

Dimenzijska stabilizacija hrastovine kuhanjem u vodenoj otopini saharoze

Tukerić, Elizabeta

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:108:885836>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK
DIPLOMSKI STUDIJ
OBLIKOVANJE PROIZVODA OD DRVA

ELIZABETA TUKERIĆ

DIMENZIJSKA STABILIZACIJA HRASTOVINE
KUHANJEM U VODENOJ OTOPINI SAHAROZE

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK

DIMENZIJSKA STABILIZACIJA HRASTOVINE
KUHANJEM U VODENOJ OTOPINI SAHAROZE

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Oblikovanje proizvoda od drva

Predmet: Projektiranje procesa proizvodnje drvnih materijala

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

Student: Elizabeta Tukerić

JMBAG:0068229588

Datum odobrenja teme: 26.4.2024.

Datum predaje rada: 18.09.2024.

Datum obrane rada: 25.09.2024.

Zagreb, rujan, 2024.

Temeljna dokumentacijska kartica

Naslov:	Dimenzijska stabilizacija hrastovine kuhanjem u vodenoj otopini saharoze
Autor:	Elizabeta Tukerić
Adresa autora:	Davorina Bazjanca 25, Zagreb
Mjesto izrade:	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Vrsta objave:	Diplomski rad
Mentor:	doc. dr. sc. Miljenko Klarić
Izradu rada pomogao:	/
Godina objave:	2024.
Opseg:	Stranica I – XII + 46 Slika: 33 Tablica: 38 Grafikona: 6 Navoda literature: 11
Ključne riječi:	Dimenzijska stabilizacija, hrastovina, tretman saharozom, higroskopnost, vakuumsko sušenje, liofilizacija, konvencionalno sušenje
Sažetak:	<p>Ovaj rad istražuje dimenzijsku stabilizaciju hrastovine (<i>Quercus robur</i> L.) korištenjem saharoze. Uzorci hrastovine tretirani su u 50 % (w/v) vodenoj otopini saharoze pri različitim temperaturama, a sušeni su vakuumskim sušenjem, liofilizacijom i konvencionalnim sušenjem. Istraživanje je obuhvatilo tri tretmana: vakuumsku impregnaciju na sobnoj temperaturi, kuhanje na 60 °C i kuhanje u proključaloj otopini. Rezultati su dali zanimljiva saznanja u istraživoj tematici, no potrebna je daljnja optimizacija procesa te su identificirani izazovi poput ispiranja saharoze i potencijalne prijetnji od bioloških štetnika.</p>

Basic Documentation Card

Title:	Dimensional Stabilization of Oak Wood by Cooking in an Aqueous Sucrose Solution
Author:	Elizabeta Tukerić
Address of Author:	Davorina Bazjanca 25, Zagreb
Thesis Performed at:	Faculty of Forestry and Wood Technology
Publication Type:	Master's thesis
Supervisor:	Assistant professor Miljenko Klarić, PhD
Preparation Assistant:	/
Publication year:	2024
Volume:	Pages I – XII + 46 Figures: 33 Tables: 38 Charts: 6 References: 11
Key words:	Dimensional stabilization, oak wood, sucrose treatment, hygroscopicity, vacuum drying, lyophilization, conventional drying
Abstract:	<p>This thesis explores the dimensional stabilization of oak wood (<i>Quercus robur</i> L.) using sucrose. Oak samples were treated in a 50 % (w/v) aqueous sucrose solution at different temperatures and dried using vacuum drying, lyophilization, and conventional drying. The study examined three treatments: vacuum impregnation at room temperature, boiling at 60 °C, and in boiling solution. The results provided interesting insights into the research topic, but further optimization of the process is needed, and challenges such as sucrose leaching and potential threats from biological pests have been identified.</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 *koristila* drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

Zagreb, 25.09.2024.

vlastoručni potpis

Elizabeta Tukerić

Sadržaj

Temeljna dokumentacijska kartica	I
Basic Documentation Card	II
Sadržaj	V
Popis slika.....	VII
Popis tablica.....	IX
Predgovor.....	XII
1. Uvod	1
1.1. Stabilizacija drva	1
1.2. Problemi stabilizacije drva saharozom	3
2. Cilj istraživanja.....	5
3. Materijali i metode.....	6
3.1. Materijali.....	6
3.1.1. Uzorak drva	6
3.1.2. Otopina saharoze	8
3.2. Strojevi, uređaji i alati.....	9
3.3. Optimizacija uzorka.....	13
3.4. Metode	14
3.4.1. Tretman saharozom	14
3.5. Sušenje uzoraka	16
3.6. Konvencionalno sušenje	19
3.7. Mjerenja nakon impregnacije i sušenja	20
4. Rezultati i diskusija.....	21
4.1. Opis uzoraka i tretmana	21
4.2. Promjene masa uzoraka	22
4.2.1. Promjena mase sirovih uzoraka nakon tretmana saharozom.....	22
4.2.2. Promjena mase uzoraka nakon sušenja.....	24

4.3. Promjene dimenzija uzoraka.....	29
4.3.1. Promjena dimenzija sirovih uzoraka nakon tretmana saharozom	29
4.3.2. Promjena dimenzija uzoraka nakon sušenja	31
4.4. Rezultati – Zbirno	38
5. Zaključak	43
6. Literatura.....	45
7. Životopis	46

Popis slika

Slika 1. Uzorci sirovog drva za ispitivanje (foto: Tukerić E., 2024.)	6
Slika 2. Blanjalica u stolarskoj radionici fakulteta (foto: Tukerić E., 2024.).....	6
Slika 3. Izrezivanje uzoraka na kružnoj pili (foto: Tukerić E., 2024.).....	7
Slika 4. Uzorci raspoređeni u skupine zamotani u plastičnu foliju.....	7
Slika 5. Saharoza, mjerne staklene posude i žlice za miješanje (foto: Tukerić E., 2024.).....	8
Slika 6. Saharoza u staklenoj mjernoj posudi postavljena na vagu (foto: Tukerić E., 2024.).....	8
Slika 7. Vodena otopina 50 % (w/v) saharoze ($C_{12}H_{22}O_{11}$) (foto: Tukerić E., 2024.)	8
Slika 8. Stolna preklopna nagibna kružna pila (foto: Tukerić E., 2024.).....	9
Slika 9. Analitička vaga (foto: Tukerić E., 2024.)	10
Slika 10. Pomično mjerilo (foto: Tukerić E., (2024.)	10
Slika 11. Mikrometar (foto: Tukerić E., 2024.)	10
Slika 12. Vodena kupelj (foto: Tukerić E., 2024.)	11
Slika 13. Liofilizator (foto: Tukerić E., 2024.)	11
Slika 14. Vakuum sušionik.....	12
Slika 15. Sušionik.....	12
Slika 16. Poredani uzorci iz 1. skupine (foto: Tukerić E., 2024.).....	13
Slika 17. <i>Izvlačenje zraka iz lumena stanica</i>	14
Slika 18. Uzorci nakon tretmana izvlačenja zraka	14
Slika 19. Uzorci 4 i 5 složeni u rešetku za vodenu kupelj (foto: Tukerić E., 2024.)	15
Slika 20. Rešetka s uzorcima uronjena u vodenu kupelj (foto: Tukerić E., 2024.)	15
Slika 21. Uzorci u rešetki nakon tretiranja (foto: Tukerić E., 2024.).....	15
Slika 22. <i>Inox lonac na električnoj ploči za zagrijavanje</i>	16
Slika 23. Uzorci nakon 5 sati kuhanja (foto: Tukeric E., 2024.).....	16
Slika 24. Uzorci skupine 6 i 7 nakon tretiranja (foto: Tukerić E., 2024.).....	16
Slika 25. Različito tretirani uzorci iz 4 skupine prije liofilizacije (foto: Tukerić E., 2024.).....	17
Slika 26. Tekući dušik u posudici (foto: Tukerić E., 2024.)	17
Slika 27. Uzorci nakon sušenja u liofilizatoru (foto: Tukerić E., 2024.)	17
Slika 28. Različito tretirani uzorci iz 4 skupine prije vakuumskeg sušenja.....	18

Slika 29. Uzorci složeni u vakuum sušionik prije sušenja (foto: Tukerić E., 2024.)	18
.....	18
Slika 30. Uzorci nakon sušenja u vakuum sušioniku (foto:Tukerić E., 2024.).....	18
Slika 31. Različito tretirani uzorci iz 4 skupine nakon vakuumskog sušenja	18
Slika 32. Svi uzorci prije sušenja u sušioniku (foto: Tukerić E., 2024.).....	19
Slika 33. Svi uzorci nakon sušenja u sušioniku (foto: Tukerić E., 2024.)	19

Popis tablica

Tablica 1. Promjena mase sirovih uzoraka (m1) nakon tretiranja u otopini na sobnoj temperaturi (m2).....	22
Tablica 2. Promjena mase sirovih uzoraka (m1) nakon tretiranja u vodenoj kupelji (m2) pri temperaturi od 60 °C	23
Tablica 3. Promjena mase sirovih uzoraka (m1) nakon tretiranja u kipućem loncu (m2) pri temperaturi od ~100 °C	23
Tablica 4. Promjena mase sirovih probi (m1) nakon sušenja u vakuum sušioniku (m3)	24
Tablica 5. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom pri sobnoj temperaturi (m1) nakon sušenja u vakuum sušioniku (m3).....	24
Tablica 6. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (m1) nakon sušenja u vakuum sušioniku (m3).....	24
Tablica 7. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri ~100 °C(m1) nakon sušenja u vakuum sušioniku (m3).....	25
Tablica 8. Promjena mase sirovih probi (m1) nakon sušenja u liofilizatoru (m3) .	25
Tablica 9. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom pri sobnoj temperaturi (m1) nakon sušenja u liofilizatoru (m3).....	25
Tablica 10. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (m1) nakon sušenja u liofilizatoru (m3).....	26
Tablica 11. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri ~100 °C (m1) nakon sušenja u liofilizatoru (m3).....	26
Tablica 12. Promjena mase sirovih probi 1 (m1) nakon sušenja sušioniku (m4)...	26
Tablica 13. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom pri sobnoj temperaturi (m1) nakon sušenja u sušionku (m4).....	27
Tablica 14. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C(m1) nakon sušenja u sušioniku (m4)	27
Tablica 15. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri ~100 °C (m1) nakon sušenja u sušioniku (m4).....	27
Tablica 16. Promjena mase sirovih probi 1 (m1) nakon sušenja sušioniku (m4)...	27
Tablica 17. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom pri sobnoj temperaturi (m1) nakon sušenja u sušionku (m4).....	28

Tablica 18. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (m1) nakon sušenja u sušioniku (m4)	28
Tablica 19. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri ~100 °C(m1) nakon sušenja u sušioniku (m4).....	28
Tablica 20. Promjena dimenzija sirovih uzoraka (L1, Š1, D1) nakon tretiranja u otopini na sobnoj temperaturi (L2, Š2, D2).....	29
Tablica 21. Promjena dimenzija sirovih uzoraka (L1, Š1, D1) nakon tretiranja saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (L2, Š2, D2).....	30
Tablica 22. Promjena dimenzija sirovih uzoraka (L1, Š1, D1) nakon tretiranja saharozom u loncu pri ~100 °C (L2, Š2, D2).....	30
Tablica 23. Promjena dimenzija sirovih uzoraka (L1, Š1, D1) nakon sušenja u vakuum sušioniku (L3, Š3, D3).....	31
Tablica 24. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih u otopini na sobnoj temperaturi (L2, Š2, D2) nakon sušenja u vakuum sušioniku (L3, Š3, D3).....	31
Tablica 25. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u vakuum sušioniku (L3, Š3, D3).....	32
Tablica 26. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri ~100 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u vakuum sušioniku (L3, Š3, D3).....	32
Tablica 27. Promjena dimenzija sirovih uzoraka (L1, Š1, D1) nakon sušenja u liofilizatoru (L3, Š3, D3)	33
Tablica 28. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih u otopini na sobnoj temperaturi (L2, Š2, D2) nakon sušenja u liofilizatoru (L3, Š3, D3)	33
Tablica 29. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u vakuum liofilizatoru (L3, Š3, D3)	33
Tablica 30. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri 100 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u liofilizatoru (L3, Š3, D3)	34
Tablica 31. Promjena dimenzija sirovih uzoraka 1 (L1, Š1, D1) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4).....	34
Tablica 32. Promjena dimenzija sirovih uzoraka 2 (L1, Š1, D1) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4).....	35
Tablica 33. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih u otopini na sobnoj temperaturi (L2, Š2, D2) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4).....	35
Tablica 34. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih u otopini na sobnoj temperaturi (L2, Š2, D2) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4).....	35

Tablica 35. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4).....	36
Tablica 36. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4).....	36
Tablica 37. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri ~100 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4).....	36
Tablica 38. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri ~100 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4).....	37

Predgovor

Izrada ovog diplomskog rada predstavlja priliku da, kroz istraživanje, prikupljanje i proučavanje informacija te donošenje zaključaka, pokažem razinu znanja i zrelosti stečene tijekom petogodišnjeg studiranja na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije. Ovaj rad mi je omogućio primjenu teorijskih znanja u praktičnom istraživanju, što smatram važnim korakom u svom obrazovnom putu. Tema stabilizacije hrastovine u otopini saharoze bila je izazovna i zanimljiva, otvarajući mnoga pitanja i mogućnosti za daljnja istraživanja.

Posebno zahvaljujem svom mentoru, doc. dr. sc. Miljenku Klariću, koji mi je predložio ovu temu i kroz svoje stručne savjete, literaturu te podršku vodio izradu ovog rada. Njegova strpljivost i znanje bili su neprocjenjivi u procesu istraživanja i pisanja.

Zahvaljujem se svojim kolegama koji su mi pružali podršku i pomoć tijekom studija, a najveću zahvalnost dugujem svojoj obitelji. Njihova neizmjerena podrška, razumijevanje i motivacija bili su ključni za moj uspjeh. Bez njihove prisutnosti, ovaj rad i sve što sam postigla ne bi bilo moguće.

Velika hvala svima!

1. Uvod

Drvo, kao prirodni materijal, ima široku primjenu u različitim industrijama, uključujući građevinarstvo, proizvodnju namještaja i brodogradnju. Međutim, zbog svoje prirodne higroskopsnosti, drvo je podložno dimenzijskim promjenama koje uzrokuju ozbiljne probleme prilikom njegove uporabe. Ove promjene proizlaze iz apsorpcije i desorpcije vlage iz atmosfere, što dovodi do bubrenja, utezanja i deformacija drva (Hoadley, 2000).

Saharozu, kao prirodni polisaharid, djeluje kao sredstvo za ispunu (*engl.* bulking) - popunjavajući lumene unutar staničnih struktura drva, smanjuje apsorpciju vode i stabilizira strukturu drva. U okviru ovog rada, istražit će se metoda stabilizacije hrastovine kuhanjem u vodenoj otopini saharoze s ciljem poboljšanja dimenzijske stabilnosti drva. Kroz sustavno provođenje eksperimentalnih procedura, analizirat će se koliko učinkovito saharozu može smanjiti skupljanje i bubrenje drva.

1.1. Stabilizacija drva

Stabilizacija drva predstavlja ključno područje istraživanja u drvenoj industriji, s ciljem poboljšanja njegovih svojstava i povećanja trajnosti. Ljudi su od davnina tražili načine za očuvanje drva, koristeći razne prirodne tvari za zaštitu. Kako navodi Hoadley (2000), drevni Egipćani koristili su smole za očuvanje drvenih artefakata, dok su stari Grci i Rimljani primjenjivali laneno ulje kao zaštitu drva. Ove rane metode ukazuju na dugogodišnji interes za očuvanje drva, koji se kasnije razvio u složenije kemijske i termalne metode modifikacije (Hill, 2006; Rasmussen, 1987).

U novije vrijeme, korištenje raznih kemikalija za stabilizaciju drva datira još iz 19. stoljeća, kada su konzervatori i znanstvenici počeli eksperimentirati s tvarima koje bi mogle smanjiti higroskopsnost drva. Jedan od ranijih pokušaja uključivao je upotrebu lanenog ulja i smola koje su impregnirale drvo i smanjivale njegovu sposobnost da upija vodu (Hill, 2006). Ovi rani pokušaji imali su ograničen uspjeh zbog tehnoloških ograničenja i slabe penetracije impregnacijskih tvari u stanične strukture drva.

Tek u 20. stoljeću dolazi do napretka u metodama stabilizacije drva, uključujući termičku i kemijsku modifikaciju. Prema Rowellu i Youngsu (1981), kemijska modifikacija drva uključuje vezivanje reagensa na polimere unutar staničnih stijenki, čime se trajno mijenja kemijska struktura drva i smanjuje njegova higroskopsnost. Ova metoda postala je ključna za razvoj modernih postupaka stabilizacije, gdje se koristi niz kemikalija, uključujući

postupke kao što su acetilacija, furfurilacija i impregnacija šećerima poput saharoze i sl. (Hill, 2006).

Saharoza, kao prirodni šećer, posebno je zanimljiva zbog svoje sposobnosti da popunjava lumene unutar staničnih šupljina drva, čime se smanjuje prostor dostupan za apsorpciju vode. Alfred J. Stamm u svojim istraživanjima 1950-ih godina bio je jedan od prvih znanstvenika koji je sustavno proučavao učinke saharoze na stabilizaciju drva. Stamm je otkrio da saharoza može učinkovito smanjiti higroskopsnost drva popunjavanjem unutarnjih šupljina staničnih lumena, što smanjuje količinu vode koju drvo može apsorbirati (Stamm, 1956).

Osim saharoze, moderna istraživanja pokazuju da kemijske modifikacije drva ne samo da poboljšavaju otpornost na vlagu, već i povećavaju dugovječnost drvenih proizvoda. Prema Hillu (2006), razne kemikalije, poput modificiranih ulja i sintetičkih smola, koriste se kako bi se postigla poboljšana stabilnost drva. Ove inovacije omogućuju stvaranje materijala koji su otporniji na biološke i kemijske čimbenike, čime se produžava vijek trajanja drvenih proizvoda u različitim aplikacijama.

U kontekstu današnje industrije drva, stabilizacija drva igra ključnu ulogu u osiguravanju kvalitete i trajnosti proizvoda, a daljnja istraživanja i inovacije u ovom području su od suštinskog značaja. Razvoj novih materijala i metoda može otvoriti vrata za dodatna poboljšanja u performansama drvenih proizvoda, čineći ih otpornijima na promjene u okolišu i povećavajući njihovu ekonomsku isplativost.

Stabilizacija drva obuhvaća niz postupaka koji se primjenjuju s ciljem poboljšanja fizičkih i kemijskih svojstava drva, čime se produžava njegov vijek trajanja i povećava otpornost na vanjske utjecaje. Kemijske modifikacije su među najistraživanijim i najprimjenjivijim tehnikama. Prema Hoadleyju (2000), tradicionalne metode očuvanja drva, poput upotrebe smola i lanenog ulja, date su kao osnova za razvoj modernih tehnika stabilizacije. Ove metode su omogućile ranu zaštitu drva od propadanja, ali su imale ograničenja u smislu trajnosti i učinkovitosti.

U konačnici, stabilizacija drva je složen proces koji zahtijeva znanje o kemijskim i fizičkim svojstvima drva, kao i o utjecaju različitih metoda na trajnost i kvalitetu drvenih proizvoda. Uz kontinuirani razvoj novih tehnologija i materijala, stabilizacija drva ostaje važna tema istraživanja i inovacija u industriji drva.

1.2. Problemi stabilizacije drva saharozom

Iako saharoza pokazuje obećavajuće rezultate u stabilizaciji drva, postoje određeni izazovi povezani s njenom primjenom. Prvi problem odnosi se na ispiranje saharoze iz drva kada je izloženo vodi ili visokoj relativnoj vlažnosti okolnog zraka. Kako je saharoza topiva u vodi, dolazi do njenog ispiranja iz tretiranog drva tijekom vremena, što smanjuje njegovu dugoročnu dimenzijsku stabilnost. Prema Hillu (2006), ovaj fenomen može značajno smanjiti učinkovitost tretmana i dovesti do gubitka stabilnosti drva u vlažnim uvjetima. Ispiranje saharoze također može utjecati na estetska svojstva drva, jer može doći do promjene u boji ili teksturi površine drva, što je posebno važno u kontekstu konzervacije drvenih artefakata.

Osim problema s ispiranjem, postoji i izazov s penetracijom saharoze u unutarnje dijelove drva. U konvencionalnim metodama kuhanja, saharoza može neproporcionalno impregnirati vanjske slojeve drva, dok unutarnje šupljine ostaju nedovoljno tretirane. Ovaj problem može se djelomično riješiti vakuumskom impregnacijom, koja omogućuje dublju penetraciju saharoze u staničnu strukturu (Rowell i Youngs, 1981). Vakuumska impregnacija ne samo da osigurava bolju distribuciju saharoze, već također minimizira rizik od prekomjernog zasićenja vanjskih slojeva, što može uzrokovati promjene u estetskim karakteristikama drva. Razvoj metoda koje omogućuju ravnomjerniju raspodjelu saharoze može značajno poboljšati učinkovitost tretmana i dugovječnost stabilizacije.

Također, postoji izazov s mehaničkim svojstvima drva nakon tretmana saharozom. Iako saharoza poboljšava dimenzijsku stabilnost, može potencijalno doći do promjena u čvrstoći i elastičnosti drva zbog promjena u njegovoj unutarnjoj strukturi. Prema Walkeru (2006), svaki tretman drva mora se pažljivo optimizirati kako bi se postigla ravnoteža između stabilizacije i očuvanja mehaničkih svojstava. Naime, prekomjerna impregnacija može rezultirati smanjenjem čvrstoće drva, što može biti problematično u aplikacijama gdje su mehanička svojstva ključna.

Saharoza se također koristi u zaštiti drvenih artefakata. Kako navodi Stamm (1956), saharoza je bila jedna od prvih tvari koja se sustavno proučavala za očuvanje drva, osobito u arheološkim i muzeološkim kontekstima. U istraživanju se pokazalo da saharoza može učinkovito popuniti unutarnje šupljine i lumene drva, čime se smanjuje sposobnost drva da upija vlagu, što je ključno za očuvanje drvenih artefakata iz vlažnih sredina. Ova svojstva su posebno važna za očuvanje povijesnih i kulturnih artefakata koji su ranjivi na degradaciju u vlažnim uvjetima.

Primjeri primjene saharoze uključuju drvene predmete pronađene u vlažnim arheološkim nalazištima, gdje je saharoza korištena za stabilizaciju i očuvanje strukture drva. Postupci očuvanja uključuju primjenu otopina saharoze na drvo, što rezultira poboljšanjem dimenzijske stabilnosti i smanjenjem rizika od daljnje degradacije (Parrent, 2017). Ovaj postupak je posebno koristan za drvene predmete koji su dugo vremena bili izloženi vodi ili visokoj vlažnosti, jer saharoza može pomoći u vraćanju njihove čvrstoće i stabilnosti. Međutim, izazov ostaje u očuvanju ovih svojstava kroz vrijeme i pod uvjetima koji nisu uvijek pod kontrolom.

Ipak, i dalje postoje izazovi vezani uz dugotrajnost saharoze u drvenim artefaktima, osobito kada su izloženi promjenama temperature i vlažnosti. Ispiranje saharoze može se dogoditi s vremenom, posebno u uvjetima visoke vlage, što može dovesti do degradacije drva. Prema Brodi i Hillu (2017), važno je razviti nove metode za očuvanje drva koje bi osigurale bolju dugoročnu stabilnost saharoze i spriječile njezino ispiranje. Istraživanja bi trebala uključivati analize dugoročnih učinaka saharoze na različite vrste drva kako bi se osigurala maksimalna učinkovitost.

Uz to, istraživanja pokazuju da se kombinacija saharoze s drugim kemikalijama može poboljšati učinkovitost stabilizacije. Na primjer, kombiniranje saharoze s različitim polimerima može pružiti dodatnu otpornost na vlagu i poboljšati mehanička svojstva drva, čime se otvaraju nove mogućnosti za očuvanje drvenih artefakata (Kennedy i Pennington, 2016). Ova sinergija može rezultirati formulacijama koje će poboljšati dugoročnu stabilnost i očuvanje drva, čime se smanjuje potreba za čestim obnovama ili dodatnim tretmanima.

S obzirom na sve navedeno, stabilizacija drva saharozom predstavlja važan korak u očuvanju drvenih artefakata, ali i izazov koji zahtijeva daljnja istraživanja i inovacije. Razvoj novih metoda i strategija može značajno poboljšati dugoročnu učinkovitost saharoze u očuvanju drva, što je od suštinskog značaja za očuvanje kulturne baštine. Također, daljnje istraživanje bi moglo uključivati razvoj ekološki prihvatljivih rješenja koja bi omogućila održivu upotrebu saharoze u konzervatorskim radovima.

2. Cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja je ispitati učinkovitost tretiranja drva hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) 50 % (w/v) vodenom otopinom saharoze na dimenzijsku stabilnost drva, pri čemu će se drvo impregnirati na tri različita načina i sušiti na dva različita načina kako bi fiksirali saharozu na staničnu stijenkku, a prije konačnog konvencionalnog sušenja na 103 °C. Ovo istraživanje ima za cilj pružiti uvid u potencijalne koristi i primjenu saharoze kao sredstva za stabilizaciju hrastovog drva, što može imati važne implikacije za industrije koje se oslanjaju na hrastovo drvo, kao što su građevinarstvo, proizvodnja namještaja i sl. Istraživanje će se fokusirati na dva ključna aspekta.

Prvi dio istraživanja usmjeren je na analizu učinaka tretmana vodenom otopinom saharoze. Drvo će se prije sušenja impregnirati na tri različita načina, Na sobnoj temperaturi, u vodenoj kupelji na 60 °C i kuhanjem u proključaloj otopini saharoze. Zatim će se analizirati dva različita blaga načina sušenja drva s ciljem blage fiksacije saharoze na unutrašnjost staničnih šupljina, u vakuum sušioniku na 40 °C pri apsolutnom tlaku od 100 mbar i u liofolizatoru na 40 °C pri apsolutnom tlaku od 100 mbar.

Drugi dio istraživanja fokusira se na analizu učinaka metode impregnacije i metode sušenja uzoraka nakon tretmana saharozom i njihovu ulogu u očuvanju dimenzijske stabilnosti drva. Sušenje je ključni proces koji može značajno utjecati na učinkovitost tretmana. U okviru ovog dijela istraživanja, analizirat će se promjene u dimenzijama i masi uzoraka nakon svake metode impregnacije i sušenja.

3. Materijali i metode

3.1. Materijali

3.1.1. Uzorak drva

Za ovo istraživanje korišteno je drvo hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u sirovom stanju. Iz sredine svježe ispiljene piljenice, na kružnoj pili za uzdužni rez je ispiljena gredica (četvrtak) dimenzija poprečnog presjeka 55×55 mm i duljine 100 cm. Gredica je transportirana zamotana u stretch foliju te je u fakultetskoj stolarskoj radionici poblanjan na blanjalici (slika 2) kako bi se dobili pravilni i ravnomjerni uzorci. Nakon blanjanja, ispiljeni su uzorci na dimenzije 50 × 50 × 4 (L) mm (slika 1.) na poprečnoj kružnoj pili (slika 3) u stolarskoj radionici.



Slika 1. Uzorci sirovog drva za ispitivanje (foto: Tukerić E., 2024.)



Slika 2. Blanjalica u stolarskoj radionici fakulteta (foto: Tukerić E., 2024.)



Slika 3. Izrezivanje uzoraka na kružnoj pili (foto: Tukerić E., 2024.)

Iz elementa su izrađeni ispitni uzorci i podijeljeni u deset (10) skupina pri čemu je svaka skupina sadržavala osam (8) uzastopnih, sukcesivno ispiljenih uzoraka iz gredice. U svakoj skupini prvi i posljednji uzorak bili su označeni kao referentni uzorci, uzorci koji neće biti tretirani saharozom, već isključivo konvencionalno sušeni na 103 °C. Prvi je označen kao P1, a osmi kao P2, a uzorci koji će biti tretirani (impregnirani i sušeni) brojevima od dva (2) do sedam (7). Ova podjela omogućuje usporedbu između tretiranih i netretiranih uzoraka. Uzorci su uzeti na 100 milimetara od ruba gredice, dok njihova debljina iznosi 4 milimetara. Nakon izrezivanja na kružnoj pili za poprečni rez ispitni uzorci su umotani u plastičnu foliju za umatanje (*slika 4.*) sve do vaganja na preciznoj vagi i mjerenja točnih dimenzija.



Slika 4. Uzorci raspoređeni u skupine zamotani u plastičnu foliju (foto: Tukerić E., 2024.)

3.1.2. Otopina saharoze

Saharoza poznata kao kućni šećer, koristi se kao sredstvo za stabilizaciju drva zbog svoje sposobnosti da se integrira u stanične šupljine drva, smanjujući time promjene u dimenzijama uzrokovane vlagom. Za provođenje eksperimenta nabavljena je Saharoza ($C_{12}H_{22}O_{11}$) od tvrtke Gram-Mol d.o.o. u čistoći *p.a.* (>99,8 %). Za pripremu vodene otopine saharoze korištene su građirane laboratorijske čaše, inox žlice, deionizirana voda (tip II, prema ASTM DS1193-06 (2011)), i laboratorijska vaga (slika 6.). Pripremljena je 50 % (w/v) vodena otopina saharoze (slika 7.), koja se koristila za tretiranje uzoraka.



Slika 5. Saharoza, mjerne staklene posude i žlice za miješanje (foto: Tukerić E., 2024.)



Slika 6. Saharoza u staklenoj mjernoj posudi postavljena na vagu (foto: Tukerić E., 2024.)



Slika 7. Vodena otopina 50 % (w/v) saharoze ($C_{12}H_{22}O_{11}$) (foto: Tukerić E., 2024.)

3.2. Strojevi, uređaji i alati

Blanjalica marke Makita 2012NB (*slika 2.*), korištena za početno blanjanje površina hrastova elementa (gređice) prije piljenja na pojedinačne ispitne uzorke. Ovaj postupak je bio ključan kako bi se osigurala pravilnost oblika svakog ispitnog uzorka, što omogućuje točna mjerenja dimenzija prije i poslije tretmana. Stolna preklopna nagibna pila marke Makita MLS100N (*slika 8.*) korištena je za poprečno propiljivanje gređice na ispitne uzorke dimenzija $50 \times 50 \times 4$ (L) mm. Svaki uzorak je pažljivo ispiljen kako bi svi imali približno jednake dimenzije, odnosno debljinu u longitudinalnom smjeru koja je iznosila 4 mm. To je bilo važno kako bi svi uzorci bili konzistentni u svojoj geometriji, što je ključno za usporedbu rezultata nakon tretmana i sušenja.



Slika 8. Stolna preklopna nagibna kružna pila (foto: Tukerić E., 2024.)

Za mjerenje mase uzoraka korištena je analitička vaga (KERN ABT 220-4M) s visokom točnošću (*slika 9.*), masa je mjerena na 4 decimale. Masa je bilježena prije i nakon svakog postupka tretiranja i sušenja, te završnog sušenja na 103 °C, kako bi se izračunalo smanjenje ili povećanje mase uzrokovano upijanjem otopine saharoze i sušenjem. Vaga je bila kalibrirana prije svakog mjerenja. Pomično mjerilo (*slika 10.*) s točnošću od 0,1 mm korišteno je za mjerenje duljine i širine uzoraka, dok je mikrometar (*slika 11.*) s točnošću od 0,01 mm korišten za mjerenje debljine u longitudinalnom smjeru. Ovi oprema je korištena kako bi se osigurala preciznost i kako bi se moglo pratiti bilo kakvo bubrenje ili utezanje drva tijekom istraživanja.



Slika 9. Analitička vaga (foto: Tukerić E., 2024.)

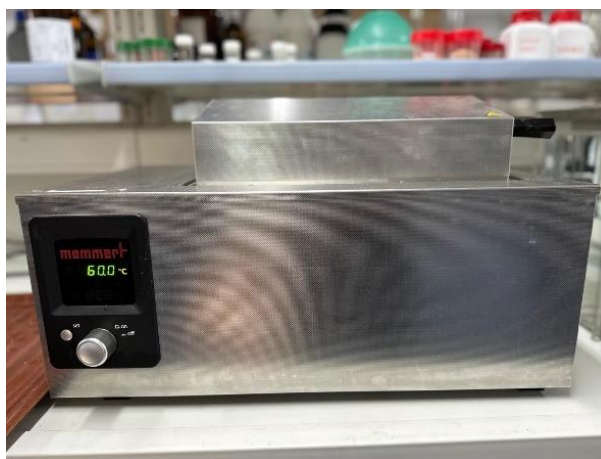


Slika 10. Pomično mjerilo (foto: Tukerić E., (2024.)



Slika 11. Mikrometar (foto: Tukerić E., 2024.)

Za impregnaciju određenog broja uzoraka korištena je vodena kupelj marke Memmert WNB 14 (*slika 12.*), laboratorijski uređaj koji se koristi za precizno kontrolirano grijanje tekućina, omogućavajući homogeno zagrijavanje uzoraka drva tijekom procesa impregnacije. Ovaj uređaj može raditi u rasponu temperatura od sobne do visokih temperatura, što ga čini idealnim za različite kemijske tretmane, uključujući impregnaciju drva saharozom. Vodenu kupelj postavljena je na temperaturu od 60 °C. Uređaj ima preciznu kontrolu temperature, osigurava ravnomjerno zagrijavanje te ima sigurnosne značajke koje sprečavaju pregrijavanje.



Slika 12. Vodena kupelj (foto: Tukerić E., 2024.)

Jedan od uređaja korišten za sušenje je liofilizator Kambič Freeze Dryer LIO-5 PLT (slika 13.) koji je sofisticirani laboratorijski uređaj koji se koristi za sušenje materijala na niskim temperaturama (ispod nula stupnjeva Celzijevih) i u podtlaku. Ova tehnika omogućuje uklanjanje vode iz uzoraka drva sublimacijom (prelaskom iz krute faze direktno u plinovitu), čime se smanjuje masa i poboljšava dugotrajnost materijala bez oštećenja njegove strukture, sastava ili svojstava. Liofilizacija se provodi tako da se voda u uzorku drva najprije brzo zamrzne, a zatim se pri podtlaku uklanja putem sublimacije.



Slika 13. Liofilizator (foto: Tukerić E., 2024.)

Drugi korišteni uređaj za sušenje je vakuumski sušionik marke Memmert (*slika 14.*), koristi se u laboratorijskim i industrijskim postavkama za sušenje materijala pod niskim tlakom, pri čemu se voda iz uzoraka uklanja bez visokih temperatura koje bi mogle oštetiti strukturu materijala. Vakuumsko sušenje omogućava brže i nježnije uklanjanje vode, osobito kod osjetljivih materijala kao što je drvo. Sušenje pod vakuumom omogućuje isparavanje vode pri mnogo nižim temperaturama, čime se sprječava oštećenje materijala i deformacije drva. Vakuumski sušionik osigurava homogeno sušenje, smanjujući mogućnost stvaranja temperaturnih razlika unutar uzoraka drva. S obzirom na to da se sušenje odvija u uvjetima niskog sadržaja kisika, vakuumski sušionik sprječava oksidacijske procese koji bi mogli degradirati drvo.



Slika 14. Vakuum sušionik
(foto: Tukerić E., 2024.)



Slika 15. Sušionik
(foto: Tukerić E., 2024.)

Za sušenje drva na 103 °C korišten je konvekcijski sušionik marke Memmert (*slika 15.*) koji omogućava preciznu kontrolu temperature i uvjeta sušenja, čime se osigurava ravnomjerno i kontrolirano uklanjanje vode iz ispitnih uzoraka. Memmert sušionici su poznati po svojoj pouzdanosti i točnosti u industrijskim i znanstvenim postavkama, a koriste se za sušenje materijala koji zahtijevaju stabilne uvjete. Sušionici su opremljeni ventilacijskim sustavima koji osiguravaju homogeno strujanje zraka unutar komore, čime se sprječava neravnomjerno sušenje i stvaranje vlažnih mjesta u uzorcima.

3.3. Optimizacija uzorka

Hrastova gredica ispiljena je na pravilne uzorke (*slika 16.*) približnih dimenzija $50 \times 50 \times 4$ (L) mm. Prije tretmana, svi uzorci su grupirani u deset skupina po osam uzoraka. Od svake skupine, prvi i posljednji uzorak (probni uzorci) nije tretiran saharozom niti je sušen pod vakuumom, već su korišteni kao kontrolni uzorci koji su prošli samo kroz proces sušenja u konvekcijskom sušioniku na $103 \text{ }^\circ\text{C}$. Svaki uzorak bio je numeriran radi lakšeg praćenja.



Slika 16. Poredani uzorci iz 1. skupine (foto: Tukerić E., 2024.)

Svaki uzorak od deset u skupini imao je specifičnu namjenu:

1. Probe 1 i 2: bez tretmana saharozom i nisu sušene u vakuum sušioniku i liofilizatoru, već su sušene samo na kraju u konvekcijskom sušioniku na $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, a kako bi ih se usporedilo s tretiranim uzorcima. Probe su bile smještene na početku i kraju svake skupine.
2. Uzorci 2. i 3: impregnirani u 50 % (w/v) vodenoj otopini saharoze, te su tretirani vakuumskom impregnacijom pod apsolutnim tlakom od 100 mbar i pri temperaturi $21 \text{ }^\circ\text{C}$ kako bi se izvukao zrak iz lumena stanica i omogućio prodor saharoze. Nakon vakuum impregnacije su izvađeni iz vakuum sušionika ostavljeni 5 h na sobnoj temperaturi u vodenoj otopini saharoze.
3. Uzorci 4. i 5: Kuhani su u vodenoj kupelji na $60 \text{ }^\circ\text{C}$ u 50 % (w/v) vodenoj otopini saharoze tijekom pet sati.
4. Uzorci 6. i 7.: Kuhani su u kipućoj vodenoj otopini saharoze koja ključa u inox loncu ($\sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$).

3.4. Metode

3.4.1. Tretman saharozom

1. **Vakuumska impregnacija:** Uzorci 2 i 3 iz svake skupine bili su potopljeni u 1 L vodene otopine saharoze (50 % w/v) u staklenoj graduiranoj čaši. Čaša je potom stavljena u vakuum sušionik te je tlak spušten na apsolutni iznos od 100 mbar pri sobnoj temperaturi od 21 °C. Cilj ovog postupka bio je izvlačenje zraka iz staničnih šupljina (*slika 17.*) i omogućavanje prodora vodene otopine saharoze u drvo po otpuštanju podtlaka. Nakon vakuumske impregnacije, uzorci su ostavljeni da se natapaju u vodenoj otopini saharoze još pet sati na sobnim uvjetima, kako bi se osiguralo zasićenje saharozom (*slika 18.*).

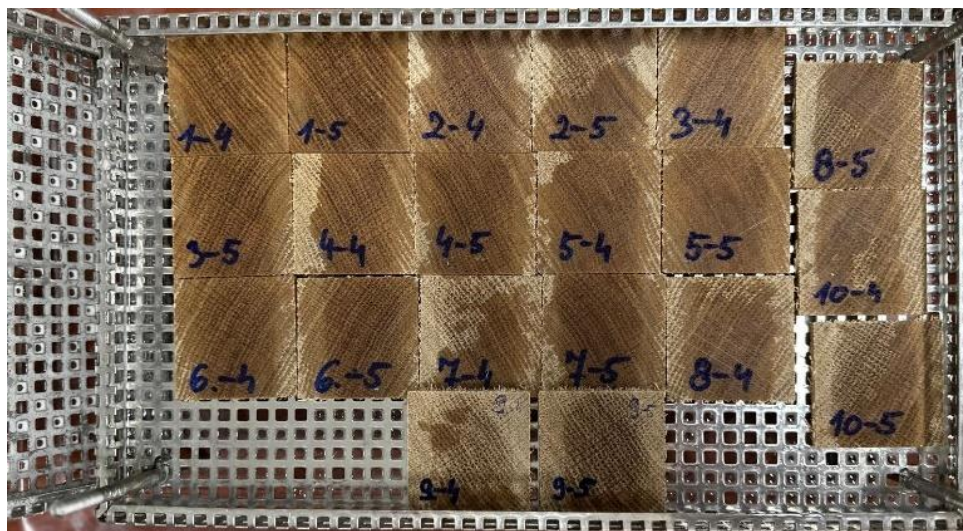


Slika 17. Izvlačenje zraka iz lumena stanica (foto: Tukerić E., 2024.)



Slika 18. Uzorci nakon tretmana izvlačenja zraka (foto: Tukerić E., 2024.)

2. **Vodena kupelj na 60 °C:** Uzorci 4 i 5 bili su uronjeni u 7 L otopine saharoze (*Slika 20.*) u vodenoj kupelji Memmert WNB 14, koja je održavana na temperaturi od 60 °C. Proces kuhanja trajao je pet sati. Ova metoda je primijenjena kako bi se saharoza lakše otapala i prodirala u drvene stanice pod utjecajem povišene temperature, što ubrzava proces impregnacije.



Slika 19. Uzorci 4 i 5 složeni u rešetku za vodenu kupelj (foto: Tukerić E., 2024.)



Slika 20. Rešetka s uzorcima uronjena u vodenu kupelj (foto: Tukerić E., 2024.)



Slika 21. Uzorci u rešetki nakon tretiranja (foto: Tukerić E., 2024.)

3. Kuhanje u ključaloj otopini (~100 °C): Uzorci 6 i 7 kuhani su u kipućoj/ključaloj vodenoj otopini (50 % w/v) u inox loncu zapremine 10 L (*Slika 22.*). Započelo se s 4 L otopine saharoze, ali zbog isparavanja nakon tri sata dodano je još 1 L otopine da se nadopuni na početnu razinu. Na kraju kuhanja, nakon pet sati, uzorci su bili ljepljivi, a šećer se počeo karamelizirati (*Slika 23.*). Ova metoda simulira ekstremne uvjete i omogućuje testiranje kako visoke temperature i koncentracija saharoze utječu na drvo.



Slika 22. Inox lonac na električnoj ploči za zagrijavanje (foto: Tukerić E., 2024.)



Slika 23. Uzorci nakon 5 sati kuhanja (foto: Tukeric E., 2024.)



Slika 24. Uzorci skupine 6 i 7 nakon tretiranja (foto: Tukerić E., 2024.)

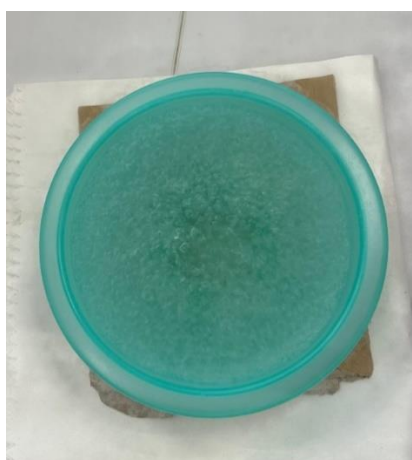
3.5. Sušenje uzoraka

Nakon tretmana saharozom, uzorci su podijeljeni u dvije skupine, koje su sušene različitim metodama kako bismo fiksirali saharozu na stanične šupljine:

- 1. Liofilizacija (probe 2, skupine 2, 4 i 6):** Uzorci koji su tretirani vakuumom, kupelji na 60 °C i kuhanjem u ključaloj otopini saharoze (~100 °C) (Slika 25.) su liofilizirani. Prije liofilizacije, svi uzorci su uronjeni u tekući dušik (-196 °C) (slika 26.) kako bi se osiguralo brzo zamrzavanje te spriječilo stvaranje velikih kristala leda i oštećenje strukture drva. Liofilizacija je provedena pri -102,5 °C tijekom 18 sati. Tehnička specifičnost liofilizatora omogućuje uklanjanje vode iz uzoraka bez toplinskog oštećenja drva, što je ključno za očuvanje dimenzijske stabilnosti.



Slika 25. Različito tretirani uzorci iz 4 skupine prije liofilizacije (foto: Tukerić E., 2024.)



Slika 26. Tekući dušik u posudici (foto: Tukerić E., 2024.)



Slika 27. Uzorci nakon sušenja u liofilizatoru (foto: Tukerić E., 2024.)

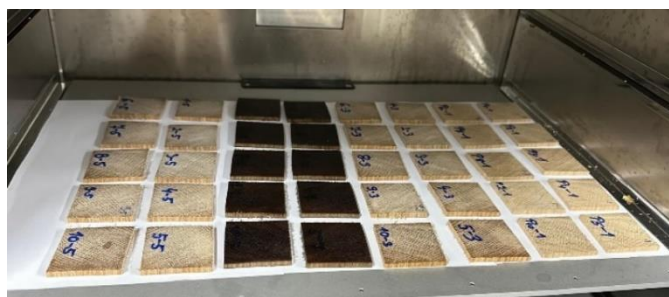
- 2. Vakuumsko sušenje (probe 1, skupine 3, 5 i 7):** Uzorci (Slika 28.) su sušeni u vakuumskom sušioniku na 40 °C pri apsolutnom tlaku od 100 milibar tijekom 18 sati. Vakuumska sušionica radi na principu smanjenja tlaka zraka, što omogućava isparavanje vlage iz drva pri nižim temperaturama. Ova metoda smanjuje rizik od pucanja drva, posebno kod uzoraka tretiranih saharozom.



Slika 28. Različito tretirani uzorci iz 4 skupine prije vakuumskog sušenja (foto: Tukerić E., 2024.)



Slika 29. Uzorci složeni u vakuum sušionik prije sušenja (foto: Tukerić E., 2024.)



Slika 30. Uzorci nakon sušenja u vakuum sušioniku (foto: Tukerić E., 2024.)



Slika 31. Različito tretirani uzorci iz 4 skupine nakon vakuumskog sušenja (foto: Tukerić E., 2024.)

3.6. Konvencionalno sušenje

Nakon liofilizacije i vakuumnog sušenja, svi uzorci su stavljeni u konvencionalni konvekcijski sušionik na temperaturu od 103 +/- 2 °C do postizanja konstantne mase. Konvencionalna sušionica je bila zadnja faza sušenja koja je osigurala potpuno uklanjanje preostale vlage iz impregniranih i neimpregniranih ispitnih uzoraka.



Slika 32. Svi uzorci prije sušenja u sušioniku (foto: Tukerić E., 2024.)



Slika 33. Svi uzorci nakon sušenja u sušioniku (foto: Tukerić E., 2024.)

3.7. Mjerenja nakon impregnacije i sušenja

Nakon svakog tretmana impregnacije i sušenja, masa, duljina, širina i debljina uzoraka su ponovno mjereni. Precizna vaga, pomično mjerilo i mikrometar su korišteni kako bi se dobili točni podaci o promjenama u masi i dimenzijama uzoraka. Na taj način mogao se pratiti gubitak saharoze, stupanj stabilizacije i usporediti učinke različitih metoda tretmana i sušenja.

4. Rezultati i diskusija

4.1. Opis uzoraka i tretmana

U istraživanju je analizirano ukupno 80 uzoraka drva hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.), podijeljenih u 8 skupina po 10 uzoraka u svakoj podijeljenih na temelju različitih tretmana kojima su bili podvrgnuti. Svi uzorci, osim kontrolnih bili su izloženi 50 % (w/v) vodenoj otopini saharoze tijekom tretmana. Cilj je bio ispitati promjene u masi i dimenzijama uzoraka nakon tretmana saharozom i različitih metoda sušenja..

Uzorci su bili podijeljeni na sljedeće skupine:

1. Probni uzorci (skupine P1 i P2)

Sirovi uzorci nisu bili izloženi vodenoj otopini saharoze miti vakuumskom sušenju. Služe kao kontrola i podvrgnuti su samo sušenju u klasničnom sušioniku na 103 ± 2 °C kako bi se analizirale promjene u masi i dimenzijama uzoraka.

2. Vakuumski tretman sa saharozom (skupine 2 i 3)

Uzorci su tretirani 50 %-(w/v) vodenom otopinom saharoze na sobnoj temperaturi. Nakon uklanjanja zraka, uzorci su ostavljeni na sobnoj temperaturi (21 °C) u otopini saharoze 5 sati.

3. Kuhanje u kupelji sa saharozom (skupine 4 i 5)

Uzorci su kuhani u vodenoj kupelji s 50 %-(w/v) vodenom otopinom saharoze na konstantnoj temperaturi od 60 °C u trajanju od 5 sati.

4. Kuhanje u inox loncu u proključaloj otopini (skupine 6 i 7)

Uzorci su bili izloženi 50 % (w/v) vodenoj otopini saharoze, te su kuhani u inox loncu u proključaloj vodenoj otopini saharoze na ~100 °C.

5. Sušenje u vakuumskom sušioniku (proba 1, skupine 3, 5 i 7)

Uzorci su nakon tretmana vodenom otopinom saharoze podvrgnuti vakuumskom sušenju.

6. Sušenje u liofilizatoru (proba 2, skupine 2, 4 i 6)

Uzorci su nakon tretmana vodenom otopinom saharoze, sušeni u liofilizatoru.

7. Završno sušenje u sušioniku (sve probe i svi uzorci)

Svi uzorci, bez obzira na prethodne tretmane, podvrgnuti su završnom tretmanu sušenja u sušioniku na 103 ± 2 °C. Ovaj korak osigurava potpuno uklanjanje preostale vode, čime se omogućuje standardizacija uvjeta za usporedbu učinaka različitih tretmana.

4.2. Promjene masa uzoraka

4.2.1. Promjena mase sirovih uzoraka nakon tretmana saharozom

Ove tablice prikazuju promjene u masi uzoraka hrastovine tretiranih u različitim uvjetima (sobna temperatura, kuhanje na 60 °C i u proključaloj otopini) te mjerenje njihove mase prije i nakon tretmana.

Tablica 1 prikazuje promjenu mase uzoraka koji su tretirani u 50 % (w/v) vodenoj otopini saharoze na sobnoj temperaturi. Promjena mase izražena je u postocima, gdje se jasno vidi kako je masa uzoraka nakon tretmana vakuumom značajno porasla. Srednja vrijednost promjene mase u ovoj skupini iznosila je 23,26 %, što pokazuje visoku sposobnost upijanja saharoze drva pri sobnoj temperaturi.

Tablica 1. Promjena mase sirovih uzoraka (m1) nakon tretiranja u otopini na sobnoj temperaturi (m2)

Br. Uzorka	m1 (g)	m2 (g)	Promjena mase (%)
1.3.	9,1183	11,2597	23,48
2.3.	9,0550	11,0836	22,40
3.3.	9,2697	11,3079	21,99
4.3.	9,3709	11,5910	23,69
5.3.	9,3727	11,6363	24,15
6.3.	9,3341	11,3794	21,91
7.3.	9,2339	11,2541	21,88
8.3.	9,2548	11,4278	23,48
9.3.	9,0916	11,0374	21,40
10.3.	9,2823	11,2481	21,18
1.2.	9,0648	11,3314	25,00
2.2.	9,2339	11,4002	23,46
3.2.	9,2390	11,3758	23,13
4.2.	9,0782	11,3599	25,13
5.2.	9,1224	11,3297	24,20
6.2.	9,3407	11,5903	24,08
7.2.	9,3353	11,5536	23,76
8.2.	9,1398	11,3397	24,07
9.2.	9,2958	11,567	24,43
10.2.	9,5343	11,661	22,31
	Srednja vr.=		23,26

Tablica 2 prikazuje promjene mase uzoraka koji su kuhani u saharozu na 60 °C. Rezultati pokazuju manju promjenu u masi u usporedbi s tretmanom na sobnoj temperaturi, s prosječnom promjenom mase od 15,61 %, što sugerira da temperatura od 60 °C ubrzava proces impregnacije saharozom, ali uz manje dodavanje mase nego kod tretmana na sobnoj temperaturi. Ovaj rezultat je nešto iznenađujući, jer je bilo očekivano da će porast mase biti veći u odnosu na uzorke koji su bili na sobnoj temperaturi. Navedeno je vjerojatno posljedica to su uzorci na sobnoj temperaturi vakuum impregnirani na početku tretmana.

Tablica 2. Promjena mase sirovih uzoraka (m1) nakon tretiranja u vodenoj kupelji (m2) pri temperaturi od 60 °C

Br. Uzorka	m1 (g)	m2 (g)	Promjena mase (%)
1.5.	9,0953	10,641	16,99
2.5.	8,8400	10,2559	16,02
3.5.	9,1490	10,6382	16,28
4.5.	9,1709	10,6761	16,41
5.5.	9,1775	10,6823	16,40
6.5.	9,2612	10,6997	15,53
7.5.	9,0750	10,4785	15,47
8.5.	9,0799	10,4053	14,60
9.5.	9,0626	10,3723	14,45
10.5.	9,4346	10,835	14,84
1.4.	8,9380	10,3337	15,62
2.4.	8,9395	10,2958	15,17
3.4.	9,1659	10,5457	15,05
4.4.	8,8620	10,3506	16,80
5.4.	9,0457	10,528	16,39
6.4.	9,0643	10,4548	15,34
7.4.	9,2423	10,6742	15,49
8.4.	9,2562	10,6362	14,91
9.4.	9,0930	10,4614	15,05
10.4.	9,3163	10,7473	15,36
Srednja Vr.=			15,61

Tablica 3. prikazuje rezultate uzoraka koji su tretirani proključalom otopinom saharoze. Promjena mase u ovoj tablici pokazuje najveći porast, s prosječnim povećanjem od 40,88 %. Visoka temperatura očito je omogućila veće prodiranje saharoze u strukturu drva, ali uz dodatne efekte, poput karamelizacije saharoze, što je rezultiralo povećanjem mase uzoraka. Uzorci su bili jako ljepljivi nakon tretmana.

Tablica 3. Promjena mase sirovih uzoraka (m1) nakon tretiranja u kipućem loncu (m2) pri temperaturi od ~100 °C

Br. Uzorka	m1 (g)	m2 (g)	Promjena mase (%)
1.7.	9,0119	12,8592	42,69
2.7.	9,3394	12,9425	38,58
3.7.	9,0604	12,9135	42,53
4.7.	9,1310	13,2198	44,78
5.7.	9,1260	13,3831	46,65
6.7.	9,3522	13,2011	41,16
7.7.	9,1774	12,9589	41,20
8.7.	9,0506	12,4828	37,92
9.7.	9,1123	12,5395	37,61
10.7.	9,4279	12,8843	36,66
1.6.	8,9286	12,5792	40,89
2.6.	9,3014	13,0316	40,10
3.6.	9,2089	12,9994	41,16
4.6.	9,2092	12,8006	39,00
5.6.	9,0832	13,1528	44,80
6.6.	9,3120	13,2500	42,29
7.6.	9,2429	12,8772	39,32
8.6.	9,0357	12,5464	38,85
9.6.	9,1473	12,8896	40,91
10.6.	9,2967	13,0616	40,50
Srednja vr.=			40,88

4.2.2. Promjena mase uzoraka nakon sušenja

Uzorci tretirani vakuumom i impregnirani na sobnoj temperaturi imali su najveći gubitak mase od -32,79 %. Uzorci tretirani na 60 °C imali su manji gubitak mase od -25,80 %. Najmanji gubitak mase od -0,67 % zabilježen je kod uzoraka tretiranih proključalom otopinom saharoze.

Tablica 4. Promjena mase sirovih probi (m1) nakon sušenja u vakuum sušioniku (m3)

Br. Uzorka	m1 (g)	m3 (g)	Promjena mase (%)
P1.-1.	8,6424	5,9472	-31,19
P2.-1.	9,4110	6,4558	-31,40
P3.-1.	9,0959	6,2315	-31,49
P4.-1.	8,9090	6,073	-31,83
P5.-1.	9,1173	6,2672	-31,26
P6.-1.	9,3473	6,4052	-31,48
P7.-1.	9,0313	6,1796	-31,58
P8.-1.	9,0529	6,1874	-31,65
P9.-1.	8,9773	6,183	-31,13
P10.-1.	9,3025	6,4178	-31,01
Srednja vr.=			-31,40

Tablica 5. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom pri sobnoj temperaturi (m1) nakon sušenja u vakuum sušioniku (m3)

Br. Uzorka	m2 (g)	m3 (g)	Promjena mase (%)
1.3.	11,2597	7,4963	-33,42
2.3.	11,0836	7,4468	-32,81
3.3.	11,3079	7,625	-32,57
4.3.	11,591	7,7616	-33,04
5.3.	11,6363	7,781	-33,13
6.3.	11,3794	7,642	-32,84
7.3.	11,2541	7,5793	-32,65
8.3.	11,4278	7,6007	-33,49
9.3.	11,0374	7,4988	-32,06
10.3.	11,2481	7,6636	-31,87
Srednja vr.=			-32,79

Tablica 6. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (m1) nakon sušenja u vakuum sušioniku (m3)

Br. Uzorka	m2 (g)	m3 (g)	Promjena mase (%)
1.5.	10,641	7,7936	-26,76
2.5.	10,2559	7,5861	-26,03
3.5.	10,6382	7,8718	-26,00
4.5.	10,6761	7,8593	-26,38
5.5.	10,6823	7,8792	-26,24
6.5.	10,6997	7,9571	-25,63
7.5.	10,4785	7,7597	-25,95
8.5.	10,4053	7,7887	-25,15
9.5.	10,3723	7,8031	-24,77
10.5.	10,835	8,1198	-25,06
Srednja vr.=			-25,80

Tablica 7. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri ~100 °C(m1) nakon sušenja u vakuum sušioniku (m3)

Br. Uzorka	m2 (g)	m3 (g)	Promjena mase (%)
1.7.	12,8592	12,7181	-1,10
2.7.	12,9425	12,8158	-0,98
3.7.	12,9135	12,8193	-0,73
4.7.	13,2198	13,1334	-0,65
5.7.	13,3831	13,2663	-0,87
6.7.	13,2011	13,0131	-1,42
7.7.	12,9589	12,8311	-0,99
8.7.	12,4828	12,4689	-0,11
9.7.	12,5395	12,5456	0,05
10.7.	12,8843	12,8917	0,06
Srednja vr.=			-0,67

Liofilizacija je pokazala različite učinke na masu uzoraka. Uzorci tretirani saharozom sušeni liofilizatorom zadržali su veći dio svoje mase. Uzorci tretirani vakuumom pri sobnoj temperaturi imali su prosječni gubitak mase od -23.84 % nakon liofilizacije. Uzorci tretirani na 60 °C zadržali su relativno stabilnu masu s prosječnim gubitkom od -20,33 % nakon liofilizacije. Najmanji gubitak mase od -0,47 % primijećen je kod uzoraka tretiranih na ~100°C, što je posljedica karamelizacije saharoze .

Tablica 8. Promjena mase sirovih probi (m1) nakon sušenja u liofilizatoru (m3)

Br. Uzorka	m1 (g)	m3 (g)	Promjena mase (%)
P1.-2.	8,6812	6,4905	-25,23
P2.-2.	9,5115	7,641	-19,67
P3.-2.	9,2898	7,3331	-21,06
P4.-2.	8,9731	7,1551	-20,26
P5.-2.	8,9958	7,0281	-21,87
P6.-2.	9,2697	7,0515	-23,93
P7.-2.	8,8660	6,953	-21,58
P8.-2.	9,1756	6,8201	-25,67
P9.-2.	9,0888	7,089	-22,00
P10.-2.	9,3979	7,2314	-23,05
Srednja vr.=			-22,43

Tablica 9. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom pri sobnoj temperaturi (m1) nakon sušenja u liofilizatoru (m3)

Br. Uzorka	m2 (g)	m3 (g)	Promjena mase (%)
1.2.	11,3314	8,8271	-22,10
2.2.	11,4002	8,4987	-25,45
3.2.	11,3758	8,7095	-23,44
4.2.	11,3599	8,8758	-21,87
5.2.	11,3297	8,649	-23,66
6.2.	11,5903	8,7331	-24,65
7.2.	11,5536	8,5365	-26,11
8.2.	11,3397	8,7365	-22,96
9.2.	11,567	8,7664	-24,21
10.2.	11,661	8,8738	-23,90
Srednja vr.=			-23,84

Tablica 10. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (m1) nakon sušenja u liofilizatoru (m3)

Br. Uzorka	m2 (g)	m3 (g)	Promjena mase (%)
1.4.	10,3337	8,378	-18,93
2.4.	10,2958	8,4456	-17,97
3.4.	10,5457	8,4218	-20,14
4.4.	10,3506	8,1245	-21,51
5.4.	10,528	8,4702	-19,55
6.4.	10,4548	8,4257	-19,41
7.4.	10,6742	8,3464	-21,81
8.4.	10,6362	8,0525	-24,29
9.4.	10,4614	8,4317	-19,40
10.4.	10,7473	x	x
Srednja vr.=			-20,33

Tablica 11. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri ~100 °C (m1) nakon sušenja u liofilizatoru (m3)

Br. Uzorka	m2 (g)	m3 (g)	Promjena mase (%)
1.6.	12,5792	x	
2.6.	13,0316	x	
3.6.	12,9994	12,8584	-1,08
4.6.	12,8006	13,1695	2,88
5.6.	13,1528	x	
6.6.	13,25	x	
7.6.	12,8772	x	
8.6.	12,5464	x	
9.6.	12,8896	12,7157	-1,35
10.6.	13,0616	12,7578	-2,33
Srednja vr.=			-0,47

Kada su svi uzorci prošli kroz završno konvencionalno konveksijsko sušenje u sušioniku na 103 ± 2 °C, promjene u masi bile su značajne. Uzorci tretirani na sobnoj temperaturi pokazali su najveći gubitak mase od -39.63 %. Gubitak mase kod uzoraka iz kupelji iznosio je -33,21 %. Uzorci tretirani na ~100 °C pokazali su najmanji gubitak mase od -13,65 %, zbog stabilizirajućeg učinka karamelizirane saharoze. Proba uzorci, koji nisu tretirani saharozom, izgubili su najviše mase, s prosječnim gubitkom od -38,33

Tablica 12. Promjena mase sirovih probi 1 (m1) nakon sušenja sušioniku (m4)

Br. Uzorka	m1 (g)	m4 (g)	Promjena mase (%)
P1.-1.	8,6424	5,3542	-38,05
P2.-1.	9,4110	5,8047	-38,32
P3.-1.	9,0959	5,5994	-38,44
P4.-1.	8,9090	5,4537	-38,78
P5.-1.	9,1173	5,6186	-38,37
P6.-1.	9,3473	5,7594	-38,38
P7.-1.	9,0313	5,5656	-38,37
P8.-1.	9,0529	5,5637	-38,54
P9.-1.	8,9773	5,5595	-38,07
P10.-1.	9,3025	5,7694	-37,98
Srednja vr.=			-38,33

Tablica 13. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom pri sobnoj temperaturi (m1) nakon sušenja u sušionku (m4)

Br. Uzorka	m2 (g)	m4 (g)	Promjena mase (%)
1.3.	11,2597	6,7508	-40,04
2.3.	11,0836	6,7102	-39,46
3.3.	11,3079	6,6874	-40,86
4.3.	11,591	6,98	-39,78
5.3.	11,6363	6,9951	-39,89
6.3.	11,3794	6,8905	-39,45
7.3.	11,2541	6,8381	-39,24
8.3.	11,4278	6,853	-40,03
9.3.	11,0374	6,7516	-38,83
10.3.	11,2481	6,8895	-38,75
Srednja vr.=			-39,63

Tablica 14. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C(m1) nakon sušenja u sušioniku (m4)

Br. Uzorka	m2 (g)	m4 (g)	Promjena mase (%)
1.5.	10,641	7,0179	-34,05
2.5.	10,2559	6,8379	-33,33
3.5.	10,6382	7,0859	-33,39
4.5.	10,6761	7,0732	-33,75
5.5.	10,6823	7,0819	-33,70
6.5.	10,6997	7,1665	-33,02
7.5.	10,4785	6,9916	-33,28
8.5.	10,4053	7,0057	-32,67
9.5.	10,3723	7,0222	-32,30
10.5.	10,835	7,3002	-32,62
Srednja vr.=			-33,21

Tablica 15. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri ~100 °C (m1) nakon sušenja u sušioniku (m4)

Br. Uzorka	m2 (g)	m4 (g)	Promjena mase (%)
1.7.	12,8592	11,0323	-14,21
2.7.	12,9425	11,1314	-13,99
3.7.	12,9135	11,1455	-13,69
4.7.	13,2198	11,3925	-13,82
5.7.	13,3831	11,4907	-14,14
6.7.	13,2011	11,3231	-14,23
7.7.	12,9589	11,1487	-13,97
8.7.	12,4828	10,8754	-12,88
9.7.	12,5395	10,9306	-12,83
10.7.	12,8843	11,2387	-12,77
Srednja vr.=			-13,65

Tablica 16. Promjena mase sirovih probi 1 (m1) nakon sušenja sušioniku (m4)

Br. Uzorka	m1 (g)	m4 (g)	Promjena mase (%)
P1.-2.	8,6812	5,3899	-37,91
P2.-2.	9,5115	5,9431	-37,52
P3.-2.	9,2898	5,7489	-38,12
P4.-2.	8,9731	5,5782	-37,83
P5.-2.	8,9958	5,5139	-38,71
P6.-2.	9,2697	5,7388	-38,09
P7.-2.	8,8660	5,5688	-37,19
P8.-2.	9,1756	5,6863	-38,03
P9.-2.	9,0888	5,7026	-37,26
P10.-2.	9,3979	5,8444	-37,81
Srednja vr.=			-37,85

Tablica 17. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom pri sobnoj temperaturi (m1) nakon sušenja u sušionku (m4)

Br. Uzorka	m2 (g)	m4 (g)	Promjena mase (%)
1.2.	11,3314	6,6114	-41,65
2.2.	11,4002	6,9031	-39,45
3.2.	11,3758	6,9168	-39,20
4.2.	11,3599	6,7679	-40,42
5.2.	11,3297	6,843	-39,60
6.2.	11,5903	6,918	-40,31
7.2.	11,5536	6,7757	-41,35
8.2.	11,3397	6,7857	-40,16
9.2.	11,567	6,7803	-41,38
10.2.	11,661	6,9132	-40,72
		Srednja vr.=	-40,42

Tablica 18. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (m1) nakon sušenja u sušioniku (m4)

Br. Uzorka	m2 (g)	m4 (g)	Promjena mase (%)
1.4.	10,3337	6,7749	-34,44
2.4.	10,2958	6,9689	-32,31
3.4.	10,5457	7,0776	-32,89
4.4.	10,3506	7,0117	-32,26
5.4.	10,528	7,0222	-33,30
6.4.	10,4548	7,1263	-31,84
7.4.	10,6742	7,0638	-33,82
8.4.	10,6362	7,0235	-33,97
9.4.	10,4614	7,1185	-31,95
10.4.	10,7473	x	x
		Srednja vr.=	-32,98

Tablica 19. Promjena mase uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri ~100 °C(m1) nakon sušenja u sušioniku (m4)

Br. Uzorka	m2 (g)	m4 (g)	Promjena mase (%)
1.6.	12,5792	x	
2.6.	13,0316	x	
3.6.	12,9994	11,2915	-13,14
4.6.	12,8006	11,3692	-11,18
5.6.	13,1528	x	x
6.6.	13,25	x	x
7.6.	12,8772	x	x
8.6.	12,5464	x	x
9.6.	12,8896	11,1032	-13,86
10.6.	13,0616	11,0939	x
		Srednja vr.=	-12,73

4.3. Promjene dimenzija uzoraka

4.3.1. Promjena dimenzija sirovih uzoraka nakon tretmana saharozom

Promjene u dimenzijama uzoraka nakon tretmana saharozom bile su izražene, a različite temperature tretmana i metode sušenja pokazale su različite učinke.

Najveće smanjenje duljine zabilježeno je kod uzoraka tretiranih proključalom otopinom s prosječnim smanjenjem od -2,61 %. Ova promjena je posljedica jakog bubrenja drva tijekom tretmana, a zatim skupljanja nakon sušenja.

Najveće smanjenje širine također je primijećeno kod uzoraka tretiranih proključalom otopinom s prosječnim smanjenjem od -2,73 %.

Promjene u debljini bile su manje izražene, a kod uzoraka tretiranih proključalom otopinom zabilježeno je blago povećanje debljine od +0,01 %, što je posljedica visokog unosa saharoze i karamelizacije.

Tablica 20. Promjena dimenzija sirovih uzoraka (L1, Š1, D1) nakon tretiranja u otopini na sobnoj temperaturi (L2, Š2, D2)

Br. Uzorka	L1 (mm)	Š1 (mm)	D1 (mm)	L2 (mm)	Š2 (mm)	D2 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
1.3.	49,51	49,76	4,33	49,41	49,6	4,33	-0,20	-0,32	0,00
2.3.	49,78	49,75	4,23	49,76	49,69	4,22	-0,04	-0,12	-0,24
3.3.	49,84	49,70	4,35	49,78	49,68	4,35	-0,12	-0,04	0,00
4.3.	49,91	49,79	4,44	49,72	49,69	4,47	-0,38	-0,20	0,68
5.3.	50,10	49,77	4,47	49,85	49,81	4,48	-0,50	0,08	0,22
6.3.	49,93	49,73	4,38	49,78	49,66	4,42	-0,30	-0,14	0,91
7.3.	50,17	49,79	4,33	49,83	49,68	4,32	-0,68	-0,22	-0,23
8.3.	50,10	49,78	4,33	49,95	49,74	4,33	-0,30	-0,08	0,00
9.3.	50,28	49,74	4,27	50,11	49,72	4,26	-0,34	-0,04	-0,23
10.3.	50,04	49,95	4,31	50,03	49,76	4,27	-0,02	-0,38	-0,93
1.2.	49,57	49,52	4,33	49,37	49,39	4,3	-0,40	-0,26	-0,69
2.2.	49,94	49,74	4,28	49,64	49,62	4,28	-0,60	-0,24	0,00
3.2.	50,12	49,77	4,37	49,69	49,64	4,32	-0,86	-0,26	-1,14
4.2.	49,87	49,75	4,38	49,77	49,62	4,39	-0,20	-0,26	0,23
5.2.	50,07	49,74	4,30	49,68	49,62	4,27	-0,78	-0,24	-0,70
6.2.	50,05	49,75	4,39	49,89	49,67	4,39	-0,32	-0,16	0,00
7.2.	50,14	49,81	4,44	49,99	49,7	4,35	-0,30	-0,22	-2,03
8.2.	49,99	49,78	4,29	49,83	49,71	4,27	-0,32	-0,14	-0,47
9.2.	50,31	49,94	4,42	49,77	49,67	4,41	-1,07	-0,54	-0,23
10.2.	50,14	49,81	4,47	49,75	49,69	4,42	-0,78	-0,24	-1,12
						Srednja vr.=	-0,43	-0,20	-0,30

Tablica 21. Promjena dimenzija sirovih uzoraka (L1, Š1, D1) nakon tretiranja saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (L2, Š2, D2)

Br. Uzorka	L1 (mm)	Š1 (mm)	D1 (mm)	L2 (mm)	Š2 (mm)	D2 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
1.5.	49,71	49,74	4,33	49,41	49,33	4,29	-0,60	-0,82	-0,92
2.5.	49,74	49,74	4,10	49,69	49,62	4,1	-0,10	-0,24	0,00
3.5.	49,91	49,70	4,35	49,72	49,49	4,36	-0,38	-0,42	0,23
4.5.	49,90	49,99	4,38	49,61	49,71	4,39	-0,58	-0,56	0,23
5.5.	50,08	49,70	4,38	49,88	49,47	4,4	-0,40	-0,46	0,46
6.5.	50,19	49,81	4,35	49,71	49,76	4,35	-0,96	-0,10	0,00
7.5.	50,11	49,73	4,30	49,74	49,53	4,26	-0,74	-0,40	-0,93
8.5.	49,98	49,75	4,27	49,89	49,61	4,35	-0,18	-0,28	1,87
9.5.	50,11	49,82	4,28	49,78	49,43	4,3	-0,66	-0,78	0,47
10.5.	49,96	49,85	4,35	49,82	49,61	4,36	-0,28	-0,48	0,23
1.4.	49,59	49,55	4,25	49,33	49,27	4,23	-0,52	-0,57	-0,47
2.4.	49,86	49,80	4,24	49,63	49,51	4,19	-0,46	-0,58	-1,18
3.4.	49,85	49,70	4,26	49,78	49,57	4,33	-0,14	-0,26	1,64
4.4.	49,85	49,93	4,31	50	49,51	4,28	0,30	-0,84	-0,70
5.4.	50,06	49,74	4,31	49,79	49,49	4,28	-0,54	-0,50	-0,70
6.4.	49,96	49,79	4,24	49,81	49,58	4,16	-0,30	-0,42	-1,89
7.4.	50,15	49,74	4,33	49,88	49,53	4,32	-0,54	-0,42	-0,23
8.4.	49,89	49,79	4,31	49,61	49,49	4,31	-0,56	-0,60	0,00
9.4.	49,94	49,84	4,26	49,73	49,6	4,32	-0,42	-0,48	1,41
10.4.	49,95	49,84	4,32	49,79	49,57	4,32	-0,32	-0,54	0,00
						Srednja vr.=	-0,42	-0,49	-0,02

Tablica 22. Promjena dimenzija sirovih uzoraka (L1, Š1, D1) nakon tretiranja saharozom u loncu pri ~100 °C (L2, Š2, D2)

Br. Uzorka	L1 (mm)	Š1 (mm)	D1 (mm)	L2 (mm)	Š2 (mm)	D2 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
1.7.	49,63	49,52	4,33	48,4	48,43	4,33	-2,48	-2,20	0,00
2.7.	50,12	49,80	4,39	48,81	48,47	4,37	-2,61	-2,67	-0,46
3.7.	50,01	49,71	4,33	48,75	48,82	4,33	-2,52	-1,79	0,00
4.7.	49,76	49,81	4,43	48,75	48,62	4,42	-2,03	-2,39	-0,23
5.7.	50,07	49,71	4,43	48,9	48,67	4,44	-2,34	-2,09	0,23
6.7.	49,90	49,91	4,40	48,86	48,39	4,38	-2,08	-3,05	-0,45
7.7.	50,05	49,76	4,32	49,02	48,34	4,31	-2,06	-2,85	-0,23
8.7.	50,00	49,70	4,23	48,6	48,48	4,37	-2,80	-2,45	3,31
9.7.	50,03	49,86	4,21	48,59	48,12	4,27	-2,88	-3,49	1,43
10.7.	50,06	49,81	4,40	48,54	48,04	4,4	-3,04	-3,55	0,00
1.6.	49,70	49,53	4,24	48,49	48,22	4,24	-2,43	-2,64	0,00
2.6.	49,94	49,90	4,32	48,71	48,59	4,28	-2,46	-2,63	-0,93
3.6.	49,93	49,68	4,44	48,8	48,54	4,33	-2,26	-2,29	-2,48
4.6.	49,89	49,76	4,43	48,7	48,42	4,38	-2,39	-2,69	-1,13
5.6.	49,91	49,83	4,37	48,87	48,6	4,34	-2,08	-2,47	-0,69
6.6.	50,08	49,77	4,34	48,58	48,43	4,4	-3,00	-2,69	1,38
7.6.	50,30	49,75	4,32	48,5	48,32	4,31	-3,58	-2,87	-0,23
8.6.	50,02	49,72	4,26	48,6	48,23	4,28	-2,84	-3,00	0,47
9.6.	50,18	49,80	4,31	48,6	48,07	4,25	-3,15	-3,47	-1,39
10.6.	50,03	49,78	4,31	48,43	48,1	4,38	-3,20	-3,37	1,62
						Srednja vr.=	-2,61	-2,73	0,01

4.3.2. Promjena dimenzija uzoraka nakon sušenja

Uzorci na sobnoj temperaturi (zanemarujući referentne probe) imali su najveće smanjenje dimenzija nakon vakuumske sušenja. Duljina se smanjila za -3,89 %, a širina za -5,43 %, dok je debljina ostala gotovo nepromijenjena.

Kod uzoraka tretiranih u kupelji smanjenje duljine bilo je nešto manje, s prosječnim padom od -2,58 % i promjenom širine od -4,21 %.

Uzorci tretirani proključalom otopinom pokazali su najmanje promjene u duljini, širini i debljini, s prosječnim smanjenjem dimenzija od -0,01 % u duljini i -0,07 % u širini, što ukazuje na stabilizacijski učinak karamelizacije.

Tablica 23. Promjena dimenzija sirovih uzoraka (L1, Š1, D1) nakon sušenja u vakuum sušioniku (L3, Š3, D3)

Br. Uzorka	L1 (mm)	Š1 (mm)	D1 (mm)	L3 (mm)	Š3 (mm)	D3 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
P1.-1.	49,89	49,79	4,07	47,39	46,66	4,1	-5,01	-6,29	0,74
P2.-1.	49,75	49,81	4,42	47,3	46,65	4,38	-4,92	-6,34	-0,90
P3.-1.	49,93	49,72	4,28	47,33	46,55	4,27	-5,21	-6,38	-0,23
P4.-1.	49,77	49,78	4,41	47,52	46,57	4,36	-4,52	-6,45	-1,13
P5.-1.	50,13	49,84	4,29	47,48	46,35	4,28	-5,29	-7,00	-0,23
P6.-1.	50,04	49,87	4,42	47,22	46,45	4,43	-5,64	-6,86	0,23
P7.-1.	50,20	49,77	4,26	47,77	46,78	4,24	-4,84	-6,01	-0,47
P8.-1.	50,11	49,74	4,17	47,73	46,8	4,25	-4,75	-5,91	1,92
P9.-1.	50,13	49,75	4,32	47,78	46,62	4,27	-4,69	-6,29	-1,16
P10.-1.	50,01	49,88	4,30	47,86	46,81	4,33	-4,30	-6,15	0,70
						Srednja vr.=	-4,92	-6,37	-0,06

Tablica 24. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih u otopini na sobnoj temperaturi (L2, Š2, D2) nakon sušenja u vakuum sušioniku (L3, Š3, D3)

Br. Uzorka	L2 (mm)	Š2 (mm)	D2 (mm)	L3 (mm)	Š3 (mm)	D3 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
1.3.	49,41	49,6	4,33	47,5	46,81	4,39	-3,87	-5,63	1,39
2.3.	49,76	49,69	4,22	47,9	47,04	4,25	-3,74	-5,33	0,71
3.3.	49,78	49,68	4,35	47,95	47,08	4,35	-3,68	-5,23	0,00
4.3.	49,72	49,69	4,47	47,96	47,08	4,5	-3,54	-5,25	0,67
5.3.	49,85	49,81	4,48	47,78	47,04	4,57	-4,15	-5,56	2,01
6.3.	49,78	49,66	4,42	47,75	46,87	4,34	-4,08	-5,62	-1,81
7.3.	49,83	49,68	4,32	47,98	46,95	4,36	-3,71	-5,50	0,93
8.3.	49,95	49,74	4,33	48,08	47,23	4,34	-3,74	-5,05	0,23
9.3.	50,11	49,72	4,26	48,01	47,02	4,26	-4,19	-5,43	0,00
10.3.	50,03	49,76	4,27	47,91	46,93	4,32	-4,24	-5,69	1,17
						Srednja vr.=	-3,89	-5,43	0,53

Tablica 25. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u vakuum sušioniku (L3, Š3, D3)

Br. Uzorka	L2 (mm)	Š2 (mm)	D2 (mm)	L3 (mm)	Š3 (mm)	D3 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
1.5.	49,41	49,33	4,29	48,1	47,18	4,42	-2,65	-4,36	3,03
2.5.	49,69	49,62	4,1	48,32	47,33	4,48	-2,76	-4,62	9,27
3.5.	49,72	49,49	4,36	48,33	47,42	4,54	-2,80	-4,18	4,13
4.5.	49,61	49,71	4,39	48,47	48,19	4,65	-2,30	-3,06	5,92
5.5.	49,88	49,47	4,4	48,73	47,67	4,71	-2,31	-3,64	7,05
6.5.	49,71	49,76	4,35	48,37	47,28	4,54	-2,70	-4,98	4,37
7.5.	49,74	49,53	4,26	48,57	47,48	4,35	-2,35	-4,14	2,11
8.5.	49,89	49,61	4,35	48,55	47,54	4,42	-2,69	-4,17	1,61
9.5.	49,78	49,43	4,3	48,5	47,19	4,45	-2,57	-4,53	3,49
10.5.	49,82	49,61	4,36	48,48	47,4	4,5	-2,69	-4,45	3,21
Srednja vr.=							-2,58	-4,21	4,42

Tablica 26. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri ~100 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u vakuum sušioniku (L3, Š3, D3)

Br. Uzorka	L2 (mm)	Š2 (mm)	D2 (mm)	L3 (mm)	Š3 (mm)	D3 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
1.7.	48,4	48,43	4,33	48,4	48,35	4,38	0,00	-0,17	1,15
2.7.	48,81	48,47	4,37	48,73	48,59	4,48	-0,16	0,25	2,52
3.7.	48,75	48,82	4,33	48,92	48,99	4,32	0,35	0,35	-0,23
4.7.	48,75	48,62	4,42	48,77	48,62	4,41	0,04	0,00	-0,23
5.7.	48,9	48,67	4,44	49,02	48,69	4,4	0,25	0,04	-0,90
6.7.	48,86	48,39	4,38	48,88	48,37	4,33	0,04	-0,04	-1,14
7.7.	49,02	48,34	4,31	48,59	48,33	4,47	-0,88	-0,02	3,71
8.7.	48,6	48,48	4,37	48,62	48,4	4,26	0,04	-0,17	-2,52
9.7.	48,59	48,12	4,27	48,67	48,08	4,35	0,16	-0,08	1,87
10.7.	48,54	48,04	4,4	48,55	48,29	4,46	0,02	0,52	1,36
Srednja vr.=							-0,01	0,07	0,56

Uzorci tretirani na sobnoj temperaturi pokazali su prosječno smanjenje duljine od -1,19 %, dok je promjena širine bila -2,30 %. Liofilizacija je omogućila očuvanje stabilnosti dimenzija, što pokazuje učinkovitost ovog sušenja u očuvanju drva. Kod uzoraka kuhanih na 60 °C promjene dimenzija bile manje nego kod sobne temperature. Duljina se smanjila za -1,49 %, a širina za -2,02 %. Kuhanje na ~100 °C: ovi uzorci su pokazali najveće smanjenje dimenzija nakon liofilizacije, s prosječnim smanjenjem duljine od -2,52 % i širine od -2,43 %. Karamelizacija saharoze nije uspjela potpuno spriječiti skupljanje dimenzija tijekom sušenja.

Tablica 27. Promjena dimenzija sirovih uzoraka (L1, Š1, D1) nakon sušenja u liofilizatoru (L3, Š3, D3)

Br. Uzorka	L1 (mm)	Š1 (mm)	D1 (mm)	L3 (mm)	Š3 (mm)	D3 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
P1.-2.	49,68	49,55	4,15	48,63	47,55	4,26	-2,11	-4,04	2,65
P2.-2.	50,06	49,78	4,48	49,09	48,41	4,66	-1,94	-2,75	4,02
P3.-2.	49,97	49,73	4,41	48,88	48,22	4,44	-2,18	-3,04	0,68
P4.-2.	49,74	49,82	4,29	48,92	48,74	4,34	-1,65	-2,17	1,17
P5.-2.	49,84	49,88	4,41	49,27	48,34	4,39	-1,14	-3,09	-0,45
P6.-2.	50,07	49,75	4,35	48,99	47,83	4,48	-2,16	-3,86	2,99
P7.-2.	50,07	49,85	4,17	49,2	48,16	4,27	-1,74	-3,39	2,40
P8.-2.	49,98	49,71	4,29	48,85	47,7	4,4	-2,26	-4,04	2,56
P9.-2.	50,01	49,76	4,31	48,97	48,25	4,33	-2,08	-3,03	0,46
P10.-2.	49,98	49,85	4,38	48,91	48,27	4,44	-2,14	-3,17	1,37
Srednja vr.=							-1,94	-3,26	1,78

Tablica 28. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih u otopini na sobnoj temperaturi (L2, Š2, D2) nakon sušenja u liofilizatoru (L3, Š3, D3)

Br. Uzorka	L2 (mm)	Š2 (mm)	D2 (mm)	L3 (mm)	Š3 (mm)	D3 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
1.2.	49,37	49,39	4,3	49,15	49,1	4,31	-0,45	-0,59	0,23
2.2.	49,64	49,62	4,28	49,01	48,86	4,29	-1,27	-1,53	0,23
3.2.	49,69	49,64	4,32	49,13	48,92	4,4	-1,13	-1,45	1,85
4.2.	49,77	49,62	4,39	49,16	49,26	4,39	-1,23	-0,73	0,00
5.2.	49,68	49,62	4,27	49,04	48,96	4,29	-1,29	-1,33	0,47
6.2.	49,89	49,67	4,39	48,89	48,77	4,32	-2,00	-1,81	-1,59
7.2.	49,99	49,7	4,35	49,16	48,81	4,4	-1,66	-1,79	1,15
8.2.	49,83	49,71	4,27	49,34	49,08	4,38	-0,98	-1,27	2,58
9.2.	49,77	49,67	4,41	49,32	49,19	4,45	-0,90	-0,97	0,91
10.2.	49,75	49,69	4,42	49,25	48,94	4,41	-1,01	-1,51	-0,23
Srednja vr.=							-1,19	-1,30	0,56

Tablica 29. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u vakuum liofilizatoru (L3, Š3, D3)

Br. Uzorka	L2 (mm)	Š2 (mm)	D2 (mm)	L3 (mm)	Š3 (mm)	D3 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
1.4.	49,33	49,27	4,23	48,87	48,83	4,3	-0,93	-0,89	1,65
2.4.	49,63	49,51	4,19	49,1	48,83	4,45	-1,07	-1,37	6,21
3.4.	49,78	49,57	4,33	49,1	48,66	4,34	-1,37	-1,84	0,23
4.4.	50	49,51	4,28	48,8	48,39	4,28	-2,40	-2,26	0,00
5.4.	49,79	49,49	4,28	49,21	48,7	4,35	-1,16	-1,60	1,64
6.4.	49,81	49,58	4,16	48,92	48,25	4,32	-1,79	-2,68	3,85
7.4.	49,88	49,53	4,32	49,11	48,51	4,42	-1,54	-2,06	2,31
8.4.	49,61	49,49	4,31	48,45	48	4,64	-2,34	-3,01	7,66
9.4.	49,73	49,6	4,32	49,34	48,37	4,3	-0,78	-2,48	-0,46
10.4.	49,79	49,57	4,32	x	x	x	x	x	x
Srednja vr.=							-1,49	-2,02	2,56

Tablica 30. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri 100 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u liofilizatoru (L3, Š3, D3)

Br. Uzorka	L2 (mm)	Š2 (mm)	D2 (mm)	L3 (mm)	Š3 (mm)	D3 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
1.6.	49,70	49,53	4,24	x	x	x	x	x	x
2.6.	49,94	49,90	4,32	x	x	x	x	x	x
3.6.	49,93	49,68	4,44	48,86	48,7	4,44	-2,14	-1,97	0,00
4.6.	49,89	49,76	4,43	48,7	48,63	4,55	-2,39	-2,27	2,71
5.6.	49,91	49,83	4,37	x	x	x	x	x	x
6.6.	50,08	49,77	4,34	x	x	x	x	x	x
7.6.	50,30	49,75	4,32	x	x	x	x	x	x
8.6.	50,02	49,72	4,26	x	x	x	x	x	x
9.6.	50,18	49,80	4,31	48,66	48,29	4,39	-3,03	-3,03	1,86
10.6.	50,03	49,78	4,31	48,35	48,24	4,33	x	x	x
Srednja vr.=							-2,52	-2,43	1,52

Nakon završnog sušenja u konvencionalnom sušioniku, promjene u dimenzijama bile su najizraženije kod uzoraka koji nisu tretirani saharozom: Uzorci tretirani na sobnoj temperaturi su se smanjili za prosječnih -5,01 % u duljini i -6,47 % u širini. Uzorci iz kupelji imali su nešto manje smanjenje, s prosječnim padom duljine od -4,27 % i promjenom širine od -5,21 %. Uzorci tretirani na ~100 °C pokazali su najmanje promjene, s prosječnim smanjenjem dimenzija od -3 %, što je rezultat karamelizacije saharoze koja je stabilizirala dimenzije tijekom sušenja.

Tablica 31. Promjena dimenzija sirovih uzoraka 1 (L1, Š1, D1) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4)

Br. Uzorka	L1 (mm)	Š1 (mm)	D1 (mm)	L4 (mm)	Š4 (mm)	D4 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
P1.-1.	49,89	49,79	4,07	46,14	45,37	4,06	-7,52	-8,88	-0,25
P2.-1.	49,75	49,81	4,42	46,24	45,48	4,38	-7,06	-8,69	-0,90
P3.-1.	49,93	49,72	4,28	46,18	45,15	4,23	-7,51	-9,19	-1,17
P4.-1.	49,77	49,78	4,41	46,33	45,21	4,26	-6,91	-9,18	-3,40
P5.-1.	50,13	49,84	4,29	46,4	45,37	4,24	-7,44	-8,97	-1,17
P6.-1.	50,04	49,87	4,42	45,92	45,02	4,33	-8,23	-9,73	-2,04
P7.-1.	50,20	49,77	4,26	46,94	45,29	4,19	-6,49	-9,00	-1,64
P8.-1.	50,11	49,74	4,17	46,25	45,22	4,21	-7,70	-9,09	0,96
P9.-1.	50,13	49,75	4,32	46,14	45,22	4,24	-7,96	-9,11	-1,85
P10.-1.	50,01	49,88	4,30	46,23	45,36	4,26	-7,56	-9,06	-0,93
Srednja vr.=							-7,44	-9,09	-1,24

Tablica 32. Promjena dimenzija sirovih uzoraka 2 (L1, Š1, D1) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4)

Br. Uzorka	L1 (mm)	Š1 (mm)	D1 (mm)	L4 (mm)	Š4 (mm)	D4 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
P1.-2.	49,68	49,55	4,15	47,22	45,73	4,3	-4,95	-7,71	3,61
P2.-2.	50,06	49,78	4,48	46,89	46,01	4,57	-6,33	-7,57	2,01
P3.-2.	49,97	49,73	4,41	46,76	45,69	4,5	-6,42	-8,12	2,04
P4.-2.	49,74	49,82	4,29	46,88	45,83	4,33	-5,75	-8,01	0,93
P5.-2.	49,84	49,88	4,41	46,81	45,81	4,68	-6,08	-8,16	6,12
P6.-2.	50,07	49,75	4,35	46,74	45,45	4,57	-6,65	-8,64	5,06
P7.-2.	50,07	49,85	4,17	47,08	45,8	4,53	-5,97	-8,12	8,63
P8.-2.	49,98	49,71	4,29	46,8	45,7	4,25	-6,36	-8,07	-0,93
P9.-2.	50,01	49,76	4,31	47	45,94	4,32	-6,02	-7,68	0,23
P10.-2.	49,98	49,85	4,38	46,89	45,9	4,34	-6,18	-7,92	-0,91
Srednja vr.=							-6,07	-8,00	2,68

Tablica 33. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih u otopini na sobnoj temperaturi (L2, Š2, D2) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4)

Br. Uzorka	L2 (mm)	Š2 (mm)	D2 (mm)	L4 (mm)	Š4 (mm)	D4 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
1.3.	49,41	49,6	4,33	46,88	45,84	4,37	-5,12	-7,58	0,92
2.3.	49,76	49,69	4,22	47,22	45,99	4,21	-5,10	-7,45	-0,24
3.3.	49,78	49,68	4,35	47,3	46,11	4,32	-4,98	-7,19	-0,69
4.3.	49,72	49,69	4,47	47,08	46,13	4,45	-5,31	-7,16	-0,45
5.3.	49,85	49,81	4,48	47,09	46,06	4,5	-5,54	-7,53	0,45
6.3.	49,78	49,66	4,42	46,81	45,55	4,37	-5,97	-8,28	-1,13
7.3.	49,83	49,68	4,32	47,08	46	4,34	-5,52	-7,41	0,46
8.3.	49,95	49,74	4,33	46,99	46,08	4,33	-5,93	-7,36	0,00
9.3.	50,11	49,72	4,26	47,13	45,99	4,23	-5,95	-7,50	-0,70
10.3.	50,03	49,76	4,27	46,81	45,91	4,3	-6,44	-7,74	0,70
Srednja vr.=							-5,58	-7,52	-0,07

Tablica 34. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih u otopini na sobnoj temperaturi (L2, Š2, D2) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4)

Br. Uzorka	L2 (mm)	Š2 (mm)	D2 (mm)	L4 (mm)	Š4 (mm)	D4 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
1.2.	49,37	49,39	4,3	46,99	46,18	4,27	-4,82	-6,50	-0,70
2.2.	49,64	49,62	4,28	47,13	46,61	4,26	-5,06	-6,07	-0,47
3.2.	49,69	49,64	4,32	47,32	46,51	4,29	-4,77	-6,31	-0,69
4.2.	49,77	49,62	4,39	47,24	46,51	4,3	-5,08	-6,27	-2,05
5.2.	49,68	49,62	4,27	47,17	46,3	4,25	-5,05	-6,69	-0,47
6.2.	49,89	49,67	4,39	47,19	46,12	4,31	-5,41	-7,15	-1,82
7.2.	49,99	49,7	4,35	47,6	46,39	4,4	-4,78	-6,66	1,15
8.2.	49,83	49,71	4,27	47,27	46,69	4,27	-5,14	-6,08	0,00
9.2.	49,77	49,67	4,41	47,18	46,31	4,41	-5,20	-6,76	0,00
10.2.	49,75	49,69	4,42	47,35	46,62	4,41	-4,82	-6,18	-0,23
Srednja vr.=							-5,01	-6,47	-0,53

Tablica 35. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4)

Br. Uzorka	L2 (mm)	Š2 (mm)	D2 (mm)	L4 (mm)	Š4 (mm)	D4 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
1.5.	49,41	49,33	4,29	47,05	46,21	4,35	-4,78	-6,32	1,40
2.5.	49,69	49,62	4,1	47,61	46,35	4,35	-4,19	-6,59	6,10
3.5.	49,72	49,49	4,36	47,4	46,61	4,43	-4,67	-5,82	1,61
4.5.	49,61	49,71	4,39	47,28	46,49	4,48	-4,70	-6,48	2,05
5.5.	49,88	49,47	4,4	47,58	46,5	4,58	-4,61	-6,00	4,09
6.5.	49,71	49,76	4,35	47,33	46,06	4,53	-4,79	-7,44	4,14
7.5.	49,74	49,53	4,26	47,33	46,47	4,24	-4,85	-6,18	-0,47
8.5.	49,89	49,61	4,35	47,39	46,55	4,32	-5,01	-6,17	-0,69
9.5.	49,78	49,43	4,3	47,5	46,12	4,3	-4,58	-6,70	0,00
10.5.	49,82	49,61	4,36	47,64	46,48	4,381	x	x	x
Srednja vr.=							-4,68	-6,41	2,02

Tablica 36. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u vodenoj kupelji pri 60 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4)

Br. Uzorka	L2 (mm)	Š2 (mm)	D2 (mm)	L4 (mm)	Š4 (mm)	D4 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
1.4.	49,33	49,27	4,23	47,21	46,49	4,23	-4,30	-5,64	0,00
2.4.	49,63	49,51	4,19	47,75	46,8	4,26	-3,79	-5,47	1,67
3.4.	49,78	49,57	4,33	47,78	46,78	4,48	-4,02	-5,63	3,46
4.4.	50	49,51	4,28	47,83	46,83	4,28	-4,34	-5,41	0,00
5.4.	49,79	49,49	4,28	47,68	46,61	4,32	-4,24	-5,82	0,93
6.4.	49,81	49,58	4,16	47,63	46,67	4,21	-4,38	-5,87	1,20
7.4.	49,88	49,53	4,32	47,69	46,5	4,33	-4,39	-6,12	0,23
8.4.	49,61	49,49	4,31	47,32	46,74	4,49	-4,62	-5,56	4,18
9.4.	49,73	49,6	4,32	47,57	46,55	4,28	-4,34	-6,15	-0,93
10.4.	49,79	49,57	4,32	x	x	x	x	x	x
Srednja vr.=							-4,27	-5,74	1,19

Tablica 37. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri ~100 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4)

Br. Uzorka	L2 (mm)	Š2 (mm)	D2 (mm)	L4 (mm)	Š4 (mm)	D4 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
1.7.	48,4	48,43	4,33	47,68	47,12	4,51	-1,49	-2,70	4,16
2.7.	48,81	48,47	4,37	48,21	47,11	4,48	-1,23	-2,81	2,52
3.7.	48,75	48,82	4,33	48,2	47,7	4,4	-1,13	-2,29	1,62
4.7.	48,75	48,62	4,42	48,15	47,56	4,54	-1,23	-2,18	2,71
5.7.	48,9	48,67	4,44	48,49	47,66	4,53	-0,84	-2,08	2,03
6.7.	48,86	48,39	4,38	47,89	47,12	4,52	-1,99	-2,62	3,20
7.7.	49,02	48,34	4,31	48,15	47,08	4,48	-1,77	-2,61	3,94
8.7.	48,6	48,48	4,37	48,34	47,35	4,51	-0,53	-2,33	3,20
9.7.	48,59	48,12	4,27	48,41	46,84	4,41	-0,37	-2,66	3,28
10.7.	48,54	48,04	4,4	47,99	47,16	4,59	-1,13	-1,83	4,32
Srednja vr.=							-1,17	-2,41	3,10

Tablica 38. Promjena dimenzija uzoraka tretiranih saharozom u loncu pri ~100 °C (L2, Š2, D2) nakon sušenja u sušioniku (L4, Š4, D4)

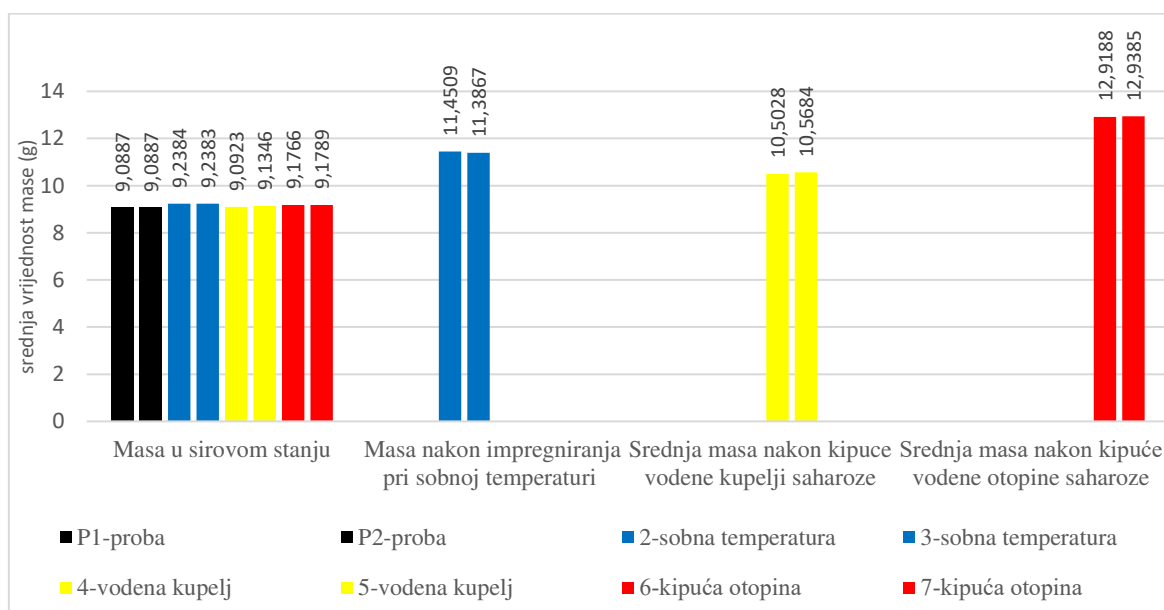
Br. Uzorka	L2 (mm)	Š2 (mm)	D2 (mm)	L4 (mm)	Š4 (mm)	D4 (mm)	Promjena L (%)	Promjena Š (%)	Promjena D (%)
1.6.	49,70	49,53	4,24						
2.6.	49,94	49,90	4,32						
3.6.	49,93	49,68	4,44	48,65	48,45	4,55	-2,56	-2,48	2,48
4.6.	49,89	49,76	4,43	48,37	47,99	4,57	-3,05	-3,56	3,16
5.6.	49,91	49,83	4,37						
6.6.	50,08	49,77	4,34						
7.6.	50,30	49,75	4,32						
8.6.	50,02	49,72	4,26						
9.6.	50,18	49,80	4,31	48,69	47,49	4,5	-2,97	-4,64	4,41
10.6.	50,03	49,78	4,31	48,16	47,93	4,51	-3,74	x	x
						Srednja vr.=	-3,08	-3,56	3,35

4.4. Rezultati – Zbirno

Graf 1 prikazuje promjene mase ispitnih uzoraka pod utjecajem različitih metoda impregnacije. Uzorci tretirani pri sobnoj temperaturi pokazuju značajan porast mase, dostižući vrijednosti od 11,4509 g i 11,3867 g. Ovi rezultati sugeriraju da je proces upijanja saharoze uspješan, ali ne optimalan.

S druge strane, uzorci koji su bili tretirani vodenom kupelji bilježe niže poraste mase (10,5028 g i 10,5684 g). Ova smanjenja u masi mogu ukazivati na to da metoda vodenih kupelji ne omogućava efikasan prijenos saharoze.

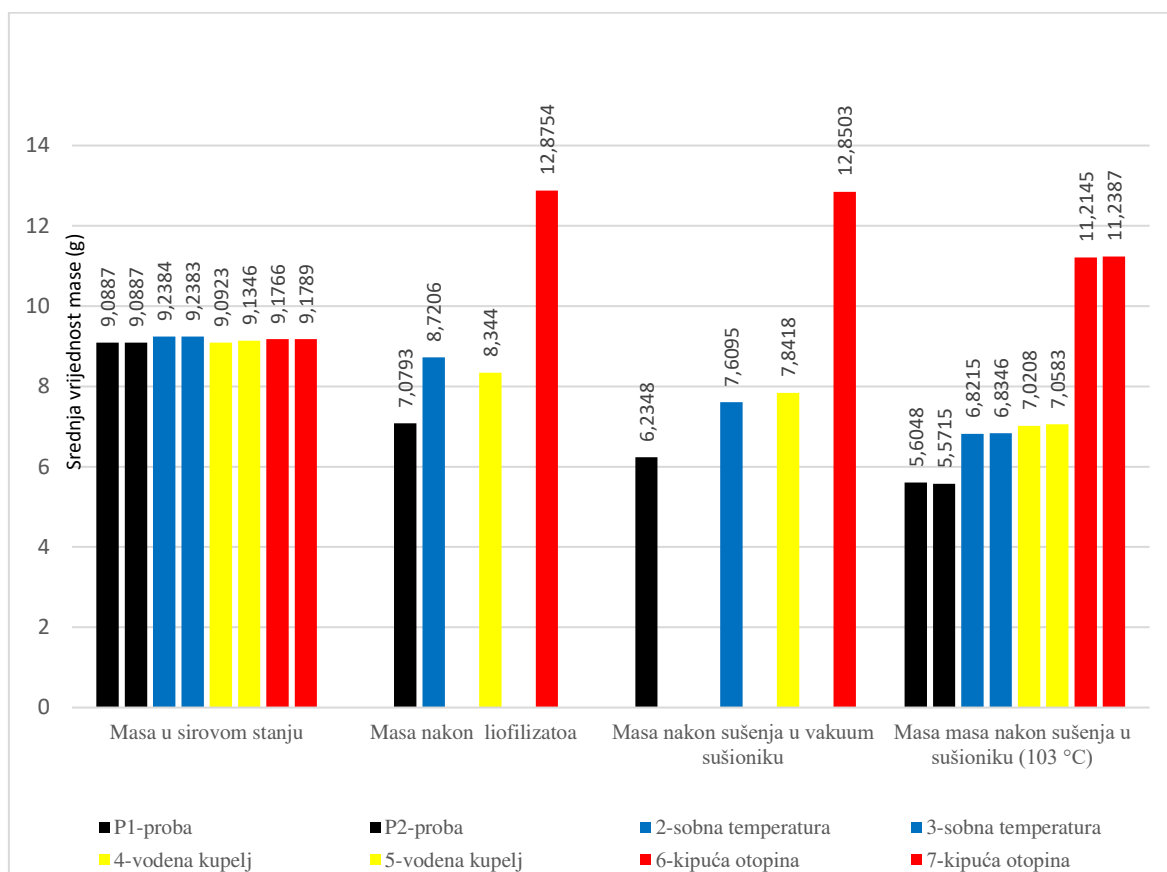
Najznačajniji porast mase primijećen je kod uzoraka koji su kuhani u kipućoj otopini saharoze, s vrijednostima od 12,9188 g i 12,9385 g. Ovaj rezultat može se objasniti višom koncentracijom saharoze u otopini, što je dodatno potpomognuto višom temperaturom. Ova kombinacija rezultira boljim upijanjem saharoze u drvo, što može poboljšati dimenzijsku stabilizaciju i trajnost drvenih proizvoda, no narušava estetski izgled uzoraka.



Graf 1. Promjena mase ovisno o impregnaciji

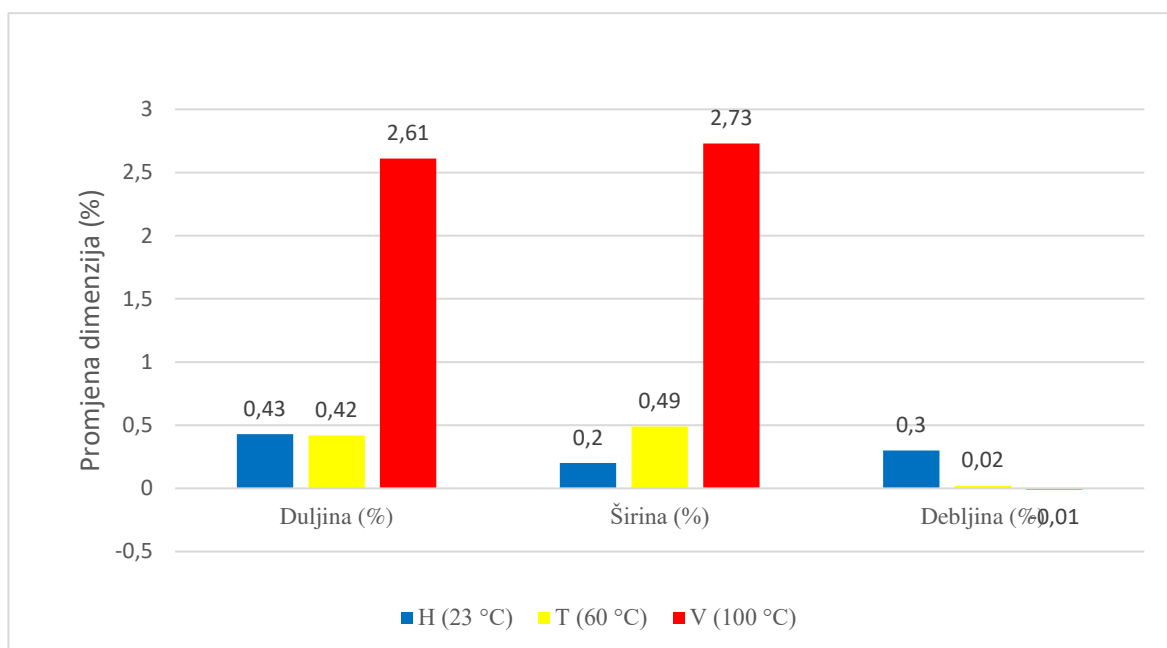
Graf 2 prikazuje promjene u masi drvenih uzoraka nakon različitih tretmana vakuumom, uspoređujući ih s kontrolnim uzorcima P1 i P2, koji nisu tretirani i imaju masu od 9,0887 g. Nakon liofilizacije, uzorci su značajno smanjili svoju masu: uzorak sa sobne temperature (2-sobna temperatura) težio je 8,7206 g, a uzorak 3-sobne temperature 7,6095 g. Međutim, važno je napomenuti da uzorci sušeni u liofilizatoru nisu bili potpuno osušeni. Dodatno su sušeni u sušioniku, gdje su postigli konačne mase koje su još uvijek bile manje

od masa kontrolnih uzoraka. Uzorci sušeni u vakuum sušioniku također su pokazali smanjenje mase, kao što je uzorak 2-sobne temperature koji nakon sušenja teži 6,8215 g. Kao i kod liofilizacije, ovi uzorci nisu bili potpuno osušeni prije konačnog sušenja u sušioniku. S druge strane, uzorci tretirani u kipućim otopinama, kao što je uzorak 6-kipuće otopine, imali su znatno povećanje mase na 12,8754 g nakon liofilizacije. To sugerira da je drvo upilo saharozu, što može poboljšati njegova svojstva, ali također postavlja pitanje stabilnosti u uvjetima visoke vlage i kvalitete te estetike površine.



Graf 2. Prikaz usporedbe srednjih masa u sirovom stanju i nakon sušenja

Najveće smanjenje duljine primijećeno je kod uzoraka tretiranih u proključaloj otopini s prosječnim smanjenjem duljine od -2.61 %. Također, najveće smanjenje širine dogodilo se kod uzoraka tretiranih na ~100 °C (-2.73 %). Zanimljivo je da je kod debljine došlo do blagog povećanja kod uzoraka tretiranih pri ~100 °C, što je posljedica većeg unosa saharoze i karamelizacije unutar drvenih vlakana.



Graf 3. Smanjenje dimenzija nakon različitih impregnacija

Vakuumsko sušenje

Kontrolni uzorak P1 pokazao je najveću promjenu duljine (4,92 %), dok je tretirani uzorak V (~100°C) pokazao gotovo neznatnu promjenu (0,01 %). Ovaj rezultat naglašava važnost visokotemperaturnog tretmana u smanjenju utezanja drva. Promjene širine kod kontrolnog uzorka P1 iznosile su 6,37 %, dok je tretirani uzorak na ~100°C imao minimalnu promjenu (-0,07 %). Ovo ukazuje na veću stabilnost širine kod tretiranih uzoraka. Promjene debljine bile su slične, s kontrolnim uzorkom P1 koji je imao minimalni povećanje (0,06 %), dok su tretirani uzorci pokazali veće, ali ipak stabilne promjene, posebno uzorak T (60°C), koji je pokazao povećanje debljine od 4,42 %.

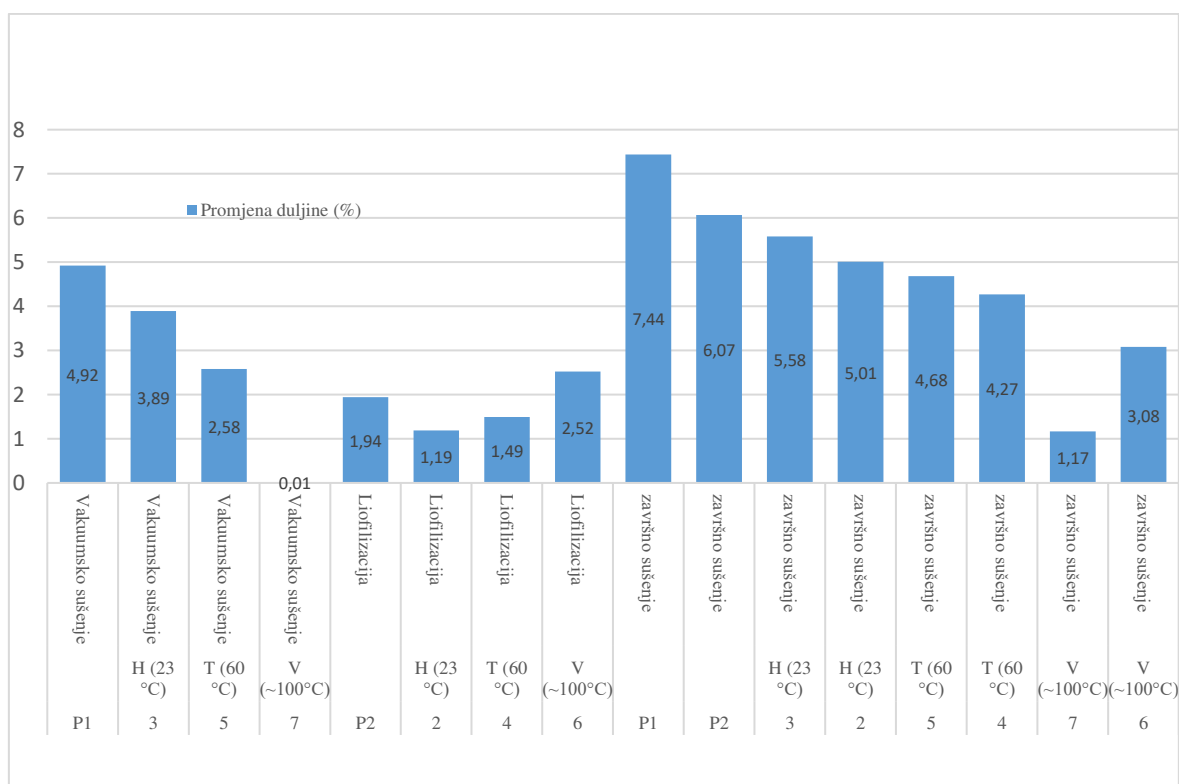
Liofilizacija

Promjena duljine kod kontrolnog uzorka P2 iznosila je 1,94 %, dok je tretirani uzorak V (~100 °C) pokazao neznatno veću promjenu (2,52 %), što sugerira da liofilizacija manje utječe na duljinu tretiranih uzoraka. Slično duljini, kontrolni uzorak P2 pokazao je promjenu širine od 3,26 %, dok je tretirani uzorak V (~100 °C) imao manju promjenu (2,43 %). Kontrolni uzorak P2 pokazao je povećanje debljine od 1,78 %, dok je tretirani uzorak na ~100°C pokazao sličan rast (1,52 %), što pokazuje da liofilizacija pogodnija u usporedbi s drugim metodama sušenja.

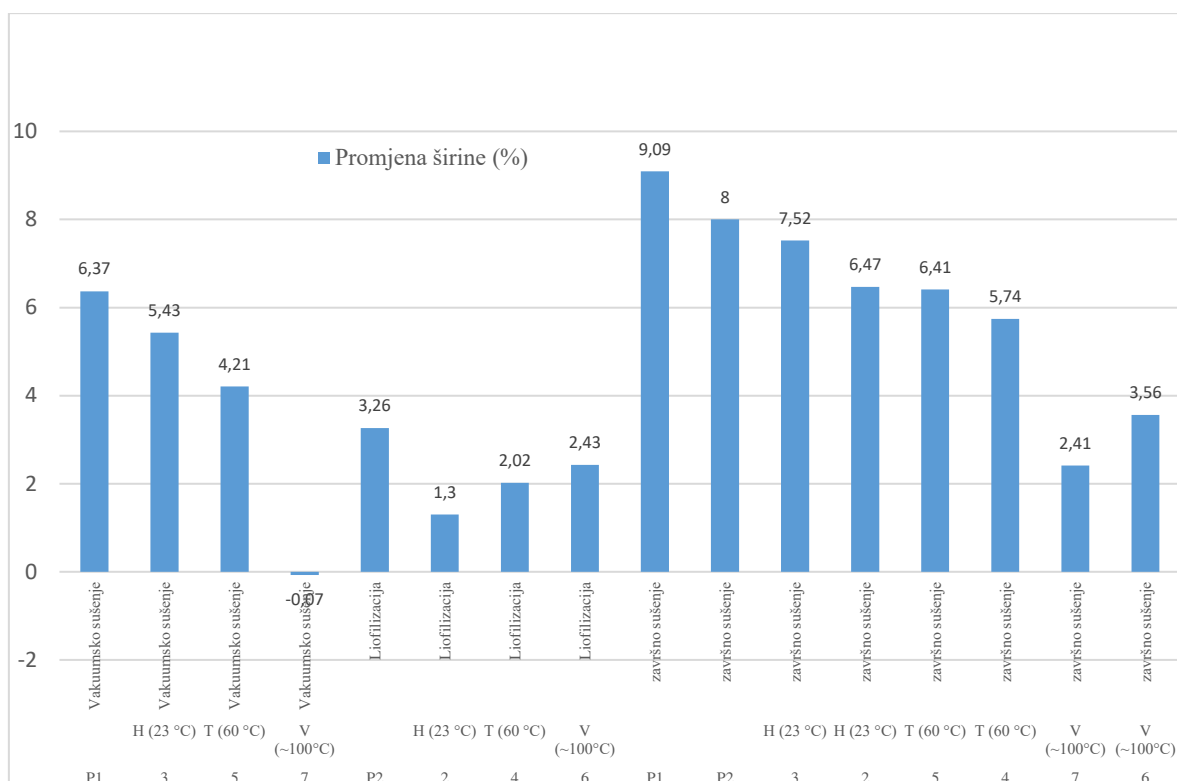
Završno sušenje

Završno sušenje na 103 °C rezultiralo je najvećim promjenama dimenzija kod svih uzoraka, ali tretirani uzorci su pokazali bolju stabilnost u usporedbi s kontrolnim uzorcima.

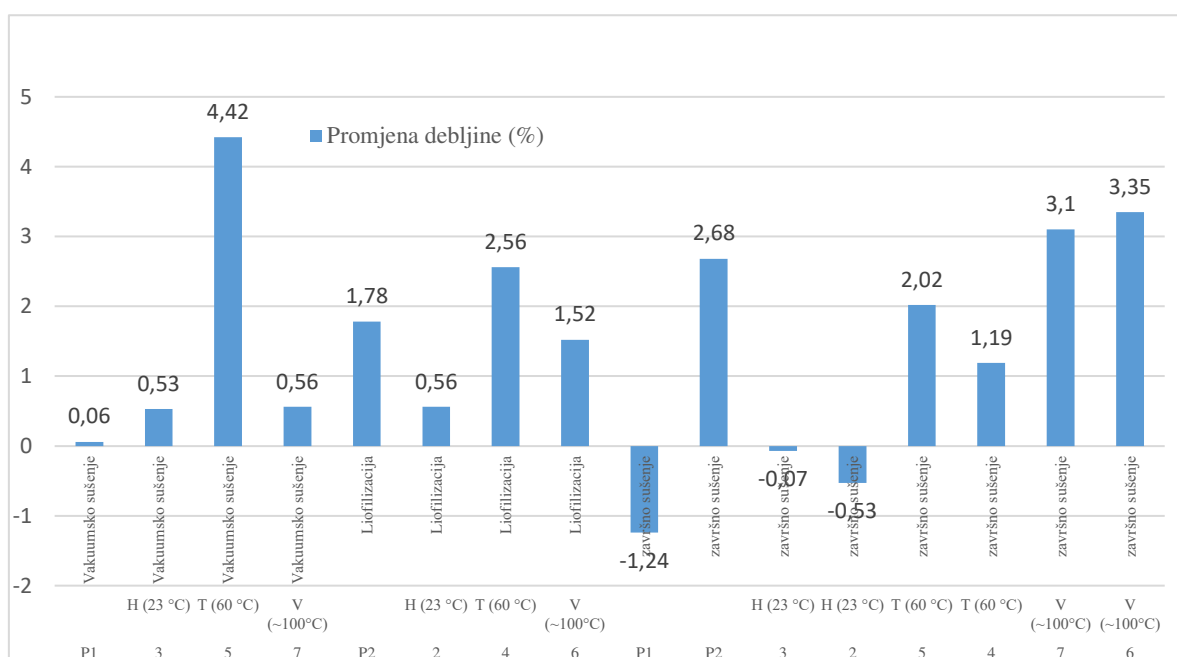
Kontrolni uzorak P1 imao je najveću promjenu duljine (7,44 %), dok je tretirani uzorak V (~100 °C) zabilježio znatno manju promjenu (1,17 %). Kontrolni uzorak P1 imao je najveću promjenu širine (9,09 %), dok je tretirani uzorak V (~100 °C) pokazao znatno manju promjenu (2,41 %). Promjene debljine bile su najizraženije kod završnog sušenja. Kontrolni uzorak P1 imao je smanjenje debljine (-1,24 %), dok je tretirani uzorak V (~100 °C) pokazao najveće povećanje (3,35 %). Unatoč povećanju debljine, tretirani uzorci pokazali su stabilnije promjene u odnosu na kontrolne uzorke.



Graf 4. Promjena (smanjenje) duljine hrastovih uzoraka ovisno o vrsti impregniranja i sušenja (%)



Graf 5. Promjena (smanjenje) širine hrastovih uzoraka ovisno o vrsti impregnacije i vrsti i sušenja (%)



Graf 6. Promjena (povećanje) debljine hrastovih uzoraka ovisno o vrsti impregniranja i vrsti sušenja (%)

5. Zaključak

Ovo istraživanje ispitalo je utjecaj saharoze na dimenzijsku stabilnost hrastovine i promjene oblika i mase drva pod različitim uvjetima impregnacije i vakuumske sušenja. Provedene metode uključivale su tri temperature impregnacije 50 % (w/v) vodenom otopinom saharoze – pri sobnoj temperaturi, pri 60 °C i u proključaloj otopini saharoze (~ 100 °C) – te dvije metode sušenja, liofilizaciju i vakuusko sušenje, čiji je cilj bio da se saharoza fiksira unutar staničnih šupljina drva. Završno sušenje na 103 ± 2 °C poslužilo je za simulaciju ekstremnih uvjeta sušenja, te ispitivanje otpornosti drva na dimenzijske promjene.

Rezultati su pokazali da saharoza ima značajan potencijal u stabilizaciji drva, smanjujući promjene dimenzija uzrokovane desorpcijom vlage. Uzorci impregnirani na visokim temperaturama pokazali su bolju penetraciju i zadržavanje saharoze, a time i bolju dimenzijsku stabilnost. Posebno se istaknula kombinacija tretmana u proključaloj otopini saharoze i vakuumske sušenja, koja je rezultirala najboljim zadržavanjem dimenzija drva nakon sušenja na visokim temperaturama.

Vakuusko sušenje pokazalo se učinkovitijim u očuvanju dimenzija u odnosu na liofilizaciju kod uzoraka tretiranih u proključaloj otopini, unatoč suprotnim očekivanjima. Nasuprot toga, liofilizacija se pokazala učinkovitijom metodom od sušenja u vakuum sušioniku kod uzoraka impregniranih na sobnoj temperaturi i na 60 °C. Nominalna debljina uzoraka je bila 4 mm u longitudinalnom smjeru u kojem je i bubrenje i utezanje najmanje u odnosu na ostala dva smjera, te su dobivene promjene povećanja i smanjenja dosta nepravile i u malim postotnim iznosima. Dogodilo se povećanje debljine za nekoliko postotaka kod uzoraka impregniranih u provreloj otopini, a smanjenje ispod 1 % kod uzoraka impregniranih na sobnoj temperaturi. Navedeno se može objasniti i da je na provrelim uzorcima nakon tretiranja ostao karamelizirani sloj šećera na površini. Ovi nalazi ukazuju na potrebu daljnjeg istraživanja utjecaja različitih metoda sušenja na stabilizaciju drva impregniranog saharozom, osobito u kontekstu industrijskih primjena. Impregnacija na 60 °C za kojom slijedi liofilizacija je dala optimalne rezultate. Impregnacija proključalom otopinom je rezultirala degradiranom estetikom površine i upitnom daljnjom obradivosti površine zbog naslaga karamelizirane saharoze.

Međutim, jedan od ključnih izazova otkrivenih tijekom istraživanja je ispiranje saharoze iz drva u uvjetima visoke vlažnosti ili u dodiru s vodom. Budući da je saharoza topiva u vodi i higroskopna, njezino ispiranje može smanjiti dugoročnu stabilnost drva. Zbog

toga bi u budućim istraživanjima trebalo ispitati mogućnosti primjene različitih površinskih zaštita, poput ulja, lakova ili voskova, kako bi se saharoza zatvorila unutar staničnih struktura i spriječilo njezino ispiranje. Ovi premazi mogu znatno produljiti trajnost tretiranog drva i osigurati dugoročnu stabilnost u zahtjevnim uvjetima.

Uz to, prisutnost saharoze u drvu potencijalno može privući biološke štetnike poput insekata i mikroorganizama, što bi moglo ugroziti dugovječnost materijala. Iako saharoza poboljšava dimenzijsku stabilnost, njezin potencijalni utjecaj na biološku otpornost drva treba detaljnije istražiti kako bi se razvile dodatne mjere zaštite i osigurala dugoročna trajnost drva u stvarnim uvjetima.

U kontekstu očuvanja drvenih artefakata, tretman saharozom nudi mogućnost stabilizacije dimenzija i zaštite od deformacija, no potrebno je dodatno razmotriti mjere zaštite kako bi se spriječilo ispiranje saharoze i napadi štetnika. Kombinacija saharoze s odgovarajućim zaštitnim premazima mogla bi osigurati dugovječnost i očuvanje povijesno i kulturno vrijednih drvenih predmeta.

Zaključno, saharoza se pokazala kao obećavajuće sredstvo za stabilizaciju drva, osobito kada se kombinira s vakuumskim sušenjem. Iako rezultati ukazuju na pozitivne učinke, potrebno je dodatno istražiti metode koje bi spriječile ispiranje saharoze te biološke prijetnje. Buduća istraživanja trebala bi se usmjeriti na optimizaciju metoda impregnacije i sušenja te na razvoj dodatnih zaštitnih mjera kako bi se osigurala dugoročna stabilnost i trajnost drvenih proizvoda tretiranih saharozom.

6. Literatura

1. Hill, C. A. S. (2006). *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. Wiley.
2. Hoadley, R. B. (2000). *Understanding Wood: A Craftsman's Guide to Wood Technology*. Taunton Press.
3. Kennedy, A., & Pennington, E. R. (2016). *Conservation of chemically degraded waterlogged wood with sugars*.
4. Parrent, J. M. (2017). *The conservation of waterlogged wood using sucrose*.
5. Rasmussen, E. F. (1987). *Dry Kiln Operator's Manual*. USDA Forest Service.
6. Rowell, R. M., & Youngs, R. A. (1981). *Dimensional Stabilization of Wood in Use*. USDA Forest Products Laboratory.
7. Stamm, A. J. (1956). *Treatment with Sucrose and Invert Sugar*. *Journal of the American Wood Preservers' Association*.
8. Walker, J. C. F. (1993). *Primary Wood Processing: Principles and Practice*. Springer.

WEB Izvori:

1. Memmert WNB 14 - Waterbath, Basic control, 115v:
<https://www.tequipment.net/Memmert/WNB-14/Water-Baths-and-Liquid-Baths>
(Pristupljeno: 15.08.2024.)
2. Kambič: <https://kambic.com/liofilizatorji/> (Pristupljeno: 15.08.2024.)
3. Memmert: <https://www.memmert.com/en/products/heating-drying-ovens/vacuum-oven#!filters=%7B%7D> (Pristupljeno: 15.08.2024.)

7. Životopis

Zovem se Elizabeta Tukerić i trenutno sam studentica na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije u Zagrebu, gdje sam 2017. godine upisala preddiplomski studij drvne tehnologije. Nakon završetka preddiplomskog studija, 2022. godine nastavila sam Diplomski studij Oblikovanje proizvoda od drva, kroz koji sam stekla dublje razumijevanje dizajna i razvoja drvnih proizvoda, kao i praktične vještine potrebne za rad u struci.

Uz fakultetsko obrazovanje, završila sam i opću gimnaziju te osnovnu glazbenu školu, gdje sam razvila analitičke vještine, disciplinu i umjetničku osjetljivost. Te su mi vještine kasnije pomogle u različitim aspektima obrazovanja i profesionalnog razvoja.

Kroz svoj studij, aktivno sam sudjelovala u radu Studentskog zbora, gdje sam radila na zastupanju interesa studenata i poboljšanju kvalitete studentskog života. Ova uloga mi je omogućila razvijanje organizacijskih i komunikacijskih vještina te sposobnost timskog rada i rješavanja problema.

Tijekom studija, razvila sam i tehničko znanje, posebno u korištenju različitih programa za projektiranje. Koristim AutoCAD, AutoCAD Inventor, Woodwork for Inventor, Corpus i SketchUp za tehničko crtanje i 3D modeliranje. Također, razumijem rad u SolidWorks-u, koji koristim za projektiranje složenih konstrukcija. U programu Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint) koristim se za pripremu projekata, analizu podataka i izradu prezentacija.

Nakon završetka studija, planiram se profesionalno usmjeriti na projektiranje i razvoj proizvoda od drva, s posebnim naglaskom na inovativna rješenja koja unapređuju kvalitetu proizvoda i istovremeno čuvaju okoliš. Vjerujem da će mi znanja i vještine stečene na fakultetu, u kombinaciji s praktičnim iskustvima, omogućiti da doprinosim razvoju drvne tehnologije u dinamičnom i kreativnom radnom okruženju. Tražim priliku za rad u tvrtki koja pruža mogućnosti za kontinuirani profesionalni razvoj, učenje i napredovanje.