

Istraživanje utjecaja pojedinih činitelja tijekom određivanja sadržaja vode na hrastovom furniru halogenim vlagomjerom

Drokan, Luka

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:058650>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**



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

LUKA DROKAN

ISTRAŽIVANJE UTJECAJA POJEDINIH ČINITELJA
TIJEKOM ODREĐIVANJA SADRŽAJA VODE NA
HRASTOVOM FURNIRU HALOGENIM VLAGOMJEROM

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK

ISTRAŽIVANJE UTJECAJA POJEDINIH ČINITELJA
TIJEKOM ODREĐIVANJA SADRŽAJA VODE NA
HRASTOVOM FURNIRU HALOGENIM VLAGOMJEROM

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Drvnotehnološki procesi

Predmet: Hidrotermička obrada drva

Ispitno povjerenstvo: 1. (mentor) doc. dr. sc. Miljenko Klarić
2. (komentor) prof. dr. sc. Mladen Brezović
3. (član) prof. dr. sc. Stjepan Pervan

Student: Luka Drokan

JMBAG: 0068226453

Datum odobrenja teme: 25.4.2022.

Datum predaje rada: 11.7.2022.

Datum obrane rada: 15.7.2022.

Zagreb, srpanj, 2022.

Temeljna dokumentacijska kartica

Naslov:	Utjecaj utjecaja pojedinih činitelja tijekom određivanja sadržaja vode na hrastovom furniru halogenim vlagomjerom
Autor:	Luka Drokan
Adresa autora:	Brace Hanžeka 14, Križevci, Republika Hrvatska
Mjesto izrade:	Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Vrsta objave:	Diplomski rad
Mentor:	doc. dr. sc. Miljenko Klarić
Komentor:	prof. dr. sc. Mladen Brezović
Izradu rada pomogao:	/
Godina objave:	2022.
Opseg:	I-VIII+35 stranica, 22 slike, 2 tablice, 4grafa i 14 navoda literature
Ključne riječi:	Određivanje sadržaja vode, hrastovina, furnir, halogeni vlagomjer
Sažetak:	<p>U proizvodnji furnira je potrebno kontrolirati sadržaj vode u furniru, a naročito nakon sušenja furnira, kako bi se mogao kvalitetno pratiti proces sušenja i provoditi kontrola kvalitete. Klasična gravimetrija je u industrijskoj proizvodnji ponekada nepraktična i vremenski traje. Mjerenje sadržaj vode kapacitativnim vlagomjerom je nepouzđano i često puta nismo sigurni što smo točno izmjerili. U okviru ovoga rada je provedeno istraživanje sa ciljem da se istraži je li moguće primijeniti halogeni vlagomjer za određivanje sadržaja vode u hrastovom furniru u industrijskim uvjetima. Tijekom eksperimenta je istraženo i kako na mjerenje halogenim vlagomjerom utječe veličina površine furnira te radi li se o teksturi blistače ili bočnice.</p>

Basic Documentation Card

Title:	Investigation of the Influence of Individual Factors During the Determination of Moisture Content on Oak Veneer with a Halogen Moisture Meter
Author:	Luka Drokán
Address of Author:	Brace Hanžeka 14, Križevci, Republic of Croatia
Thesis Performed at:	University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology
Publication Type:	Master's thesis
Supervisor:	Assistant professor Miljenko Klarić, PhD
Co-supervisor:	Professor Mladen Brezović, PhD
Preparation Assistant:	/
Publication year:	2022
Volume:	I-VIII+35 pages, 2 tables, 22 figures, 4 graphs and 14 references
Key words:	Determination of moisture content, Oak wood, veneer, halogen moisture meter
Abstract:	<p>In the production of veneer, it is necessary to control the moisture content in the veneer, especially after drying the veneer, so that the drying process can be properly monitored and quality control can be carried out. Classical gravimetry is sometimes impractical and time-consuming in industrial production. Measuring the moisture content with a capacitive moisture meter is unreliable and often we are not sure what exactly we have measured. In the framework of this work, research was conducted with the aim of investigating whether it is possible to use a halogen moisture meter to determine the water content in oak veneer in industrial conditions. During the experiment, it was also investigated how the measurement with a halogen moisture meter is affected by the size of the veneer surface and whether it is the texture of the gloss or the side.</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, 11.7.2022.

vlastoručni potpis

Luka Drokan

Sadržaj

Temeljna dokumentacijska kartica	I
Basic Documentation Card	II
Sadržaj	IV
Popis slika	VI
Popis tablica	VI
Popis grafova.....	VI
Predgovor	VIII
1. UVOD	1
1.1. Hrast.....	2
1.2. Općenito o furnirima	3
1.2.1. Piljeni furnir	4
1.2.2. Rezani furnir	4
1.2.3. Greške sušenja	5
1.2.4. Ljušteni furnir	5
1.3. Sadržaj vode u drvu	6
1.3.1. Točka zasićenosti vlakanaca.....	8
1.3.2. Maksimalna količina vode u drvu.....	8
1.4. Normirane metode mjerenja sadržaja vode	9
1.4.1. Gravimetrijska metoda	9
1.4.2. Elektrootporna metoda	10
1.4.3. Kapacitivna metoda.....	11
1.5. Halogeni vlagomjer.....	12
1.6. Tehnološki proces proizvodnje furnira u istraživačkom poligonu	12
1.6.1. Stovarište oblovine.....	13
1.6.2. Označavanje i klasiranje	14
1.6.3. Koranje trupaca.....	15

1.6.4. Prizmiranje/prorezivanje trupaca	16
1.6.5. Kuhanje polovnjaka u parnoj jami	16
1.6.6. Ručno koranje	18
1.6.7. Obrada na vertikalnom furnirskom nožu.....	18
1.6.8. Sušenje furnira	20
2. Cilj istraživanja.....	22
3. MATERIJALI I METODE	23
3.1. Materijali	23
3.2. Metode.....	24
3.2.1. Mjerenje sadržaja vode gravimetrijskom metodom.....	24
3.2.2. Određivanje sadržaja vode halogenim vlagomjerom.....	26
4. REZULTATI I DISKUSIJA	27
4.1. Vrijeme trajanja određivanja sadržaja vode u hrastovom furniru na halogenom vlagomjeru.....	27
4.2. Izmjereni sadržaj vode u hrastovom furniru na halogenom vlagomjeru	29
5. ZAKLJUČCI	32
6. Literatura.....	33
7. Životopis	35

Popis slika

Slika 1. Drveni kotač koji je pronađen u Ljubljanskim močvarama 2002. godine, a čija je starost procijenjena na 5200 godina

Slika 2. Hrast lužnjak

Slika 3. „Bureau du Roi“

Slika 4. Promjene oblika u drvu poradi bubrenja i utezanja

Slika 5. Vlagomjer za drvo GM620

Slika 6. Kapacitativni vlagomjer

Slika 7. Stovarište trupaca

Slika 8. Trupci označeni za piljenje

Slika 9. Trupci klasirani po debljini (promjeru)

Slika 10. Koranje

Slika 11. Kuhanje polovnjaka

Slika 12. Punjenje jame za kuhanje

Slika 13. Ručno koranje

Slika 14. Prijenos sirovine do furnirskog noža

Slika 15. Prihvat polovnjaka na radni stol

Slika 16. Sušionica za furnire

Slika 17. Uzorci, pribor za rezanje uzoraka i uređaj za vakumiranje

Slika 18. Vaga

Slika 19. Sušionik

Slika 20. Sušenje uzoraka

Slika 21. Sušenje uzorka u halogenom vlagomjeru

Slika 22. Halogeni vlagomjer

Popis tablica

Tablica 1. Sadržaj vode za razne upotrebe drva

Tablica 2. Prikaz mase drva i sadržaja vode

Popis grafova

Graf 1. Prosječna vremena trajanja sušenja uzoraka blistače ovisno o površini uzorka

Graf 2. Prosječna vremena trajanja sušenja uzoraka bočnice ovisno o površini uzorka

Graf 3. Prosječna ukupna vremena trajanja sušenja uzoraka bočnice i blistače (usporedba)

Graf 4. Prosječne izmjerene vrijednosti sadržaja vode za prvo i drugo slijedno mjerenje te zbroj oba mjerenja, uz sadržaj vode određen gravimetrijom

Predgovor

Razlog pisanja ovog rada je osobna ljubav i privrženost hidrotermičkoj obradi drva, a naročito procesu sušenju drva. Sušenje drva neophodno je za dobar i kvalitetan proizvod, bilo da se suši masivno piljeno drvo ili furnir. U ovom radu istražiti će se problematika kontrole sadržaja vode furnira nakon sušenja u drveno industrijskom poduzeću u industrijskim uvjetima.

Ovom prilikom zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Miljenku Klariću na pomoći pri odabiru teme diplomskoga rada. Nisam siguran da li bi mogao naći profesora njegove stručnosti, znanja, profesionalizma i susretljivosti. Također, želim se zahvaliti svome komentoru prof. dr. sc. Mladenu Brezoviću, na pomoći, vođenju i korisnim sugestijama.

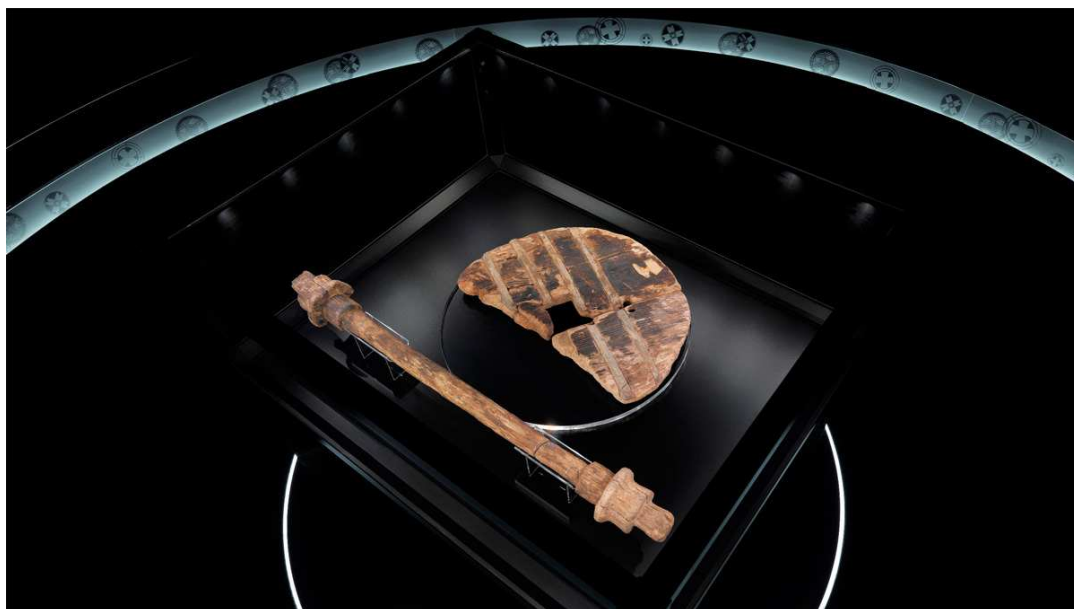
Također, zahvaljujem se svim profesorima, asistentima i osoblju Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu što su mi prenijeli dio svoga znanja i vještina da mogu postati čovjek kakav sam danas i inženjer kakav ću uskoro biti.

Na kraju, ali ništa manje važno, posebno se zahvaljujem svojoj supruzi bez koje moji uspjesi, kako u sportu tako i u studiranju ne bi bili mogući, svojoj djeci koja me guraju naprijed, svojoj majci, ocu i prijateljima koji su bili uz mene od trenutka kada sam upisao fakultet do trenutka završetka istog. Veliko Vam hvala!

1. UVOD

Od davnina drvo je usko povezano s čovjekovim životom. Upotrebljavalo se (neke funkcije su ostale i dan danas) kao sirovina za ogrjev, kao prijevozno sredstvo (npr. drvena kočija), za izradu alata, oruđa i oružja i dr. Zbog mnogobrojnih prednosti drva, u odnosu na druge materijale, drvo je i danas neizostavan građevinski materijal. Glavne prednosti drva kao građevnog materijala su te što je drvo obnovljiva sirovina, lako je dostupno i ekološki je prihvatljivo. Napretkom civilizacije i tehnologije, pronalazilo se sve više načina upotrebe drva kao građevnog materijala. U početku, drvo se upotrebljavalo u obliku greda ili dasaka. Danas, tisućama godina nakon prvih uporaba drva kao građevnog materijala, uporabu drva vidimo u obliku peleta, furnira, drvnih ploča; uslojenog drva i sl.

Zbog svoje anizotropnosti i nehomogenosti tehnologija procesa izrade predmeta od drva izuzetno je zahtjevna. Iznimno bitna stavka u preradi drva je voda, odnosno sadržaj vode gotovog proizvoda. Nije bitno radi li se o masivnom piljenom drvu, usitnjenom drvu ili o furniru, sadržaj vode uvijek predstavlja prepreku. U ovom diplomskom radu ispitivati će se utjecaji pojedinih činitelja na mjerenje sadržaja vode hrastovog furnira halogenim vlagomjerom.



Slika 1. Drveni kotač koji je pronađen u Ljubljanskim močvarama 2002. godine, a čija je starost procijenjena na 5200 godina. (Izvor: Visit Ljubljana, 2022.)

1.1. Hrast

Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) jedna je od najvrjednijih vrsta drva u Europi, a uz to je i dosta raširena. Tisućama godina ima kulturološki značaj ljudima diljem Europe. Raste do visine 30-40 metara te može doživjeti starost i preko 1000 godina. Rasprostranjen je od dalekog sjevera Europe, odnosno od Norveške i Švedske, pa sve do krajnjeg juga, odnosno do južne Italije, balkanskog poluotoka pa sve do Turske. Hrast je imao toliki utjecaj na ljude, da ga Hrvati, Nijemci i Britanci imaju na kovanom novcu. U prošlosti najčešće je korišten za izradu drvenih brodova i oruđa. Hrast je stablo koje ima izrazito ravnu žicu, vrlo je trajno drvo, te ima visoku otpornost na napade insekata i gljiva. Hrast je tradicionalno korišten kao građevni materijal u smislu greda za kuće i zgrade, za ograde, vrata te kao drvo u rudnicima. Još neke od najvažnijih upotreba hrasta su u namještaju, podnim oblogama, i furnirima. Pošto je hrast vodonepropusna vrsta drva, korišten je u izradi vinskih bačvi. Vino koje se nalazi u bačvi poprimi miris samog hrasta, što je vrlo atraktivno kupcima i vinoljupcima. Deblo hrasta lužnjaka obično nestaje u krošnji tvoreći grane nepravilnih i raznolikih oblika i krivina. Kora je sivkasta i izbrazdana. Hrast lužnjak i hrast kitnjak kao glavne komponente često skupa tvore mješovite listopadne šume. Ova snažna stabla su velike ekološke amplitude iako preferiraju vlažna i mokra tla. Dominiraju šumama svojom veličinom i brojnošću. Iako se na hrastu lužnjaku listovi ne pojavljuju tek do kasnog travnja, kasni mraz je rijetko problem osim ako temperatura ne padne ispod - 3 °C (Eaton i sur., 2016.).



Slika 2. Hrast lužnjak. (Izvor: Stabla u Hrvatskoj, 2022.)

1.2. Općenito o furnirima

Procijenjeno je da je prvi furnir korišten 3000 pr.n.e. u starom Egiptu. Proizveden je ručnim piljenjem i kasnije zaglađen prikladnim materijalom. Prvi furniri bili su zapravo proizvedeni od malih komada iznimno vrijednog drva namijenjeni isključivo za kraljeve i kraljice. Proizvodnja furnira stagnirala je tijekom Srednjeg vijeka, ali je opet oživjela u Renesansnom dobu u Europi (14., 15., 16. st). Koliko je u to vrijeme furnir bio cijenjen, dokazuje činjenica da su za vrijeme vladavine francuskih kraljeva Luja XV. i Luja XVI. proizvedeni jedni od naj ljepših komada pokućstva u povijesti – slavni „Bureau du Roi“. Stol za koji se govori da je kralja Luja XV. koštao više od milijun franaka. Danas se nalazi u Parizu (Kollmann, 1975.).



Slika 3. „Bureau du Roi“ (Izvor: Regent Antiques, 2022.)

Furnir, proizveden ljuštenjem, piljenjem ili rezanjem je tanki list drveta debljine 0,4 – 10 mm. Nedostatak, odnosno manjak kvalitetne drvene sirovine i želja za iskorištenjem manje kvalitetne sirovine uz maksimalni profit su glavni razlozi početka proizvodnje furnira. Furniri kao građevni materijal imaju širok spektar uporabe: u oblaganju namještaja, luksuznih brodova, glazbenih instrumenata, luksuznih automobila. Najčešće se koristi za stolarske i furnirske ploče, za oblaganje namještaja, ambalažu i lamelirano drvo (Romić, 2017.).

Tri su tehnike proizvodnje furnira: rezanjem, piljenjem i ljuštenjem. Ljuštenje je naj češća metoda proizvodnje furnira te zauzima oko 90 % ukupne svjetske proizvodnje. Piljeni furniri rijetko se proizvode iz razloga što je iskoristivost 50 %, odnosno 50 % mase trupca pretvara se u iverje. Jedan od rijetkih slučajeva izrade i primjene piljenih furnira je kod glazbenih instrumenata (Romić, 2017.).

1.2.1. Piljeni furnir

Tehnika izrade furnira piljenjem je naj starija metoda izrade furnira. Velika prednost ovog načina izrade furnira je nepotrebna prethodna hidrotermička obrada sirovine, što je s ekonomskog gledišta vrlo dobro. U industrijskim uvjetima piljenje furnira provodi se na segment kružnim pilama ili specijalnim gaterima. Mana ovog načina izrade furnira je niska proizvodnost i nisko iskorištavanje sirovine te je zbog ovih razloga napuštena ova tehnika izrade furnira (Mešić, 1998.). Kao što je spomenuto, rijedak slučaj primjene piljenog furnira je kod glazbenih instrumenata.

1.2.2. Rezani furnir

Metodom rezanja naj češće se proizvode plemeniti furniri koji imaju određena estetska svojstva, udio ostalih je gotovo zanemariv. Industrijska proizvodnja plemenitih furnira vrši se na vertikalnom, horizontalnom i kosom furnirskom nožu. Kao što je spomenuto, da bi rezanje ili ljuštenje furnira bilo moguće sirovina za izradu istih mora biti topla i mokra. Doprema takove sirovine do furnirskog noža vrši se pomoću strojeva za unutarnji transport (viličari, valjkasti, uzdužni ili lančani transporteri). Kako bi proizvodnja tekla nesmetano, svaki furnirski nož ima zasebnu dizalicu s kojom se flič prenosi do istog. Nakon rezanja furnira rezani furnir ide u sušionicu (umjetno sušenje furnira) ili se furnir suši prirodno. Prostorija u kojoj se furnir suši najčešće se nalazi iznad skladišta furnira. Uvjeti u kojima se furnir suši mogu se poboljšati upuhivanjem vrućeg zraka u prostoriju. Prirodnim sušenjem sadržaj vode u furniru može se spustiti na 10-12 %. Samo trajanje furnira u takvim prostorijama ovisi o samoj debljini furnira, vrsti drva te o početnom sadržaju vode u furniru, a iznosi 24-36 sati. Obzirom na napredovanje tehnologije proizvodnje i sušenja furnira prirodni način sušenja odavno je napušten. Kod umjetnog sušenja furnira, furnir se suši u sušionicama. Može se sušiti u sušarama na bazi valjaka i beskonačnih traka i zagrijanih ploča, u vakuum sušarama, u sušarama s infracrvenim zraka, u sušarama s mikro valovima itd. Danas se naj češće koriste sušionice s beskonačnim trakama mrežastih konstrukcija. Kao izvor toplinske energije koristi se vruća para, voda, ulje ili električna energija. Vruća voda naj češće je temperature od 180 do 185 °C (Mešić, 1998.).

1.2.3. Greške sušenja

1. Otvorene pukotine,
2. Nedovoljno osušeni ili presušeni furnir,
3. Nejednolika vlažnost po površini furnira,
4. Promjena boje,
5. Naborani krajevi furnira,
6. Valoviti furnir (Mešić, 1998.).

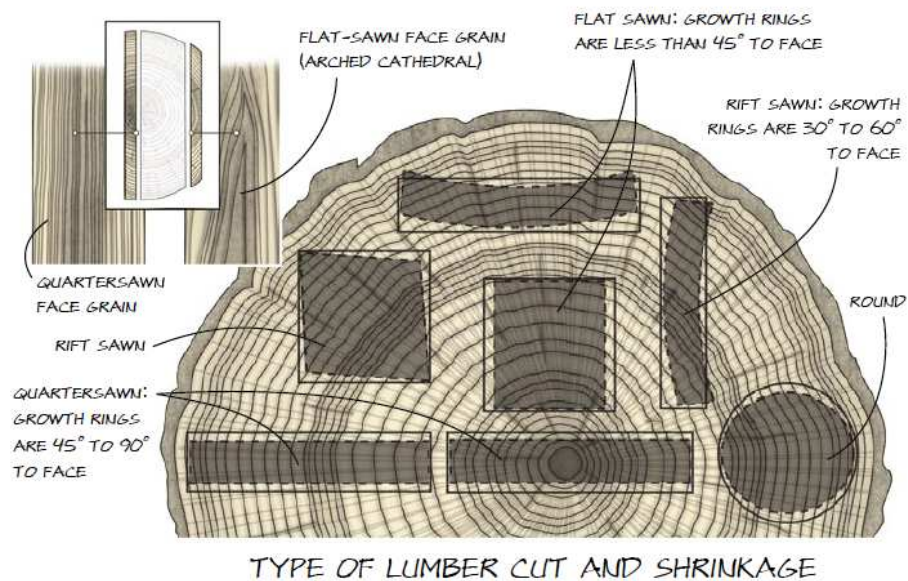
1.2.4. Ljušteni furnir

Ljušteni ili konstrukcijski furniri dobiveni su tehnikom ljuštenja na ljuštilici. Od ukupne proizvodnje furnira u svijetu, oko 95 % opada na ljuštene furnire. Prema načinu ljuštenja furniri mogu biti ekscentrično ili centrično ljušteni. Neki od zahtjeva na ljuštene furnire su homogena građa, boja i tekstura moraju biti jednolične, kao i kod ostalih proizvoda od drva furnir mora sadržavati određena mehanička i fizička svojstva te proizvodnja bi trebala biti sa što većim udjelom cijelih listova. Sirovina za izradu ljuštenih furnira mora biti minimalnog promjera 35 cm, trupci moraju biti zdravi i ravni, mehanička i fizička svojstva moraju odgovarati području primjene furnirske ploče itd. Vrste drva koje su pogodne za izradu ljuštenih furnira su ariš, smreka, jela, bor, breza, joha, topola itd. Postoje dvije klase trupaca za ljuštenje furnira. U prvoj klasi trupci moraju biti duži od 2,3 m, dok u drugoj klasi trupci moraju biti duži od 1,4 m. Što se tiče I. klase trupaca, postoje određene dozvoljene greške, a to su: koničnost do 2,5 % promjera na debljem kraju, pukotine koje se nalaze na čelu trupca mogu biti ukupne dužine do 10 cm te se na svaka 2 metra dužine dopušta po jedna zdrava kvrga promjera do 10 cm (Brezović, 2014).

1.3. Sadržaj vode u drvu

Voda je tvar, kemijski spoj vodika i kisika bez koje nijedno živo biće ne može opstati, pa tako ni ti stablo. U stablu, voda služi kao transportno sredstvo. U sebi prenosi sve hranjive tvari i minerale koje su potrebne stablu da živi, od korijena pa sve do listova. Sadržaj vode izražavamo postotkom mase apsolutno suhog drva (npr.: $u = 12 \%$) ili u kilogramima vode po kilogramu apsolutno suhog drva (npr.: $u = 0,12 \text{ kg/kg}$). Količina vode u drvu varira, odnosno zavisna je od mnogo faktora (vrsta drva, gustoća, staništa, itd.).

Kada pričamo o četinjačama znamo da postoji velika razlika u sadržaju vode bijeli i srži. U bijeljici četinjača znatno je veći sadržaj vode nego u srževini. Međutim, kod listača je druga priča. U stablu listača ne postoji vrlo velika razlika između sadržaja vode bijeli i srži. Zbog prethodno navedenih razloga ukupna količina vode (gledajući masu) veća je kod stabla listača. Postoje tri vrste vode u drvu: slobodna, vezana i kemijski vezana voda. Kemijski vezana voda nalazi se u kemijskim spojevima od kojih je stablo izgrađeno, a pošto je sušenje drva fizikalni, a ne kemijski proces, ista neće utjecati na sušenje drva, jer se neće moći odstraniti. Slobodna voda nalazi se u lumenima stanica. Slobodna voda je količina vode koja se kreće od maksimalnog sadržaja vode pa sve do točke zasićenosti vlakanaca, te se sušenjem naj lakše odstranjuje iz drva. Točka zasićenosti vlakanaca je stanje u kojem je u drvu ostala samo vezana voda, a slobodne vode više nema, odnosno stijenke stanica drva ispunjene su vodom, a lumeni stanica su prazni. Slobodna voda ne utječe na svojstva drva. Ako govorimo o sušenju, vezana voda je glavni problem. Vezana voda ostaje u stijenkama stanica drva. Problem kod sušenja izaziva jer je potrebna velika količina topline da bi se uklonila iz drva, jer izaziva mehaničke promjene drva i zato jer drvo uteže kada gubi vezanu vodu. Kreće se od točke zasićenosti vlakanaca do apsolutno suhog stanja. Trebaju se napomenuti još dva bitna pojma vezana za sadržaj vode u drvu, a to su *higroskopnost* i *ravnotežni sadržaj vode u drvu*, odnosno *vлага ravnoteže*. Stablo u okolišu konstantno izmjenjuje svoju vlagu s vlagom okoline u kojoj se nalazi. Odnosno, ako je vлага okoliša veća od vlage drva, drvo će upijati vlagu i obratno, taj pojava naziva se *higroskopnost*. *Ravnotežni sadržaj vode u drvu* ili *vлага ravnoteže* je stanje u kojemu drvo više ne upija vlagu iz okolnog prostora ili okoline ni ti predaje svoju vlagu zraku u okolini u kojoj se nalazi (Krpan, 1965).



Slika 4. Promjene oblika u drvu poradi bubrenja i utezanja (Izvor: Popular woodworking, 2022.)

Obzirom na sadržaj vode (MC), drvo se može podijeliti u:

1. Sirovo drvo – MC > 40 %
2. Provelo drvo – MC = 23 – 40 %
3. Prosušeno drvo – MC = 19 – 22 %
4. Zrakosuho drvo – MC = 13 – 18 %
5. Sobosuho drvo – MC = 6 – 12 %
6. Standardno suho drvo – MC = 0%
7. (Izvor:<https://cpd4gb.com.hr/wp-content/uploads/2018/10/DRVO-%E2%80%93-materijal-za-zelenu-gradnju-predavanje-RBL.pdf>)

Voda u drvu može biti u tri oblika: u obliku pare, tekućine i leda. Tijekom procesa sušenja, voda se kreće u obliku pare i tekućine kroz drvo.

Tablica 1. Sadržaj vode za razne upotrebe drva (Klarić, 2017.)

Vrsta upotrebe	Sadržaj vode (%)
Unutarnja upotreba	8 - 10
Građevno drvo	12 - 18
Masivno drvo za kuhinje	10 - 12
Zidne, podne, stropne obloge	8 - 12

1.3.1. Točka zasićenosti vlakanaca

Fizikalna svojstva drva, poroznost i higroskopnost su faktori koji omogućavaju da drvo sadrži određenu količinu vode u vezanom i slobodnom obliku. Slobodna voda ne utječe na svojstva drva već samo na masu. Promjenom sadržaja vezane vode u drvu mijenjaju se mehanička, električna i termička svojstva drva. Razlog tome je jer se vezana voda nalazi u staničnim stjenkama. Točka zasićenosti vlakanaca (TZV) je naj veća količina vezane vode pri kojemu su stijenke stanica zasićene vodom, a u krupnim kapilarama nema slobodne vode. Sadržaj vode kod točke zasićenosti vlakanaca ovisno o vrsti drva kreće se od 22 do 40 % (Klarić, 2017.).

Metode određivanja točke zasićenosti vlakanaca:

1. Metoda sorpcije ,
2. Metoda utezanja,
3. Metoda mehaničkih svojstava,
4. Metoda električne vodljivosti,
5. Metoda termičke vodljivosti,
6. Metoda centrifugiranja.

1.3.2. Maksimalna količina vode u drvu

Usprkos tome što se nalazi u svome prirodnom staništu, sirovo drvo u šumi ne sadrži maksimalnu količinu vode jer se u staničnim šupljinama nalazi i zrak. Kada se iz staničnih šupljina odstrani zrak i kad njegovo mjesto zauzme voda, kaže se da drvo sadrži maksimalnu količinu vode jer su i stijenke i šupljine stanice ispunjene vodom. Ovakvo stanje može se postići napajanjem drva u vremenskom razdoblju od 2 do 3 mjeseca.

Maksimalnu količinu vode koju drvo može primiti u sebe prikazao je F. Kollmann izrazom (Krpan, 1965.):

$$u_{max} = 0,28 + \frac{1,50 - r_0}{1,50 * r_0} [kg/kg]$$

gdje je:

u_{max} – maksimalna količina vode koju drvo može primiti (kg/kg)

0,28 – srednja točka zasićenosti vlakanaca za sve vrste drva (kg/kg)

r_0 – volumna težina drva

1.4. Normirane metode mjerenja sadržaja vode

U Republici Hrvatskoj normiranim sustavom obuhvaćene su tri metode određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u drvu, a norme koje ih definiraju su sljedeće:

1. HRN EN 13183-1:2008 Sadržaj vode u drvu – dio 1:
Određivanje gravimetrijskom metodom
2. HRN EN 13183-2:2008 Sadržaj vode u drvu – dio 2:
Procjenjivanje elektrootpornom metodom
3. HRN EN 13183-3:2008 Sadržaj vode u drvu – dio 3:
Procjenjivanje kapacitativnom metodom

Iz podjele je vidljivo da se samo gravimetrijskom metodom može točno odrediti sadržaj vode, a ostalima se procjenjuje sadržaj vode (Klarić, 2017.)

1.4.1. Gravimetrijska metoda

Gravimetrijska metoda naj točnija je i najpouzdanija metoda mjerenja sadržaja vode. Primjenjuje se kod masivnog piljenog drva, ali funkcionira i kod furnira. Mjeri se količina odstranjene vode do 0 % konačnog sadržaja vode u drvu (u tom stanju drvo je apsolutno suho), izražava se u postocima u odnosu na apsolutno suho drvo. Kada pričamo o gravimetrijskoj metodi znamo da je naj točnija, referentna je metoda za određivanje sadržaja vode, pomoću nje vrši se kontrola ostalih mjernih uređaja ali vremenski dugo traje, tako da je nepraktična u industrijskim uvjetima (Klarić, 2017.).

Aparatura potrebna za ovu metodu je sušionik koji mora osigurati slobodnu unutrašnju cirkulaciju zraka te održavati temperaturu od $103 \pm 2^\circ\text{C}$ i vaga točnosti 0,1 g ili 0,01 g.

Postupak:

1. Odabir vrste uzorka,
2. Izrezivanje kontrolnog uzorka (u našem slučaju izrezivanje furnira),
3. Vaganje kontrolnog uzorka,
4. Sušenje do konstantne mase,
5. Vaganje,
6. Izračun sadržaja vode .

(Klarić, 2017.)

Izračun prema:

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

gdje je:

u (%) – sadržaj vode u drvu,

m_s (g) – masa kontrolnog uzorka u sirovom stanju (prije sušenja),

m_0 (g) – masa kontrolnog uzorka u apsolutno suhom stanju.

Navedena metoda osim kod masivnog drva, koristi se i u industrijskoj proizvodnji furnira. Međutim, zbog svoje nepraktičnosti i dugog trajanja ne primjenjuje se često.

1.4.2. Elektrootporna metoda

Uz mnoga pozitivna svojstva drvo je također prirodni dielektrik, odnosno vrlo je dobar izolator prolasku električne energije. Što drvo sadrži veću količinu vode to će pružiti manji otpor prolasku električne energije, tu zakonitost koriste elektrootporni vlagomjeri u svom radu. Za provođenje postupka potreban je elektrootporni vlagomjer. Opremljen je odvojenom drškom s dvije zamjenjive elektrode i udaračem na dršci. Elektrode moraju biti izolirane, dok samo vrh ostaje neizoliran. Da bih postupak bio točan potrebno je izvršiti korekciju temperature i vrste drva (gustoća). Kvalitetniji vlagomjeri opremljeni su automatskim kompenzatorima temperature i vrste drva (Klarić, 2017.).

Postupak:

1. Odabir uzorka,
2. Korekcija temperature i vrste drva,
3. Zabijanje elektroda u drvo,
4. Očitavanje rezultata nakon 2-3 sekunde od prikaza na ekranu.



Slika 5. Vlagomjer za drvo GM620 (Izvor: Suerserv Engineering, 2022.)

Nažalost, elektrootporna metoda koristi se samo kod masivnog drva (trupac, flič, polovnjak), a ne kod furnira. Razlog tome je nedovoljna debljina furnira, odnosno furnir je pretanak te se elektroda nema gdje zabiti.

1.4.3. Kapacitivna metoda

Kod kapacitivne metode procjenjivanje sadržaja vode provodi se pomoću dielektrične konstante. Dielektrična konstanta je mjera sposobnosti tvari da smanji elektrostatske sile između dva nabijena tijela, a kod drva se povećava povećanjem gustoće, temperature i sadržaja vode. Ta međuovisnost dielektrične konstante i sadržaja vode omogućava procjenjivanje sadržaja vode drva (Klarić, 2017.)

Za provedene postupka potreban je kapacitivni uređaj opremljen s kondenzatorskom pločom, površinskim opružnim elektrodama ili sa specijalnim neinvazivnim mjernim sondama (Klarić, 2017.).

Postupak:

1. Odabir uzorka
2. Korekcija vrste drva
3. Prisanjanje uređaja na uzorak
4. Očitanje rezultata



Slika 6. Kapacitativni vlagomjer (Izvor: HMS d.o.o., 2022.)

1.5. Halogeni vlagomjer

Halogeni vlagomjer ili halogeni analizator vlage je uređaj kojim se mjeri sadržaj vode raznim materijalima, u ovom slučaju furnira. Radi na principu konstantnog mjerenja mase uzorka i na principu zagrijavanja i sušenja uzorka. Tijekom zagrijavanja, uređaj mjeri sadržaj vode gubitkom mase. Proces mjerenja započinje bilježenjem mase uzorka, te nakon toga grijanjem. Grijanje se provodi pomoću halogenog grijača. Mjerenje je gotovo kada nema promjene mase uzorka unutar vremenskog intervala od 30 sekundi. Nakon toga, uređaj prikaže sadržaj vode uzorka. U ovom radu istraživati će se mogućnost primjene halogenog vlagomjera na uzorcima furnira. Za istraživanje korišten je halogeni vlagomjer (Kern db5 verzija 1.4) u prostorijama Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije.

1.6. Tehnološki proces proizvodnje furnira u istraživačkom poligonu

Istraživanje je provedeno u jednom drvo prerađivačkom poduzeću u Republici Hrvatskoj koje se bavi proizvodnjom furnira. Navedeno poduzeće je bilo istraživački poligon. Određeni proizvodni procesi u istraživačkom poligonu, dijelovi proizvodnje kao i

detalji određenih procesa su poslovna tajna poduzeća, te nisu navedeni ili prikazani u ovome radu.

1.6.1. Stovarište oblovine

Kako bi, kao lanac, cijela proizvodnja furnira tekla kako treba svaka karika mora biti iznimno vješto i precizno odrađena. Prva karika u tom lancu je stovarište oblovine. Pravilno posložena i zbrinuta oblovina je iznimno bitna stavka u procesu proizvodnje. Svrha stovarišta je mehanička priprema trupaca za obradu, zaštita sirovine i skladištenje prije početka obrade. Jedan od najbitnijih, ako ne i naj bitniji čimbenik je zaštita sirovine. Poanta zaštite je prvenstveno zaštita od nametnika i truleži. Postoji više metoda zaštite, u ovom slučaju trupci se prskaju vodom, dan i noć (Brezović, 2014.).



Slika 7. Stovarište trupaca (foto: Drokan, L., 2022.)

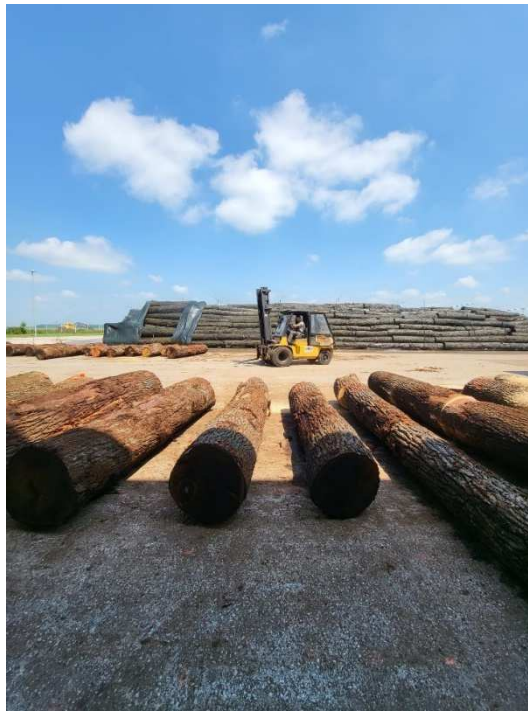
Svrha prskanja trupaca je stvaranje vlastite mikroklike među trupcima i zaštita od sunčevih zraka. Trupci su složeni u složajeve duljine određene dužinom trupaca, s poravnatim čelima. Maksimalna tolerancija je 0,5 m. Čela se prekrivaju zaštitnim platnom, zbog zaštite od sunca (Brezović, 2014.).

1.6.2. Označavanje i klasiranje

Nakon zaštite trupaca na stovarištu slijedi označavanje načina piljenja trupaca. Prema slici (8) vidljivo je da se svi trupci ne pile na isti način. Najčešće se pile prizmiranjem i piljenjem u cijelo. Izbor načina piljenja treba biti što optimalniji da je iskorištenje bilo što veće. Nakon označavanja slijedi klasiranje trupaca po klasama trupaca za proizvodnju furnira i debljini. Naravno, pored označavanja i klasiranja, trupci se također mehanički štite, odnosno sprječava se raspucavanje čela.



Slika 8. Trupci označeni za piljenje (foto: Ivanda, A., 2022.)



Slika 9. Trupci klasirani po debljini (promjeru) (foto: Ivanda, A., 2022.)

1.6.3. Koranje trupaca

Označeni i klasirani trupci šalju se na koranje. Koranje se vrši strojno. Nož služi kao alat.



Slika 10. Koranje (foto: Ivanda, A., 2022.)

1.6.4. Prizmiranje/prorezivanje trupaca

Ciljevi prizmiranja trupaca za proizvodnju furnira:

1. Osiguravanje ravnih površina radi sigurnosti učvršćenja na radni stol,
2. Izrada furnira u maksimalnoj širini, ovisno o vrsti rezanja,
3. Maksimalno iskorištenje sirovine,
4. Racionalno korištenje toplinske energije u hidrotermičkoj obradi sirovine
(Brezović, 2014.)

U spomenutom poduzeću nakon strojnog koranja sirovina za izradu furnira ide na prizmiranje radi većeg iskorištenja sirovine. Prizmiranje se vrši na tračnoj pili trupčari.

1.6.5. Kuhanje polovnjaka u parnoj jami

Nakon prizmiranja trupaca, polovnjaci zatim idu u parne jame na kuhanje. Kuhanje obično traje 1 do 2 dana. Općenito, u vodi se kuha drvo za furnire iz kojeg treba odstraniti smolu i masti, drvo koje je osjetljivo na parenje, a to su hrast i pitoni kesten, odnosno vrste s vrlo razvijenim sržnim tracima i vrlo tvrdo drvo, na primjer ebanovina. Promjene na drvu biti će veće kod kuhanja, nego kod parenja, a glavna prednost kuhanja nad parenjem je ta što se temperatura može precizno kontrolirati (Brezović, 2020.). Prizmirani trupci pare u 8 parnih jama. Pet od tih osam su manjeg kapaciteta od 25 m³, dok su 3 velikog kapaciteta od 32 m³. Točno trajanje kuhanja tajna je poduzeća. Kuhanje se odvija prema već zadanim parametrima, te se prekida kada ti parametri dostignu zadane vrijednosti.



Slika 11. Kuhanje polovnjaka (foto: Drokan, L., 2022.)

Da bi izradili tehnički ispravan furnir, odnosno furnir koji će imati odgovarajuću debljinu i čvrstoću sirovinu za izradu istog potrebno je hidrotermički pripremiti. Sirovina za proizvodnju furnira može se kuhati, pariti, zagrijavati plinovima ili električnom energijom. U procesu kuhanja i parenja drva dolazi do promjena čvrstoće, vlage, plastičnosti i boje kod neki vrsta drva, što direktno može utjecati na kvalitetu i tok proizvodnje furnira (Mešić, 1998.).

Tijekom kuhanja mijenja se sadržaj vode u drvu. Sadržaj vode u drvu znatno utječe na režim sušenja. Sušenje furnira proizvedenih iz trupaca koji se pare te sušenje furnira proizvedenih iz trupaca koji se kuhaju znatno se razlikuje. Sušenje furnira proizvedenih iz trupaca koje se kuhaju duže je nego kod furnira koji su proizvedeni iz trupaca koji se pare. Nadalje, hidrotermičkom obradom drva smanjuje se čvrstoća na tlak, što isto znatno utječe na proizvodnju furnira. Također, hidrotermička obrada drva utječe i na plastična svojstva. Kada na drvo djelujemo visokom temperaturom, u ovom slučaju vrućom vodom, omekšava lignin unutar istog što posljedično smanjuje otpor prodiranju noža u drvo i povećava plastična svojstva (Mešić, 1998.).



Slika 12. Punjenje jame za kuhanje (foto: Drokan, L., 2022.)

1.6.6. Ručno koraanje

Nakon kuhanja polovnjaka vade se iz jama za kuhanje, hlade te lančanim transporterom prenose do faze ručnog koraanja. Ručno koraanje vrši se da bi se otklonile zaostale nečistoće na površini drva.



Slika 13. Ručno koraanje (foto: Ivanda., A., 2022.)

1.6.7. Obrada na vertikalnom furnirskom nožu

Nakon šta se sirovini ručno skine kora, odnosno zaostala nečistoća na površini, istu se prenosi do vertikalnog furnirskog noža pomoću lanaca. Obrada na nožu ne bi bila moguća da sirovina prije toga nije kuhana u vodi. Trupac mora biti mek i vruć kako bi se iz njega mogao izrezati furniri.



Slika 14. Prijenos sirovine do furnirskog noža (foto: Ivanda., A., 2022.)

Sirovina se pričvršćuje za radni stol pomoću klinova, te se isti kreće gore-dolje i vrši rezanje. Nosač noža i tlačne letve pomiču se horizontalno za debljinu furnira. U ovom slučaju, rezanje se odvija i pri pomaku gore i pri pomaku dolje, tako da je veće iskorištenje. Osnovna prednost vertikalnog noža u odnosu na horizontalni je ta što je lakši prihvat sirovine i pojednostavljeno je odlaganje listova furnira što rezultira kontinuiranom proizvodnjom i povećanjem kapaciteta (Mešić, 1998.).



Slika 15. Prihvat polovnjaka na radni stol (foto: Ivanda., A., 2022.)

Kod starijih modela furnirskih noževa sječenje se vrši na silaznoj putanji, listovi slobodno padaju na transportnu traku te se ručno prihvaćaju i slažu jedan na drugi. Današnjim tehnologijama taj postupak je olakšan. Naravno, postoji mogućnost pojave grešaka tijekom rezanja furnira. Greške se naj češće pojavljuju zbog loše mehaničke i hidrotermičke pripreme sirovine, zbog nepravilnog odnosa pritisne letve i noža, nestručnosti radnika, neispravnosti stroja itd. Neke od naj češćih grešaka su: nejednolična debljina furnira, neravna i hrapava površina, mlohav furnir, pukotine na površini, ogrebotine i utisnuti tragovi na furniru. (Mešić, 1998.)

1.6.8. Sušenje furnira

Sa stajališta konačne kvalitete i cijene furnira sušenje furnira naj važnija je faza proizvodnje. Uz navedeno, sušenje furnira naj veći je potrošač energije u cijelome procesu. Prije sušenja, rezani furniri imaju relativno visoki sadržaj vode, otprilike 50 do 80 %. Radi sprječavanje pojave plijesni i pukotina, mokri furnir prije sušenja može se skladištiti naj više do 8 satu. Tijekom sušenja, bilo prirodnog ili umjetnog, dolazi do određenih promjena u drvu (furniru). Kada sušimo drvo, u ovom slučaju furnir, gubitkom vode ono uteže, odnosno mijenjaju se dimenzije. Utezanje je naj veće u tangencijalnome smjeru i iznosi 8 do 12 %. To utezanje očituje se raznim napreznjima unutar furnira. Posljedica napreznja su greške poput valovitosti, koritavosti i vitoperenje. Dakle, pristupu procesa sušenja treba prići iznimno stručno i ozbiljno. Sam proces sušenja je brži nego proces sušenja drvne građe, jer je furnir tanji (Mešić, 1998.).

Brzina sušenja furniru u ovom slučaju (debljina ispitnih uzoraka iznosi 0,57 mm) ovisi samo o prijelazu topline, odnosno o površinskom isparavanju vode.

Faza sušenja furnira podijeljena je u 3 faze:

1. Zagrijavanje,
2. Isparavanje slobodne vode pri konstantnoj temperaturi,
3. Isparavanje vezane vode pri povećanoj temperaturi (Brezović, 2014.).



Slika 16. Sušionica za furnire (foto: Drokan, L., 2022.)

Osnovni cilj sušenja je postići ujednačeni sadržaj vode osušenih furnira. Problem je u tome što nemaju svi furniri isti sadržaj vode te se sušenjem dobije ili nedovoljno osušen furnir ili previše osušen furnir. Taj se problem riješio podjelom sušionice na određene zone: zona punjenja i pražnjenja, zona predušenja, zona sušenja i zona relaksacije i izjednačavanja sadržaja vode.

Nakon sušenja praksa poduzeća je kontrola sadržaja vode. Gravimetrija je točna, ali spora za industrijsko mjerenje sadržaja vode. Sadržaj vode kontrolira se elektrootpornim vlagomjerom koji ima stopice umjesto igli. Usprkos tome što je mjerenje brzo, neprecizno i nepouzđano je.

2. Cilj istraživanja

Kako u proizvodnji proizvoda od masivnog piljenog drva tako i u proizvodnji furnira iznimno je bitan sadržaj vode te ispravno provođenje mjerenja sadržaja vode. Da bi cijeli proces proizvodnje tekao neprekidno sve mora biti što je više moguće savršeno, od pripreme sirovine, samog procesa proizvodnje, stručnosti radnika, stanja strojeva pa sve do raznih kontrola tijekom proizvodnje. Uspješna proizvodnja furnira zasniva se na tri osnovna temelja; opskrba trupcima adekvatne kvalitete, dobar tehnološki proces proizvodnje furnira i dobra prodaja. Jedna od naj većih prioriteta, ako ne i naj veći su dobri trupci. Naravno, svaki trupac mora imati određene karakteristike da bi se mogao proizvesti prikladan furnir (Lutz, 1977.). Nakon dobrih trupaca, sljedeća bitna stvar je adekvatna kontrola kvalitete i nadzor proizvodnje, a tu spada i određivanje i kontrola sadržaja vode u furniru.

Tematika ovog rada vezana je za kontrolu sadržaja vode u listovima furnira nakon izlaska iz sušionice. Kako je klasična gravimetrija ponešto spora i nepraktična, a kapacitativna metoda nepouzdana, pristupilo se je nalaženju neke praktičnije i točnije metode određivanja sadržaja vode u listovima furnira nakon sušionice. Kao jedna potencijalno pogodna metoda za industrijsku primjenu istaknula se je metoda određivanja sadržaja vode halogenim vlagomjerom.

Osnovna hipoteza ovoga rada je da se halogeni vlagomjer može uspješno primijeniti za mjerenje sadržaja vode u furniru hrasta lužnjaka nakon sušionice, u industrijskim uvjetima.

Cilj ovog istraživanja je:

1. Istražiti kako veličina površine uzorka lista furnira utječe na mjerenje sadržaja vode,
2. Istražiti kako tekstura blistače i bočnice utječe na mjerenje sadržaja vode,
3. Istražiti da li nakon mjerenja ima zaostale vode u uzorku, na način da se provede još jedno uzastopno mjerenje pri istim uvjetima, uz okretanje uzorka.
4. Istražiti kolika je brzinu mjerenja sadržaja vode, odnosno koliko je trajanje mjerenja.
5. Probati utvrditi može bi li se mogao halogeni vlagomjer upotrebljavati u industrijskim uvjetima.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Materijali

Kao što je spomenuto, uzorci za istraživanje uzeti su iz istraživačkog poligona početkom mjeseca lipnja 2022. godine. Proučen je pogon kako bi se vidio proces proizvodnje rezanih hrastovih furnira. Odabrani su osušeni listovi hrastovog furnira bez grešaka i najbolje kvalitete (odvojeno blistača i bočnica). Zatim su iz njih u tvornici na paketnim škarama izrezane trake furnira širine 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, i 6 cm te dužine 1 metar. Odmah po rezanju trake furnira su vakuumirane u vakuum vreće pomoću Gorenje uređaja za vakuumiranje, kako bi se spriječilo danje nejednolično sušenje listova furnira, te kako bi se blago listovi furnira kondicionirali. Glavni istraživani činitelj utjecaja na mjerenje sadržaja vode je sama tekstura drva, odnosno da li se radi o blistači ili bočnici. Izuzev teksture drva, drugi glavni činitelj je dimenzija uzorka, odnosno površina. Prema tome, uzeto je šest različitih grupa dimenzija uzoraka (6x6 cm, 5x5 cm, 4x4 cm, 3x3 cm i 2x2 cm), od svake grupe po 30 komada. Debljina svakog pojedinačnog uzorka je ista te iznosi 0,57 mm. Također, furnir iz kojeg su uzeti uzorci prethodno je osušen u tvornici te je prosječni sadržaj vode iznosio približno 9 %. Da bi se očuvao spomenuti sadržaj vode, izrezani uzorci spremljeni su u vrećice i vakuumirani kako bih imali vlastitu mikroklimu, odnosno da se spriječi upijanje vlage iz zraka ili ispuštanje vlage u zrak. Nakon vakuumiranja, vrećice su označene vodootpornim flomasterom.



Slika 17. Uzorci, pribor za rezanje uzoraka i uređaj za vakuumiranje (foto: Drokan, L., 2022.)

Nakon uzimanja i vakuumiranja uzoraka istraživanje je provedeno u laboratoriju Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije.

3.2. Metode

Prilikom provođenja ovih istraživanja korištene su dvije metode mjerenja sadržaja vode u listovima furnira drva hrasta, gravimetrijska metoda i metoda mjerenja halogenim vlagomjerom.

3.2.1. Mjerenje sadržaja vode gravimetrijskom metodom

Prije mjerenja u halogenom vlagomjeru, svi uzorci furnira su izvagani na vazi s točnošću mjerenja na petu decimalu. Mjerenje mase je provedeno i nakon mjerenja na halogenom vlagomjeru. Na svakom uzorku je provedeno gravimetrijsko određivanje sadržaja vode za usporedbu sa vrijednosti koja je dobivena halogenim vlagomjerom.

Izračun za gravimetriju je proveden prema jednadžbi:

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

gdje je:

u (%) – sadržaj vode u drvu,

m_s (g) – masa kontrolnog uzorka u sirovom stanju (prije sušenja),

m_0 (g) – masa kontrolnog uzorka u apsolutno suhom stanju.

Nakon početnog vaganja, provedeno je halogeno određivanje sadržaja vode i vaganje uzorka, zatim je uzorak osušen na apsolutno suho stanje u sušioniku koji je osiguravao slobodnu unutrašnju cirkulaciju zraka te temperaturu od 103 ± 2 °C. Nakon sušenja u sušioniku uzorci su stavljeni u eksikator na hlađenje.



Slika 18. Vaga (foto: Drokan, L., 2022.)



Slika 19. Sušionik (foto: Drokan, L., 2022.)

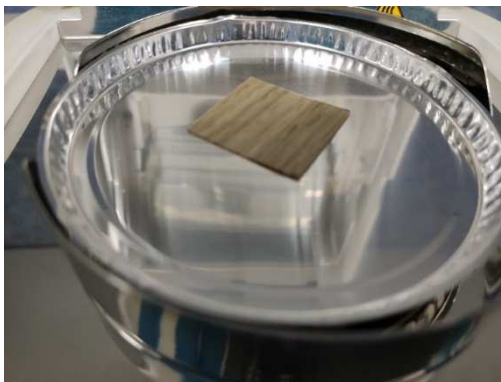


Slika 20. Sušenje uzoraka (foto: Drokan, L., 2022.)

Laboratorijski sušionik ima mogućnost podešavanja parametara sušenja kao što su temperatura, otvorenost/zatvorenost klapni, brzina rotacije ventilatora te podešavanje trajanja sušenja. U ovom slučaju temperatura je bila podešena na spomenutih 103 ± 2 °C, klapne su bile otvorene 70 %, ventilatori su radili na 100 % kapaciteta.

3.2.2. Određivanje sadržaja vode halogenim vlagomjerom

Nakon početnog vaganja, svaki uzorak je stavljen u halogeni vlagomjer na aluminijskoj posudici. Halogeni vlagomjer zagrijava uzorak na temperaturu od 103 °C te istodobno mjeri masu. Mjerenje je gotovo kada nema promjene mase uzorka u razmaku od 30 sekundi. Završetkom mjerenja, digitalni ekran na uređaju prikazuje vrijeme potrebno za sušenje, odnosno mjerenje sadržaja vode, temperaturu, sadržaj vode izražen u postotku. Nakon završetka prvog mjerenja uzorak u vlagomjeru je okrenut na drugu stranu te je ponovljen postupak mjerenja. Razlog tome je jer uređaj grije samo jednu stranu uzorka, dok je druga strana okrenuta prema dolje. Nakon završenog mjerenja, uzorak se vraća u vrećicu za vakuumiranje i vakuumira.



Slika 21. Sušenje uzorka u halogenom vlagomjeru (foto: Drokan, L., 2022.)



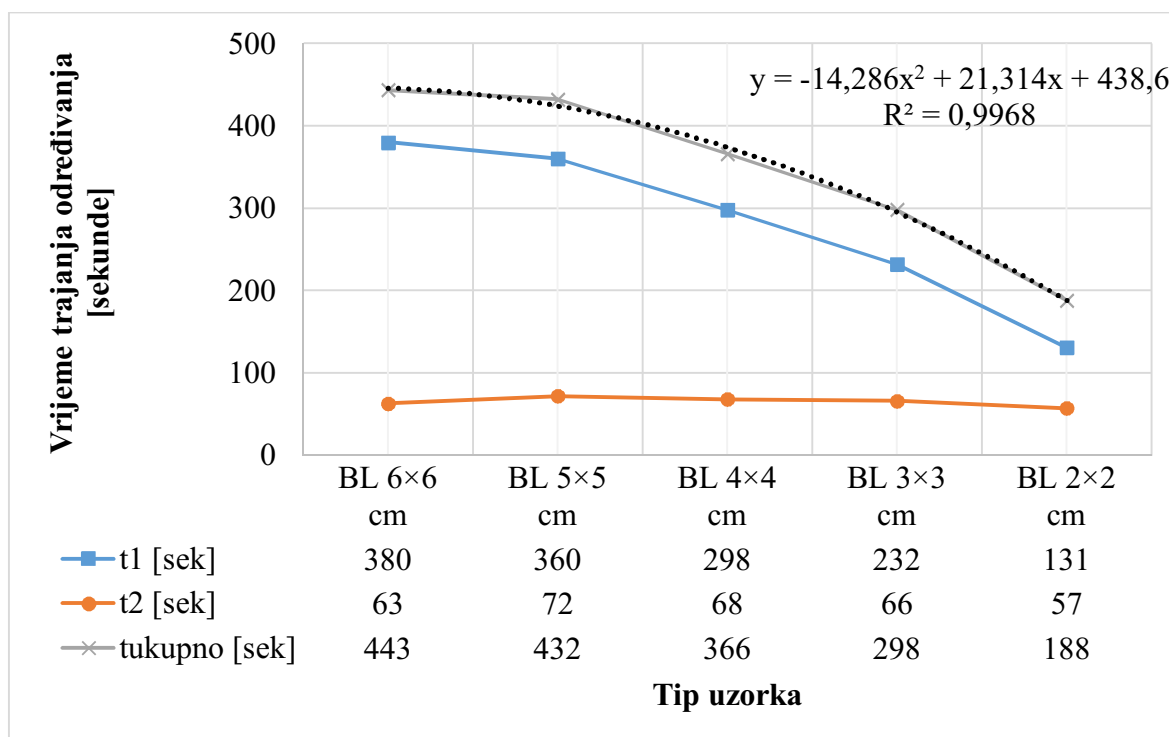
Slika 22. Halogeni vlagomjer (foto: Drokan, L., 2022.)

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Nakon provedenih mjerenja i istraživanja pristupilo se obradi dobivenih podataka te su rezultati prikazani u ovome poglavlju.

4.1. Vrijeme trajanja određivanja sadržaja vode u hrastovom furniru na halogenom vlagomjeru

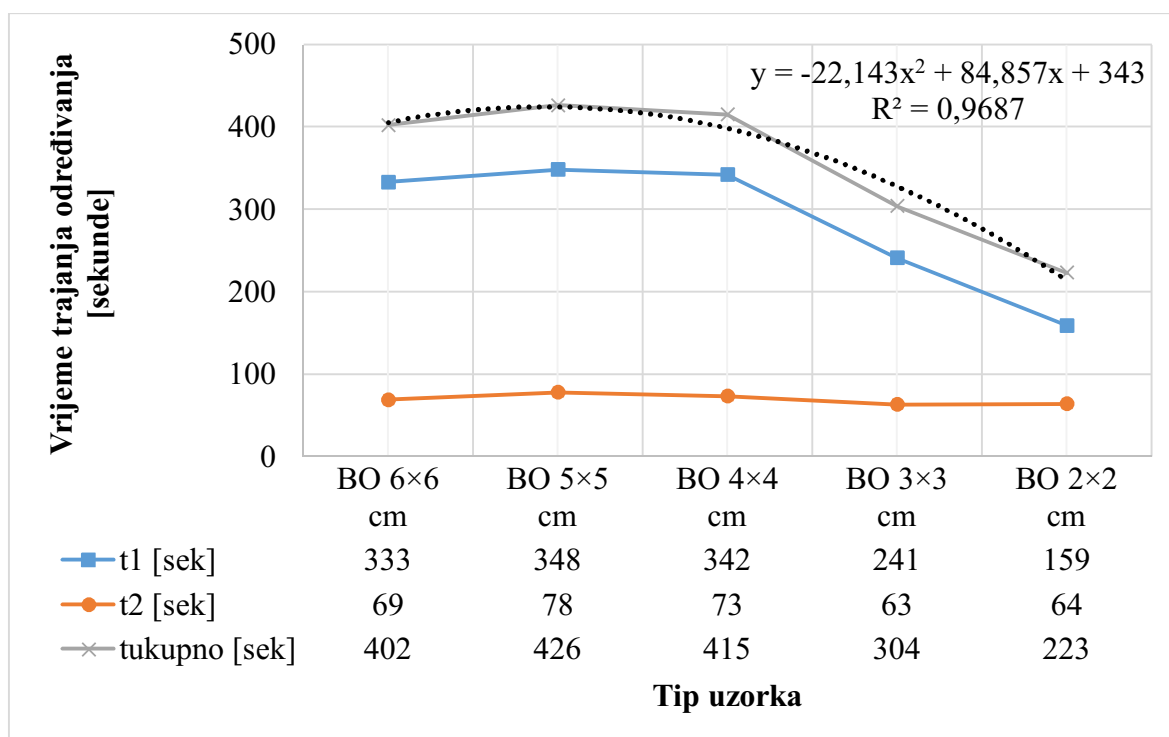
Na naredna dva grafa je prikazano vrijeme trajanja određivanja sadržaja vode u hrastovom furniru na halogenom vlagomjeru. Vrijeme trajanja određivanja je prikazano u sekundama, a s obzirom na veličinu površine furnira. Svaki grafički prikaz prikazuje 3 seta podataka. Prvi set (t1) je vrijeme trajanja prvog određivanja, drugi set (t2) prikazuje vrijeme drugog slijednog određivanja nakon okretanja uzorka, a treći set (ukupno) prikazuje zbroj prvog i drugog testiranja. Prikazane vrijednosti su aritmetičke sredine.



Graf 1. Prosječna vremena trajanja sušenja uzoraka blistače ovisno o površini uzorka.

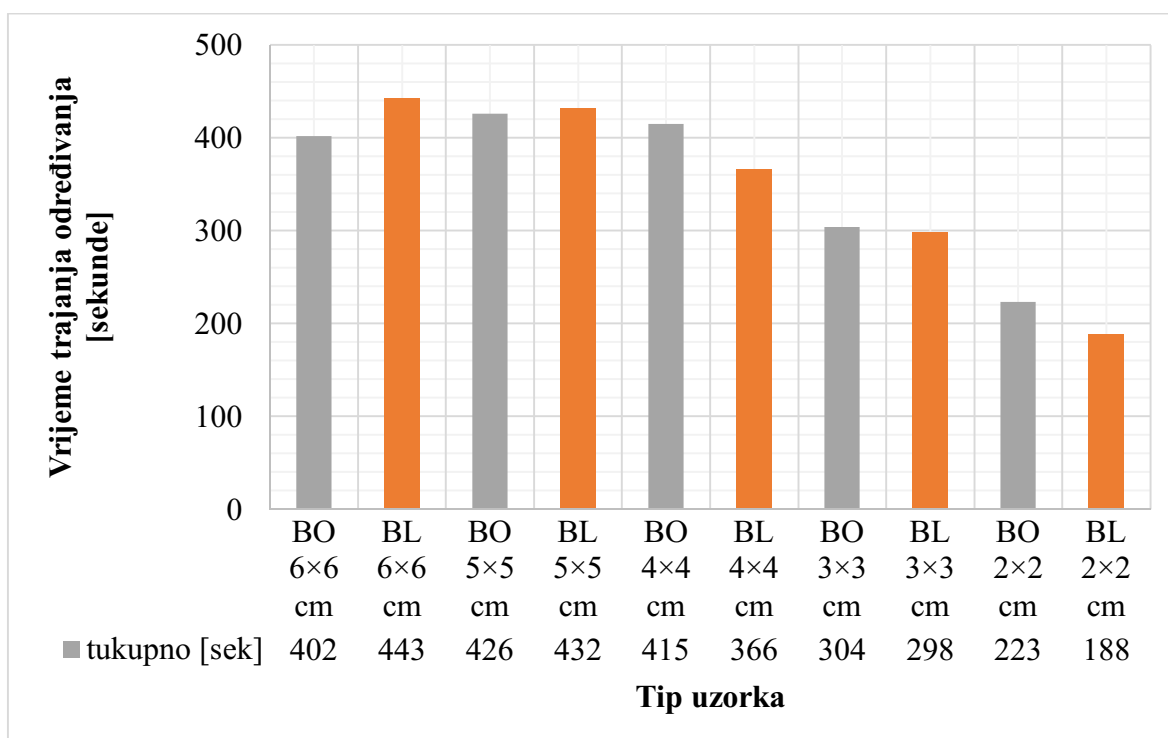
Na grafu 1. su prikazane aritmetičke sredine vrijednosti trajanja procesa sušenja u sekundama za blistače (BL). Iz prikazanih rezultata je vidljivo da se smanjenjem površine

uzorka smanjuje i ukupno vrijeme trajanja sušenja. Navedeno potvrđuje u koeficijent detreminacije izrađen za set podatak za ukupno sušenje, a koji iznosi $R^2 = 0,9968$. Vidljivo je da je prosječno ukupno vrijeme (oba procesa) trajanja sušenja blistača najveće površine 6×6 cm približno 7,38 minuta, a blistača najmanje površine 2×2 cm približno 3,13 minuta. Također, kao što je očekivano prvi proces sušenja traje značajnije duže od drugoga slijednog, jer i nije bilo očekivano da neka značajnija količina vode zaostane nakon prvog procesa.



Graf 2. Prosječna vremena trajanja sušenja uzoraka bočnice ovisno o površini uzorka.

Na grafu 2. prikazane su aritmetičke sredine vrijednosti trajanja procesa sušenja u sekundama za bočnice (BO). Iz prikazanih rezultata je vidljivo da se smanjenjem površine uzorka smanjuje i vrijeme trajanja sušenja. Navedeno potvrđuje u koeficijent determinacije izrađen za set podatak za ukupno sušenje, a koji iznosi $R^2 = 0,9687$. Vidljivo je da je prosječno ukupno vrijeme (oba procesa) trajanja sušenja bočnica najveće površine 6×6 cm približno 6,7 minuta, a blistača najmanje površine 2×2 cm približno 3,72 minute. Također, kao što je očekivano prvi proces sušenja traje značajnije duže od drugoga slijednog, jer i nije bilo očekivano da neka značajnija količina vode zaostane nakon prvog procesa.



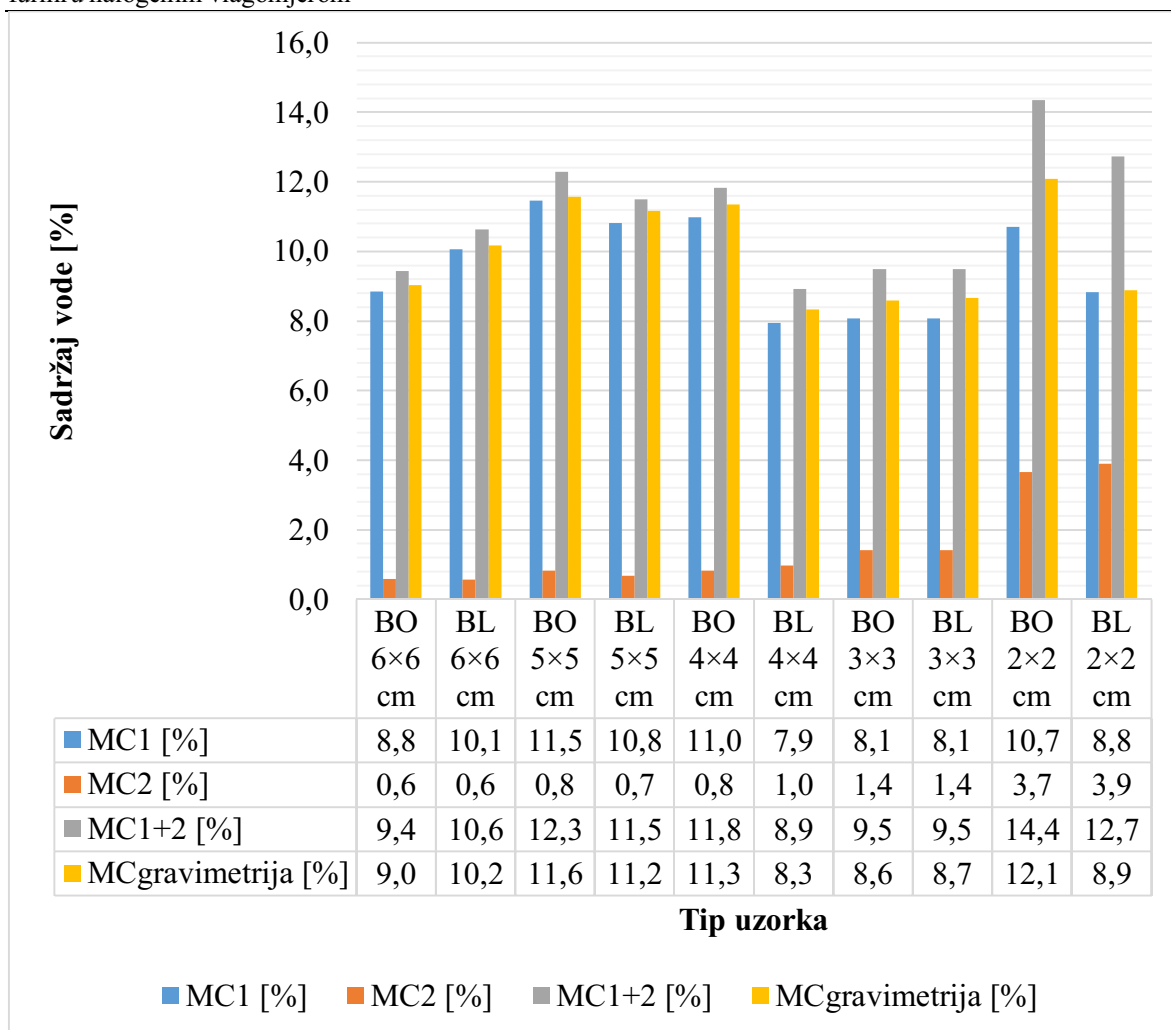
Graf 3. Prosječna ukupna vremena trajanja sušenja uzoraka bočnice i blistače (usporedba).

Na grafu 3. je prikazana usporedba prosječnih ukupnih vremena trajanja sušenja blistača i bočnica u ovisnosti o površinu uzorka. Vidljivo je da krenuvši od najvećih površina, bočnica se suši brže, ali od 4×4 cm kreće brže sušenje blistača koje se nastavlja do najmanje površine uzorka. Navedeno nije bilo očekivano.

4.2. Izmjereni sadržaj vode u hrastovom furniru na halogenom vlagomjeru

Na halogenom vlagomjeru je na svim uzorcima furnira prvo određen sadržaj vode, zatim je uzorak okrenut na drugu stranu te je slijedno na istome uzorku određen i drugi puta sadržaj vode. Navedeno je provođeno iz razloga što u halogenom vlagomjeru uzorak stoji na aluminijskoj posudici, a grijače tijelo ga grije samo sa gornje strane. Stoga je bilo pitanje da li je sva voda uspjela izaći iz uzorka.

Na grafu 4. je prikazan prvi izmjereni srednji sadržaj vode (MC_1), drugi izmjereni srednji sadržaj vode (MC_2), zbroj prvog i drugog srednjeg izmjerenog sadržaja vode ($MC_1 + MC_2$), kao i usporedni srednji izmjereni sadržaj vode dobiven gravimetrijom.



Graf 4. Prosječne izmjerene vrijednosti sadržaja vode za prvo i drugo slijedno mjerenje te zbroj oba mjerenja, uz sadržaj vode određen gravimetrijom.

Prema podacima na grafu 4. se može zaključiti da je većina vode ishlapila iz uzorka za vrijeme prvog mjerenja halogenim vlagomjerom. U drugom slijednom mjerenju je izašlo jako malo vode, pri čemu je vidljivo da je iz uzoraka veće površine izašlo manje vode (oko 1 %), dok je iz najmanjih uzoraka izašlo više vode (od 1,4 % do 3,9 %), a što je jako zanimljivo. Ne može se zaključiti da tekstura uzorka utječe na količinu ishlapljene vode iz uzorka. Također je vidljivo da su vrijednosti sadržaja vode izmjerene tijekom prvog mjerenja jako blizu vrijednostima dobivenima gravimetrijom.

U narednoj tablici je prikazana srednja razlika u masi na tri decimale između sukcesivnih mjerenja 1 i 2 na halogenom vlagomjeru u gramima ($\Delta m_{m1} - m_2$). Prikazana je razlika između srednjeg ukupnog sadržaja vode određene halogenim vlagomjerom i sadržaja vode dobivenog gravimetrijom ($\Delta_{Hal. ukupno} - Grav.$). Prikazana je i razlika između

Drokan, L. 2022.: Istraživanje utjecaja pojedinih činitelja tijekom određivanja sadržaja vode na hrastovom furniru halogenim vlagomjerom
srednjeg sadržaja vode dobivenog gravimetrijski te samo prvog mjerenja halogenim vlagomjerom ($\Delta_{\text{grav.} - \text{hal. 1}}$).

Tablica 2. Prikaz mase drva i sadržaja vode

Uzorak	$\Delta m_{m1 - m2}$ [g]	$\Delta_{\text{hal. ukupno} - \text{grav.}}$ [%]	$\Delta_{\text{grav.} - \text{hal. 1}}$ [%]
	Stupac 1	Stupac 2	Stupac 3
BO 6×6 cm	0,005	0,4	0,2
BL 6×6 cm	0,004	0,4	0,1
BO 5×5 cm	0,003	0,7	0,1
BL 5×5 cm	0,003	0,3	0,3
BO 4×4 cm	0,002	0,5	0,4
BL 4×4 cm	0,002	0,6	0,4
BO 3×3 cm	0,002	0,9	0,5
BL 3×3 cm	0,002	0,8	0,6
BO 2×2 cm	0,002	2,3	1,4
BL 2×2 cm	0,001	3,9	0,0

Iz prethodne tablice prema stupcu 1. je vidljivo da su razlike u masi u dva uzastopna mjerenja na halogenom vlagomjeru vrlo male i da se odnose tek na treću decimalu. Kada se u stupcu 2. gleda razlika između zbroja oba mjerenja u halogenom vlagomjeru i gravimetrije, vidljivo je da zbroj pokazuje veću vrijednost od gravimetrije. No kada gledano stupac 3. i usporedbu gravimetrije i samo prvog mjerenja u halogenom vlagomjeru, tada je vidljivo da je razlika puno manja, uglavnom ispod pola posto više pokazuje gravimetrija. Prema ovim rezultatima izgleda da nije potrebno provoditi drugo uzastopno mjerenje na halogenom vlagomjeru.

5. ZAKLJUČCI

Nakon provedenih istraživanja mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Što je manja površina uzorka hrastovog furnira koji se suši, to je i kraće vrijeme trajanja sušenja. Vrijeme trajanja prvog sušenja je puno duže od drugog slijednog na istom uzorku, što je i bilo za očekivati s obzirom da ne zaostane mnogo vode u uzorku nakon prvog sušenja. Ne može se sa sigurnošću tvrditi da li se brže suši bočnica ili blistača. Prema rezultatima izgleda da se kod većih površina furnira brže suši bočnica, a pri manjim površinama furnira da se brže suši blistača.
2. Prilikom mjerenja na halogenom vlagomjeru, većina vode ishlapi prilikom prvog mjerenja, te prema rezultatima nema potrebe okretati uzorak i provoditi drugo mjerenje. Kada se srednje vrijednosti mjerenja na halogenom vlagomjeru usporede sa srednjim vrijednostima klasične gravimetrije, manja je razlika između prvog mjerenja i gravimetrije, nego između zbroja oba mjerenja i gravimetrije. Pri čemu gravimetrija pokazuje do oko 0,5 % veće vrijednosti.
3. Prema rezultatima istraživanja može se zaključiti da bi se halogeni vlagomjer mogao primijeniti za određivanje sadržaja vode predmetnog furnira u industrijskim uvjetima.

6. Literatura

1. Brezović M., 2014. Tehnologija izrade rezanih (plemenitih) furnira
2. Eaton, E., Caudullo, G., Oliveira, S., de Rigo, D., 2016. *Quercus robur* and *Quercus petraea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. U: San-Miguel-Ayaz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), *European Atlas of Forest Tree Species*. Publ. Off. EU, Luxembourg.
3. HMS d.o.o. (2022): Gann Hydromette Compacta (Pristupljeno 9.7.2022.)
URL: <http://www.hms-servis.hr/proizvodi/vlagomjeri/vlagomjeri-chrome.html>
4. Ivanda, A., (2022): *Određivanje sadržaja vode hrastovog furnira halogenim vlagomjerom u industrijskim uvjetima*. Završni rad. Zagreb: Fakultet Šumarstva i Drvne tehnologije
5. Kollmann F. P., Kuenzi E. W., Stamm A.J., 1975: Principles of Wood Science and Technology II: Wood Based Materials
6. Klarić M., 2016: Vježbe iz predmeta Sušenje drva i drvnih materijala
7. Krpan J., 1965: Sušenje i parenje drva. Drugo prerađeno i prošireno izdanje. Štamparija Vjesnik, Zagreb.
8. Lutz, John F., 1978: Wood veneer: log selection, cutting, and drying. U.S. Dep. Agric., Tech. Bull. No. 1577, p. 137
9. Mešić, N. 1998: Furniri, furnirske i stolarske ploče. Grafičko izdavačko poduzeće „Grafika Šaran“ d.o.o. Sarajevo, Sarajevo.
10. Regent Antiques (2022): French Louis XV „Bureau Du Roi“ cylinder desk. (Pristupljeno 18.6.2022.)
URL: <https://www.regentantiques.com/itemDetails/03572-French-Louis-XV--Bureau-Du-Roi%22-cylinder-desk>
11. Romić R., (2017): *Analiza proizvodnje furnira u Republici Hrvatskoj i usporedba sa zemljama članicama EU*. Diplomski rad. Zagreb: Fakultet Šumarstva i Drvne tehnologije
12. Suerserv Engineering (2022): Vlagomjer za drvo GM620 (Pristupljeno 9.7.2022.)
URL: <https://www.sureserv.com.my/products/gann-ht85t-meter-w-26es-ram-in-electrode-with-2-pcs-50mm-insulated-pin-cable-carrying-case-bk-14-i>
13. Visit Ljubljana (2022): The oldest wheel in the world. (Pristupljeno 9.7.2022.)

Drokan, L. 2022.: Istraživanje utjecaja pojedinih činitelja tijekom određivanja sadržaja vode na hrastovom furniru halogenim vlagomjerom

URL: <https://www.visitljubljana.com/en/visitors/explore/expo/the-oldest-wheel-in-the-world/>

14. <https://cpd4gb.com.hr/wp-content/uploads/2018/10/DRVO-%E2%80%93-materijal-za-zelenu-gradnju-predavanje-RBL.pdf>

7. Životopis

Ime mi je Luka Drokan. Dolazim iz jednog grada u sredini Koprivničko-križevačke županije, Križevaca. Imam 25 godina te sam student Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije. Fakultet sam upisao davne 2015. godine po završetku Srednje gospodarske škole Križevci. Po završetku srednje škole nisam htio nastaviti struku kao veterinar već sam se zaljubio u drvne proizvode. Želio sam saznati kako i koliko je teško od stabla u šumi dobiti gotov proizvod od drva, bio to namještaj, klupa, furnir ili greda.

Kao student treće godine preddiplomskog studija drvnotehnoloških procesa oženio sam se i dobio sam prvo dijete, curicu Juliju koja mi je od tog dana promijenila život. Tek kada se ona rodila, počeo sam studirati kako „spada“. Uz obrazovanje, počevši od srednje škole pa sve do sada, počeo sam se baviti obaranjem ruke. U početku više rekreativno nego profesionalno, ali kako su godine prolazile shvatio sam da mogu puno više. Trenutno sam aktualni svjetski i europski prvak u svojoj kategoriji. Glavni cilj mi je osvojiti para olimpijsko zlato na POI u Los Angelesu 2028. godine.

Kao student 1. godine diplomskog studija drvnotehnoloških procesa dobio sam i drugo dijete, dječaka Donata. On me, uz kćerku, još više pogurao prema naprijed. Uz njih sam shvatio da više nisam ja bitan, nego oni te su svi moji napori kako na fakultetu tako i u sportu bili usmjereni za njih i suprugu.

Trenutno radim u drvno industrijskom poduzeću Mundus Viridis. Kao student bio sam tamo mjesec dana na praksi te su mi ponudili posao. Izuzetno sam zadovoljan i sretan te se veselim nastavku života nakon fakulteta. Znao kako se kaže, sve jednom mora završiti.

Za kraj želio bi još jednom zahvaliti svim djelatnicima Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije za svo znanje koje su mi prenijeli tijekom godina mog studija, a posebno mentoru prof. dr. sc. Miljenku Klariću, bez kojeg ovaj diplomski rad ne bi bio moguć. Nadam se budućoj suradnji, ali ovog puta u poslovnom smislu.

Luka Drokan