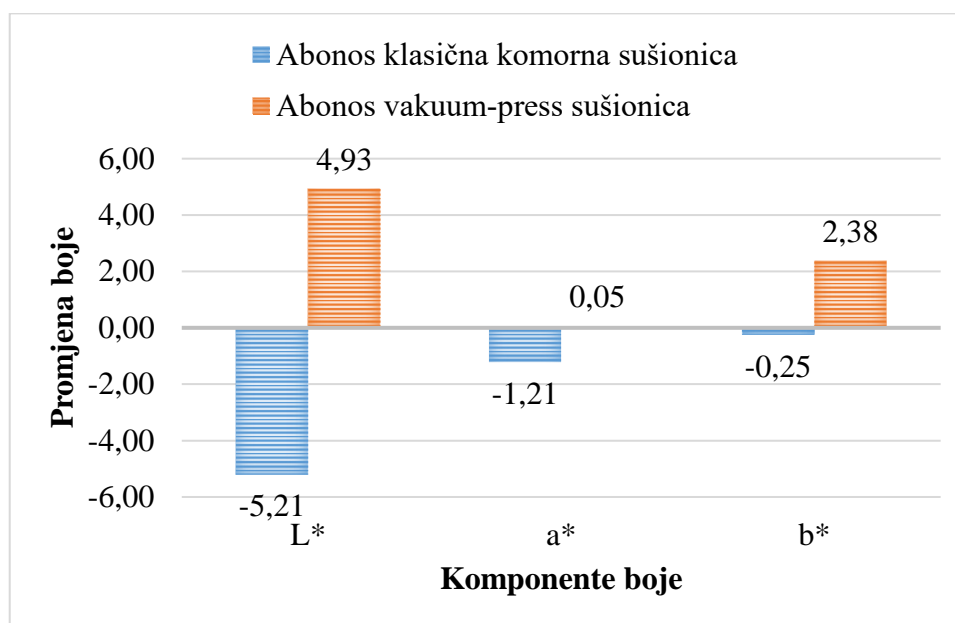
Iz ovog grafa možemo vidjeti da se vrijednost komponente svjetline L^* na uzorcima recentnog hrasta nakon sušenja u vakuumskoj sušionici smanjila, što znači da je drvo postalo nešto tamnije, dok je kod abonosa bilo obratno. Vrijednost komponente crvene boje a^* se povećala, kao i vrijednost komponente žute boje b^* .



Slika 35. Usporedni prikaz razlika komponenti boje abonosa i recentnog hrasta prije i poslije vakuum-press sušenja

Iz ovog grafa možemo vidjeti da se vrijednost komponente svjetline L^* na uzorcima abonosa nakon sušenja u vakuumskoj sušionici povećala, što znači da je drvo postalo svjetlije. Vrijednost komponente a^* se također povećala, što znači da je drvo poprimilo blago crvenkasti ton. Isto tako, vrijednost komponente b^* se povećala, što znači da je drvo poprimilo žućkasti ton. Vrijednost komponente L^* na uzorcima recentnog hrasta nakon sušenja u vakuumskoj sušionici se smanjila, što znači da je drvo postalo tamnije. Vrijednost komponente a^* se povećala što znači da je drvo poprimilo crvenkasti ton, a također se i vrijednost komponente b^* se povećala što znači da je drvo poprimilo žućkasti ton.

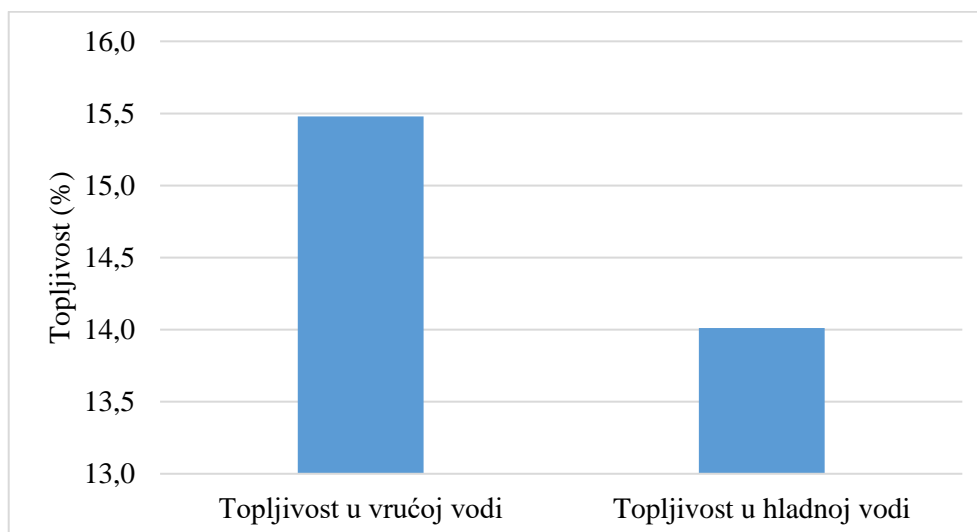
4.5 Promjene boje na uzorcima abonosa nakon sušenja u vakuumskoj i klasičnoj komornoj sušionici



Slika 36. Usporedni prikaz razlika komponenti boje abonosa nakon vakuum-press i klasičnog sušenja

Iz ovog prethodnog grafa možemo vidjeti da se vrijednost komponente svjetline L* na uzorcima abonosa nakon sušenja u klasičnoj komornoj sušionici smanjila, što znači da je drvo postalo tamnije, dok se nakon sušenja u vakuumskoj sušionici povećala, što znači da je drvo postalo svjetlije. Vrijednost komponente a* se također smanjila nakon sušenja u klasičnoj komornoj sušionici, što znači da je drvo poprimilo zelenkasti ton, a nakon sušenja u vakuumskoj sušionici ta se vrijednost neznatno povećala, što znači da je drvo poprimilo crvenkasti ton. Vrijednost komponente b* se nakon sušenja u klasičnoj komornoj sušionici smanjila te je drvo poprimilo plavkasti ton, dok se nakon sušenja u vakuumskoj sušionici povećala te je drvo poprimilo žućkasti ton.

4.6 Toplivost u toploj i hladnoj vodi



Slika 37. Topljivost abonosa u toploj i hladnoj vodi

Iz prethodnog grafa možemo vidjeti da je topljivost abonosa veća u vrućoj, nego u hladnoj vodi. Prosječna topljivost u vrućoj vodi je 15,48 %, dok je u hladnoj vodi 14,01 %. Uspoređujući ove rezultate s rezultatima ispitivanja topljivosti na uzorcima recentnog hrasta koje su prikazali Klarić i suradnici (2021), možemo zaključiti da je topljivost recentnog hrasta veća od topljivosti abonosa.

4.7 Greške sušenja

Sušenje lamela u vakuumskoj sušionici ukupno je trajalo 22 dana, tijekom kojih je došlo do pojave nekoliko grešaka sušenja. Problem koji se istaknuo prilikom zagrijavanja je porast tlaka. U tim trenucima porasta tlaka drvo se prestaje sušiti zbog popuštanja vakuuma, a to utječe na produženje trajanja sušenja. Tijekom procesa sušenja u lamelama nastaju naprezanja zbog različitih iznosa utezanja u raznim smjerovima, a kao posljedica tih naprezanja pojavljuju se pukotine te dolazi do deformacija, što se dogodilo i tijekom sušenja za potrebe ovog istraživanja. Na nekim uzorcima došlo je do pojave čeonih pukotina, dok su se neke lamele izvitoperile, naročito gdje su bile prisutne greške strukture drva. Također, jedna od grešaka koja se pojavila je i promjena boje drva, kako se čini uslijed djelovanja gljiva. Na početku sušenja uzorci abonosa, kao i uzorci recentnog hrasta, imali su visok sadržaj vode, točnije iznad 73 %, što je potvrđeno i elektrootpornim vlagomjerom te gravimetrijom, te je kao posljedica visokog sadržaja vode, uz temperaturu od 40 - 45 °C,

došlo do razvoja gljiva. Također, takva klima u sušionici pogoduje razvoju gljiva plijesni koje su se pojavile na uzorcima.



Slika 38. Čeone pukotine na uzorcima abonosa i gljive



Slika 39. Plijesan na uzorcima abonosa

Tijekom sušenja u klasičnoj komornoj sušionici također je došlo do pojave grešaka, od kojih se osobito ističu čeone pukotine i vitoperenje kod abonosa, dok je kod recentnog hrasta pojava grešaka bila znatno manja, na samo jednom uzorku pojavila se čeona pukotina.



Slika 40. Izvitopereni uzorak abonosa



Slika 41. Čeona pukotina na uzorku recentnog hrasta

5 Zaključak

U ovom diplomskom radu provedeno je istraživanje o vakuumskom sušenju na uzorcima lamela od abonosa i recentnog hrasta. Iz prikazanih rezultata vidljivo je da je vakuumsko sušenje uzoraka lamela od recentnog hrasta do točke zasićenosti vlakana trajalo vrlo dugo, točnije tri tjedna. Očekivano je sporije sušenje hrastovine, ali ipak nije očekivano da će biti ovako dugotrajno.

Kao što je i ranije bilo poznato, krajevi lamela tijekom sušenja u vakuumskoj sušionici sušili su se brže od unutarnjih slojeva te se može uočiti značajan dužinski gradijent sadržaja vode kod recentnog hrasta. Isto vrijedi i za uzorke od abonosa, no kod njih možemo primijetiti još veći gradijent sadržaja vode. Također, primjećujemo da je sadržaj vode u sredini lamele ostao vrlo visok te da se drvo abonosa vrlo slabo osušilo. Kao što je ranije napomenuto, kod drva abonosa pojavljuju se veća utezanja, a kao posljedica toga moglo je doći do gubljenja kontakta s grijaćom pločom u vakuumskoj sušionici što bitno utječe na kvalitetu sušenja.

Rezultati ispitivanja promjene boje prikazuju nam da je nakon sušenja u vakuumskoj sušionici drvo abonosa postalo svjetlije, dok je drvo recentnog hrasta postalo nešto tamnije. S druge strane, možemo vidjeti da je nakon sušenja u klasičnoj komornoj sušionici drvo abonosa postalo tamnije.

Nakon provedenog ispitivanja topljivosti uzoraka abonosa, možemo zaključiti da je topljivost abonosa veća u vrućoj, nego što je u hladnoj vodi. Uspoređujući dobivene rezultate topljivosti abonosa s rezultatima topljivosti recentnog hrasta koje su prikazali Klarić i suradnici (2021), zaključujemo da je topljivost recentnog hrasta veća od topljivosti abonosa, što je i očekivano pošto je abonos proveo mnogo godina u vodi.

Analizirajući greške koje su se pojavile na uzorcima tijekom vakuumskog sušenja te onih koje su se pojavile tijekom klasičnog komornog sušenja zaključujemo da je pojava grešaka učestalija tijekom klasičnog komornog sušenja. Poznata nam je činjenica da se drvo više uteže ispod točke zasićenosti vlakana, a upravo sušenjem u klasičnoj komornoj sušionici ostvarujemo niži sadržaj vode u drvu. Nakon vakuumskog sušenja uzorci postižu ipak nešto veći sadržaj vode, odnosno do točke zasićenosti vlakana, te je to potencijalni razlog slabije pojave grešaka.

Nakon provedenog istraživanja zaključujemo da sušenje uzoraka abonosa i recentnog hrasta u vakuumskoj sušionici nije dalo dobre rezultate. Sam proces sušenja predugo traje te ne dobivamo drvo zadovoljavajuće kvalitete. U klasičnoj komornoj sušionici sušenje traje

kraće i uzorci recentnog hrasta pokazuju zadovoljavajuću kvalitetu, dok uzorci abonosa ni takvim postupkom sušenja nisu postigli dobre rezultate.

Potrebno je provesti dodatna istraživanja vezano uz sušenje drva abonosa i drva recentnog hrasta u vakuum-press sušionicama kako bi se dobili zadovoljavajući rezultati procesa sušenja.

Literatura

1. Sinković, T.; Govorčin, S.; Dubravac, T.; Roth, V.; Sedlar, T., 2009: Usporedba tehničkih svojstava abonosa i recentnog drva hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). Šumarski list (11-12), str. 605 – 610.
2. Pervan, S.; Klarić, M.; Slivar, M., 2013: Normirane metode određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u drvu u Republici Hrvatskoj. Drvna industrija 64 (2): str. 149-157.
3. Crnojević, M., 2019: Usporedno mjerenje sadržaja vode elektrootpornom metodom na poprečnom i radijalnom presjeku istih uzoraka drva. Završni rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije.
4. Jirouš-Rajković, V., 2015: Boja i njeno mjerenje [PowerPoint prezentacija].
5. Strgar Kurečić, M., n.d.: Osnove o boji: Kontrola boja - od percepcije do mjerenja [PowerPoint prezentacija], dostupno na: http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI.pdf [4.10.2021.].
6. Klarić, M.; Barlović, N.; Brezović, M.; Čavlović, A.; Prekrat, S.; Španić, N., 2021: Hot and cold water solubility of milled slavonian oak wood (*Quercus robur* L.). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije.