

Određivanje sadržaja vode hrastovog furnira halogenim vlagomjerom u industrijskim uvjetima

Ivanda, Anamaria

Undergraduate thesis / Završni 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:108:463380>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-05**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ
DRVNA TEHNOLOGIJA**

ANAMARIA IVANDA

**ODREĐIVANJE SADRŽAJA VODE HRASTOVOG
FURNIRA HALOGENIM VLAGOMJEROM U
INDUSTRIJSKIM UVJETIMA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, srpanj 2022.

Podaci o završnom radu

Autor	Anamaria Ivanda JMBAG: 0248046523
Naslov	Određivanje sadržaja vode hrastovog furnira halogenim vlagomjerom u industrijskim uvjetima
Title	Determination of Oak Veneer Water Content with Halogen Moisture Meter in Industrial Conditions
Predmet	Hidrotermička obrada drva
Mentor	doc. dr. sc. Miljenko Klarić
Komentor	prof. dr. sc. Mladen Brezović
Rad je izrađen	Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zavod za tehnologije materijala
Akad. God.	2021./2022.
Datum obrane	15. srpnja 2022.
Rad sadrži	Stranica: I-III + 29 Slika: 19 Tablica: 6 Grafikona: 4 Navoda literature: 10
Sažetak	U industrijskoj proizvodnji furnira postoji problem kod određivanja sadržaja vode u drvu, iz razloga što gravimetrija dugo traje, a kontaktni vlagomjeri služe samo za procjenu i nisu toliko precizni. Iz tog razloga, u ovom završnom radu testirala se mogućnost primjene halogenog vlagomjera, koji bi mogao provesti gravimetriju u puno kraćem vremenskom periodu. Istraživanje se provodilo na uzorcima hrastovog furnira dimenzija 6x6 cm i debljine 0,57 mm.

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

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

vlastoručni potpis

Anamaria Ivanda

U Zagrebu, 15.7.2022.

Sadržaj

1.	UVOD	1
1.1	Sadržaj vode u drvu	1
1.2	Određivanje sadržaja vode u drvu	2
1.2.1	Normirane metode određivanja sadržaja vode u drvu.....	2
1.2.2	Ostale metode određivanja sadržaja vode u drvu	3
2.	VLAGOMJERI.....	3
2.1	Halogeni vlagomjer	3
2.2	Vremenski interval mjerenja	4
3.	FURNIRI.....	5
3.1	Općenito.....	5
3.2	Povijest furnira	5
3.3	Piljeni furnir	6
3.4	Rezani furnir	6
3.5	Ljušteni furnir.....	6
3.6	Sušenje furnira	7
4.	CILJ ISTRAŽIVANJA.....	7
5.	MATERIJALI I METODE.....	8
5.1	Prikaz proizvodnog procesa u istraživačkom poligonu	8
5.1.1	Oblovina.....	8
5.1.2	Kuhanje trupaca.....	10
5.1.3	Sušenje	12
5.1.4	Određivanje sadržaja vode u industrijskim uvjetima	13
5.2	Materijal.....	13
5.3	Metode.....	14
5.3.1	Određivanje sadržaja vode na halogenom vlagomjeru	14
5.3.2	Određivanje sadržaja vode gravimetrijskom metodom.....	16
6.	REZULTATI I DISKUSIJA.....	17
6.1	Određivanje sadržaja vode uzoraka bočnice	17
6.2	Određivanje sadržaja vode uzoraka blistače	22
7.	ZAKLJUČAK.....	27
8.	LITERATURA	28
9.	ŽIVOTOPIS.....	29

1. UVOD

1.1 Sadržaj vode u drvu

Sadržaj vode vrlo je bitan parametar kvalitete i uporabljivosti proizvoda u drvnoj industriji. Analiza sadržaja vode pomaže industrijama u optimizaciji procesa, kao i poboljšanju kvalitete proizvoda, a time i smanjenju otpada, što zauzvrat povećava profitabilnost.

Kada govorimo o sirovom drvu, povišeni sadržaj vode dovodi do niza problema. Sa postotkom vode višim od 20 % osigurava se prostor za razne štetnike poput gljiva koje dovode do promjene boja i mogu potpuno razoriti strukturu drva. Sadržaj vode u stablu može biti i znatno veći od 200 %, ali kada se slobodna voda sušenjem ekstrahira iz lumena, prosječno 30 % vode i dalje ostaje vezano u staničnoj stijenci. Voda se u drvu može pojaviti kao slobodna voda, koja se nalazi u lumenima drva te je bitna za prenošenje svih hranjivih tvari kroz stablo. Kod procesa isparavanja, prvo isparava slobodna voda, a nakon toga i vezana. Vezana voda nalazi se u stijenkama stanica, te uvelike utječe na toplinska i električna svojstva, ali i, za razliku od slobodne vode, na mehanička svojstva. Kada dođe do gubitka vode iz staničnih stijenci, drvo se uteže, te zbog nejednakog utezanja dolazi do raznih grešaka u strukturi kao što je pucanje materijala, vitoperenje i sl. (Krpan, J., 1965.) Također uz navedene postoji i kemijski vezana voda, koja je vezana za organsku prirodu staničnih stijenci drva, te se ne može odstraniti bez promjene kemijskog sastava drva. Ukoliko ju želimo odstraniti, možemo samo pri temperaturama višim od 150 °C, no pritom uvelike utječemo na promjenu fizičkih i mehaničkih svojstava drva.

Osim „sadržaj vode“, često se upotrebljavaju pojmovi „sadržaj vlage“ ili „gubitak pri sušenju“. Vlaga obično označava prisustvo malih količina vode na površini. Voda prisutna u atmosferi spominje se kao vlažnost, no „sadržaj vlage“ ne odnosi se izričito na vodu. Zato se kod definiranja količine vode u masi uzorka koristi izraz „sadržaj vode“. „Sadržaj vlage“ može se odnositi i na sve druge hlapljive tvari uključujući i vodu u materijalima. U kontekstu tehnika i metoda određivanja sadržaja vlage, pojam „gubitak pri sušenju“ istoznačan je „sadržaju vode“, te se može odrediti gravimetrijskim, kemijskim ili fizikalnim metodama.

U industrijskoj proizvodnji furnira postoji problem kod određivanja sadržaja vode u drvu, iz razloga što gravimetrijska metoda dugo traje, a kontaktni vlagomjeri služe isključivo za procjenu te nisu pouzdani. Ispravan način određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u drvu vrlo je važan za drvno-industrijske proizvodne procese kako bi se drvo na adekvatan način

osušilo bez nastanka grešaka i do željenog konačnog sadržaja vode te da bi se povećala kvaliteta sušenja i kvaliteta finalnog proizvoda. U Republici Hrvatskoj normiranim su sustavom obuhvaćene tri metode određivanja i procjene sadržaja vode u drvu, a to su gravimetrijska metoda, elektrootporna metoda te kapacitativna metoda.

1.2 Određivanje sadržaja vode u drvu

Pravilno određivanje sadržaja vode u drvu temelj je za sve daljnje procese u preradi drva, od samog planiranja izvedbe proizvoda, do procesa proizvodnje i kasnijeg održavanja. Pouzdana metoda za isto jedan je od najbitnijih faktora u procesu određivanja sadržaja vode, time što se smanjuje mogućnost grešaka u proizvodnji, kao i kvalitete finalnog proizvoda. Nepravilno određivanje sadržaja vode u drvu dovodi do proizvodnje finalnog proizvoda sa lošim fizičkim i mehaničkim svojstvima kao što su čvrstoća i krutost, no i mogućnosti pojave gljiva truležnica i plijesni. Takvi propusti na samom početku proizvodnje rezultiraju velikim ekonomskim gubitcima kao i nezadovoljstvom krajnjeg korisnika.

1.2.1 Normirane metode određivanja sadržaja vode u drvu

1.2.1.1 Gravimetrijska metoda

Gravimetrijska metoda određivanja sadržaja vode u drvu smatra se najtočnijom i pouzdanom metodom, a njome se mjere promjene u masi tijekom i nakon određenog temperaturnog programa. Uzorak se suši do apsolutno suhog stanja nakon čega se ponovo izvaže. Problem kod ovakve vrste određivanja je nepraktičnost zbog količine utrošenog vremena. Za mjerenje gravimetrijskom metodom potrebna je vaga sa određenom točnošću te sušionik. Sušenje uzorka provodi se na temperaturi od $103 \pm 2^\circ\text{C}$.

1.2.1.2 Elektrootporna metoda

Drvo je po svojoj prirodi dielektrik, što znači da je vrlo dobar izolator prolasku električne energije kroz drvo. Što drvo sadrži veću količinu vode to će pružiti manji otpor prolasku električne energije, i to je zakonitost koju elektrootporni vlagomjeri koriste u svom radu. U potrebi za brzom, pouzdanom i relativno ne destruktivnom metodom za procjenu sadržaja vode koja se može koristiti u drvnom skladištu, to jest u industrijskim uvjetima, počeo se koristiti elektrootporni vlagomjer. Dijeli se na dvije vrste:

- Mjerači koji mjere električni otpor drva
- Mjerači koji mjere dielektrična svojstva drva; električnu konstantu, električne gubitke ili kombinaciju oba. (Hartley, J., Marchant, J., 1995.)

1.2.1.3 Kapacitetivna metoda

Provodi se pomoću dielektrične konstante, mjere sposobnosti tvari da smanji elektrostatske sile između dva nabijena tijela, a kod drva se povećava sa povećanjem gustoće, temperature i sadržaja vode. Ta međuovisnost dielektrične konstante i sadržaja vode omogućava procjenjivanje vlažnosti drva. Prednost ove metode je praktičnost u uporabi u industrijskim uvjetima. Najčešće se koristi za brzu kontrolu prije završnog oblikovanja proizvoda.

1.2.2 Ostale metode određivanja sadržaja vode u drvu

1.2.2.1 Kemijska metoda

Kemijska metoda uključuje kemijsku reakciju vode i reagensa. Količina vode pretvorene tijekom reakcije može se odrediti iz količine potrošenog reagensa. Najpoznatija metoda temeljena po ovom principu je metoda titracija Karl Fischer. Prednost ove metode je njezina selektivnost, iz razloga što je metoda specifično za određivanje vode u materijalu. Negativna strana korištenja ove metode je previsoka cijena određivanja za drvenu industriju. Iz tog razloga se ne koristi u drvnoj industriji, već više u farmaceutskoj industriji.

1.2.2.2 Destilacijska metoda

Za određivanja sadržaja vode u drvu destilacijskom metodom, uzorci drva moraju biti usitnjeni, nakon čega se 20 do 50 grama uzorka odvaja i premješta u laboratorijsku staklenu tikvicu prethodno zagrijanu i sa dodanim otapalom. Da bi proces isparavanja započeo, tikvica se zagrijava na minimalno 100 °C. Kada proces isparavanja počne, te pare idu do hladila, gdje se odvija proces kondenzacije i otjecanja tekućine u predviđenu graduiranu menzuru.

2. VLAGOMJERI

Vlagomjer je uređaj za procjenjivanje sadržaja vode u drvu, te se pomoću njega može izmjeriti vlaga u laminatima, gredama, furnirima, panelima, letvama, a isto tako i oblovine. Pri mjerenju vlagomjerom postoje dvije metode: bez oštećenja površine materijala ili pomoću ubodnih sondi.

2.1 Halogeni vlagomjer

Halogeni vlagomjer, pripada metodi mjerenja sadržaja vode u drvu bez oštećenja površine materijala, te radi po termo gravimetrijskom načelu ili načelu „gubitka pri sušenju“. Sastoji se od dvije komponente, a to su jedinica za vaganje i jedinica za zagrijavanje.

Postupak započinje bilježenjem početne mase uzorka, u svrhu mjerenja sadržaja vode istog, te se zatim pomoću halogene lampe ili infracrvenog grijača uzorak zagrijava, to jest suši. Tijekom procesa vaga kontinuirano bilježi masu uzorka. U trenutku kada uzorak prestane gubiti na masi, halogeni vlagomjer se samostalno isključuje te izračunava sadržaj vode. Dakle, ukupni gubitak mase u uzorku koristi se za izračun sadržaja vode.



Slika 1. Halogeni vlagomjer (foto: Ivanda, A., 2022.)

2.2 Vremenski interval mjerenja

Posljednjih godina, industrije su u svrhu poboljšanja kvalitete proizvoda stvorile potrebu za brzom analizom vlage duž više proizvodnih i kontrolnih točaka kvalitete. Takve analize mogu generirati značajne količine podataka.

Kako bi se osigurala točnost podataka, podaci za samu analizu trebale bi se jasno definirati kod postupanja sa istima, to jest određenu metodu trebalo bi ograničiti i dodijeliti određenom korisniku na samom analizatoru vlage kako bi se izbjegle greške poput pogreški prijepisa identifikacijskih oznaka uzoraka, netočnost rezultata i slično. Format za obradu podataka trebao bi biti usklađen sa zahtjevima industrije, to jest normama za uporabu u određenim uvjetima.

Halogeni vlagomjeri olakšavaju različite mogućnosti upravljanja podacima, uključujući i ispis, automatsko bilježenje rezultata te upravljanje središnjom bazom podataka. Tiskani podaci mogu se pohraniti u laboratorijske bilješke te ručno prenijeti u Excel. Ako se na jednom uzorku provode različita ispitivanja, praćenje rezultata može postati opterećujuće.

Uzorci mogu biti pogrešno postavljeni, a rezultati izgubljeni. Uzorak koji ćemo koristiti pri određivanju sadržaja vode u ovom radu je hrastov furnir.

3. FURNIRI

3.1 Općenito

Industrija furnira obuhvaća proizvodnu tehniku za izradu dekorativnih visoko kvalitetnih površinskih materijala, načinjenih od pravog drva. U konvencionalnoj proizvodnji furnira, postupak proizvodnje započinje skidanjem kore trupca, takozvanim okoravanjem, nakon čega se trupci prepile na željeni broj dijelova. Nakon toga se zagrijavaju, uglavnom potapaju u vodu narednih nekoliko dana na povišenoj temperaturi, kako bi ih se pripremili za rezanje ili ljuštenje koje slijedi radi dobivanja furnira. Rezanjem se dobivaju furniri različitih debljina, pri čemu se, ovisno o postupku rezanja u dobivenom proizvodu javlja razlika između furnira koji je rezan horizontalno ili vertikalno, ljuštenog furnira ili rotacijskog rezanja ili furnira od ostatka debla koje se dobiva ekscentričnim rezanjem.

3.2 Povijest furnira

Furniri su tanki listovi drva debljine od 0,2 do 10 mm, najčešće debljine od 0,5 do 3,5 milimetara, a prvi zabilježeni dokazi o uporabi furnira u svijetu dolaze iz staroegipatskih kraljevskih grobnica, oko 3000. pr. Kr. Pronađen je na drvenim predmetima u svrsi dekoracije. Iz razdoblja antičke Grčke, pronadjeni su kreveti, kao i žrtvenici ukrašeni furnirom, dok se u rimsko doba furnir koristio u svrhu dekoracije stolova. Kasnije, u srednjem vijeku, furnir se koristio za ukrašavanje predmeta na dvorovima francuskih vladara. Do 1812. furnir se izrađivao ručno tehnikom piljenja ili cijepanja, do izuma prve furnirske pile, no već 1834. francuski inženjer Charles Picot, patentirao je prvi stroj za rezanje furnira, a isti se stroj primjenjuje u proizvodnji od 1860. Što se tiče furnira dobivenog tehnikom ljuštenja, prva je ljuštilica patentirana 1844., te je uz nož imala i pritisnu letvu. Mogla je ljuštiti trupce duljine do 2 metra, uz brzinu ljuštenja 4-5 m/min (Brezović, M., 2021.).

U Hrvatskoj se, kao i drugdje u svijetu, furnir ručno proizvodio za vlastite potrebe, sve dok 1901. godine nije pokrenuta industrijska proizvodnja u današnjem Slavonskom Brodu, te je osnovano poduzeće Slavonija, koja je od 1913. godine postala velika tvornica furnira, kao prvi i najveći takav pogon na ovom dijelu Europe (Brezović, M., 2021.). Furnire razvrstavamo na rezane, piljene furnire te furnire dobivene tehnikom ljuštenja.

3.3 Piljeni furnir

Piljeni furnir danas se rijetko proizvodi, iz razloga što se takvim načinom izvedbe stvaraju veliki gubici u sirovini zbog propiljka koji ostavlja pila. Kod izrade piljenih furnira, isti se izrađuju piljenjem na furnirskom jarmu ili segmentnoj kružnoj pili. Furnirski jaram ima pomak u vertikalnom smjeru. Pila je debela 0,9 mm, a zubi su joj trokutasti, razvrćeni izmjenično na obje strane, na svaku od 0,25 do 0,30 mm, a mogu piliti u dva smjera. Na propiljku se gubi i do 140 % od debljine furnira (Brezović, M., 2021.),

Segmentna kružna pila ima metalnu ploču sa segmentima debljine 1,2 mm. Promjer pile je 2050 mm, sa brojem okretaja od 480/minuti i brzinom piljenja od 52 m/min. Piljeni furniri su kvalitetniji od ljuštenih i rezanih iz razloga što nemaju pukotina, te im nije izmijenjena boja. Unatoč kvaliteti, takva se vrsta furnira rijetko proizvodi. Slučajevi u kojima se još koriste su kada je u izradi predmeta tekstura i kvaliteta vrlo bitna, a cijena ne drži glavnu ulogu kao što su furniri za muzičke instrumente, uglavnom od johe i javora, te furniri od kruške za proizvodnju klavira (Horvat, I. i Krpan, J., 1969.).

3.4 Rezani furnir

Kod izrade furnira rezanjem, trupci za furnire raspiljuju se tračnom pilom ili na horizontalnoj jarmači. Dobiveni komadi se prvotno zagriju, nakon čega im se skida kora, čiste se četkama te se iz njih uklone strana tijela poput komada metala ili kamena, a zatim se prerađuju na furnirskom stroju sa furnirskim nožem. U njemu nož pravocrtnim kretanjem, bez skidanja strugotine s površine piljenice odvaja tanki list, furnir. Pri tome se materijal na mjestu rezanja pridržava pritiskom letvom.

3.5 Ljušteni furnir

Zadnja metoda izrade furnira je izrada furnira tehnikom ljuštenja. Ljušteni furnir proizvodi se na ljuštilicama, konstruiranim na principu teških tokarskih klupa. Ljušteni furnir pretežno se koristi za proizvodnju furnirskih i stolarskih ploča, pa se ponekad naziva i konstrukcioni furnir iz razloga što služi za konstrukciju ploče (Horvat, I. i Krpan, J., 1969.).

Ljuštilice se grade u različitim veličinama s obzirom na promjer trupca koji može ljuštiti (od 400 do 2000 mm), i njegovu dužinu (od 800 do 3300 mm). Zagrijan, očišćen, pregledan i prikraćen trupac namjesti se pomoću dizalice ili automatski u ljuštilicu, obradi se na oblik, a zatim ljušti. Za vrijeme ljuštenja trupac se okreće oko svoje uzdužne osi, a k središtu mu se približava nož.

3.6 Sušenje furnira

Bitan dio proizvodnje furnira je postupak sušenja furnira. Ovaj postupak varira od sušenja proizvoda kako bi sadržaj vode u furniru pao ispod 20 % sadržaja vode, iz razloga što bi veći postotak značio mogućnost pojave plijesni. Drugi način sušenja je sušenje furnira koji se lijepe sa vrućim fenolnim ljepilom, nakon čega se prešaju pa iz toga razloga furnir mora imati 5 % sadržaja vode ili niže. Proizvodi kao što je dekorativni furnir nalazi se vrijednostima između dva navedena slučaja te se suši na 8-10 % sadržaja vode. U svim navedenim slučajevima, najveći kriterij za sušenje je trošak, tj. pronalaženje načina sušenja sa najnižim ukupnim troškom.

Budući da je većina operacija u proizvodnji furnira postavljena u pravolinijski proizvodni sustav, potrebno je imati i sustav brzog sušenja materijala. Neke od poželjnih karakteristika u proizvodnji furnira su da:

- sušeni furnir ima ujednačeni sadržaj vode
- suši se bez pojave grešaka poput vitoperenja i koritavnosti
- bude bez rascjepa i drugih grešaka
- površina bude u stanju pogodnom za lijepljenje
- furnir ima traženu boju (Lutz, J.F., 1974.)

4. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja ovog završnog rada bio je procijeniti efikasnost i ekonomičnost uporabe halogenog vlagomjera u industrijskim uvjetima. Odnosno, može li se halogeni vlagomjer upotrijebiti u industrijskim uvjetima u proizvodnji hrastovog furnira. Istraživački poligon za provođenje istraživanja mjerenja halogenim vlagomjerom u industrijskim uvjetima i uzimanje uzoraka bilo je jedno drveno prerađivačko poduzeće iz Vinkovaca, koje se bavi proizvodnjom furnira. Proizvodi se izrađuju od hrasta lužnjaka, a svi proizvodi ovog poduzeća nose oznake jedne od globalno priznatih organizacija za certificiranje proizvoda od drva, „Forest Stewardship Council“ **FSC**. Istraživanje se provodilo u prostorijama Fakulteta Šumarstva i drvne tehnologije u Zagrebu. Sa ukupno 120 mjerenja u svrhu ovog istraživanja, testiralo se 60 uzoraka prikupljenih na istraživačkom poligonu.

5. MATERIJALI I METODE

5.1 Prikaz proizvodnog procesa u istraživačkom poligonu

5.1.1 Oblovina

Sama proizvodnja furnira započinje dovozom sirovih trupaca na stovarište gdje se trupci sortiraju po debljinskim razredima (40-49,50-59 itd.). Pravilno skladištenje i zaštita oblovine jedan je od osnovnih faza u pravilnom iskorištenju sirovine. Nakon slaganja, trupci se kontinuirano prskaju. Ova metoda zaštite trupaca temelji se na kontinuiranom vlaženju oblovine velikim količinama vode u toku cijelog dana. Cilj ovakve zaštite je stvaranje mikrokline kako bi se postigla maksimalna zaštita od insekata i gljiva, te da ne bi došlo do oksidacije i nastanka crvenih mrlja kada se govori o hrastu. Zaštita ovog tipa u prekinutim vremenskim intervalima prouzročila bi suprotan efekt, odnosno ubrzanju oštećenja oblovine (Mešić, N., 1998.). Prije samog rezanja trupca, isti se označava sa odgovarajućom pločicom koja označava razred kakvoće trupca, kao što su F1, F2 itd., a nakon što se izreže u finalni proizvod na isti se nalijepi bijela naljepnica sa barkodom i informacijama o vrsti i kvaliteti proizvoda. Kako bi se postiglo što veće iskorištenje sirovine, trupac se reže na prizmatičan oblik koji isto i omogućuje.



Slika 2. Trupci na stovarištu (foto: Ivanda, A., 2022.)



Slika 3. Sustav zaštite trupaca prskanjem (foto: Ivanda, A., 2022.)



Slika 4. Prizmatično izrezani trupac (foto: Ivanda, A., 2022.)



Slika 5. Poprečni presjek trupca označen za daljnje rezanje (foto: Ivanda, A., 2022.)

5.1.2 Kuhanje trupaca

Prije bilo kakve fine obrade ili izrade finalnog proizvoda, trupci izrezani na prizmatičan oblik kuhaju se u jamama (*Slika 6, 7*). Sa ciljem izrade furnira jednolične debljine, kao i glatkoće i čvrstoće, potrebno je dovesti drvo u pogodno stanje za takav proces. Osnovni cilj je omekšavanje drva, kao i povećavanje plastičnosti i sadržaja vode, što se postiže hidrotermičnom pripremom oblovine u vidu kuhanja, parenja, zagrijavanja električnom energijom i sl. Sirovo drvo ima veliki koeficijent vodljivosti temperature, pa se najbolji rezultati postižu na oblovinci koja se prethodno nalazila u sirovom stanju. Od 8 jama koje su dostupne u ovom poduzeću, tri su velike sa kapacitetom od 32 kubika, a pet je manjih sa kapacitetom do 25 kubika sirovine.

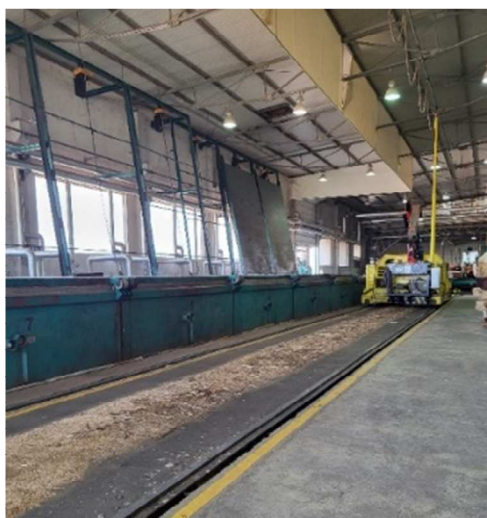
Tijekom cijelog procesa kuhanja trupaca prati se temperatura prema zadanim parametrima (*Slika 7*), te se kuhanje prekida kada se postignu zadane vrijednosti. Proces hidrotermičke pripreme izvodi se u tri faze; zagrijavanju trupca nakon čega se trupac kuha, nakon čega kreće izjednačavanje temperature. Sadržaj vode se mijenja hidrotermičkom obradom, pa tako oblovinci sa početnim sadržajem vode nižim od točke zasićenosti vlaknaca povećava sadržaj vode tijekom procesa obrade kuhanjem ili parenjem. Iz razloga što se termičkom obradom drveta omekšava lignin, smanjuje je otpor prilikom prodiranja noža u drvo te povećava plastična svojstva drva (Mešić, N., 1998.).



Slika 6. Jama za kuhanje trupaca (foto: Ivanda, A., 2022.)



Slika 7. Temperaturna mjerenja trupaca u fazama kuhanja (foto: Ivanda, A., 2022.)



Slika 8. Jame za kuhanje trupaca (foto: Ivanda, A., 2022.)



Slika 9. Podizanje i spuštanje trupaca kranom u jamu (foto: Ivanda, A., 2022.)

Ovaj je proces bitan iz razloga što furnir mora biti mokar i topao kako bi se mogao modelirati, te kako bi se mogao izrezati na tražene debljine koje su u ovom slučaju bile 0,57 mm kod furnira dobivenima od bočnice i blistače. Dobiveni furnir vrlo je bitno kvalitetno posušiti kako bi postigao sadržaj vode pogodan za uvjete u kojima se nalazi.

5.1.3 Sušenje

Jedna od najvažnijih faza proizvodnje furnira je sušenje furnira, a odvija se u sušarama. Sami proces sušenja ne traje dugo zbog male debljine furnira, u ovom slučaju 0,57 mm. Glavna zadaća ovog procesa proizvodnje je smanjivanje sadržaja vode na željeni postotak od 5 do 12 % sadržaja vode, ovisno o kasnijoj primjeni.

Brzina sušenja drva jednaka je količini vode koja ispari sa jedinice površine u jedinici vremena. Izražava se u kilogramima isparene vode po kvadratnom metru na sat. Brzinu sušenja može se promatrati u stalnim i u promjenjivim uvjetima sušenja. Uvjeti za sušenje su brzina strujanja zraka, temperatura te relativna vlaga zraka (Krpan, J., 1965.).



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

5.1.4 Određivanje sadržaja vode u industrijskim uvjetima

Klasično gravimetrijsko određivanje sadržaja vode na 103 °C u sušioniku zahtjeva dulji vremenski period koji je u industrijskim uvjetima teško ispuniti zbog velikih zahtjeva za što bržom isporukom proizvoda, te sa ekonomskog stajališta ne daje adekvatne rezultate.

Iz toga se razloga nakon sušionice često radi gravimetrijsko određivanje ubrzanim procesom na 150 °C na otprilike 90 minuta na uzorku dimenzija 10 x 10 cm. Nakon što se postigne željeni sadržaj vode u furniru, slijedi hlađenje furnira na 80 °C kako bi se mogao sigurno izvaditi.

Paketi se slažu po 32 lista furnira na debljinu koja se u ovom pogonu radi. Kondicioniranje se u ovom procesu radi od 2 do 3 dana nakon čega se šalje na paketne škare gdje se reže na naručenu širinu i dužinu. Radi provjere, sadržaj vode se naknadno može provjeriti ručnim vlagomjerom (*Slika 11*).

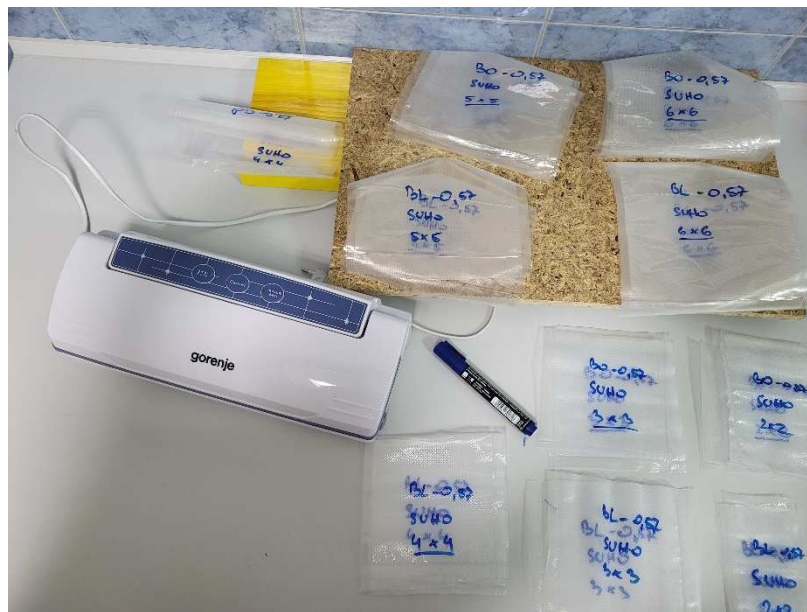


Slika 11. Ručni vlagomjer za provjeru sadržaja vode (foto: Ivanda, A., 2022.)

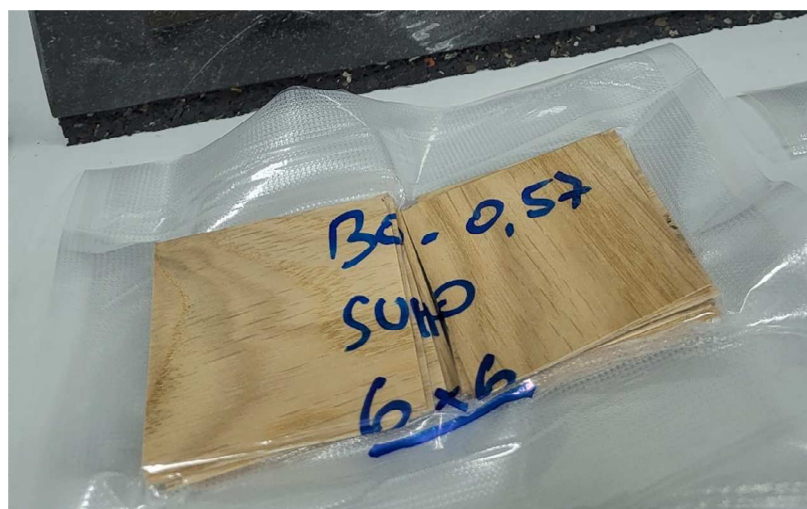
5.2 Materijal

Odmah po izradi, iz odabranih paketa furnira su na paketnim škarama izrezane trake furnira širine 6 cm. Isti su uzorci potom vakumirani te označeni podacima o debljini i teksturi (blistača i bočnica). Za ovo istraživanje uzeti su uzorci u suhom stanju, nakon sušionice.

Po dolasku u laboratorij, uzorci su redom vađeni iz vakuum vreća kako bi se izrezali na tražene dimenzije. Za ovaj eksperiment, potrebne dimenzije za blistaču i bočnicu bile su 6x6 cm. Nakon rezanja uzoraka na zadane dimenzije, isti su ponovo vakumirani u manje vakuum vreće, također označene sa podacima o dimenzijama i teksturi furnira. U svaku vakuum vreću, stavljalo se po 30 uzoraka jednake teksture i dimenzije.



Slika 12. Priprema vakuum vreća za izrezane uzorke (foto: Ivanda, A., 2022.)



Slika 13. 30 uzoraka vakumiranih nakon rezanja na nove dimenzije (foto: Ivanda, A., 2022.)

5.3 Metode

5.3.1 Određivanje sadržaja vode na halogenom vlagomjeru

Sami postupak započinje vaganjem uzorka na vagi (Slika 14) prije određivanja sadržaja vode u halogenom vlagomjeru. Uzorak je vagan na aluminijskoj laboratorijskoj posudi čiju se masu tarira prije stavljanja uzorka na vagu. Nakon vaganja uzorak se stavlja u halogeni vlagomjer također na tariranu aluminijsku posudu. Halogeni vlagomjer prethodno je konfiguriran prema uputstvima iz priručnika dobivenim uz uređaj. U svrhu ovog istraživanja

uzorak je bilo potrebno osušiti sa obje strane, okrećući uzorak nakon svakog mjerenja. Prva temperatura na koju je postavljen halogeni vlagomjer je 103 °C.



Slika 14. Laboratorijska vaga (foto: Ivanda, A., 2022.)



Slika 15. Halogeni vlagomjer u procesu određivanja sadržaja vode uzorka bočnice (foto: Ivanda, A., 2022.)

Svaki od 30 uzoraka testiran je sukcesivno, prvo određujući sadržaj vode obje strane na 103 °C, a zatim se promjenom postavki temperature na halogenom vlagomjeru, uzorak neprekidno testirao dalje na temperaturi od 150 °C. Uzorak je ponovno okrenut na prvu stranu kako bi se rezultati ovog mjerenja nastavili na prethodno.

Mjerenje na ovoj temperaturi radilo se iz razloga što je određivanje sadržaja vode uzorka na temperaturi od 150 °C česta praksa u industrijskim uvjetima proizvodnje, gdje klasično gravimetrijsko određivanje na 103 °C u trajanju od 24 sata ne daje brze rezultate, te je iz tog razloga ne ekonomično.

5.3.2 Određivanje sadržaja vode gravimetrijskom metodom

Nakon završetka testiranja uzoraka bočnice i blistače, istih dimenzija 6x6 cm i debljine 0,57 mm, iste je bilo potrebno završno osušiti u sušioniku na temperaturi 103 ± 2 °C na 24 sata. Masa uzoraka prije sušionika očitana je sa halogenog vlagomjera na kraju određivanja svakog uzorka zasebno. Uzorci su ravnomjerno položeni u sušionik na predviđeni razmak kako bi se što ravnomjernije posušili (*Slika 17*). Masa u tablicama navedena kao m_3 , dobivena je mjerenjem mase uzoraka na standardnoj laboratorijskoj vagi nakon 24-satnog mjerenja u sušioniku. Kako bi uzorci nakon sušionika ostali jednake mase, tj. ne upijali vlagu iz zraka, isti su posloženi u eksikator, vrstu laboratorijskog pribora za čuvanje higroskopskih stvari (*Slika 16*).



Slika 16. Uzorci položeni u eksikator (foto: Ivanda, A., 2022.)

Unatoč brzom odlaganju uzoraka u eksikator, na istima je zabilježen porast na masi uslijed upijanja vlage iz atmosfere. Tako je kod uzoraka bočnice zabilježen rast u masi nakon sušionika od 0,024 grama, dok je kod blistače iznosio 0,021 grama. Takve su pojave česte iz razloga što je drvo higroskopsan materijal, što znači da upija ili zadržava vlagu iz okoline.



Slika 17. Sušionik sa uzorcima furnira (foto: Ivanda, A., 2022.)

6. REZULTATI I DISKUSIJA

6.1 Određivanje sadržaja vode uzoraka bočnice

Sušio se uzorak bočnice, dimenzija 6x6 cm, debljine 0,57 mm te vakuumiran u suhom stanju. Rezultati nakon sušenja prve strane pokazali su značajni gubitak sadržaja vode, u prosjeku 8,2 %. Na uzorku se nakon sušenja prve strane nisu vidjele značajne promjene u obliku u vidu grešaka poput vitoperenja. Uzorak je bilo potrebno položiti i kasnije okretati pomoću pincete radi što manje mogućnosti prelaska vlage sa ruku na uzorak. Nakon osušene druge strane uzorka na 103 °C preostali sadržaj vode nije prelazio 1 %, dok je u prosjeku iznosio 0,5 % na temelju informacija 30 testiranih uzoraka.

Promatrajući utjecaj temperature, u ovom dijelu testiranja 103 °C, dobiveni su sljedeći rezultati. Vrijednosti uzoraka sortirani su od najmanjeg do najvećeg, a sortirani su po vrijednosti m_1 , masa uzorka prije određivanja sadržaja vode prve strane u halogenom vlagomjeru na 103 °C (**Tablica 1**). Odnos intervala sušenja na gubitke na masi uzorka pokazuje vrlo male razlike u odnosu intervala sušenja uzorka sa najmanjim i najvećim gubitkom mase nakon određivanja.

Tablica 1: Rezultati testiranja uzorka bočnice, dimenzija 6x6 cm, debljine 0,57 mm na 103 °C na halogenom vlagomjeru

m1 - masa prije određivanja			MC1 (%) - sadržaj vode nakon 1. strane							
m2 - masa nakon određivanja			MC2 (%) - sadržaj vode nakon 2. strane							
mNH1 - masa nakon sušenja prve strane										
mNH2 - masa nakon sušenja druge strane										
Temperatura: 103°C			Halogeni vlagomjer 1. strana				Halogeni vlagomjer 2. strana			
Redni broj	Oznaka uzorka	m1	MC1(%)	t1 (min)	mNH1	MC2(%)	t2 (min)	mNH2	m2 = m1-mNH1	
1	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,3529	8,7	0:05:43	1,246	0,4	0:00:54	1,245	0,108	
2	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,3699	8,0	0:04:51	1,268	0,6	0:00:54	1,265	0,105	
3	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,3703	8,5	0:04:29	1,263	0,6	0:01:11	1,258	0,112	
4	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,3734	8,9	0:05:34	1,263	0,6	0:01:19	1,259	0,114	
5	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,3747	8,5	0:05:12	1,265	0,4	0:01:05	1,264	0,111	
6	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,3867	7,5	0:04:46	1,274	0,4	0:00:54	1,271	0,116	
7	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,3888	8,7	0:05:49	1,279	0,5	0:00:49	1,274	0,115	
8	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,3902	7,5	0:04:25	1,287	0,4	0:00:55	1,285	0,105	
9	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,3902	7,6	0:04:49	1,282	0,5	0:00:55	1,279	0,111	
10	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,3902	8,7	0:04:55	1,281	0,5	0:01:01	1,279	0,111	
11	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,3986	8,0	0:04:41	1,294	0,4	0:00:55	1,291	0,108	
12	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4039	8,7	0:04:11	1,293	0,7	0:01:20	1,287	0,117	
13	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4067	8,2	0:05:06	1,299	0,4	0:01:05	1,297	0,110	
14	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4099	8,3	0:05:50	1,294	0,5	0:01:07	1,289	0,121	
15	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4106	7,9	0:05:06	1,298	0,4	0:01:12	1,296	0,115	
16	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4145	8,0	0:04:20	1,309	0,5	0:00:50	1,308	0,107	
17	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4150	7,9	0:04:37	1,311	0,5	0:01:01	1,306	0,109	
18	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4163	8,3	0:05:37	1,294	0,4	0:01:07	1,292	0,124	
19	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4195	7,3	0:03:59	1,311	0,5	0:00:52	1,309	0,111	
20	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4211	9,0	0:05:08	1,303	1,0	0:01:18	1,300	0,121	
21	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4256	8,5	0:04:42	1,313	0,7	0:00:56	1,308	0,118	
22	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4266	7,8	0:05:00	1,318	0,5	0:01:12	1,315	0,112	
23	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4345	8,2	0:04:51	1,326	0,4	0:00:56	1,323	0,111	
24	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4423	8,2	0:04:36	1,323	0,4	0:01:17	1,320	0,122	
25	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4503	8,5	0:05:18	1,336	0,7	0:00:53	1,333	0,117	
26	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4611	8,2	0:04:36	1,348	0,2	0:00:51	1,347	0,114	
27	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,4820	8,7	0:05:22	1,361	0,4	0:00:59	1,357	0,125	
28	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,5045	7,9	0:03:43	1,398	0,9	0:01:20	1,391	0,114	
29	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,5200	9,2	0:05:25	1,395	0,7	0:01:03	1,391	0,129	
30	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,5283	7,4	0:04:35	1,41	0,5	0:00:54	1,408	0,120	

Za razliku od određivanja sadržaja vode prve strane u halogenom vlagomjeru, određivanje druge strane pokazuje značajnije razlike u masi uzoraka istih dimenzija. No, vremenski intervali određivanja preostalog sadržaja vode se razlikuju u svega par sekundi, pa je tako za najkraći interval sušenja bilo potrebno 49 sekundi, dok je najduže određivanje trajalo jednu minutu i 20 sekundi. Tako se iz **Tablice 1** može iščitati da vremenski interval sušenja nije uvelike promijenio tijekom sušenja, te da su razlike u masi približno slične kod uzorka sa najvećom i najmanjom masom, pa je tako najmanja izgubljena masa iznosila 1,245 grama, dok je najveća iznosila 1,408 grama.

Vidljive promjene nakon postupka određivanja na prvoj strani, uočene su u obliku uzorka u vidu vitoperenja, no nakon određivanja na drugoj strani uzorak se vratio u svoj prvobitan položaj prije samog određivanja.

Kada promatramo sadržaj vode nakon sušenja obje strane u halogenom vlagomjeru na 103 °C, vidljivo je da je izmjereni sadržaj vode nakon sušenja prve strane u halogenom vlagomjeru neizmjereno veći od izmjerenog sadržaja vode nakon sušenja druge strane uzorka. U **Tablici 2**

prikazan je omjer sadržaja vode u postotku nakon sušenja obje strane, pri čemu prvi stupac prikazuje postotak očitano sadržaja vode nakon prve strane, dok drugi stupac prikazuje preostali postotak sadržaja vode u uzorku nakon sušenja druge strane, za svih 30 uzoraka.

Tablica 2. Gubitak sadržaja vode bočnice u postotku nakon sušenja obje strane u halogenom vlagomjeru na 103 °C

95,60%		4,40%
93,02%		6,98%
93,41%		6,59%
93,68%		6,32%
95,51%		4,49%
94,94%		5,06%
94,57%		5,43%
94,94%		5,06%
93,83%		6,17%
94,57%		5,43%
95,24%		4,76%
92,55%		7,45%
95,35%		4,65%
94,32%		5,68%
95,18%		4,82%
94,12%		5,88%
94,05%		5,95%
95,40%		4,60%
93,59%		6,41%
90,00%		10,00%
92,39%		7,61%
93,98%		6,02%
95,35%		4,65%
95,35%		4,65%
92,39%		7,61%
97,62%		2,38%
95,60%		4,40%
89,77%		10,23%
92,93%		7,07%
93,67%		6,33%

Možemo primijetiti da je tijekom sušenja prve strane u halogenom vlagomjeru očitani sadržaj vode u prosjeku iznosio čak 94,10 % od ukupno izmjerenog sadržaja vode, dok je nakon sušenja druge strane prosjek preostalog sadržaja vode iznosio 5,90 %. Najveći očitani sadržaj vode nakon sušenja prve strane bio je 97,62 %, tj. gubitak od 0,1131 gram na uzorcima debljine 0,57 mm i dimenzije 6x6 cm. Najmanji očitani sadržaj vode nakon sušenja prve strane iznosio je 89,77 %, no isti taj uzorak bilježi i najveći postotak preostalog sadržaja vode nakon sušenja druge strane od 10,23 %, što je u ovom slučaju gubitak od 7,9 % sadržaja vode nakon prve strane i preostalih 0,9 % sadržaja vode nakon sušenja druge strane.

Gubitak u gramima za spomenuti uzorak iznosi 0,1065 grama, slično kao i uzorku sa najvećim gubitkom sadržaja vode nakon sušenja prve strane, što nam dokazuje da je gubitak na masi približan kod svih uzoraka nakon sušenja obje strane.

Masa uzorka m_1 jednaka je masi uzorka m_{NH_2} iz rezultata testiranja uzorka na 103 °C. Vremenski interval određivanja sadržaja vode na ovoj temperaturi trajao je puno kraće, prvenstveno i razloga što je većinski sadržaj vode odstranjen tijekom sušenja na prethodnoj temperaturi, a i iz razloga što dolazi do intenzivnijeg zagrijavanja sa temperaturi od 150 °C.

Tablica 3. Rezultati testiranja bočnice, dimenzija 6x6 cm, debljine 0,57 mm na 150 °C na halogenom vlagomjeru

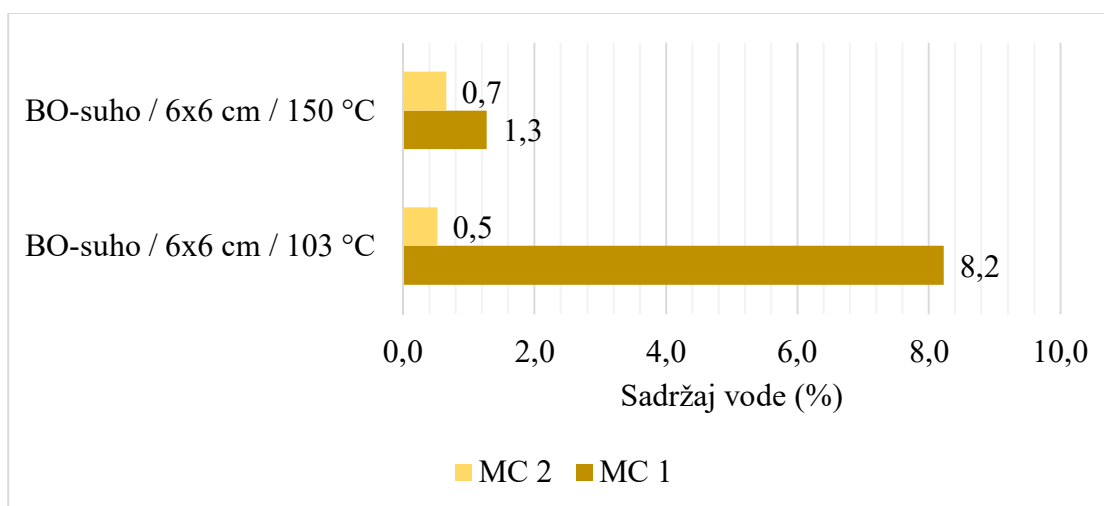
Temperatura: 150°C		Halogeni vlagomjer 1. strana				Halogeni vlagomjer 2. strana				
Redni broj	Oznaka uzorka	m_1	MC ₁ (%)	t_1 (min)	m_{NH_3}	MC ₂ (%)	t_2 (min)	m_{NH_4}	$m_2 = m_1 - m_{NH_3}$	m_3
1	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,245	1,10	0:01:25	1,235	0,60	0:00:48	1,232	0,013	1,26648
2	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,258	1,00	0:00:57	1,248	1,00	0:00:49	1,244	0,014	1,26435
3	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,259	1,40	0:01:21	1,247	0,50	0:00:53	1,245	0,014	1,25383
4	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,264	1,00	0:00:59	1,253	0,50	0:00:53	1,25	0,014	1,35425
5	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,265	1,40	0:01:39	1,258	1,10	0:01:14	1,249	0,016	1,33653
6	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,271	1,40	0:01:06	1,261	1,00	0:00:53	1,258	0,013	1,31068
7	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,274	1,30	0:01:20	1,264	0,90	0:01:31	1,261	0,013	1,31655
8	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,279	1,30	0:01:34	1,264	0,50	0:00:50	1,263	0,016	1,3172
9	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,279	1,00	0:00:56	1,272	0,80	0:00:59	1,267	0,012	1,27447
10	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,285	1,30	0:01:59	1,27	0,60	0:00:56	1,269	0,016	1,39318
11	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,287	1,30	0:02:01	1,273	0,50	0:00:52	1,272	0,015	1,33191
12	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,289	1,00	0:00:58	1,279	0,50	0:00:49	1,276	0,013	1,28754
13	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,291	1,30	0:01:37	1,277	0,40	0:00:52	1,275	0,016	1,26484
14	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,292	1,00	0:01:00	1,281	0,50	0:00:51	1,279	0,013	1,28876
15	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,296	1,60	0:01:39	1,28	0,50	0:00:48	1,279	0,017	1,29689
16	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,297	1,20	0:01:30	1,284	0,40	0:00:49	1,283	0,014	1,30314
17	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,300	1,60	0:02:06	1,287	0,90	0:00:51	1,286	0,014	1,31884
18	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,306	1,00	0:01:08	1,295	0,90	0:00:57	1,292	0,014	1,3557
19	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,308	1,90	0:02:01	1,293	0,80	0:01:17	1,291	0,017	1,2809
20	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,308	1,20	0:01:37	1,294	0,50	0:00:46	1,292	0,016	1,40107
21	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,309	1,20	0:01:24	1,295	0,90	0:01:14	1,294	0,015	1,30676
22	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,315	1,00	0:01:00	1,304	0,70	0:00:52	1,302	0,013	1,29274
23	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,320	1,40	0:01:33	1,304	0,40	0:00:49	1,303	0,017	1,41787
24	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,323	1,00	0:01:02	1,312	0,70	0:00:56	1,309	0,014	1,32335
25	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,333	1,70	0:01:35	1,322	0,90	0:00:56	1,32	0,013	1,28989
26	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,347	1,30	0:02:11	1,332	0,40	0:00:48	1,331	0,016	1,29105
27	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,357	1,00	0:00:58	1,346	0,70	0:00:58	1,343	0,014	1,31187
28	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,391	1,70	0:01:48	1,374	0,50	0:00:48	1,373	0,018	1,30865
29	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,391	1,20	0:01:08	1,377	0,50	0:00:52	1,375	0,016	1,29765
30	BO - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,408	1,40	0:01:29	1,391	0,50	0:00:45	1,39	0,018	1,37408

Prosječna masa uzorka nakon sušenja prve strane u halogenom vlagomjeru na 150 °C bila je 1,292 grama, sa prosječnim gubitkom na masi od 0,015 grama. Kod prethodnog određivanja iste te strane na temperaturi od 103 °C izračunato je da je prosječni gubitak na masi nakon sušenja bio 0,114 grama. Iz navedenih podataka vidi se kako je i nakon znatno duljeg sušenja u halogenom vlagomjeru na 103 °C, uzorak i dalje gubio na masi uslijed povećanja temperature.

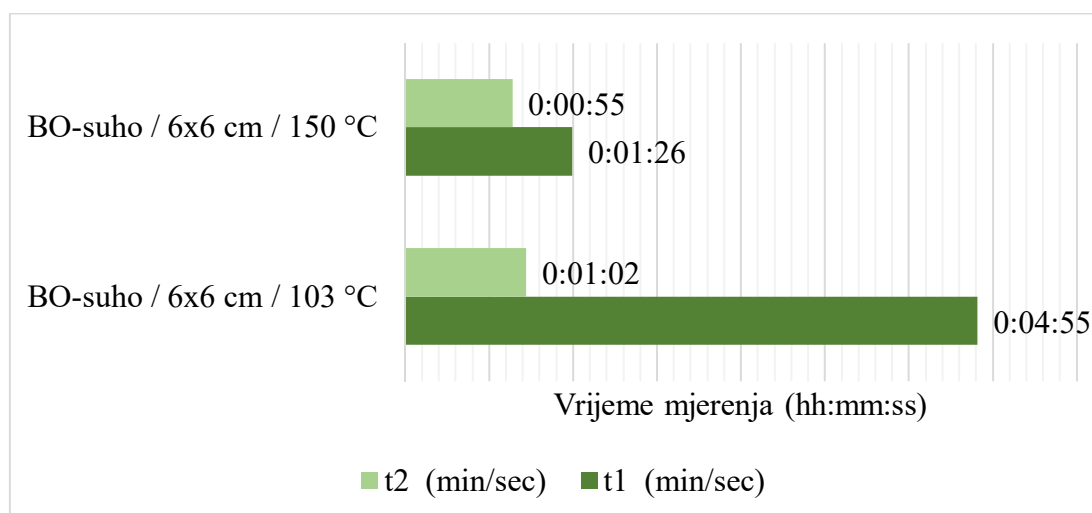
Vremenski interval sušenja iznosio je u prosjeku minutu i 26 sekundi kod određivanja prve strane, što je tri minute i 29 sekundi manje od prosječnog vremena određivanja na temperaturi od 103 °C.

Rezultati određivanja sadržaja vode druge strane uzorka na temperaturi od 150 °C pokazale su znatno najkraće rezultate sa prosječnim vremenom određivanja od 55 sekundi. Taj podatak nije iznenađujući iz razloga što je isti uzorak već prošao kroz tri faze sušenja.

Prosječni vremenski interval za sušenje sa obje strane uzorka na obje temperature bio je osam minuta i 18 sekundi, od toga je sušenje obje strane na temperaturi od 103 °C u prosjeku trajalo pet minuta i 57 sekundi, dok je sukcesivno sušenje na 150 °C sa obje strane prosječno zahtijevalo dvije minute i 21 sekundi.



Graf 1. Aritmetička sredina izmjerenih vrijednosti sadržaja vode kod bočnica



Graf 2. Aritmetička sredina izmjerenih vremena trajanja sušenja kod bočnica

Nakon sušenja obje strane uzorka na obje temperature, uzorak se odlagao pomoću pincete na aluminijsku posudu (*Slika 18*) kako bi što manje bili u kontaktu sa vlagom sa ruku ili sa same površine na kojoj su odloženi. Iz razloga što se radilo o vrlo tankim uzorcima i najmanji kontakt bez odgovarajućih rukavica prenio bi značajnu količinu vlage na uzorak te kao posljedica promijenio točnost testiranja ovih metoda, na posljetku su svi uzorci vakuumirani do sljedećeg mjerenja.



Slika 18. Testirani uzorci na aluminijskoj posudi (foto: Ivanda, A., 2022.)



Slika 19. Testirani uzorci vakuumirani za sljedeće testiranje (foto: Ivanda, A., 2022.)

Promatrajući uzorke nakon sušenja uočila sam pojavu koritavosti, no slaganjem uzorka jedan na drugi došlo je do međusobnog uprešavanja uzoraka te su se s vremenom svi uzorci izravnali osim posljednjeg uzorka kao što je vidljivo na *Slici 18*.

6.2 Određivanje sadržaja vode uzoraka blistače

Sljedećih 30 uzoraka za testiranje bili su uzorci blistače u suhom stanju, također dimenzija 6x6 centimetara kao i kod uzoraka bočnice i debljine 0,57 milimetara. Uzorci su, kao i uzorci bočnice, vakuumirani u industrijskom pogonu netom nakon što su osušeni.

Rezultati nakon sušenja uzoraka blistače pokazali su znatno veće količine sadržaja vode, što je bilo i za očekivati uzimajući u obzir položaj vlakanaca kod blistače i svojstvo provođenja vode. Sukladno tome, određivanje sadržaja vode zahtijevalo je više vremena. Prosječni sadržaj vode nakon sušenja prve strane iznosio je 9,9 %, što je 1,7 % više od prethodno testiranih uzoraka bočnice. Prosječna početna masa je zanemarivo veća nego kod bočnice, te sa prosječnom početnom masom od 1,531 grama, ima veću masu od bočnice za 0,111 grama.

Uzorci su sortirani po vrijednosti m_1 , od najmanje do najveće vrijednosti radi što jasnijeg iščitavanja podataka. Početna masa i masa nakon određivanja pokazuju puno veću razliku nego kod bočnice, što pokazuje da je puno neujednačenija masa 30 uzoraka blistače nego što je bilo kod bočnice gdje je razlika u masi bila vrlo mala.

Tablica 4. Rezultati testiranja uzorka blistače, dimenzija 6x6 cm, debljine 0,57 mm na 103°C na halogenom vlagomjeru

Temperatura: 103°C			Halogeni vlagomjer 1. strana			Halogeni vlagomjer 2. strana			
Redni broj	Oznaka uzorka	m_1	MC ₁ (%)	t_1 (min)	m_{NH1}	MC ₂ (%)	t_2 (min)	m_{NH2}	$m_2 = m_1 - m_{NH1}$
1	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,324	10,2	0:06:01	1,201	0,2	0:01:50	1,200	0,124
2	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,339	10,2	0:06:31	1,209	0,4	0:00:56	1,204	0,135
3	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,359	10,0	0:05:54	1,236	0,7	0:00:57	1,233	0,126
4	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,368	9,3	0:05:48	1,252	0,6	0:00:58	1,253	0,115
5	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,382	9,5	0:05:56	1,248	0,2	0:00:50	1,246	0,136
6	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,387	10,4	0:06:39	1,254	0,2	0:00:50	1,253	0,134
7	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,392	9,0	0:05:17	1,261	0,4	0:01:20	1,257	0,135
8	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,393	9,7	0:05:30	1,272	0,6	0:01:25	1,266	0,127
9	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,405	10,1	0:06:26	1,271	0,4	0:01:09	1,269	0,136
10	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,482	10,0	0:06:07	1,346	0,7	0:00:59	1,341	0,141
11	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,505	10,7	0:07:29	1,359	0,1	0:00:49	1,359	0,146
12	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,516	9,7	0:06:31	1,379	0,4	0:00:52	1,375	0,141
13	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,539	9,7	0:06:13	1,396	0,4	0:01:05	1,393	0,146
14	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,541	10,2	0:06:18	1,398	0,4	0:01:03	1,395	0,146
15	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,549	10,0	0:05:39	1,407	0,4	0:01:16	1,402	0,147
16	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,565	9,7	0:05:04	1,428	0,7	0:01:21	1,422	0,143
17	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,570	9,7	0:06:13	1,432	0,6	0:01:29	1,427	0,143
18	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,574	10,2	0:06:27	1,428	0,5	0:00:54	1,425	0,149
19	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,577	10,0	0:06:11	1,433	0,4	0:01:09	1,429	0,148
20	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,585	10,2	0:06:20	1,438	0,3	0:01:18	1,433	0,152
21	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,599	9,5	0:06:00	1,461	1,0	0:02:07	1,451	0,148
22	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,603	10,0	0:06:02	1,457	0,7	0:01:45	1,449	0,154
23	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,608	10,0	0:06:08	1,456	0,6	0:01:22	1,451	0,157
24	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,613	10,2	0:07:41	1,468	0,5	0:00:53	1,466	0,147
25	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,657	10,0	0:06:41	1,506	0,3	0:01:16	1,503	0,154
26	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,665	9,5	0:06:50	1,521	0,4	0:00:53	1,516	0,149
27	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,672	10,0	0:06:45	1,517	0,4	0:00:55	1,511	0,161
28	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,705	10,2	0:07:06	1,549	0,5	0:01:07	1,545	0,160
29	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,707	9,7	0:06:37	1,553	0,1	0:00:50	1,550	0,157
30	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,734	9,7	0:06:41	1,582	0,4	0:00:58	1,577	0,157

Promjenom strane uzorka, tj. određivanjem sadržaja vode druge strane uzorka nije zabilježen veliki rast u gubitku mase kao ni kod bočnice, pa je tako prosječna masa uzorka nakon određivanja druge strane iznosila 1,387 grama, što od prosječne mase uzorka nakon određivanja sadržaja vode prve strane od 1,391 grama iznosi razliku od 0,004 grama, te je iz tog razloga zanemariva.

Promjene u stanju uzorka bile su vidljive već kod ovog dijela testiranja, u vidu primjetnih pukotina na uzorku kao i odvajanja dijelova uzorka.

Nakon sušenja druge strane uzorka prosječni sadržaj vode iznosio je 0,5 %, jednako kao i kod uzoraka bočnice.

Promatrajući sveukupni gubitak sadržaja vode u postotku možemo primijetiti da je veći sadržaj vode određen pri sušenju prve strane uzorka, u prosjeku 95,46 %, što je 1,36 % više od prosječnog postotka kod određivanja sadržaja vode kod bočnice. Preostali sadržaj vode u uzorku nakon okretanja uzorka na drugu stranu u prosjeku je iznosio 4,54 %, što je 1,36 % manje od prosječnog sadržaja vode kod bočnice.

Najveći sadržaj vode prve strane uzorka bio je 99,07 % ukupnog sadržaja vode, sa gubitkom od 10,7 % sadržaja vode nakon sušenja prve strane, te preostalih 0,93 % nakon sušenja druge strane. Najmanji određeni sadržaj vode sa prve strane uzorka iznosio je 90,48 % od ukupnog sadržaja vode, sa gubitkom na drugoj strani od 9,52 %.

Vrijeme određivanja sadržaja vode je u prosjeku iznosilo šest minuta i 18 sekundi, što je minutu i 23 sekunde više utrošenog vremena nego kod prosječnog vremena kod određivanja sadržaja vode bočnice od četiri minute i 55 sekundi. Obzirom na veće postotke sadržaja vode kod sušenja prve strane blistače, ti rezultati nisu bili neočekivani.

Druga strana uzorka, sušila se zanemarivo duže od uzorka bočnice na istoj temperaturi, sa prosječnim vremenom od minutu i 9 sekundi, što je 7 sekundi više od prosječnog vremena sušenja druge strane kod bočnice.

Tablica 5. Gubitak sadržaja vode blistače u postotku nakon sušenja obje strane u halogenom vlagomjeru na 103 °C

98,08%	1,92%
96,23%	3,77%
93,46%	6,54%
93,94%	6,06%
97,94%	2,06%
98,11%	1,89%
95,74%	4,26%
94,17%	5,83%
96,19%	3,81%
93,46%	6,54%
99,07%	0,93%
96,04%	3,96%
96,04%	3,96%
96,23%	3,77%
96,15%	3,85%
93,27%	6,73%
94,17%	5,83%
95,33%	4,67%
96,15%	3,85%
97,14%	2,86%
90,48%	9,52%
93,46%	6,54%
94,34%	5,66%
95,33%	4,67%
97,09%	2,91%
95,96%	4,04%
96,15%	3,85%
95,33%	4,67%
98,98%	1,02%
96,04%	3,96%

Kao i kod prethodnog određivanja sadržaja vode uzoraka bočnice, svi su uzorci blistače sukcesivno testirani na početnih 103 °C, a zatim i na 150 °C sa obje strane. Uzorak se također okretao na početnu stranu kako bi rezultati bili što precizniji u usporedbi sadržaja vode obje strane.

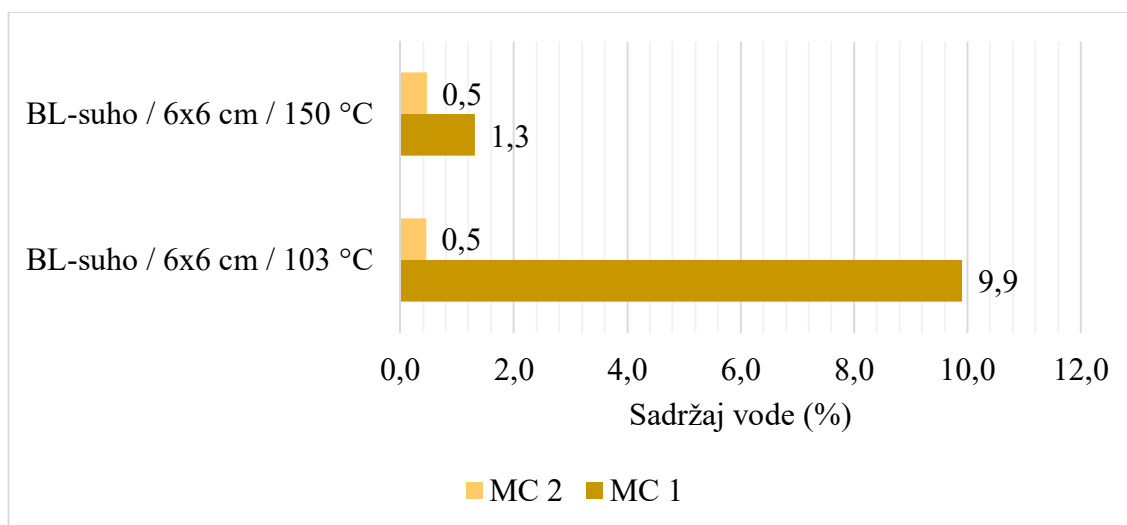
U **Tablici 6**, upisani su podatci mjerenja sadržaja vode blistače na 150 °C. Masa upisana pod vrijednosti m_1 jednaka je masi m_{NH_2} (**Tablica 4**), te je vidljivo da se i kod blistače pojavljuju slični rezultati onima izračunatim kod uzoraka bočnice.

Određeni sadržaj vode nakon sušenja prve strane uzorka na temperaturi od 150 °C u prosjeku iznosi 1,31 % što je gotovo identično kao i kod bočnice kod koje je taj postotak iznosio 1,27 %. Promatrajući vrijeme sušenja prve strane uzorka, vrijeme potrebno za određivanje sadržaja vode blistače iznosilo je u prosjeku 33 sekunde više, sa vremenskim intervalom od minute i 59 sekundi.

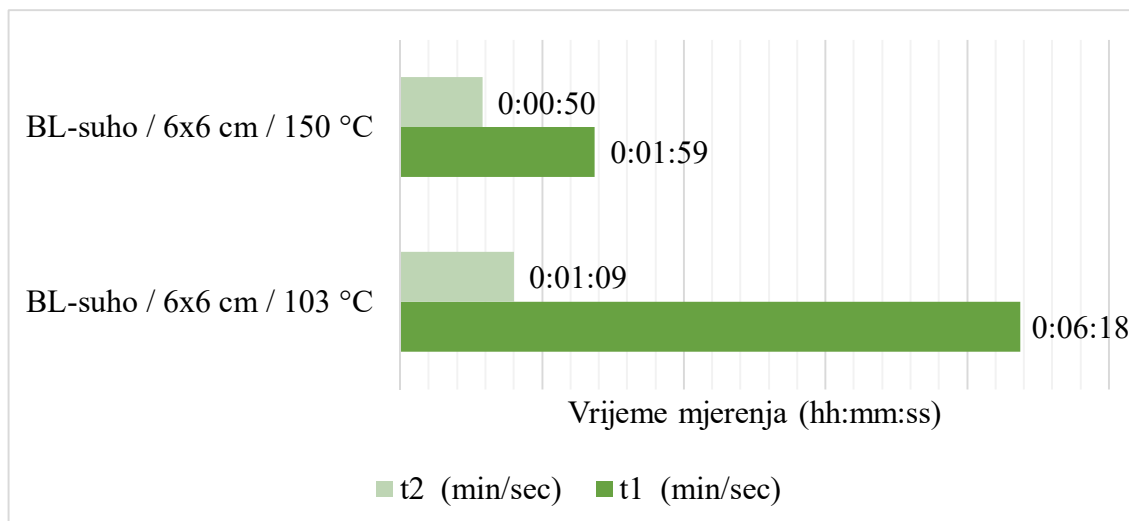
Nakon sušenja druge strane blistače na istoj temperaturi, sadržaj vode je u prosjeku bio niži od postotka sadržaja vode bočnice, sa 0,5 % sadržaja vode.

Tablica 6. Rezultati testiranja blistače, dimenzija 6x6 cm, debljine 0,57 mm na 150 °C u halogenom vlagomjeru

Temperatura: 150°C		Halogeni vlagomjer 1. strana			Halogeni vlagomjer 2. strana			m ₂ = m ₁ -m _{NH3}		m ₃
Redni broj	Oznaka uzorka	m ₁	MC ₁ (%)	t ₁ (min)	m _{NH3}	MC ₂ (%)	t ₂ (min)	m _{NH4}	m ₂	m ₃
1	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,200	1,4	0:02:34	1,186	0,8	0:01:06	1,184	0,016	1,423
2	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,204	0,8	0:01:06	1,196	0,4	0:00:46	1,193	0,011	1,414
3	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,233	1,4	0:02:10	1,218	0,3	0:00:57	1,216	0,017	1,253
4	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,246	1,4	0:01:59	1,230	0,4	0:00:46	1,229	0,017	1,360
5	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,253	1,9	0:01:28	1,234	0,4	0:00:49	1,234	0,019	1,464
6	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,253	1,0	0:01:01	1,241	0,5	0:00:52	1,238	0,015	1,447
7	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,257	1,4	0:02:03	1,241	0,7	0:00:47	1,239	0,018	1,456
8	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,266	1,4	0:02:08	1,249	0,6	0:00:53	1,248	0,018	1,552
9	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,269	1,0	0:01:01	1,257	0,6	0:00:58	1,253	0,016	1,372
10	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,341	1,4	0:02:14	1,326	0,4	0:00:51	1,324	0,017	1,451
11	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,359	1,0	0:01:06	1,345	0,4	0:00:48	1,344	0,015	1,393
12	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,375	1,3	0:01:54	1,358	0,5	0:00:47	1,356	0,019	1,200
13	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,393	1,4	0:02:20	1,375	0,7	0:00:51	1,374	0,019	1,256
14	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,395	1,4	0:01:54	1,377	0,4	0:00:51	1,374	0,021	1,503
15	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,402	1,4	0:02:18	1,384	0,7	0:00:53	1,381	0,021	1,229
16	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,422	1,4	0:01:43	1,403	0,5	0:00:49	1,400	0,022	1,262
17	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,425	1,4	0:01:58	1,406	0,4	0:00:40	1,404	0,021	1,545
18	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,427	1,3	0:02:15	1,409	0,4	0:00:48	1,407	0,020	1,234
19	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,429	1,3	0:02:11	1,410	0,4	0:00:34	1,409	0,020	1,283
20	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,433	1,3	0:02:53	1,414	0,2	0:00:39	1,413	0,020	1,403
21	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,449	1,0	0:01:33	1,437	0,5	0:00:58	1,431	0,018	1,343
22	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,451	1,4	0:01:52	1,433	0,3	0:00:57	1,430	0,021	1,430
23	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,451	1,0	0:01:31	1,437	0,4	0:00:42	1,435	0,016	1,508
24	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,466	1,5	0:02:02	1,447	0,4	0:00:46	1,445	0,021	1,577
25	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,503	1,3	0:02:35	1,483	0,5	0:00:44	1,481	0,022	1,274
26	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,511	1,3	0:02:03	1,492	0,3	0:00:53	1,487	0,024	1,418
27	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,516	1,3	0:02:12	1,498	0,5	0:00:57	1,494	0,022	1,512
28	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,545	1,4	0:02:18	1,525	0,5	0:00:46	1,523	0,022	1,435
29	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,550	1,4	0:02:46	1,530	0,3	0:01:01	1,527	0,023	1,265
30	BL - 0,57, SUHO, 6X6 cm	1,577	1,4	0:02:09	1,556	0,5	0:00:49	1,553	0,024	1,397



Graf 3. Aritmetička sredina izmjerenih vrijednosti sadržaja vode kod blistača



Graf 4. Aritmetička sredina izmjerenih vremena trajanja sušenja kod blistača

7. ZAKLJUČAK

Cilj istraživanja u vidu određivanja sadržaja vode hrastovog furnira halogenim vlagomjerom bilo je utvrditi može li uporaba halogenog vlagomjera dovesti do uštede vremena pri određivanju sadržaja vode u industrijskim uvjetima proizvodnje. Uzevši u obzir da standardno vrijeme određivanja pri temperaturi od 103 °C traje 24 sata, glavni problem bio je ekonomičnost ovog postupka te potencijalni zastoj u proizvodnji pri čekanju rezultata određivanja sadržaja vode. Isti postupak pri istoj temperaturi u halogenom vlagomjeru kod određivanja sadržaja vode furnira bočnice trajao je u prosjeku šest minuta, dok je kod određivanja sadržaja vode uzoraka furnira blistače pri istoj temperaturi iznosio šest do sedam minuta. Razlika u trajanju određivanja sadržaja vode je neusporediva, a samo korištenje uređaja je vrlo praktično. Prilikom testiranja pri 150 °C vidljivo je da je uzorak još izgubio na masi, no pitanje je, da li je samo voda ishlapila ili i nešto drugo od lako hlapljivih spojeva uslijed visoke temperature i degradacije drva. Također, vjerojatno je da je vrući furnir upio određenu količinu vode iz zraka između mjerenja, a navedena pojava je bila uočena nakon sušenja u sušioniku na 103 °C i hlađenja za potrebe gravimetrija. Svakako se ne preporuča da se drvo suši na 150 °C, već se preporuča temperatura od 103 °C.

Može se zaključiti kako je halogeni vlagomjer značajno skratio vrijeme određivanja sadržaja vode na uzorcima furnira u odnosu na klasičnu gravimetrijsku metodu, a pri čemu su dobiveni pouzdani rezultati mjerenja. Halogeni vlagomjer može se upotrebljavati u industrijskim uvjetima u proizvodnji furnira uz daljnju dodatnu optimizaciju procesa mjerenja.

8. LITERATURA

1. Anon., n.d., Drying Oven vs. Halogen Moisture Analyzer A Practical Guide to Compare Methods
2. Anon., n.d., Management of Moisture Dana, From Paper to Digital
3. Anon., n.d.: Postupak za proizvodnju furnira, str. 2-8.,
* http://it-app.dziv.hr/Slike/Pat_dok/T_opis/20070484_T3.pdf, (07.04.2022.)
4. Brezović, M., 2021: Hrvatska tehnička enciklopedija;
* <https://tehnika.lzmk.hr/furnir/>, (07.04.2022.)
5. Horvat, I.; Krpan, J., 1969: DRVO, MEHANIČKA PRERADA. Tehnička enciklopedija, sv. 3, str. 460–463.
6. Krpan, J., 1965: Sušenje i parenje drva
7. Lutz, J.F., n.d., Techniques for peeling, slicing and drying veneer
* <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrp/fplrp228.pdf>, (09.04.2022.)
8. Mešić, N., 1998: Furniri, furnirske i stolarske ploče
9. Pervan, S.; Klarić, M.; Slivar, M., 2013: Normirane metode određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u drvu u Republici Hrvatskoj, str. 149-157.
10. Schubnell, M., Dr., De Caro, C., Kunz, R., n.d., Moisture content, water content, loss on drying, Prvi dio: What exactly is meant and how are these quantities determined

9. ŽIVOTOPIS

Moje ime je Anamaria Ivanda. Živim u Zagrebu i imam 26 godina. Studentica sam na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije, gdje sam 2017. godine upisala preddiplomski stručni studij drvne tehnologije. Još pri samom odabiru srednje škole znala sam da su prirodne znanosti i biotehnologija pravi smjer mog daljnjeg obrazovanja.

Nakon završene srednje Agronomske škole u Zagrebu, planirala sam nastaviti na Agronomskom fakultetu. Uz malo istraživanja i pregledavanja studijskih programa, upisala sam Fakultet šumarstva i drvne tehnologije. Iz razloga što volim kreativnost, a ujedno i stvaranje nečeg novog, znala sam sa kojim ciljem upisujem ovaj fakultet.

Po završetku studija, kao drvni tehnolog, nadam se mogućnosti kreiranja novih proizvoda od samog početka. Radujem se da znanja koje sam prikupila na fakultetu primijenim na budućem poslu kao drvni tehnolog, konstruktor drvnog namještaja.

Cjelokupan proces izrade proizvoda od drva vrlo je opširan i samim time pokazuje koliko drvo kao materijal zahtjeva uložnog truda u vidu pripreme i izrade proizvoda od drva, no kao finalni proizvod je i dalje, i biti će nezamjenjiv. Zato se radujem budućim projektima gdje ću imati priliku sudjelovati u stvaranju novih proizvoda te primijeniti znanje stečeno na fakultetu.

Ovim se putem želim zahvaliti svim djelatnicima Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije na prenesenom znanju i podršci tijekom studiranja, a posebno mentoru doc. dr. sc. Miljenku Klariću na ukazanoj pomoći u vezi pisanja ovog završnog rada.