

UNIVERZITET U BEOGRADU

ŠUMARSKI FAKULTET

Jasmina J. Popović

EFEKTI NEKIH PREDTRETMANA NA
HEMIJSKI SASTAV JUVENILNOG I ZRELOG
DRVETA POLJSKOG JASENA
(*Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp.
Pannonica Soó & Simon)
I MOGUĆNOSTI PRIMENE TAKO
MODIFIKOVANOG DRVETA

Doktorska disertacija

Beograd, 2015

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF FORESTRY

Jasmina J. Popović

SELECTED PRE-TREATMENT EFFECTS ON
CHEMICAL COMPOSITION OF JUVENILE AND
MATURE WOOD OF NARROW-LEAVED ASH
(*Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp.
Pannonica Soó & Simon)
AND THE APPLICATION POSSIBILITIES OF
SUCH MODIFIED WOOD

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2015

Mentor:

Dr Milanka Điporović-Momčilović, redovni profesor

Univerziteta u Beogradu, Šumarski fakultet

Članovi komisije:

Dr Bojana Klašnja, naučni savetnik u penziji

Institut za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu u Novom Sadu

Dr Dragica Vilotić, redovni profesor

Univerziteta u Beogradu, Šumarski fakultet

Dr Sergej Medved, vanredni profesor

Univerzitet u Ljubljani, Biotehnički fakultet

Dr Mladen Popović, docent

Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet

Datum odbrane: _____

IZRAZI ZAHVALNOSTI

Zahvaljujem se svom mentoru, dr Milanki Điporović-Momčilović, na učešću u izradi i oblikovanju ove disertacije. Za sve prijateljske savete, zalaganje, primedbe, ideje, sugestije i dragocene informacije koje su doprinele da nedostižno postane dostižno neizmerno hvala!

Ništa manju zahvalnost na podršci, stručnim sugestijama i prijateljskim savetima upućujem članu komisije, dragom i iskrenom prijatelju, izuzetnoj osobi koja uvek i za svakog ima prave reči - dr Bojani Klašnji.

Članovima komisije i dragim kolegama: dr Dragici Vilotić, dr Sergeju Medvedu i dr Mladanu Popoviću, koji su svojim zalaganjem doprineli izradi ove teze, veliko hvala na stručnoj i prijateljskoj pomoći.

Dr Gradimiru Danonu, koji je, kao član komisije za ocenu teme ove disertacije aktivno pratio tok eksperimentalnog rada, ne štedeći korisne informacije i sugestije, takođe dugujem veliku zahvalnost

Hvala neizmerno i dr Biljani Bujanović, koja je, iako je akademsku karijeru nastavila u neuporedivo boljim uslovima u Americi, umela da mi skrene pažnju na aktuelna istraživanja u svetu koja su izvodljiva u našim skromnim uslovima, čime je pružila neprocenjivu pomoć prilikom formulisanja teme ove teze.

Na nesebičnoj pomoći i nesvakidašnjem požrtvovanju neizmerno se zahvaljujem dragim kolegicama i izuzetnim osobama sa kojima sam imala čast i sreću da saradujem tokom izrade ovog rada, mr Gordani Radošević i dr Anamariji Mandić.

Na sugestijama i stručnoj pomoći zahvaljujem se i dragim kolegama: dr Martinu Bobincu, dr Saši Drmaniću i dr Jasmini Nikolić.

Takođe, na učešću u radu i prijateljskoj podršci hvala, na prvom mestu Msc Goranu Milutinoviću i Nikoli Džakuli. Zahvaljujem se na pomoći i dipl. inž. Dragici Milojković, mr Gordani Petković, kolegama sa Instituta za ispitivanje materijala u Beogradu, kao i zaposlenima u Šumskoj upravi Morović i Špik Iverica u Ivanjici.

Hvala od srca svim dragim i iskrenim prijateljima koji su znali da kažu pravu reč u pravom trenutku, da uliju snagu, da budu tu kad treba.

I na kraju, hvala mami i tati ... samo vi znate na čemu sve!

A tebi,

devojko mala, pesmo moga grada, što si mi dala srce puno sna

hvala što postojiš,

i oprosti svojoj mami što nije umela drugačije.

KLJUČNA DOKUMENTACIONA INFORMACIJA

UDK	630*813 + 630*811.1:674.916.165(043.3)
Tip dokumenta (TD)	Monografska publikacija
Tip zapisa (TZ)	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (VR)	Doktorska teza
Autor (AU)	Jasmina Popović
Mentor (MN)	Dr Milanka Điporović-Momčilović, red. prof.
Naslov rada (NR)	Efekti nekih predtretmana na hemijski sastav juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena (<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl. ssp. <i>Pannonica</i> Soó & Simon) i mogućnosti primene tako modifikovanog drveta
Jezik publikacije (JP)	Srpski
Zemlja publikacije (ZP)	R. Srbija
Geografsko područje (GP)	Srbija
Godina izdavanja (GI)	2014.
Izdavač (IZ)	Autorski reprint
Mesto izdavanja i adresa (MS)	11030 Beograd, Kneza Višeslava 1, Srbija
Fizički obim rada (FO)	7 poglavlja/ 275 stranica/ 233 naslova/ 43 tabele/ 141 slika
Naučna oblast (NO)	Biotehničke nauke
Naučna disciplina (DIS)	Hemijsko-mehanička prerada drveta
Ključne reči (KR)	Poljski jasen, hemijsko-anatomska karakterizacija, hemijski predtretmani, ploče iverice, fizička i mehanička svojstva
Čuva se (ČU)	U biblioteci Šumarskog fakulteta, 11030 Beograd, Kneza Višeslava 1, Srbija
Izvod (IZ)	U ovom radu istražena je hemijsko-anatomska varijabilnost u zavisnosti od starosti i položaja na stablu, i uticaj hemijskih predtretmana na hemijski sastav juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena (<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl. ssp. <i>Pannonica</i> Soó & Simon) sa područja Morovića. Radi ispitivanja dejstva predtretmana juvenilno i zrelo drvo poljskog jasena tretirano je 1 h na temperaturi od 100 °C vodom, i pri dodatku rastvora 0,06 g/g sirćetne kiseline i 0,03 g/g natrijum karbonata. U cilju istraživanja mogućnosti primene tretmanom modifikovanog drveta izrađene su i ispitane eksperimentalne jednoslojne ploče iverice. Za ispitivanja primenjene su TAPPI, ASTM, EN SRPS metode i SEM, SEM-EDS, FTIR i HPLC instrumentalne metode.
Datum prihvatanja teme (DP)	Odlukom Univerziteta u Beogradu, stručnog veća za biotehničke nauke, broj 612-17/109-09, od dana 12.02.2010.
Komisija za odbranu (KO)	Dr Milanka Điporović-Momčilović, red. prof. Dr Bojana Klašnja, naučni savetnik u penziji. Dr Dragica Vilotić, red. prof. Dr Sergej Medved, vanr. prof. Dr Mladan Popović, docent
Datum odbrane (DO)	

KEY WORD DOCUMENTATION

UDK	630*813 + 630*811.1:674.916.165(043.3)
Documetn type (DT)	Monograph publication
Type of record (TR)	Textual printed material
Contents code (CC)	Doctoral dissertation
Autor (AU)	Jasmina Popović
Menthor (MN)	Dr Milanka Điporović-Momčilović, full professor
Title (TI)	Efekti nekih predtretmana na hemijski sastav juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena (<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl. ssp. <i>Pannonica</i> Soó & Simon) i mogućnosti primene tako modifikovanog drveta
Language of text (LT)	Serbian / Latin letters
Country of publication (CP)	Republic of Serbia
Locality of publication (LP)	Serbia
Publication year (PY)	2014
Publisher (PU)	Author
Publication place (PP)	11030 Belgrade RS, Kneza Višeslava 1
Physical description (PD)	7 chapters/ 275 pages/ 233 references/ 43 tables/ 141 figures
Scientific field (SF)	Biotechnical sciences
Scientific discipline (SD)	Chemical and mechanical processing of wood
Subject, Key words (KW)	Narrow-leaved ash, chemical and anatomical characterization, chemical pre-treatments, particleboards, physical and mechanical properties
Holding data (HD)	Library of Faculty of Forestry, 11030 Belgrade RS, Kneza Višeslava 1
Abstract (AB)	This work presents the research on chemical and anatomical variability affected by the age and the position in the tree trunk, as well as the influence of the chemical pre-treatments on the chemical composition of juvenile and mature wood of Narrow-leaved ash (<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl. ssp. <i>Pannonica</i> Soó & Simon) sampled from the Morovic area. In order to evaluate the pre-treatment effects, both juvenile and mature ash wood samples were treated with distilled water and with solutions of acetic acid (0,06 g/g) and sodium hydroxide (0,03 g/g), during 1 h on the temperature 100 °C. The application possibilities of modified ash wood were evaluated using TAPPI and ASTM methods and SEM, SEM-EDS, FTIR and HPLC instrumental techniques. In addition, laboratory scaled particleboards were produced and tested using SRPS EN methods.
Accepted by Scientific Board (ASB)	By decision of Biotechnical Sciences council, no 612-17/110-09, on 12.02.2010.
Thesis Defend Board (DB)	Dr Milanka Điporović-Momčilović, full professor Dr Bojana Klašnja, full professor Dr Dragica Vilotić, full professor Dr Sergej Medved, associate professor Dr Mladen Popović, assistant professor
Date of defend (DD)	

IZVOD

U okviru ove doktorske disertacije istražena je varijabilnost anatomskog i hemijskog sastava u zavisnosti od starosti i položaja na stablu, i uticaj hemijskih predtretmana na hemijski sastav juvenilnog (10 godina) i zrelog (72 godine) drveta poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon) sa područja Morovića. U cilju ispitivanja dejstva predtretmana juvenilno i zrelo drvo poljskog jasena tretirano je 1 h na temperaturi od 100 °C vodom, i pri dodatku rastvora 0,06 g/g sirćetne kiseline i 0,03 g/g natrijum karbonata.

Za anatomsku karakterizaciju primenjene su svetlosna i elektronska mikroskopija (SEM). TAPPI i ASTM metodama određen je sadržaj celuloze, Klasonovog i kiselo-rastvornog lignina, mineralnih materija i ekstraktivnih jedinjenja rastvorljivih u vreloj vodi i u smeši organskih rastvarača (toluol/etanol). Za utvrđivanje sadržaja glukoze, ksiloze i manoze u uzorcima drveta i ekstraktima iz tretmana primenjena je visoko efikasna tečna hromatografija (HPLC), a za analizu funkcionalnih grupa primenjena je infracrvena spektroskopija (FTIR). Elementarna analiza karakterističnih detalja uočenih u tkivu poljskog jasena obavljena je primenom SEM-EDS sistema. Primenom standardnih EN SRPS i DIN, kao i naučnih metoda ispitan je uticaj tretmana na sadržaj ravnotežne vlage, adhezivna svojstva, upijanje vode, zapreminsko bubrenje i toplotnu moć drveta poljskog jasena.

U cilju istraživanja mogućnosti primene tretmanom modifikovanog drveta izrađene su eksperimentalne jednoslojne ploče iverice. EN SRPS standardi su primenjeni za ispitivanje fizičkih i mehaničkih svojstava izrađenih ploča.

Ustanovljeno je da postoji varijabilnost dimenzija elemenata anatomske građe i hemijskog sastava poljskog jasena u zavisnosti od starosti i položaja na stablu.

Svi tretmani su doveli do promena u hemijskom sastavu drveta, i to u većoj meri kod juvenilnog drveta. Tretman vodom izazvao najmanje promene, a tretman natrijum karbonatom najveće. U tretiranom drvetu poljskog jasena smanjen je sadržaj mineralnih materija za 16 - 80 %, ekstraktivnih materija rastvorljivih u vreloj vodi za 76 - 85 %, a sadržaj ekstraktivnih materija rastvorljivih u smeši toluol/etanol za 58 - 78 %. Sadržaj celuloze tretiranog drveta povećan je 3.6 - 8 %, a sadržaj lignina nije značajno promenjen. Sadržaja ksiloze povećan je posle tretmana vodom za oko 3.5 % kod zrelog i 9 % kod juvenilnog drveta, a smanjen posle ostalih tretmana.

Tretman vodom i sirćetnom kiselinom doveli su do smanjenja, a tretman natrijum karbonatom do povećanja sadržaja ravnotežne vlage tretiranih uzoraka (90 %, 20 °C). Svi tretmani doveli su do intenzivnijeg upijanja vode i poboljšanja dimenzionalne stabilnosti za 14 - 24.6 %. Adhezivna svojstva značajno su poboljšana posle tretmana natrijum karbonatom.

Ploče izrađene od tretiranog iverja imale su niže vrednosti sadržaja ravnotežne vlage u odnosu na kontrolne ploče (32, 65 i 90 %, 20 °C), uz pad mehaničkih svojstava. Dimenzionalna stabilnost ploča od iverja tretiranog vodom poboljšana je za 6.4 %, uz povećanje modula elastičnosti pri savijanju za 35 %. Savojna čvrstoća ovih ploča neznatno je povećana, a čvrstoća na zatezanje upravno na površinu višestruko smanjena.

ABSTRACT

The scope of this doctoral dissertation included the research on chemical and anatomical variability affected by the age and the position in the tree trunk, as well as the influence of the chemical pre-treatments on the chemical composition of juvenile and mature wood of Narrow-leaved ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon) sampled from the Morovic area. In order to evaluate the pre-treatment effects, both juvenile and mature ash wood samples were treated with distilled water and with the solutions of acetic acid (0,06 g/g) and sodium hydroxide (0,03 g/g), during 1 h on the temperature 100 °C.

The light and the scanning electronmicroscopy (SEM) were applied for the anatomical characterization of ash wood. The TAPPI and ASTM methods were used to determine the contents of cellulose, Klason and acid soluble lignin, mineral substances and the extractive compounds soluble in hot water and in the mixture of organic solvents (toluene/ethanol). The contents of glucose, xylose and mannose were determined with the application of high-performance liquid chromatography (HPLC), while the Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) was used to analyze functional groups. SEM-EDS system was applied for the elements analysis of characteristic details observed in the wood tissue of Narrow-leaved ash. The EN SRPS and DIN standard methods and the scientific methods were used to evaluate the effects of the treatments on the equilibrium moisture content, adhesive properties, water uptake, volumetric swelling and heating value of ash wood.

The single layer laboratory scaled particleboards were produced in order to evaluate the application possibilities of the ash wood modified with selected pre-treatments. EN SRPS standard methods were used to test the physical and mechanical properties of produced boards.

It was found that the age and the position inside the trunk affect the dimensions variability of the anatomical elements and the chemical composition of Narrow-leaved ash.

All the applied treatments had caused the changes in the chemical composition of wood. The juvenile wood experienced the more intensive changes than the mature wood. The water treatment had caused the least intense changes, while the highest changes in wood were characteristic for the sodium hydroxide treatment.

As a result of the treatments, the mineral content in ash wood decreased for 16 - 80 %, the extractives soluble in water decreased for 76 - 85 % and the extractives soluble in the toluene/ethanol mixture decreased for 58 - 78 %. The cellulose content in ash wood increased for 3.6 - 8 % after the treatments, while the lignin content has not been significantly changed. Xylose content increased after the water treatment for about 3.5 % in mature wood and 9 % in juvenile wood, but have decreased after the other treatments.

The equilibrium moisture content (90 %, 20 °C) have been decreased after the treatments with water and acetic acid, but have increased after the sodium hydroxide treatment. All the treatments have brought to more intensive water uptake, but have also improved the dimensional stability for 14 - 24.6 %. Adhesion properties have significantly increased after the sodium hydroxide treatment.

Particleboard samples made with treated wood had lower values of equilibrium moisture content in regard to the control samples (32, 65 i 90 %, 20 °C), but also the lower mechanical properties. Dimensional stability of the samples made with water treated particles was improved for 6.4 % followed with the increase in the module of elasticity for 35 %. The bending strength of the same samples increased negligible, but the internal bond experienced multifold decrease.

SPISAK SLIKA

- Slika 2.1.** Čelije tkiva lišćarskih vrsta
- Slika 2.2.** Strukturna formula β -D-glukopiranoze: a) Hejvortova (Haworth) i b) konformaciona
- Slika 2.3.** Molekulska struktura celuloze
- Slika 2.4.** Šema vodoničnih veza (isprekidane linije) u celulozi a) unutarmolekulske i b) međumolekulske
- Slika 2.5.** Šematski prikaz obrazovanja mikrofibrila i makrofibrila
- Slika 2.6.** Šematski prikaz kristalne rešetke i amorfne strukture celuloze
- Slika 2.7.** Deo strukture ksilana lišćara
- Slika 2.8.** Deo strukture manana lišćara (Dekker, 1985)
- Slika 2.9.** Monomerni prethodnici lignina (monolignoli)
- Slika 2.10.** Prikaz strukture lignina drveta lišćara (Stewart et al., 2009).
- Slika 2.11.** Šematski prikaz organizacije celuloze, hemiceluloza i lignina a) u izgradnji ćelijskog zida i b) mikrofibrila
- Slika 2.12.** Prikaz strukture veze između lignina i hemiceluloza a) etarska i b) estarska veza (Watanabe et al., 1989; Koshijima i Watanabe, 2003).
- Slika 2.13.** Šematski prikaz ćelijskog zida sa prikazom orijentacije celuloznih mikrofibrila (Brändström, 2002)
- Slika 2.14.** Način rasta i delovi drveta
- Slika 2.15.** Adsorpciono-desorpcione izoterme za sistem drvo-voda
- Slika 2.16.** Hidroliza glikozidne veze u kiseljoj (H^+), baznoj (OH^-) sredini i vodi (H_2O) (Dumitriu, 2005)
- Slika 2.17.** Mehanizam hidrolize glikozidne veze u kiseljoj sredini
- Slika 2.18.** Kiselinska dehidratacija monosaharida
- Slika 2.19.** Mogući proizvodi alkalne hidrolize celuloze
- Slika 2.20.** Eliminacija ostatka 4-O-metil -D-glukuronske kiseline u metilovanom ksilanu. (1) Alkalni tretman; (2) Blagokisela hidroliza
- Slika 2.21.** Potencijalna mesta napada H^+ jona prilikom autohidrolitičkog razlaganja ksilana
- Slika 2.22.** Hidroliza ksilana lišćara i prikaz mogućih proizvoda: (1) Arabinoza; (2) Ksilozna; (3) Acetilovani ksilooligomeri; (4) Ksilooligomeri visoke molekulske mase; (5) Kiseli razgranati oligosaharidi; (6) Glukoza; (7)

Celobioza; (8) Celooligomeri; (9) Furfural; (10) Hidroksimetilfurfural; (11) Levulinska kiselina; (12) furan; i (13) 2-furoinska kiselina; (14) sirćetna kiselina i (15) mravlja kiselina (Ramos, 2003)

- Slika 2.23.** Transformacija monosaharida u kiseloj sredini u furfural i HMF
- Slika 2.24.** Struktura lignoceluloznog materijala i potencijalni proizvodi hidrolize (Taherzadeh i Karimi, 2007).
- Slika 4.1.** Osnovni plan istraživanja
- Slika 4.2.** Plan eksperimentalnog rada
- Slika 4.3.** *Fraxinus angustifolia* - rasprostranjenost (preuzeto sa: http://herbaria.plants.ox.ac.uk/fraxigen/ash/ash_distribution.html)
- Slika 4.4.** Šume poljskog jasena i hrasta lužnjaka (*Quercus-Fraxinetum serbicum* Rud.), Morović
- Slika 4.5.** *Fraxinus angustifolia*-izgled lista (preuzeto sa: <http://en.wikipedia.org/wiki/Fraxinus>)
- Slika 4.6.** Izgled kore: a) juvenilnog i b) zrelog drveta poljskog jasena
- Slika 4.7.** Poljski jasen - poprečni presek: a) makroskopski i b) mikroskopski
- Slika 4.8.** Šume poljskog jasena i hrasta lužnjaka (*Quercus-Fraxinetum serbicum* Rud.), Morović
- Slika 4.9.** Uzorkovana stabla zrelog drveta poljskog jasena
- Slika 4.10.** Odrezak za anatomske karakterizacije
- Slika 4.11.** Macerat drveta poljskog jasena
- Slika 4.12.** Izgled mikroskopa sa pratećom opremom
- Slika 4.13.** Z-iverač "Hombak": a) transporter i b) noževi iverača
- Slika 4.14.** Aparatura za određivanje sadržaja ekstraktivnih materija
- Slika 4.15.** Vreme želiranja UF adheziva Lendur 730F na 100 °C pri različitim dodacima katalizatora $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
- Slika 4.16.** Šema rezanja i obeležavanja uzoraka
- Slika 4.17.** Klimatizacija uzoraka
- Slika 4.18.** Poprečni presek uzoraka za ispitivanje a) smicajne čvrstoće u sloju adheziva i b) zapreminskog bubrenja
- Slika 4.19.** Primer obeležavanja uzorka
- Slika 4.20.** Autoklav i uređaj "Stalvets" sa autoklavima
- Slika 4.21.** Merna mesta na uzorku

- Slika 4.22.** Potapanje uzoraka u vodu (a) i merenje dimenzija (b)
- Slika 4.23.** Porast temperature u sljubnici pri u zavisnosti od vremena pri probnom presovanju uzoraka (temperatura presovanja 128 °C)
- Slika 4.24.** Nanošenje adheziva, slaganje sendviča za presovanje na podložni lim i vrelo presovanje uzoraka
- Slika 4.25.** Specifični pritisak tokom vrelog presovanja
- Slika 4.26.** Splejeni uzorci sa žlebovima
- Slika 4.27.** Merenje dimenzija površine smicanja
- Slika 4.28.** Ispitivanje jednog uzorka na kidalici "ZWICK"
- Slika 4.29.** Dekantovanje ekstrakta
- Slika 4.30.** HPLC sistem
- Slika 4.31.** Priprema uzoraka: filtriranje i uzorak pripremljen za HPLC analizu
- Slika 4.32.** Skenirajući elektronski mikroskop - SEM model: JEOL JSM-6610LV (a) i komora za uzorke (b)
- Slika 4.33.** Uzorci drveta poljskog jasena pripremljeni za napanje zlatom
- Slika 4.34.** Uzorci drveta u komori za napanje uzoraka zlatom (Au) i ugljenikom (C): model LEICA SCD005
- Slika 4.35.** Uzorci prekriveni slojem zlata
- Slika 4.36.** Hlađenje autoklava u vodenom kupatilu
- Slika 4.37.** Ispiranje iverja posle tretmana
- Slika 4.38.** Uređaj za oblepljivanje iverja
- Slika 4.39.** Laboratorijska presa
- Slika 4.40.** Režim presovanja
- Slika 4.41.** Plan rezanja ploča iverica
- Slika 4.42.** Uzorci za određivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti pri savijanju
- Slika 4.43.** Merenje debljine uzorka automatskim meračem dimenzija IMAL
- Slika 4.44.** Određivanje savojne čvrstoće ploča
- Slika 4.45.** Merenje dimenzija ispitnih uzoraka automatskim meračem dimenzija IMAL
- Slika 4.46.** Određivanje zatezne čvrstoće (a); Raslojavanje uzorka (b)
- Slika 4.47.** Izgled loma uzorka

- Slika 5.1.** Poprečni presek a) juvenilnog i b) zrelog drveta poljskog jasena (SEM)
- Slika 5.2.** Tangencijalni presek a) juvenilnog i b) zrelog drveta poljskog jasena (SEM)
- Slika 5.3.** Radijalni presek a) juvenilnog i b) zrelog drveta poljskog jasena (SEM)
- Slika 5.4.** Traheje a) juvenilnog i b) zrelog drveta poljskog jasena (SEM)
- Slika 5.5.** Unutrašnji (a) i b) spoljašnji zid traheje drveta poljskog jasena sa nadsvođenim jamicama (SEM)
- Slika 5.6.** Deo zida traheje drveta poljskog jasena sa ćelijama radijalnog parenhima
- Slika 5.7.** Mehanička vlakna (libriform) a) poprečni i b) uzdužni presek
- Slika 5.8.** Macerat drveta poljskog jasena
- Slika 5.9.** Tangencijalni prečnik lumena traheja juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena (visina 1,3m)
- Slika 5.10.** Dužina mehaničkih vlakana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena u zavisnosti od a) položaja po prečniku na visini od 1,3m i b) položaja po visini na stablu
- Slika 5.11.** Debljina ćelijskog zida mehaničkih vlakana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena u zavisnosti od a) položaja po prečniku na visini od 1,3 m i b) položaja po visini na stablu
- Slika 5.12.** Prečnik lumena mehaničkih vlakana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena u zavisnosti od a) položaja po prečniku na visini od 1,3 m i b) položaja po visini na stablu
- Slika 5.13.** Sadržaj pepela na tri položaja po visini na stablu a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena
- Slika 5.14.** SEM-EDS elementarna analiza
- Slika 5.15.** Sadržaj ekstraktivnih materija rastvornih u organskim rastvaračima (T/E) na tri položaja po visini stabla a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena
- Slika 5.16.** Sadržaj ekstraktivnih materija rastvornih u vreloj vodi na tri položaja po visini na stablu a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena
- Slika 5.17.** Sadržaj lignina na tri položaja po visini na stablu a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena
- Slika 5.18.** Sadržaj celuloze na tri položaja po visini na stablu a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena
- Slika 5.19.** Hromatogrami zrelog i juvenilnog drveta poljskog jasena (visina 1.3m)

- Slika 5.20.** Prosečan hemijski sastav a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena
- Slika 5.21.** FTIR spektri juvenilnog i zrelog drveta jasena u oblasti $400-4000\text{cm}^{-1}$
- Slika 5.22.** FTIR spektri juvenilnog i zrelog drveta jasena u oblasti $800-2000\text{cm}^{-1}$
- Slika 5.23.** Gubitak mase uzoraka poljskog jasena prilikom tretmana vodom tokom 60 min na temperaturama od $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (TV 1) i $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (TV 2)
- Slika 5.24.** Smicajna čvrstoća u sloju adheziva (a) i površina loma po drvetu (b) kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih vodom na $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (TV 1) i $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (TV 2)
- Slika 5.25.** Upijanje vode kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih vodom na $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (TV 1) i $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (TV 2) u zavisnosti od vremena potapanja
- Slika 5.26.** Zapreminsko bubrenje tokom potapanja kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih vodom na $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (TV 1) i $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (TV 2) u zavisnosti od: a) vremena potapanja i od b) upijene vode
- Slika 5.27.** Gubitak mase uzoraka poljskog jasena prilikom tretmana rastvorima sirćetne kiseline pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta na temperaturama od $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (KT 1, KT 2 i KT 3) i $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (KT 4, KT 5 i KT 6)
- Slika 5.28.** Smicajna čvrstoća u sloju adheziva kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih pri dodatku od 0,03, 0,06 i 0,09 g/g sirćetne kiseline na $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (KT 1, KT 2 i KT 3) i $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (KT 4, KT 5 i KT 6)
- Slika 5.29.** Upijanje vode kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih rastvorima sirćetne kiseline pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g na $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (KT 1, KT 2 i KT 3) i $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (KT 4, KT 5 i KT 6) u zavisnosti od vremena potapanja
- Slika 5.30.** Zapreminsko bubrenje tokom potapanja kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih rastvorima sirćetne kiseline pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g na $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (KT 1, KT 2 i KT 3) i $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (KT 4, KT 5 i KT 6) u zavisnosti od: a) vremena potapanja i od b) upijene vode
- Slika 5.31.** Gubitak mase uzoraka poljskog jasena prilikom tretmana rastvorima natrijum karbonata pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta na temperaturama od $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (AT 1, AT 2 i AT 3) i $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (AT 4, AT 5 i AT 6)
- Slika 5.32.** Smicajna čvrstoća u sloju adheziva kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih rastvorima natrijum karbonata pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g na $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (AT 1, AT 2 i AT 3) i $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (AT 4, AT 5 i AT 6)

- Slika 5.33.** *Upijanje vode kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g natrijum karbonata na 100 °C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120 °C (AT 4, AT 5 i AT 6) u zavisnosti od vremena potapanja*
- Slika 5.34.** *Zapreminsko bubrenje tokom potapanja kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena rastvorima natrijum karbonata pri dodatku od 0,03, 0,06 i 0,09 g/g na 100 °C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120 °C (AT 4, AT 5 i AT 6) u zavisnosti od: a) vremena potapanja i od b) upijene vode*
- Slika 5.35.** *Sadržaj pepela kontrolnih i uzoraka tretiranih vodom (TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (AT) na 100 °C a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena*
- Slika 5.36.** *Sadržaj ekstraktivnih materija (vrela voda) kontrolnih i uzoraka tretiranih vodom (TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (AT) na 100 °C a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena*
- Slika 5.37.** *Sadržaj ekstraktivnih materija (T/E) kontrolnih i uzoraka tretiranih vodom (TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (AT) na 100 °C a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena*
- Slika 5.38.** *Sadržaj celuloze kontrolnih i uzoraka tretiranih vodom (TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (AT) na 100 °C a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena*
- Slika 5.39.** *Sadržaj lignina kontrolnih i uzoraka tretiranih vodom (TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (AT) na 100 °C a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena*
- Slika 5.40.** *Hromatogrami hidrolizata (72 % H₂SO₄) netretiranih uzoraka drveta poljskog jasena*
- Slika 5.41.** *Hromatogrami hidrolizata (72 % H₂SO₄) drveta poljskog jasena tretiranih vodom (100 °C)*
- Slika 5.42.** *Hromatogrami hidrolizata (72 % H₂SO₄) drveta poljskog jasena tretiranih sirćetnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C)*
- Slika 5.43.** *Hromatogrami hidrolizata (72 % H₂SO₄) drveta poljskog jasena tretiranih natrijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C)*
- Slika 5.44.** *FTIR spektri netretiranog i uzoraka tretiranih vodom (TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (AT) na 100 °C juvenilnog drveta poljskog jasena u oblasti 400 - 4000 cm⁻¹*
- Slika 5.45.** *FTIR spektri netretiranog i uzoraka tretiranih vodom (TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (AT) na 100 °C zrelog drveta poljskog jasena u oblasti 400 - 4000 cm⁻¹*

- Slika 5.46.** FTIR spektri netretiranog i uzoraka tretiranih vodom (TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (AT) na 100 °C juvenilnog drveta poljskog jasena u oblasti 800 - 1800cm⁻¹
- Slika 5.47.** FTIR spektri netretiranog i uzoraka tretiranih vodom (TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (AT) na 100 °C zrelog drveta poljskog jasena u oblasti 800 - 1800 cm⁻¹
- Slika 5.48.** Kontrolni uzorci juvenilnog drveta poljskog jasena a) poprečni presek i b) tangencijalni presek
- Slika 5.49.** Juvenilno drvo poljskog jasena tretirano vodom na 100 °C- tangencijalni presek
- Slika 5.50.** Juvenilno drvo poljskog jasena tretirano pri dodatku 0,06 g/g sirćetne kiseline na 100 °C a) poprečni presek i b) tangencijalni presek
- Slika 5.51.** Juvenilno drvo poljskog jasena tretirano pri dodatku 0,03 g/g natrijum karbonata na 100 °C - tangencijalni presek
- Slika 5.52.** Kontrolni uzorci zrelog drveta poljskog jasena - poprečni presek
- Slika 5.53.** Zrelo drvo poljskog jasena tretirano vodom na 100 °C a) poprečni presek i b) tangencijalni presek
- Slika 5.54.** Zrelo drvo poljskog jasena tretirano pri dodatku 0,06 g/g sirćetne kiseline na 100 °C
- Slika 5.55.** Zrelo drvo poljskog jasena tretirano pri dodatku 0,03 g/g natrijum karbonata na 100 °C
- Slika 5.56.** Sadržaj ravnotežne vlage (%) kontrolnih - Kontr i uzoraka tretiranih vodom (100 °C) -TV; sirćetnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C) - KT i natrijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C) - AT juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena posle izlaganja relativnoj vlažnosti od 32, 65 i 90 % (20 ± 2 °C)
- Slika 5.57.** Smicajna čvrstoća kontrolnih - Kontr i uzoraka poljskog jasena tretiranih vodom -TV; sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) - KT i natrijum karbonatom (0,03 g/g) - AT na 100 °C
- Slika 5.58.** Upijanje vode kontrolnih - Kontr i uzoraka poljskog jasena tretiranih vodom - TV; sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) - KT i natrijum karbonatom (0,03 g/g) - AT na 100 °C
- Slika 5.59.** Zapreminsko bubrenje kontrolnih - Kontr i uzoraka poljskog jasena tretiranih vodom -TV; sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) - KT i natrijum karbonatom (0,03 g/g) - AT na 100 °C u zavisnosti od a) vremena i b) upijene vode
- Slika 5.60.** Hromatogrami ekstrakta iz tretmana vodom na 100 °C drveta poljskog jasena

- Slika 5.61.** Hromatogrami ekstrakta iz tretmana pri dodatku 0,06 g/g sirćetne kiseline na 100 °C drveta poljskog jasena
- Slika 5.62.** Hromatogrami ekstrakta iz tretmana pri dodatku 0,03 g/g natrijum karbonata na 100 °C drveta poljskog jasena
- Slika 5.63.** FTIR spektri uzoraka ekstrakta iz tretmana vodom (100 °C) juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- Slika 5.64.** FTIR spektri uzoraka ekstrakta iz tretmana sirćetnom kiselinom (0,03 g/g, 100 °C) juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- Slika 5.65.** FTIR spektri uzoraka ekstrakta iz tretmana natrijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C) juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- Slika 5.66.** Uzorci izrađenih eksperimentalnih ploča iverica
- Slika 5.67.** Gustina (kg/m^3) i sadržaj vlage (%) ploča iverica izrađenih od netretiranog (Kontr) i iverja tretiranog vodom (TV), 0,06 g/g sirćetne kiseline (KT) i 0,03 g/g natrijum karbonata (AT) na 100 °C posle klimatizacije ($65 \pm 5 \%$, 20 °C)
- Slika 5.68.** Rezultati analize slika za stepen sabijenosti zona ploče iskazan kroz ekvivalent sive boje na poprečnom preseku uzoraka: TV - tretman vodom; KT - tretman sirćetnom kiselinom; AT - tretman natrijum karbonatom i Kont - kontrolni uzorak (korišćen softver: ImageJ 1.48s, Wayne Rasband, National Institute for Health, USA)
- Slika 5.69.** Sadržaj ravnotežne vlage ploča iverica izrađenih od netretiranog (Kontr) i tretiranog (TV, KT i AT) iverja i iverja (Kontr, TV, KT i AT) posle izlaganja različitim uslovima relativne vlažnosti okoline (32, 65 i 90%, 20°C)
- Slika 5.70.** Sadržaj ravnotežne vlage (a) i debljinsko bubrenje (b) ploča iverica izrađenih od netretiranog (Kontr) i tretiranog (TV, KT i AT) iverja posle izlaganja različitim uslovima relativne vlažnosti okoline (32, 65 i 90 %, 20°C)
- Slika 5.71.** Debljinsko bubrenje u zavisnosti od upijene vlage (a) i relativna promena debljine (b) ploča iverica izrađenih od netretiranog (Kontr) i tretiranog (TV, KT i AT) iverja pri promeni relativne vlažnosti okoline (32 - 65 % i 65 - 90 %, 20°C)
- Slika 5.72.** Savojna čvrstoća (a) i modul elastičnosti savojne čvrstoće (b) ploča iverica izrađenih od netretiranog (Kontr) i tretiranog (TV, KT i AT) iverja
- Slika 5.73.** Zatezna čvrstoća ploča iverica izrađenih od netretiranog (Kontr) i tretiranog (TV, KT i AT) iverja

SPISAK TABELA

- Tabela 4.1.** Dendrometrijske karakteristike uzorkovanih stabala
- Tabela 4.2.** Način obeležavanja uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- Tabela 4.3.** Karakteristike reagenasa primenjenih za tretmane
- Tabela 4.4.** Fabričke karakteristike UF adheziva Lendur 730F
- Tabela 4.5.** Karakteristike UF adheziva Lendur 730F
- Tabela 4.6.** Parametri odabrani za ispitivanje uticaja tretmana na svojstva drveta
- Tabela 4.7.** Sadržaj apsolutne (W_{aps}) i relativne vlage (W_{rel}) i koeficijent suvoće (K_s) uzoraka (5 x 20 x 150 mm) poljskog jasena
- Tabela 4.8.** Receptura za pripremu UF adheziva sa dodatkom katalizatora - $(NH_4)_2SO_4$ od 3%
- Tabela 4.9.** Karakteristike pripremljenog UF adheziva Lendur 730F pri dodatku katalizatora od 3 %
- Tabela 4.10.** Parametri tretmana izabrani za ispitivanje efekata tretmana na promene u hemijskom sastavu juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- Tabela 4.11.** Sadržaj vlage smeše juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- Tabela 4.12.** Potrebne količine vode i hemikalija za pravljenje rastvora za tretman
- Tabela 4.13.** Sadržaj vlage iverja poljskog jasena pripremljenog za tretiranje
- Tabela 4.14.** Potrebne mase iverja za tretmane na osnovu zadatih dimenzija ploče
- Tabela 4.15.** Potrebne mase hemikalija i vode za tretiranje iverja za izradu ploča
- Tabela 4.16.** Sadržaj vlage vazdušno suvog tretiranog iverja
- Tabela 4.17.** Karakteristike UF adheziva Lendur L-730F
- Tabela 4.18.** Potrebne količine iverja, adheziva i rastvora katalizatora za izradu jedne ploče
- Tabela 4.19.** Karakteristike ploča neposredno nakon izrade
- Tabela 4.20.** Karakteristike ploča nakon klimatizacije ($65 \pm 5 \%$, $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$)
- Tabela 4.21.** Broj epruveta za ispitivanje izrezanih iz jedne ploče

- Tabela 5.1.** Gustina u apsolutno suvom stanju (ρ_0), i pri ravnotežnoj vlazi ($\rho_{w=65\%}$), zapreminska poroznost (P_z) i ravnotežna vlaga ($W_{rav=65\%}$) juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena na visini 1,3 m
- Tabela 5.2.** Ugljenohidratne komponente drveta određene HPLC analizom hidrolizata juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena (visina 1,3 m)
- Tabela 5.3.** Indeks kristaliničnosti, intenzitet vodoničnih veza i odnos lignin/ugljeni hidrati u uzorcima juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- Tabela 5.4.** Gustina u apsolutno suvom stanju (ρ_0) kontrolnih (Kontr) i uzoraka tretiranih vodom na 100 °C (TV 1) i 120 °C (TV 2)
- Tabela 5.5.** Povećanje upijanja vode uzoraka tretiranih vodom na 100 °C (TV 1) i 120°C (TV 2) u odnosu na kontrolne uzorke
- Tabela 5.6.** Pобољшanje dimenzionalne stabilnosti uzoraka tretiranih vodom na 100 °C (TV 1) i 120°C (TV 2) u odnosu na kontrolne uzorke
- Tabela 5.7.** Gustina u apsolutno suvom stanju (ρ_0) kontrolnih (Kontr) i uzoraka tretiranih rastvorima sirćetne kiseline pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta na temperaturama od 100 °C (KT 1, KT 2 i KT 3) i 120 °C (KT 4, KT 5 i KT 6)
- Tabela 5.8.** Povećanje upijanja vode uzoraka tretiranih rastvorima sirćetne kiseline pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g na 100 °C (KT 1, KT 2 i KT 3) i 120 °C (KT 4, KT 5 i KT 6) u odnosu na kontrolne uzorke
- Tabela 5.9.** Pобољшanje dimenzionalne stabilnosti uzoraka tretiranih rastvorima sirćetne kiseline pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g na 100 °C (KT 1, KT 2 i KT 3) i 120 °C (KT 4, KT 5 i KT 6) u odnosu na kontrolne uzorke
- Tabela 5.10.** Gustina u apsolutno suvom stanju (ρ_0) kontrolnih (Kontr) i uzoraka tretiranih rastvorima natrijum karbonata pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta na temperaturama od 100 °C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120 °C (AT 4, AT 5 i AT 6)
- Tabela 5.11.** Povećanje upijanja vode uzoraka tretiranih rastvorima natrijum karbonata pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g na 100 °C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120 °C (AT 4, AT 5 i AT 6) u odnosu na kontrolne uzorke
- Tabela 5.12.** Pобољшanje dimenzionalne stabilnosti uzoraka tretiranih rastvorima natrijum karbonata pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g natrijum karbonata na 100 °C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120 °C (AT 4, AT 5 i AT 6) u odnosu na kontrolne uzorke
- Tabela 5.13.** Parametri tretmana izabrani za ispitivanje efekata tretmana na hemijski sastav juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- Tabela 5.14.** Sadržaj apsolutne (W_{aps}) i relativne (W_{rel}) vlage i koeficijent suvoće (K_s) kontrolnog i tretiranog iverja juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

- Tabela 5.15.** Gubitak mase iverja juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena prilikom tretmana
- Tabela 5.16.** Promena sadržaja sporednih komponenti tkiva juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena usled dejstva tretmana u odnosu na kontrolne uzorke
- Tabela 5.17.** Promena sadržaja gradivnih komponenti tkiva juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena usled dejstva tretmana u odnosu na kontrolne uzorke
- Tabela 5.18.** Sadržaj ugljenohidratnih komponenti kontrolnih i tretiranih uzoraka zrelog i juvenilnog drveta poljskog jasena određena HPLC analizom hidrolizata
- Tabela 5.19.** Promena sadržaja ugljenohidratnih komponenti tretiranih uzoraka zrelog i juvenilnog drveta poljskog jasena u odnosu na kontrolne uzorke
- Tabela 5.20.** pH vrednost tretiranih i kontrolnih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- Tabela 5.21.** Gustina u apsolutno suvom stanju (ρ_0) kontrolnih (Kontr) i uzoraka tretiranih na 100 °C vodom -TV; sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) – KT i natrijum karbonatom (0,03 g/g) - AT
- Tabela 5.22.** Povećanje upijanja vode uzoraka poljskog jasena tretiranih vodom - TV, sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) - KT i natrijum karbonatom (0,03g/g) - AT na 100 °C u odnosu na kontrolne uzorke
- Tabela 5.23.** Poboljšanje dimenzionalne stabilnosti uzoraka poljskog jasena tretiranih vodom - TV, sirćetnom kiselinom (0,06 g/g)- KT i natrijum karbonatom (0,03g/g) - AT na 100 °C u odnosu na kontrolne uzorke
- Tabela 5.24.** Toplotna moć (MJ/kg) kontrolnih - Kontr i uzoraka tretiranih vodom -TV; sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) - KT i natrijum karbonatom (0,03 g/g) - AT na 100 °C juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- Tabela 5.25.** Sadržaj suve materije ekstrakta (g/50 ml) iz tretmana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- Tabela 5.26.** pH vrednosti rastvora za tretman i ekstrakta iz tretmana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- Tabela 5.27.** Sadržaj šećera u ekstraktima iz tretmana (mg/ml) određen HPLC hromatografijom
- Tabela 5.28.** Debljina eksperimentalnih ploča iverica neposredno nakon vrelog presovanja i nakon klimatizacije ($65 \pm 5 \%$, 20 °C)

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORIJSKA OSNOVA	4
2.1. ANATOMSKA GRAĐA DRVETA LIŠĆARA	5
2.2. HEMIJSKI SASTAV DRVETA LIŠĆARA	8
2.3. ORGANIZACIJA CELULOZE, HEMICELULOZA I LIGNINA U ĆELIJSKOM ZIDU	17
2.4. ULTRASTRUKTURA ZIDOVA ĆELIJA DRVETA	18
2.5. VARIJABILNOST SVOJSTAVA DRVETA	19
2.6. FIZIČKO-HEMIJSKA SVOJSTVA DRVETA	21
2.6.1. Hidroksilne grupe - prisustvo i uloga u drvetu	22
2.6.2. Mikroporoznost ćelijskog zida i permeabilnost drveta	22
2.6.3. Higroskopnost drveta	23
2.6.4. Dimenzionalna nestabilnost drveta	25
2.6.5. Toplotna moć drveta	26
2.6.6. Reaktivnost ugljenih hidrata	26
2.6.7. Reaktivnost lignina	31
2.7. PREGLED ISTRAŽIVANJA TRETMANA	32
2.7.1. Hemijski predtretmani	33
2.7.1.1. Tretmani vodom	35
2.7.1.2. Tretmani u kiseloj sredini	39
2.7.1.3. Tretmani u alkalnoj sredini	43
2.7.2. Efekti tretmana	45
2.8. PLOČE IVERICE	46
3. CILJEVI I ZADACI ISTRAŽIVANJA	49
4. EKSPERIMENTELNI DEO	
4.1. PLAN ISTRAŽIVANJA I METODE EKSPERIMENTALNOG RADA	52
4.1.1. Izbor uticajnih parametara	52
4.1.2. Plan eksperimentalnog rada	55
4.1.3. Metodologija ispitivanja	58

4.2.	MATERIJAL ZA ISTRAŽIVANJA	60
4.2.1.	Drvna vrsta	60
4.2.1.1.	Uzorkovanje	64
4.2.1.1.1.	Dendrometrijske karakteristike uzorkovanih stabala	65
4.2.1.1.2.	Stanišni i klimatski uslovi	66
4.2.1.1.3.	Uzimanje uzoraka sa stabala juvenilnog i zrelog drveta	67
4.2.2.	Reagenasi za tretmane	68
4.2.3.	Adhezivno sredstvo	68
4.3.	KARAKTERIZACIJA DRVNE VRSTE	69
4.3.1.	Ispitivanje fizičkih svojstava drveta	69
4.3.1.1.	Priprema uzoraka za ispitivanje fizičkih svojstava	69
4.3.1.2.	Metode za ispitivanje fizičkih svojstava	70
4.3.2.	Ispitivanje anatomskih karakteristika drveta	71
4.3.2.1.	Priprema uzoraka za ispitivanje anatomskih mikro- strukturnih svojstava	72
4.3.2.2.	Metode merenja dimenzija anatomskih elemenata	74
4.3.3.	Ispitivanje hemijskih karakteristika drveta	75
4.3.3.1.	Priprema uzoraka za analize hemijskog sastava	75
4.3.3.2.	Metode ispitivanja hemijskog sastava drveta	77
4.4.	KARAKTERIZACIJA ADHEZIVA	86
4.4.1.	Priprema adheziva za ispitivanje	86
4.4.2.	Metode za ispitivanje karakteristika adheziva	86
4.5.	ISPITIVANJE DEJSTVA PREDTRETMANA NA HEMIJSKI SASTAV I SVOJSTVA JUVENILNOG I ZRELOG DRVETA POLJSKOG JASENA	91
4.5.1.	Izbor parametara predtretmana	91
4.5.1.1.	Priprema uzoraka za ispitivanje uticaja parametara predtretmana na svojstva drveta	92
4.5.1.2.	Priprema rastvora hemikalija za tretmane	97
4.5.1.3.	Postupak tretiranja	97
4.5.1.3.1.	Uređaj za izvođenje tretmana (autoklav)	97
4.5.1.3.2.	Tretiranje	98
4.5.1.4.	Ispitivanje uticaja parametara tretmana na upijanje vode i zapreminsko bubrenje	99

4.5.1.5.	Ispitivanje uticaja parametara tretmana na smicajnu čvrstoću u sloju adheziva	102
4.5.1.5.1.	Priprema uzoraka za slepljivanje – klimatizacija	102
4.5.1.5.2.	Priprema i karakterizacija pripremljenog adheziva	102
4.5.1.5.3.	Nanošenje adheziva i vrelo presovanje	104
4.5.1.5.3.1.	Izbor parametara presovanja	104
4.5.1.5.3.2.	Postupak presovanja	106
4.5.1.5.4.	Ispitivanje smicajne čvrstoće	107
4.5.1.6.	Izbor optimalnih parametara tretmana	108
4.5.2.	Karakterizacija juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena nakon tretmana	109
4.5.2.1.	Priprema iverja i rastvora za ispitivanje efekata tretmana	109
4.5.2.2.	Postupak tretiranja iverja juvenilnog i zrelog drveta	111
4.5.2.3.	Ispitivanje hemijskog sastava i svojstava juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena nakon tretmana	112
4.5.2.3.1.	Određivanje sadržaja vlage tretiranog iverja	112
4.5.2.3.2.	Gubitak mase drveta tokom tretmana	112
4.5.2.3.3.	Analize hemijskog sastava drveta	113
4.5.2.3.4.	Analiza funkcionalnih grupa drveta primenom FTIR – spektroskopije	113
4.5.2.3.5.	Analiza ugljenohidratnih komponenti drveta primenom visoko-efikasne tečne hromatografije – HPLC	114
4.5.2.3.6.	Određivanje pH vrednosti drveta	115
4.5.2.3.7.	Određivanje sadržaja ravnotežne vlage drveta	116
4.5.2.3.8.	Određivanje toplotne moći drveta	116
4.5.2.3.9.	Analiza drveta primenom skenirajuće elektronske mikroskopije – SEM	116
4.5.2.4.	Analiza ekstrakta iz tretmana	120
4.5.2.4.1.	Određivanje pH vrednosti ekstrakta	120
4.5.2.4.2.	Sadržaj suve materije ekstrakta	120
4.5.2.4.3.	Analiza funkcionalnih grupa u ekstraktu primenom FTIR spektroskopije	121

4.5.2.4.4. Analiza monosaharida u ekstraktu primenom HPLC hromatografije	121
4.6. IZRADA I ISPITIVANJE LABORATORIJSKIH PLOČA IVERICA	121
4.6.1. Tretiranje iverja za izradu ploča iverica	122
4.6.2. Izrada laboratorijskih ploča iverica	125
4.6.2.1. Priprema iverja i adheziva	125
4.6.2.2. Oblepljivanje iverja	126
4.6.2.3. Formiranje tepiha (natresanje) oblepljenog iverja	127
4.6.2.4. Vrelo presovanje	128
4.6.3. Ispitivanje svojstava laboratorijskih ploča iverica	130
4.6.3.1. Merenje debljine	130
4.6.3.2. Izrezivanje i priprema epruveta za ispitivanje	131
4.6.3.3. Određivanje sadržaja vlage	132
4.6.3.4. Određivanje gustine (zapreminske mase)	133
4.6.3.5. Određivanje savojne čvrstoće	133
4.6.3.6. Određivanje zatezne čvrstoće upravno na površinu ploče (raslojavanje)	136
4.6.3.7. Određivanje sadržaja ravnotežne vlage i promena debljine ploča posle izlaganja različitim vlažnostima okoline	138
5. REZULTATI I DISKUSIJA	140
5.1. KARAKTERIZACIJA JUVENILNOG I ZRELOG DRVETA POLJSKOG JASENA	141
5.1.1. Gustina, poroznost i sadržaj ravnotežne vlage drveta poljskog jasena	141
5.1.2. Mikroskopska građa drveta poljskog jasena	142
5.1.3. Dimenzije anatomskih elemenata drveta poljskog jasena	146
5.1.4. Hemijski sastav juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena	151
5.2. UTICAJ PARAMETARA PREDTRETMANA NA SVOJSTVA DRVETA POLJSKOG JASENA	169
5.2.1. Predtretmani vodom	170
5.2.1.1. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva	171
5.2.1.2. Upijanje vode	172
5.2.1.3. Zapreminsko bubrenje	173
5.2.2. Predtretmani sirćetnom kiselinom	175

5.2.2.1. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva	177
5.2.2.2. Upijanje vode	179
5.2.2.3. Zapreminsko bubrenje	180
5.2.3. Predtretmani natrijum karbonatom	182
5.2.3.1. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva	183
5.2.3.2. Upijanje vode	185
5.2.3.3. Zapreminsko bubrenje	186
5.2.4. PRIKAZ IZABRANIH PARAMETARA PREDTRETMANA	188
5.3. ISPITIVANJE UTICAJA PREDTRETMANA NA HEMIJSKI SASTAV JUVENILNOG I ZRELOG DRVETA POLJSKOG JASENA	189
5.3.1. Gubitak mase drveta prilikom tretmana	189
5.3.2. Efekti predtretmana na sadržaj sporednih komponenti tkiva juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena	191
5.3.2.1. Efekti predtretmana na sadržaj mineralnih materija	191
5.3.2.2. Efekti predtretmana na sadržaj ekstraktivnih materija rastvorljivih u vreloj vodi	192
5.3.2.3. Efekti predtretmana na sadržaj ekstraktivnih materija rastvorljivih u smeši toluol/etanol	193
5.3.2.4. Pregled promena u sadržaju sporednih komponenti drveta	194
5.3.3. Efekti predtretmana na sadržaj gradivnih komponenti tkiva juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena	195
5.3.3.1. Efekti predtretmana na sadržaj celuloze	195
5.3.3.2. Efekti predtretmana na sadržaj lignina	197
5.3.3.3. Pregled promena u sadržaju glavnih komponenti drveta	198
5.3.3.4. Efekti predtretmana na sadržaj ugljenohidratnih komponenti	199
5.3.4. Efekti predtretmana na funkcionalne grupe drveta	204
5.3.5. Efekti predtretmana na ph vrednosti drveta	209
5.4. EFEKTI PREDTRETMANA NA MIKRO-ANATOMSKE PROMENE U TKIVU JUVENILNOG I ZRELOG DRVETA POLJSKOG JASENA	211
5.5. EFEKTI PREDTRETMANA NA IZABRANA SVOJSTVA JUVENILNOG I ZRELOG DRVETA POLJSKOG JASENA	214

5.5.1.	Efekti predtretmana na sadržaj ravnotežne vlage drveta poljskog jasena tretiranog pri odabranim parametrima	214
5.5.2.	Efekti predtretmana na adhezivna svojstva drveta poljskog jasena tretiranog pri odabranim parametrima	216
5.5.3.	Efekti predtretmana na upijanje vode drveta poljskog jasena tretiranog odabranim parametrima	218
5.5.4.	Efekti predtretmana na zapreminsko bubrenje drveta poljskog jasena tretiranog pri odabranim parametrima	221
5.5.5.	Efekti predtretmana na toplotnu moć juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena tretiranog pri odabranim parametrima	223
5.5.6.	Pregled efekata predtretmana na juvenilno i zrelo drvo poljskog jasena tretiranog pri odabranim parametrima	224
5.6.	ANALIZA EKSTRAKATA IZ TRETMANA	225
5.6.1.	Sadržaj suve materije u ekstraktu	225
5.6.2.	Uticaj tretmana na pH vrednost ekstrakta	226
5.6.3.	Analiza sadržaja šećera u ekstraktima	227
5.6.4.	Analiza funkcionalnih grupa u ekstraktima iz tretmana	232
5.6.5.	Pregled sastava i mogućnost primene ekstrakata iz tretmana	238
5.7.	KARAKTERIZACIJA EKSPERIMENTALNIH PLOČA IVERICA	240
5.7.1.	Fizička svojstva	240
5.7.2.	Mehanička svojstva	250
6.	ZAKLJUČCI	255
6.1.	PLANIRANA DALJA ISTRAŽIVANJA	261
7.	LITERATURA	263
8.	PRILOZI	
<i>Prilog I</i>	Uzorkovanje i priprema materijala za ispitivanja	
<i>Prilog II</i>	<i>Anatomija</i>	
<i>Prilog III</i>	<i>SEM</i>	
<i>Prilog IV</i>	<i>SEM-EDS analize elementarnog sastava</i>	
<i>Prilog V</i>	<i>Faze izrade laboratorijskih ploča iverica</i>	
<i>Prilog VI</i>	<i>Statistička analiza</i>	

1. UVOD

Tokom cele istorije civilizacije čovek u svom svakodnevnom životu koristi drvo, bilo u njegovom obrađenom i prerađenom, bilo u prirodnom obliku. Pored toga što predstavlja jedan od najstarijih građevinskih materijala, čiji se način upotrebe tokom vremena menjao i proširivao, drvo je materijal od koga su izrađeni vrlo raznovrsni i mnogobrojni predmeti kojima se čovek služi na svakom koraku: nameštaj, razna transportna sredstva, muzički instrumenti, delovi mašina. Istovremeno, drvo predstavlja i veoma važnu, lokalno dostupnu i obnovljivu sirovinu za proizvodnju niza različitih proizvoda hemijske i hemijsko-mehaničke prerade drveta (vlakana, papira, aditiva, drvenog uglja, smole, katrana, bioetanola, raznih vrsta ploča na bazi drveta, ...).

I danas se još uvek, razvitkom nauke i tehnike, pronalaze novi načini upotrebe i prerade drveta. Osim toga, nafta, zbog ograničenosti rezervi, gubi primat koji je imala dugo vremena kao izvor energije i hemikalija. Većina prognoza predviđa da će u narednim dekadama drvo, kao najobilnije prisutna i obnovljiva biomasa na Zemlji, biti najvažniji izvor kako primarne energije, za koju je zacrtan pravac zamene konvencionalnih izvora energije obnovljivom biomasom, tako i hemikalija, pa je evidentno da potrošnja drveta kao sirovine permanentno raste.

S obzirom na prethodno navedeno i činjenicu da se velika količina drvnog ostatka javlja ne samo u šumama posle seče (preko 40 % od ukupne zapremine posečenog stabla, pri čemu veći deo čine sitna granjevina, panjevi, okrajci i piljevina), nego i u industriji prerade drveta (oko 50 % od ukupne količine prerađenog drveta čine ostaci, čiji sastav u najvećoj meri čine strugotina, piljevina i krupni komadi drveta), a nije iskorišćen ili se neracionalno koristi, nameće se potreba racionalnijeg i optimalnijeg iskorišćenja drvene biomase.

Nauka i tehnologija treba da iznađu puteve što efikasnije proizvodnje i korišćenja drveta. Efikasnija konverzija drveta i ostataka njegove seče i prerade, kao i mogućnost konverzije nekih sporednih proizvoda hemijske prerade drveta, doprinose efikasnijem iskorišćenju drveta.

Istovremeno, trend porasta nedostatka drveta kao sirovine, nameće potrebu za podizanjem namenskih zasada (plantaža) brzorastućih vrsta sa kratkim rotacijama (ophodnjom), uz jasan plan krajnje primene, pri čemu se koriste stabla mlađih biljaka, što podrazumeva većinski udeo juvenilnog drveta.

U skladu sa sve većom potrebom za drvnom sirovinom, neophodnosti njenog optimalnijeg iskorišćenja, kao i plantažnim uzgajanjem vrsta za potrebe drvno-prerađivačke industrije, poznavanje hemijskog sastava drvene supstance kako zrelog, tako i juvenilnog drveta, sve više dobija na značaju. Naime, poznato je da je kvalitet drveta za određene primene povezan sa hemijom njegovih komponenti, isto kao i njegovo ponašanje pri izlaganju fizičkim i hemijskim tretmanima.

Pored razlika u anatomskoj i hemijskoj građi koje postoje između vrsta, a posledica su genetskih faktora, javljaju se razlike i unutar iste vrste, u zavisnosti od uslova rasta. Isto tako, razlike u sastavu (dimenzije i vrsta ćelija, hemijski sastav) prisutne su unutar istog stabla – u zavisnosti od visine i udaljenosti od srži (aksijalno i radijalno), što za posledicu ima različita svojstva drveta kao materijala u zavisnosti od položaja na stablu.

Hemijski i anatomski sastav dominantnih domaćih vrsta, kao što su, na prvom mestu bukva, zatim hrast kitnjak i lužnjak, ali i klonovi euroameričkih topola koje se poslednjih decenija plantažno uzgajaju u Srbiji u cilju dobijanja sirovine za potrebe drvno-prerađivačke industrije, u manjoj ili većoj meri je proučavan. Međutim, primećeno je odsustvo detaljnijih istraživanja hemijskog i anatomskog sastava, kako po visini stabla, tako i komparativnih istraživanja sastava zrelog i juvenilnog lignuma onih drvnih vrsta koje su manje zastupljene u šumskim sastojinama Srbije, pa iz tog razloga u manjem obimu upotrebljavane kao sirovina u hemijsko-mehaničkoj preradi drveta. Kod njih su uglavnom detaljno proučavane mehaničke karakteristike, koje jesu od značaja za mehaničku obradu, ali ne i za hemijsku preradu. U takve vrste spada i poljski jasen (*Fraxinus*

angustifolia Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon), koji je zastupljen na celom području Panonije.

Drvo jasena nije uobičajena sirovina u procesima hemijske prerade, ali je, zbog svojih izuzetnih svojstava - velike elastičnosti, tvrdoće i zapreminske mase, veoma cenjeno. Koristi se za proizvodnju sečenog i ljuštenog furnira, nameštaja, parketa, zatim kao konstrukciono drvo, za proizvodnju sportskih sprava, u brodogradnji, avionskoj i mašinskoj industriji. Imajući u vidu nepotpuno iskorišćen potencijal ove vrste, poljski jasen je odabran kao predmet detaljnog istraživanja hemijskog sastava i anatomskih karakteristika, kao i njihove varijabilnosti u zavisnosti od položaja po visini stabla kako zrelog, tako i juvenilnog drveta.

Sa druge strane, u tehnologiji prerade drveta, sve veća pažnja istraživača usmerena je na upotrebu različitih predtretmana, koji za cilj imaju modifikaciju polaznog sastava drvene sirovine. Pored toga što na taj način modifikovana drvena sirovina poseduje bolja svojstva za dalju preradu, ekstrakt dobijen kao nusproizvod hemijskih predtretmana sadrži veliku količinu različitih hemijskih jedinjenja - proizvoda razgradnje drveta, i može biti polazna sirovina za dalju hemijsku preradu u niz različitih proizvoda, čime se postiže njeno efikasnije iskorišćenje.

Dosadašnja istraživanja su pokazala da je jedan od efekata primene predtretmana smanjenje sadržaja hemiceluloza, a time i hidrosilnih grupa, što za posledicu ima pozitivan uticaj na dimenzionalnu stabilnost, kao i smanjenje sadržaja ravnotežne vlage tako modifikovanog drveta. S obzirom da su promene u sastavu i svojstvima drveta poljskog jasena pod dejstvom različitih tretmana nepoznate, u ovom radu istražen je uticaj blago kiselog, blago alkalnog i tretmana vodom na hemijski sastav juvenilnog i zrelog i drveta ove vrste sa područja Srbije. Takođe, ispitana je mogućnost primene odabranih predtretmana u proizvodnji ploča iverica povećane vlagootpornosti, odnosno dimenzionalne stabilnosti. Isto tako, razmotrene su mogućnosti iskorišćenja ekstrakta, kao sporednog proizvoda tretmana, u hemijskoj industriji.

Rezultati ovog rada postavljaju putokaz racionalnijeg iskorišćenja ne samo drveta poljskog jasena, koji je predmet istraživanja ovog rada, nego i ostalih drvnih vrsta koje su zastupljene u šumskim sastojinama Srbije.

2. TEORIJSKA OSNOVA

Sa stanovišta anatomije, pod pojmom “drvo” (lignum, ksilem) podrazumeva se deo tela (stabla, grane ili korena) drvenastih biljaka, koji se nalazi ispod kambijalnog prstena i kore, a sačinjen je od različitih ćelija, odnosno njihovih ostataka odrvenelih ćelijskih zidova. Sa hemijskog aspekta, drvo je kompleks organskih materija (98,3 - 99,8 %), nastao kao proizvod prirode, sačinjen najvećim delom od celuloze, lignina i hemiceluloza, ali i drugih jedinjenja raznolike hemijske strukture, i kao takvo može se smatrati potencijalnom sirovinom organske hemijske industrije. Takođe, drvo se može definisati i kao materijal veoma cenjenih svojstava i vrlo široke upotrebne vrednosti. Dostupnost i obnovljivost doprinose atraktivnosti drveta kao sirovine.

Sva svojstva drveta, kao i njegovo ponašanje prilikom prerade, ali i tokom upotrebe posledica su kombinacije njegove **makroskopske građe** - prisustva, udela i distribucije različitih tipova tkiva, kao što su: srčevina, beljika, juvenilno i zrelo drvo, prstenovi prirasta, reakciono drvo, čvorovi, ozlede; zatim **anatomske građe**, koja se odnosi na tipove i dimenzije ćelija koje ga izgrađuju, kao i njihove proporcije i **hemijskog sastava**. Stoga je razumljiva neophodnost poznavanja anatomske i hemijske strukture drveta.

Osim toga, drvo kao organska materija koja se procesima biosinteze stvara tokom dugog vremenskog perioda metaboličkom aktivnošću biljke, nalazi se pod raznim uticajima sredine, koji se ogledaju u građi drveta i rezultuju kao specifičnosti kod svake pojedine vrste drveta.

2.1. ANATOMSKA GRAĐA DRVETA LIŠĆARA

Anatomska građa drveta nasledno je svojstvo. Građa karakteristična za određenu vrstu ponavlja se u svakom godišnjem sloju drveta, sa manjim ili većim odstupanjima. Građa drveta može se posmatrati na makroskopskom, mikroskopskom i submikroskopskom nivou (Vasiljević, 1967).

Makroskopska građa drveta

Makroskopska građa podrazumeva one karakteristike građe drveta koje su vidljive golim okom na tri karakteristična preseka (poprečni, tangencijalni i radijalni), a manifestacija su njegove unutrašnje građe. Već na makroskopskom nivou uočljiva je nehomogenost građe drveta. Najvažniji elementi makroskopske građe drveta su: prstenovi prirasta, srčika, beljika i trake drveta.

Beljika je fiziološki aktivan i živi deo drveta. Čelije u ovom regionu učestvuju u skladištenju hrane i transportu vode mineralnih materija od korena do lista.

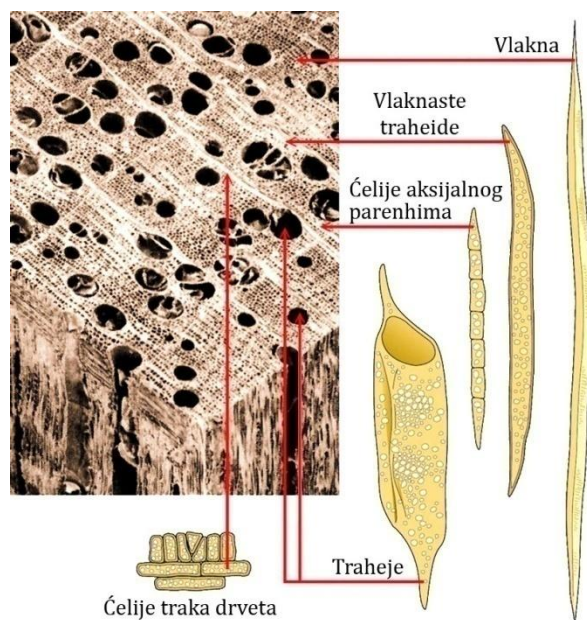
Čelije srčevine izgubile su sve fiziološke funkcije i uglavnom su odgovorne za strukturnu podršku drveta. Srčevina je tamnije boje, nižeg sadržaja vlage i veće gustine u odnosu na beljiku. Formiranje srčevine povlači gubitak sposobnosti provodljivosti vode i gasova usled zapušavanja provodnih elemenata tilama, kao i uklanjanje rezervnih hranljivih materija ili njihovo prevođenje u supstance srčevine (etarska ulja i smola kod četinara, a taninske i druge bojene materije kod lišćara) koje ispunjavaju lumene ćelija i submikroskopske prostore u zidu ćelije (Vilotić, 2000). Ovom prirodnom impregnacijom srčevina je zaštićena od negativnih uticaja spoljašnje sredine, što povećava trajnost drveta (Sisojević, 1982). Smanjena provodljivost (permeabilnost) srčevine negativno se odražava na procese hemijske prerade drveta. Proces osržavanja vrsta roda *Fraxinus* počinje oko 60-te godine starosti (Sisojević, 1982).

Mikroskopska građa drveta

Ksilem lišćarskih vrsta kompleksne je strukture i izgrađen je od velikog broja elemenata, sa velikim varijacijama njihovih dimenzija i različitim procentualnim učešćem pojedinih tipova ćelija kod različitih vrsta drveća (Vasiljević, 1967; Vilotić, 2000).

Prema funkciji koju obavljaju, osnovni elementi mikroskopske građe ksilema lišćara su **traheje** (provodni elementi), sa prosečnim učešćem od oko 20 %, **libriform** - drvena vlakna (mehanički elementi), čija je zastupljenost u osnovnoj masi drveta oko 50 % i **parenhim**, čije je učešće u proseku, u zavisnosti od vrste, i do 30 % (Sisojević, 1982) (slika 2.1).

Pored osnovnih elemenata, ksilem lišćara sadrži i prelazne elemente: vaskularne i vazicentrične traheide (provodni elementi), septirana drvena vlakna, želatinozna drvena vlakna (kod tenzionog drveta), vlaknaste i septirane traheide (mehanički elementi) i vretenasti i vlaknasti parenhim (Sisojević, 1982; Vilotić, 2000).



Slika 2.1. Ćelije tkiva lišćarskih vrsta

Traheje su dugački, cevasti aksijalno orijentisani provodni elementi. Nastaju povezivanjem većeg broja ćelija, čije su poprečne membrane delimično ili potpuno resorbovane, u duge trahealne nizove. Bočni zidovi traheja su lignificirani i sa mnogobrojnim jamicama: nadsvođenim – na mestima međusobnog dodira traheja, i prostim – na mestima dodira traheja sa ćelijama parenhima, što omogućava protok vode sa rastvorenim mineralnim materijama kroz drveno tkivo.

Širina lumena traheja može biti i do 300 – 500 μm u ranoj zoni krupno prstenasto-poroznih vrsta (*Quercus*, *Fraxinus*, *Ulmus* i dr.), a dužina, nastala povezivanjem većeg broja ćelija, i do nekoliko metara (Vasiljević, 1967).

Vrste roda *Fraxinus* odlikuju se srazmerno debelim zidovima traheja, prožetim ligninom, u odnosu na njihove lumene. Spadaju u krupno-prstenasto porozne vrste kod kojih traheje na početku prstena prirasta mogu biti mnogo šire od ostalih i tako blizu jedna drugoj da na poprečnom preseku čine kontinuirani porozni prsten koji se jasno vidi (Vasiljević, 1967).

Osnovnu masu drveta lišćara, sa učešćem od preko 50 %, čine mehanički elementi - **libriform** ili **drvena vlakna**. Čelije mehaničkih vlakana su duge, prozenhimatičnog (vlaknastog) oblika, sa zadebljalim zidovima, uskim lumenima i zašiljenim krajevima, bez živog sadržaja. Na radijalnim zidovima vlakana nalaze se malobrojne proste jamice. Provodna funkcija vlakana libriforma skoro da ne postoji (Vasiljević, 1967; Vilotić, 2000).

Zbog velikog učešća mehaničkih vlakana u drvnom tkivu, od njihovih dimenzija u velikoj meri zavise svojstva drveta (Vasiljević, 1967; Vilotić, 2000). Dužina mehaničkih vlakana značajan je parametar u proizvodnji vlaknastih materijala. Dužina drvnih vlakana lišćarskih vrsta kreće se od 0,3 - 2,0 mm.

Drvena vlakna vrsta roda *Fraxinus* odlikuju se debelim ćelijskim zidovima sa užim lumenima, što ih svrstava u tvrde vrste drveta. Jamice su malobrojne, jednostavne, koso položenog porusa (Vasiljević, 1967).

Parenhim lišćarskih vrsta može biti aksijalni (apotrahealan i paratrahealan) i radijalni (trake lignuma). Za rod *Fraxinus* specifičan je paratrahealan vazicentričan raspored koji se karakteriše **aksijalnim** parenhimom raspoređenim u vidu potpuno zatvorenog prstena oko traheja (Vasiljević, 1967).

Visina traka lignuma - **radijalnog** parenhima roda *Fraxinus* je oko 0,5 mm, a širina se kreće do četiri ili pet ćelija (Vasiljević, 1967).

Uticaoj građe drveta na njegova svojstva

Uticaoj elemenata građe drveta na svojstva drveta ispoljava se kroz njihovo procentualno učešće, raspored i uzajamni odnos, dužinu i širinu mehaničkih vlakana i debljinu njihovih ćelijskih zidova. Takođe, značajan uticaoj ima i njihova orijentacija u odnosu na uzdužnu osu stabla, zatim prisustvo tila, odnos ranog i kasnog drveta u godovima, kao i učešće i dimenzije traka drveta (Sisojević, 1982).

Veće učešće mehaničkih elemenata u drvnoj masi čini drvo tvrđim i težim, čime se povećava čvrstoća drveta. Izolovani snopovi vlakana povećavaju savitljivost i elastičnost drveta, što je slučaj kod roda *Fraxinus*.

Veliko učešće traheja velikih lumena i tankih zidova smanjuje tvrdoću i zapreminsku masu drveta. Sa druge strane, ispunjenost traheja tilama i materijama osržavanja povećava težinu, tvrdoću i trajnost drveta.

Raspored, oblik i dimenzije traka drveta, koje su, usled male kohezije, mesta najmanjeg otpora, imaju značajan uticaj na tehnička svojstva drveta, kao što je čvrstoća drveta na cepanje.

Različit odnos debljine ćelijskih zidova i unutrašnjih šupljina (lumena), kao i međućelijskih šupljina uslovljava velike razlike u gustini (zapreminskoj masi) drveta. Veliku gustinu imaju vrste izgrađene najvećim delom iz drvnih vlakana sa uskim lumenima i debelim zidovima.

2.2. HEMIJSKI SASTAV DRVETA LIŠĆARA

Tkivo drveta grade tri vrste biopolimernih jedinjenja: celuloza i hemiceluloze, kao ugljenohidratna komponenta, i lignin. Zbog svoje uloge u izgradnji ćelijskih zidova drveta ova jedinjenja nazivaju se strukturnim komponentama građe drveta. Udeo strukturnih molekula, kao i njihovi međusobni odnosi u izgradnji ćelijskog zida u velikoj meri utiču na svojstva drveta kao materijala (Stevanović-Janežić, 1993).

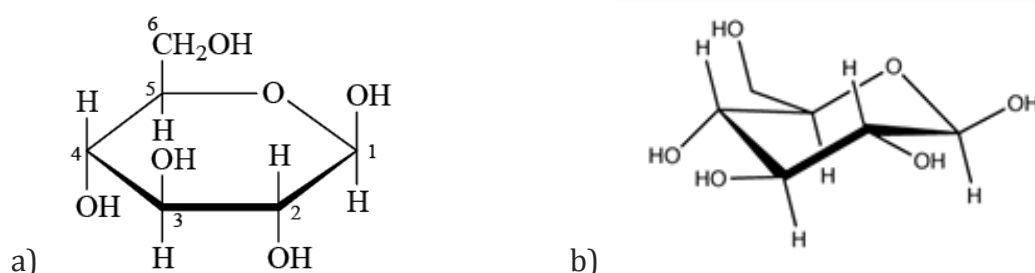
U tkivu drveta nalazi se i mala količina, do 5 % kod domaćih vrsta, organskih i neorganskih materija koje nisu gradivne materije ćelijskog zida, već se nalaze u porama i šupljinama zidova i lumenima ćelija. Ove materije nazvane su pratećim, sporednim, ili, zbog načina izolovanja iz drveta, ekstraktivnim supstancama drvnog tkiva (Stevanović-Janežić, 1993).

Sa aspekta elementarnog sastava, organska materija drveta izgrađena je od 49 - 50 % ugljenika, 43 - 44 % kiseonika i 6 - 7 % vodonika (Šoškić i Popović, 2002). Prosečan sadržaj hemijskih elemenata u apsolutno suvom tkivu drveta jasena iznosi: 49,4 % ugljenika, 44,5 % kiseonika i 6,1 % vodonika (Nikitin, 1955).

Celuloza

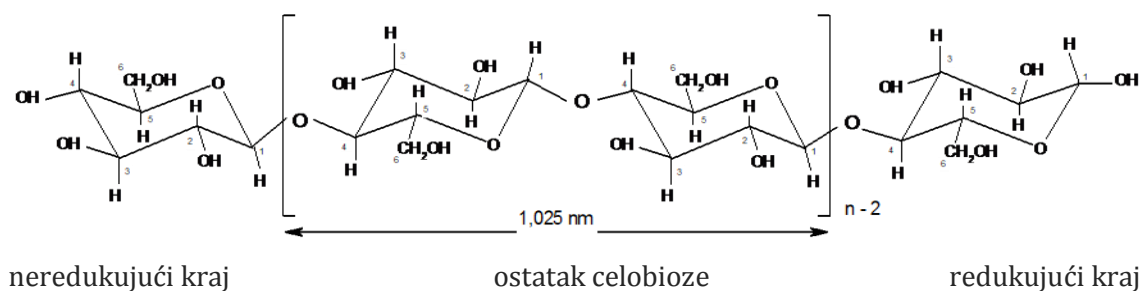
Celuloza nastaje u biljkama biosintetskim procesima, i predstavlja skeletni materijal ćelijskih zidova drvetva i drugih biljaka. Sadržaj celuloze u drvetu kreće se, u proseku, od 40 % do 50 % (Fengel i Wegener, 1984). Čineći skoro polovinu suve materije drvetva, kao njegoa osnovna strukturna komponenta, celuloza ima najveći uticaj na fizička, mehanička i hemijska svojstva drvetva.

Po hemijskoj građi celuloza je homopolimer (homopolisaharid) empirijske formule $(C_6H_{10}O_5)_n$, izgrađen iz molekula β -D-glukopiranoze.



Slika 2.2. Strukturna formula β -D-glukopiranoze:
a) Hejvortova (Haworth) i b) konformaciona

Molekuli β -D-glukopiranoze, međusobnim povezivanjem β -1,4-glikozidnim vezama, grade makromolekulsku strukturu celuloze prikazanu na slici 2.3, stepena polimerizacije n , koji je u drvetu reda veličine oko 10 000 (Fengel i Wegener, 1984; Hill, 2006).

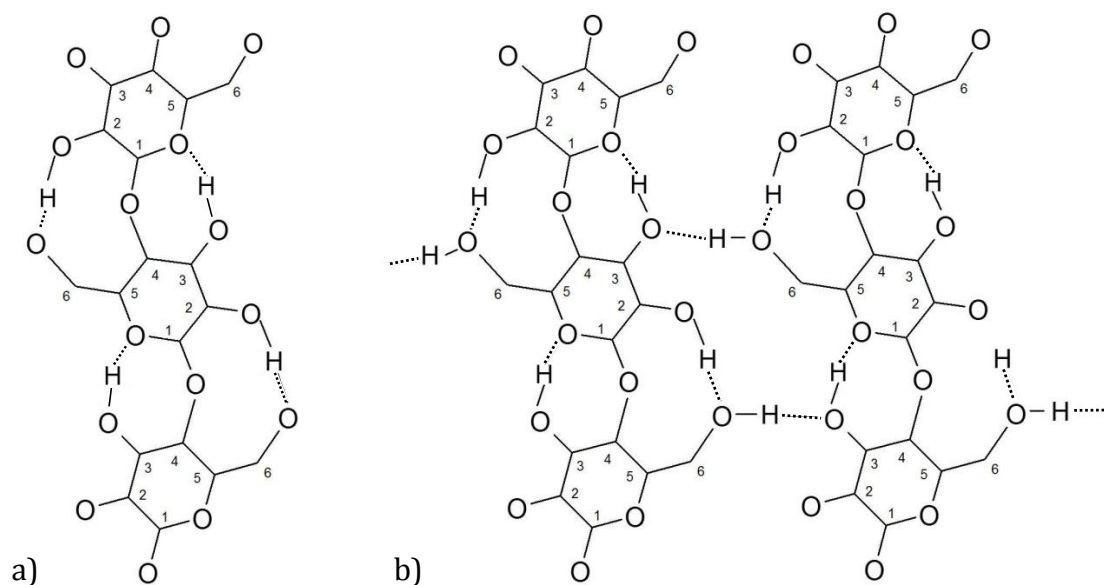


Slika 2.3. Molekulska struktura celuloze

Kao što se na slici 2.3 može videti, zahvaljujući prisustvu samo jednog tipa veza između monomernih jedinica, celuloza je linearan molekul. Na C_2 , C_3 i C_6 atomima svakog ostatka β -D-glukoze nalaze slobodne hidroksilne grupe. S obzirom

na visok stepen polimerizovanja, očigledno je da u molekularnoj strukturi celuloze postoji veoma veliki broj hidroksilnih grupa (-OH).

Hidroksidne grupe celuloze angažovane su u građenju vodoničnih veza, kako unutar pojedinačnih makromolekulskih lanaca celuloze (*intramolekulske*), tako i između različitih lanaca (*intermolekulske*). Formiranjem intramolekulskih i intermolekulskih vodoničnih veza uspostavlja se uređena, stabilna nadmolekulska struktura celuloze. Postojanje intramolekulskih vodoničnih veza potvrđeno je ispitivanjima metodom polarizovane infracrvene spektroskopije (Liang i Marchessault, 1959).

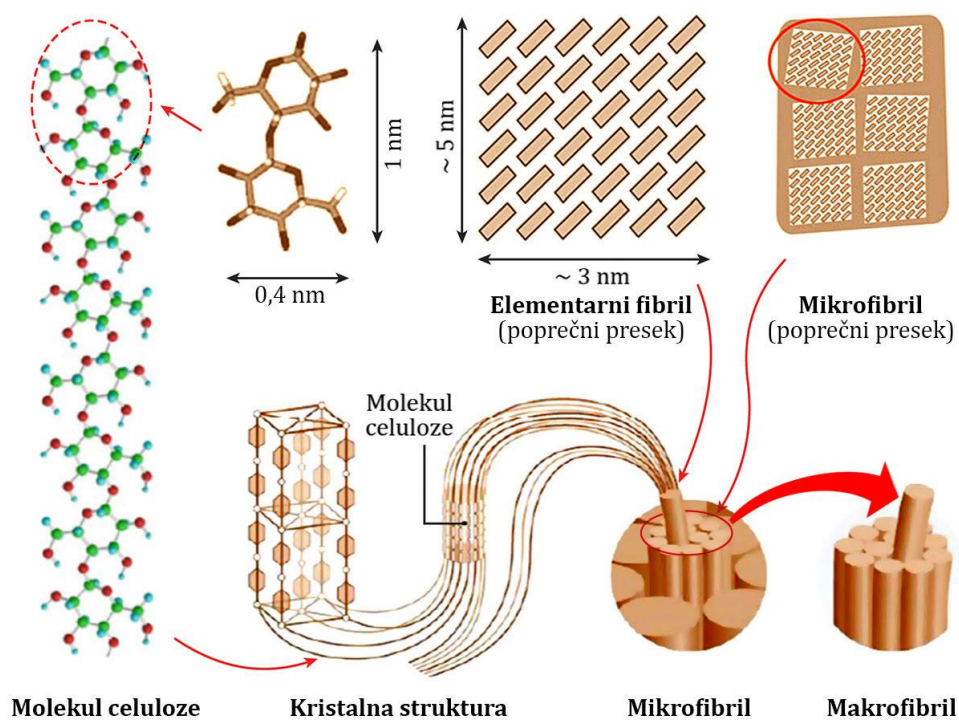


Slika 2.4. Šema vodoničnih veza (*isprekidane linije*) u celulozi
a) unutar molekulske i b) međumolekulske

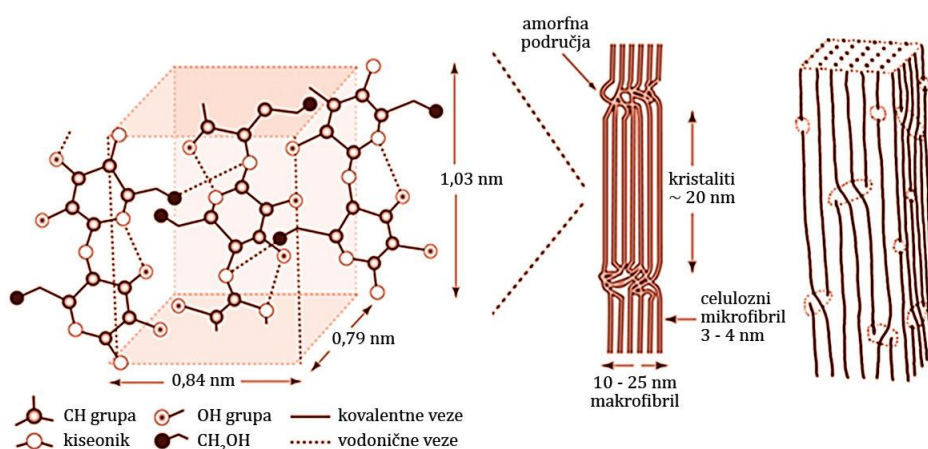
Unutar makromolekulskog lanca celuloze formiraju se dve vrste intramolekulskih vodoničnih veza: $(3)OH \cdots O(5)$ i $(3)OH \cdots OH(6)$. Obe navedene intramolekulske veze obrazuju se sa obe strane celuloznog lanca (slika 2.4 a). Pored unutar molekulske vodonične veza, između celuloznih lanaca uspostavljaju se i međumolekulske vodonične veze (slika 2.4 b), i to $(6)OH \cdots OH(3)$ međumolekulska vodonična veza, čija je dužina 0,279 nm (Blackwell et al., 1977).

Metodom rentgenostrukturalne analize ustanovljeno je da se lanci celuloze pravilno grupišu obrazujući visoko uređene sisteme – kristalne rešetke celuloze. Ovakvom organizacijom, zahvaljujući uspostavljanju intermolekulskih vodoničnih

veza, objašnjava se izgradnja celuloznih vlakana unutar ćelijskog zida, kako po dužini tako i po debljini. Asociranjem 40 - 50 celuloznih lanaca obrazuju se *elementarne fibrile* (protofibrile), dimenzija 2 - 4 nm. Međusobnim povezivanjem elementarnih fibrila, kroz formiranje mreže vodoničnih veza, obrazuju se *mikrofibrile*, koje su primarni elementi u izgradnji ćelijskog zida (slika 2.5). Prečnik mikrofibrila iznosi 10 - 30 nm (Nimz, 1988).



Slika 2.5. Šematski prikaz obrazovanja mikrofibrila i makrofibrila



Slika 2.6. Šematski prikaz kristalne rešetke i amorfne strukture celuloze

U nekim delovima mikrofibrila raspored celuloznih lanaca je paralelan i uređen. Ove oblasti unutar mikrofibrila, u kojima postoji pravilan raspored celuloznih lanaca su *kristalna* područja. Ukoliko se, iz nekog razloga, kao što je promena pravca celuloznog niza ili dislokacija krajeva, naruši pravilan raspored celuloznih lanaca, u tim područjima dolazi do pojave neuređenosti sistema, odnosno *amorfne* strukture (slika 2.6).

Iako su elementarne fibrile veoma uređeni sistemi, dislokacije se protežu kroz čitav elementarni fibril, što znači da nije moguće postaviti jasnu granicu između kristalnih i amorfnih oblasti. Meru uređenosti (ili neuređenosti) kristalne strukture celuloznih vlakana izražava *stepen kristaliničnosti*, kao udeo uređenih i neuređenih (amorfnih) oblasti u elementima fibrilarne građe celuloze. Kristaliničnost celuloze može se odrediti različitim metodama, kao što su difrakcija x-zraka, nuklearna magnetna rezonanca (NMR) i infracrvena spektroskopija (IR) (Hill, 2006).

Krajem 70-tih godina, na osnovu rezultata difrakcije x-zraka na uzorcima *Valonia* celuloze različiti autori (Gardner-Blackwell, Claffey-Blackwell) definisali su kristalnu rešetku celuloze (Nishimura et al., 1981). Takođe, na osnovu difrakcije x-zraka ustanovljeno je da je stepen kristaliničnosti pamuka oko 0,90, mercerizovanog pamuka oko 0,50, celulozne pulpe iz drveta oko 0,60 (Blanch i Wilke, 1982).

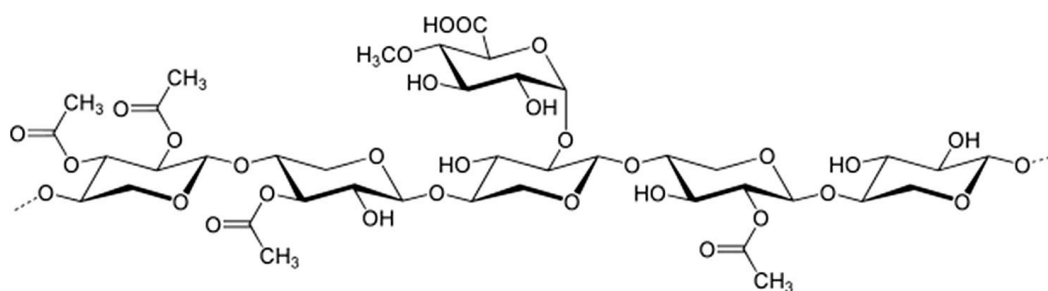
Zbog visoko kristalinične prirode mikrofibrila, celuloza je nerastvorna u uobičajenim rastvaračima i termički i hemijski stabilna (Hill, 2006).

Hemiceluloze

Hemiceluloze su heteropolisaharidi, izgrađeni od različitih jedinica monosaharida. U građi hemiceluloza učestvuju *pentozni* (L-arabinoza i D-ksiloza), i *heksozni* šećeri (D-glukoza, D-manoza i D-galaktoza), kao i njihovi derivati: *dezoksi šećeri* i *uronske kiseline*. Najzastupljenije hemiceluloze lišćarskih vrsta su glukuronoksilani i glukomanani.

Sa masenim učešćem od 15 - 30 %, ***O-acetil-4-O-metilglukuruno ksilan*** predstavlja glavnu hemicelulozu lišćarskih vrsta (Sjöström, 1981). Osnovni skelet ksilana je linearan, izgrađen od ostataka *β -D-ksilopiranoze* koji su međusobno

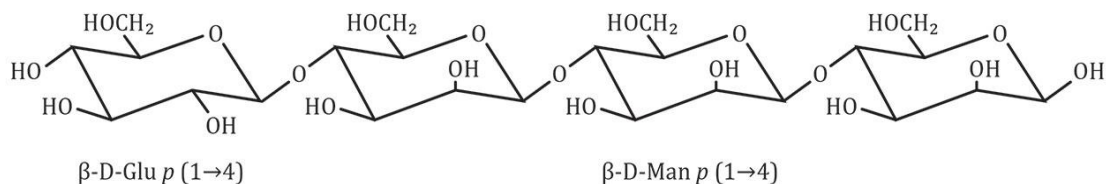
povezani β -1,4 glikozidnom vezom. Za osnovni, ksilanski lanac α -1,2 glikozidnom vezom vezani su ostaci 4-O-metil- α -D-glukuronske kiseline, u odnosu 1:10. Hidroksilne grupe na C₂ ili C₃ položajima u ostacima ksiloze su acetilovane (slika 2.7). U lancu ksilana, na 10 ostataka ksiloze u proseku se nalazi jedna bočna grana ostatka 4-O-metil- α -D-glukuronske kiseline i sedam acetil grupa (Timell, 1967). Prosečan stepen polimerizacije ksilana je 100 - 200.



Slika 2.7. Deo strukture ksilana lišćara

Obrazovanje nadmolekulske strukture formiranjem međumolekulskih vodoničnih veza između lanaca ksilana nije moguće zbog postojanja bočnih grana ostataka uronskih kiselina i acetil grupa. Smatra se da se između lanaca ksilana ugrađuje voda obrazujući kristalnu strukturu (Stevanović-Janežić, 1993).

Sa sadržajem od 3 - 5 %, računato na suhu masu drveta, u izgradnji ćelijskih zidova lišćarskih vrsta učestvuju i **glukomanani** (slika 2.8). Povezivanjem ostataka β -D-glukoze i β -D-manoze β -1,4 glikozidnom vezom u odnosu koji varira od 1:1 do 1:2 izgrađen je osnovni lanac glukomanana. Prosečan stepen polimerizacije manana je 60 - 70 (Stevanović-Janežić, 1993).



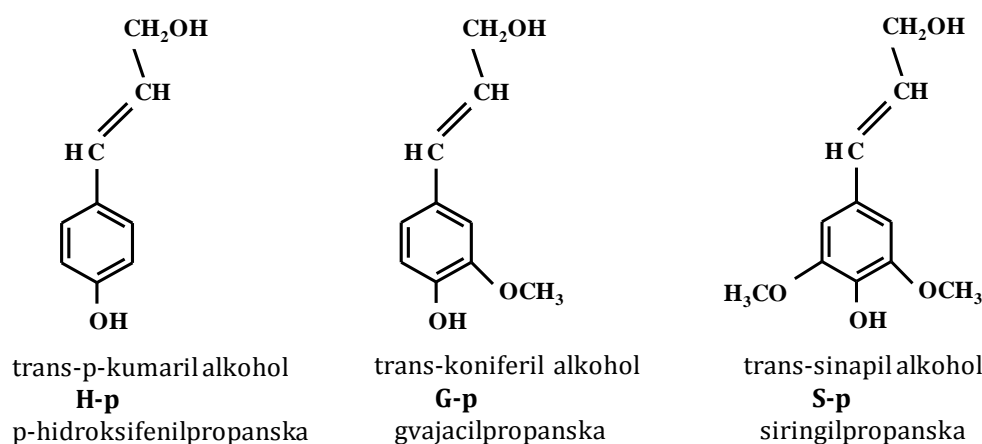
Slika 2.8. Deo strukture manana lišćara (Dekker, 1985)

Ostale hemicelulozne komponente prisutne u tkivu drveta lišćara, zbog malog udela, nisu od značaja.

Hemiceluloze u ćelijskom zidu imaju ulogu kuplujućeg agensa za spajanje visoko polarne površine mikrofibrila i mnogo manje polarne matrice lignina. Hemiceluloze formiraju vodonične veze sa površinom mikrofibrila i kovalentne, estarske ili etarske veze sa matricom lignina (Koshijima i Watanabe, 2003). Zbog svoje amorfne prirode hemiceluloze sadrže najveći udeo dostupnih OH grupa ćelijskog zida, lakše reaguju, rastvorljivije su i manje termički stabilne od celuloze ili lignina. Usled razgradnje hemiceluloza drvo postaje krto i kruto, što ukazuje na njihovu značajnu ulogu u formiranju viskoelastičnih svojstva drveta (Hill, 2006).

Lignin

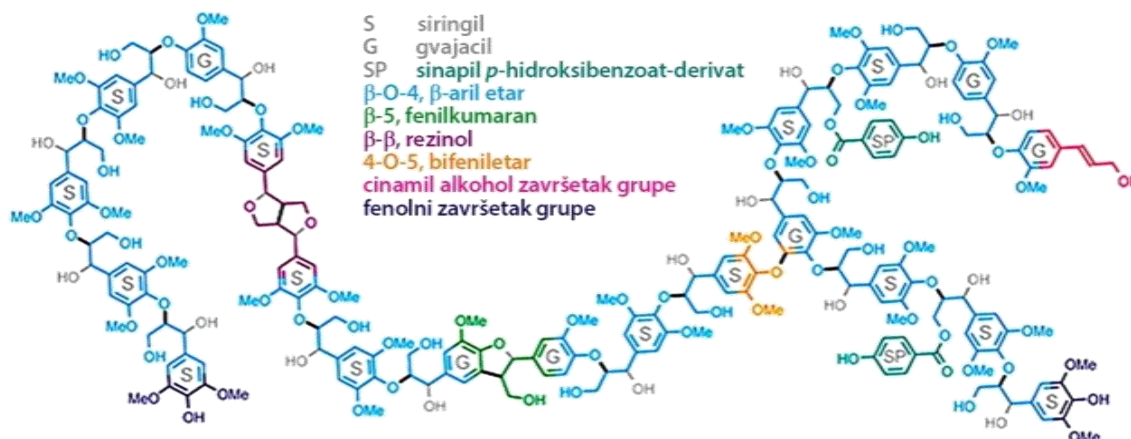
Lignin je amorfan aromatični polimer neodređene molekulske mase, veoma složene, trodimenzionalne strukture. Nastaje dehidrogenativnom polimerizacijom koja se odvija po mehanizmu kuplovanja slobodnih radikala iz monomernih prethodnika lignina - monolignola, i to: *trans-p-kumaril alkohola*, *trans-koniferil alkohola* i *trans-sinapil alkohola* (slika 2.9).



Slika 2.9. Monomerni prethodnici lignina (monolignoli)

Zbog slučajnog karaktera reakcija polimerizacije, struktura lignina nije definisana, iako je ustanovljena učestalost pojedinih vrsta veza u njegovoj strukturi. Više od dve trećine fenilpropanskih jedinica u ligninu vezano je etarskim vezama, dok su ostale veze tipa ugljenik-ugljenik. Sa učešćem od oko 60 % najzastupljenija veza u veza u ligninu lišćara je *arilglicerol-β-aril etarska* (β -O-4) veza. Sledeća po zastupljenosti, sa učešćem od 8 % je *1,2-diarilpropanska* (β -1)

veza i *fenilkumaranske* (β -5) veza sa učešćem od 6 % (Adler, 1977; Argyropoulos i Menachem, 1997).



Slika 2.10. Prikaz strukture lignina drveta lišćara (Stewart et al., 2009)

Uloga lignina kao gradivne komponente ćelijskih zidova drveta je višestruka. Pored toga što "slepljujući" zidove ćelija srednjom membranom doprinosi stvaranju kompozitne strukture drveta, što drvetu daje dobra mehanička svojstva kao što su otpornost na udar, savijanje i pritisak, lignin daje krutost zidovima ćelija, ali predstavlja i fizičku barijeru prodoru enzima mikroorganizama u zidove ćelija, što omogućava dugovečnost drvnih vrsta.

Ekstraktivne komponente drveta

Pored polimernih sastojaka koji izgrađuju zidove ćelija, tkivo drveta sadrži, u količini do 5 % suve materije drveta kod vrsta umereno-kontinentalne klimatske zone, i niz raznovrsnih, pre svega organskih hemijskih jedinjenja. Ove nestrukturane komponente drveta smeštene su u lumenima ćelija tkiva drveta i kore, porama i mikrošupljinama samih zidova ćelija drveta, ali i u specijalnim anatomskim elementima (smolni kanali kod četinara). S obzirom da se ova jedinjenja, u zavisnosti od njihove hemijske prirode, iz drveta mogu ekstrahovati različitim organskim ili neorganskim rastvaračima ili predestilovati vodenom parom, obično se nazivaju ekstraktivnim komponentama drveta. Iako je njihovo učešće u tkivu drveta malo, ekstraktivne materije imaju znatan uticaj na estetska, biološka, mehanička i tehnološka svojstva drveta.

U ekstraktivna jedinjenja ubrajaju se i neki polimerni sastojci prisutni u drvetu u znatno manjim količinama od strukturnih, kao što su *polifenoli taninskog karakter*; *skrob*, koji se kao rezervna hranjiva materija nalazi u parenhimatičnim ćelijama; *proteini*, koji se mogu naći u živim ćelijama drveta i *pektinske supstance*, koje su po hemijskom karakteru polisaharidi, a karakteristični su sastojci primarnog ćelijskog zida (Fengel i Wegener, 1984; Stevanović-Janežić, 1993).

Zbog svoje rastvorljivosti u vodi, u ekstraktivne komponente svrstavaju se i **neorganske supstance** koje posle sagorevanja drveta ostaju u obliku pepela.

Prema fiziološkoj ulozi, odnosno funkciji koju imaju u metabolizmu biljke, ekstraktivne komponente drveta svrstavaju se u:

- *primarne* biljne supstance, koje učestvuju u razmeni materija živih ćelija biljaka, odnosno održavaju njihovo funkcionisanje (aminokiseline, proteini, ugljeni hidrati, fosfatidi, nukleinske kiseline); ima ih u svim biljkama.

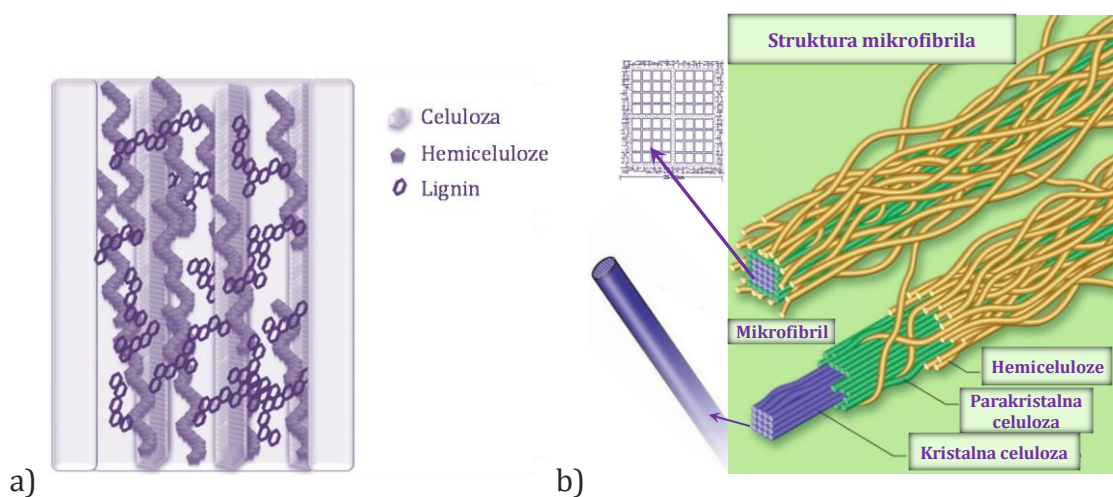
- *sekundarne* biljne supstance, koje su sekundarni metaboliti, i čije se prisustvo vezuje za određena tkiva, a zavisi od starosti drveta, položaja u stablu, brzine rasta i eventualnih oštećenja, ali i od vrste.

Ekstraktivne materije drveta veoma su raznolike po hemijskoj prirodi, pri čemu su neke prisutne u svim vrstama, dok su neke specifične za određenu vrstu. U materije koje se iz drveta mogu ekstrahovati spadaju: *ugljeni hidrati* (od monosaharida do polisaharida razgranate strukture (pektini), šećerni alkoholi (derivati monosaharida), *aminokiseline*, *proteini* i *enzimi* koji imaju ulogu biohemijskih katalizatora, *polifenoli* (fenoli, stilbeni, kumarani, lignani, flavonoidi, poliflavonoidi taninskog karaktera), i *drugi aromati*, *terpenska jedinjenja*, *tropoloni*, *steroidi*, *lipidi* (*masti* i *voskovi*), *masne kiseline* i *viši alifatični alkoholi*, *alifatična* i *heterociklična jedinjenja* (Fengel i Wegener, 1984; Stevanović-Janežić, 1993).

U ekstraktima roda *Fraxinus* identifikovano je preko 150 jedinjenja raznog hemijskog sastava i svojstava. Ekstrakti različitih vrsta jasena najčešće sadrže: kumarine, lignane, flavonoide, fenolne komponente (fenolne kiseline i njihovi derivati, i dr), sterole, triterpene, feniletanoid-glikozide. Neke od ovih materija, kao što je fraksin, koji pripada klasi kumarana, specifični su samo za rod *Fraxinus* (Kostova i Iossifova, 2007).

2.3. ORGANIZACIJA CELULOZE, HEMICELULOZA I LIGNINA U ĆELIJSKOM ZIDU

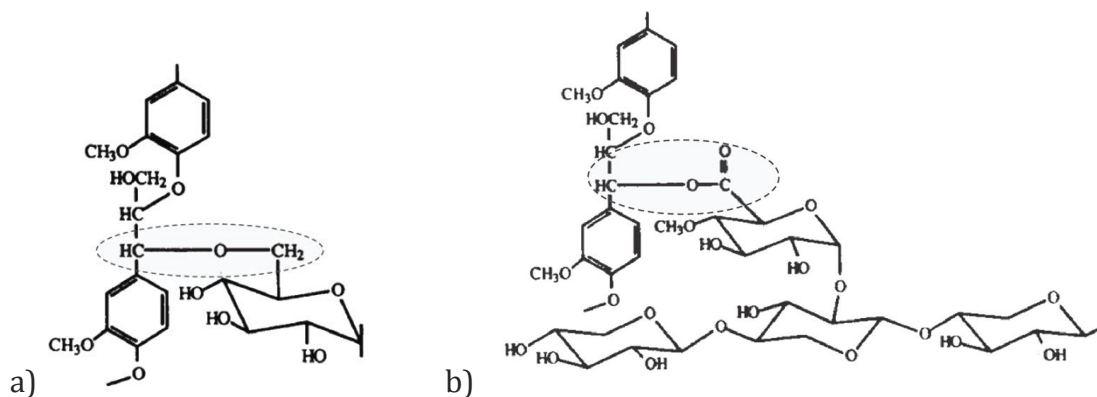
Celuloza u ćelijskom zidu nalazi se u obliku celuloznih mikrofibrila, čije je nastajanje već opisano. Smatra se da su oko kristaliničnog jezgra fibrila prisutni parakristalni regioni celuloze koji su putem fizičko-hemijskih interakcija u asocijaciji sa hemicelulozama (Richmond et al., 1991). Hemicelulozne komponente predstavljaju matričnu supstancu koja je prisutna oko mikrofibrila (slika 2.11 b). Lignin, kao inkrustrirajući materijal prekriva ih i povezuje u čvrstu strukturu ćelijskog zida drveta (slika 2.11 a) (Saka et al., 2001; Richmond et al., 1991).



Slika 2.11. Šematski prikaz organizacije celuloze, hemiceluloza i lignina a) u izgradnji ćelijskog zida i b) mikrofibrila

Formiranjem vodoničnih veza sa površinom mikrofibrila i kovalentnih, estarskih ili etarskih veza sa matricom lignina, hemicelulozne komponente u ćelijskom zidu imaju ulogu kuplujućeg agensa za spajanje visoko polarne površine mikrofibrila i mnogo manje polarne matrice lignina (Koshijima i Watanabe, 2003).

Naime, na molekulskom nivou, hemijskom interakcijom između lignina i ugljenih hidrata formira se lignin - ugljenohidratni kompleks (slika 2.12), koji vrši povezivanje hidrofobnih molekula lignina i hidrofilnih ugljenih hidrata. Obe vrste veza formiraju se preko α -ugljenika fenilpropanske jedinice lignina. Etarske veze lignin - ugljenohidratnog kompleksa su stabilnije. (Alen et al., 2000; Fengel i Wegener, 1984; Stevanović-Janežić, 1993).



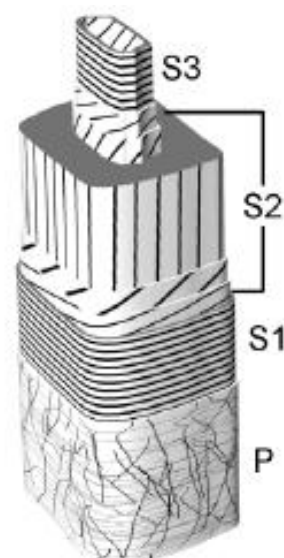
Slika 2.12. Prikaz strukture veze između lignina i hemiceluloza a) etarska i b) etarska veza (Watanabe et al., 1989; Koshijima i Watanabe, 2003).

2.4. ULTRASTRUKTURA ZIDOVA ĆELIJA DRVETA

Ćelijski zidovi, koji čine 95 % materijala drveta, slojevite su građe (slika 2.13), pri čemu je različit udeo celuloze, lignina i hemiceluloza po slojevima ćelijskog zida, kao i orijentacija mikrofibrila celuloze u svakom od slojeva. Oblast između ćelijskih zidova naziva se srednja membrana (srednja lamela), i sačinjavaju je uglavnom lignin i pektinske materije.

Primarni ćelijski zid (P) je tanak, a mikrofibrile celuloze u njemu su mrežaste, neuređene strukture, ugrađene u amorfni matriks sastavljen od hemiceluloze i pektina. Primarni zidovi zrelih drvnih vlakana su veoma lignifikovani sa značajnim udelom hemiceluloza i 20 - 25 % celuloze. Sadržaj hemiceluloza smanjuje se u pravcu od primarnog zida ka lumenu ćelije (Brändström, 2002).

Sekundarni ćelijski zid sastoji se od 4 podsloja: S1 – spoljašnji, S2 – središnji, S3 – unutrašnji i w – bradavičasti (Cote, 1977; Liese, 1965; Harada i Cote, 1985).



Slika 2.13. Šematski prikaz ćelijskog zida sa prikazom orijentacije celuloznih mikrofibrila (Brändström, 2002)

Orijentacija mikrofibrila celuloze u tankom S1 sloju sekundarnog ćelijskog zida je pod uglom od 50 - 70 ° u odnosu na uzdužnu osu vlakna. S1 sloj izgrađen je od celuloze, hemiceluloza i lignina. S2 sloj čini 70 - 80 % ukupne debljine ćelijskog zida, i praktično predstavlja glavnu masu ćelijskog zida, a mikrofibrili celuloze u njemu su orijentisani pod uglom od 10 - 20 ° u odnosu na uzdužnu osu vlakna (skoro paralelno sa osom ćelije). Ovaj sloj je, kao najdeblji, u najvećoj meri „odgovoran“ za fizičko-mehanička svojstva drveta (Stamm et al., 1964; Allen et al., 2000). Pretežno je izgrađen od celuloze (oko 60 %), ali i lignina i hemiceluloza. U tankom S3 sloju orijentacija mikrofibrila celuloze je pod uglom od 60 - 90°.

2.5. VARIJABILNOST SVOJSTAVA DRVETA

Uzorci drveta sa različitih položaja u stablu razlikuju se po mnogim svojstvima. U radijalnom pravcu razlikuju se po svojstvima tkiva u pravcu od srži ka periferiji. Takođe, razlike postoje i u zavisnosti od položaja po visini na stablu. Ove razlike posledica su načina rasta stabla, koji se, odlaganjem ćelija kambijuma u vidu šupljih konusa, istovremeno odvija i u širinu i u visinu (slika 2.14).

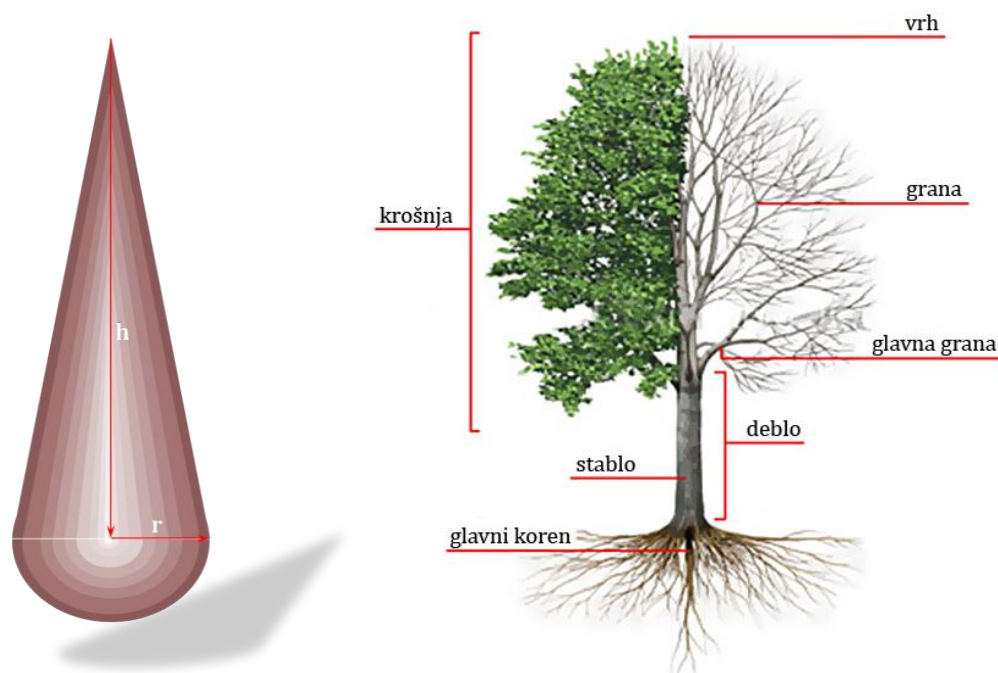
Juvenilno i zrelo drvo

Drvo, kao deo žive prirode, prolazi razvojne faze od embrionalnog razvića, preko juvenilnog doba i zrelosti, do starenja. Neke vrste dostižu zrelost posle 7 - 8 do 30 godina (Bernabei et al., 2000), dok kod drugih vrsta juvenilni period razvoja traje 50 - 60 godina (Gorišek i Straže, 2005). Tkivo drveta formirano tokom juvenilnog perioda rasta, locirano u zoni oko srži u obliku cilindra, naziva se *juvenilno drvo*. *Zrelo drvo* definiše se kao drvo relativno konstantnih dimenzija i međusobnog rasporeda ćelija, kao i postojanih fizičkih svojstava (Lewark, 1986).

Svako stablo, pored normalnog, zrelog, sadrži i takozvano juvenilno drvo, u udelu koji zavisi od starosti samog stable, kao i od vremena dostizanja zrelosti stabla, koje varira između vrsta. Učešće juvenilnog drveta zavisi i od položaja po visini na samom stablu.

Ćelije drveta formirane tokom juvenilnog perioda rasta stabla manje su dužine i tanjih zidova, a evidentne su i razlike u hemijskom sastvu (Bernabei et al.,

2000). Ugao mikrofibrila u S2 sloju ćelijskog zida veći je nego kod zrelog drveta, što izaziva veće dimenzionalne promene u aksijalnom pravcu juvenilnog drveta. Makroskopski gledano, juvenilno drvo odlikuje se širim prstenovima prirasta sa većim učešćem rane u odnosu na kasnu zonu. Razlike u anatomskim i hemijskim svojstvima drveta obrazovanog u juvenilnom periodu rezultuju i drugačijim fizičkim svojstvima: manjom gustinom i većim sadržajem vlage, kao i lošijim mehaničkim svojstvima.



Slika 2.14. Način rasta i delovi drveta

U pogledu hemijskog sastava, pravilo je da juvenilno drvo sadrži manje celuloze i više lignina, dok se sadržaj hemiceluloza ne menja značajno (Stevanović-Janežić, 1993). Međutim, neki istraživači navode manje vrednosti sadržaja lignina u mladim stablima, kao i veći sadržaj pentozana. Marković (1960) navodi nešto veći sadržaj pentozana, od 25,15 % u drvetu jove starosti 9 godina, u odnosu na uzorke iste vrste starosti 14 i 70 godina, u kojima je ustanovljen sadržaj pentozana od 23,98 i 23,10 %. Razlike u sadržaju lignina ovih uzoraka su mnogo veće. Marković (1960) navodi sadržaj lignina od svega 12,97 % u uzorcima jove starosti 9 godina. Sadržaj lignina drastično se povećava sa starošću stabala jove, i iznosi 23,93 % kod uzoraka starosti 14 godina, odnosno 25,75 % kod stabala starosti 70 godina. Isti autor navodi vrednost sadržaja lignina od 19,29 % kod topola

starosti 17 godina, koja se povećava na 24,30 % kod uzoraka starosti 42 godine. Bodirlau i saradnici (2007) analizirali su sastav drveta hrasta u delovima oko anatomskog centra (0 - 40 prstenova prirasta), iz središnjeg dela (40 - 70) i iz dela u blizini kambijalnog prstena (70 - 80). Dobijeni rezultati pokazuju porast sadržaja celuloze sa 40,03 %, koliko iznosi u zoni oko srži, na 44,40 % u blizini kambijuma. Sadržaj lignina drveta hrasta od 21,69 % najmanji je u uzorku koji obuhvata prvih 40 prstenova prirasta, dostiže najveću vrednost koja iznosi 23,75 % u središnjem delu, a zatim opada na 22,12 % u oblasti bliskoj kambijumu. Obzirom na oprečne literaturne navode, može se smatrati da opšte pravilo u pogledu razlika u hemijskom sastavu juvenilnog i zrelog drveta ne postoji.

Opisane promene u svojstvima drveta u radijalnom pravcu prisutne su i u aksijalnom pravcu. Naime, drvo obrazovano pri kruni sličnih je svojstava kao juvenilno drvo, jer se formiranje ovog drveta, kao i juvenilnog, odvija pod uticajem meristema u oblastima pod dejstvom fotosintetski aktivnih delova krune. Stoga, opisane promene anatomskih i hemijskih svojstava prisutne od srži ka kori, na isti način se ispoljavaju od vrha ka podnožju stabla (slika 2.14).

Pored toga, u tkivu drveta prisutne su varijacije u pogledu sadržaja ekstraktiva, u zavisnosti od starosti i mesta uzimanja uzorka. Može se reći da je pravilo da koncentracija ekstraktiva raste od vrha ka podnožju stabla, i to u slučaju sekundarnih biljnih supstanci. Koncentracije primarnih biljnih supstanci povećava se od podnožja ka vrhu stabla, sa povećanjem učešća fiziološki aktivnih tkiva.

Iz istih razloga, od kambijuma prema srži koncentracija primarnih biljnih supstanci opada, a sekundarnih raste. Koncentracija sekundarnih biljnih supstanci najveća je u srčici (Stevanović-Janežić, 1993).

2.6. FIZIČKO-HEMIJSKA SVOJSTVA DRVETA

Svojim prisustvom u građi drveta, molekulskom strukturom, međusobnim odnosom i načinom organizacije u izgradnji ćelijskog zida, gradivni molekuli drvnog tkiva determinišu hemijska, ali i fizička, mehanička i druga svojstva drveta kao što su gustina i poroznost, higroskopnost, dimenzionalna nestabilnost, toplotna moć, reaktivnost.

2.6.1. HIDROKSILNE GRUPE - PRISUSTVO I ULOGA U DRVETU

Na molekularnom nivou, hidroksilne (-OH) grupe predstavljaju najvažniju komponentu u ćelijskom zidu koja utiče na brojna svojstva drveta. Prisustvo hidroksilnih grupa u celulozi, hemicelulozama i ligninu, kao i njihova međusobna interakcije u ostvarivanju vodoničnih veza između ovih polimernih komponenti u ćelijskom zidu od velikog su značaja za determinisanje mnogih svojstava drveta.

Najveći broj hidroksilnih grupa drveta nalazi se u molekulima celuloze, čiji je udeo u drvetu i do 50 %. Hidroksilne grupe u kristalnim oblastima mikrofibrila smatraju se nedostupnim za ostvarivanje veze sa vodom ili za hemijske reakcije. Većina hidroksilnih grupa na površini mikrofibrila koje se smatraju dostupnim (pristupačnim), povezano je sa hemiceluloznim konstituentima ćelijskog zida. Tačan broj dostupnih hidroksilnih grupa u drvetu teško je odrediti. Brojna istraživanja metodama izlaganja drveta deuterisanoj ili tricijumskoj vodi, u cilju procena sadržaja pristupačnih OH grupa dala su veoma raznolike rezultate (Chow, 1972; Sumi et al., 1964; Sepall i Mason, 1961). Sadržaj dostupnih OH grupa može se grubo proceniti, koristeći vrednost od 65 % kao udeo celuloznih OH grupa koje se nalaze u kristalnim regionima (Fengel i Wegener, 1984).

Pored toga što imaju značajnu ulogu u izgradnji zidova ćelija drveta, hidroksilne grupe imaju uticaj i na ponašanje drveta kao sirovine prilikom hemijske ili mehaničke prerade, ali i na upotrebna svojstva drveta. Pristupačne OH grupe odgovorne su za adsorpciju vlage, što za posledicu ima dimenzionalnu nestabilnost i biološku neotpornost drveta (Hill, 2006), značajne su za reaktivnost drveta (Fengel i Wegener, 1984), ali i druga svojstva kao što je ostvarivanje veze sa adhezivom (Frihart, 2006, River et al., 1991).

2.6.2. MIKROPOROZNOST ĆELIJSKOG ZIDA I PERMEABILNOST DRVETA

Prostor između mikrofibrila u ćelijskom zidu ispunjen je hemicelulozama i ligninom. Nepotpuna ispunjenost prostora između regiona mikrofibrila rezultuje postojanjem mikropora u ćelijskom zidu prečnika 2 – 4 nm. Dokazi za postojanje mikropora u ćelijskom zidu dobijeni su različitim eksperimentalnim metodama (Hill i Papadopoulos, 2001). Postojanje mikropora pruža uslove za kretanje

molekula hemijskih reagenasa iz lumena kroz mrežu mikropora u ćelijskom zidu, čime im je omogućena pristupačnost u unutrašnjost ćelijskog zida (Hill, 2006). Zbog malih dimenzija molekula, voda lako prodire u šupljine u ćelijskom zidu.

Pored mikropora, u drvetu su prisutne i submikroskopske šupljine, prečnika do 10 nm (Šoškić i Popović, 2002). Mikropore i šupljine u ćelijskim zidovima drveta mogu biti ispunjene ekstraktivima, ali i vodom ili drugim tečnostima i gasovima.

Prilikom formiranja srčevine dolazi do gubitka sposobnosti provodljivosti vode usled zapušavanja provodnih elemenata tilama i ispunjavanja lumena ćelija i submikroskopskih prostora u zidovima ćelija supstancama srčevine (etarska ulja i smola kod četinara, a taninske i druge bojene materije kod lišćara) (Vilotić, 2000). Smanjena provodljivost srčevine značajna je za hemijske i ostale procese prerade drveta, i negativno se odražava na pristupačnost ćelijskog zida reaktantima.

Osim između beljike i srčike, razlike u permeabilnosti postoje između ranog i kasnog drveta. Takođe, provodljivost zavisi i od pravca protoka. Permeabilnost drveta u radijalnom pravcu efikasnija je nego u tangencijalnom, što se pripisuje olakšanom kretanju gasova i tečnosti kroz ćelije zraka zbog postojanja mnogobrojnih jamica na radijalnim zidovima (Gupta, 2008).

2.6.3. HIGROSKOPNOST DRVETA

Higroskopsnost drveta uslovljena je izuzetno velikom poroznošću, kao i hidrofilnim karakterom drveta, koji je posledica njegovog hemijskog sastava (tačka 2.6.1). Naime, postojanje velikog broja hidroksilnih grupa u polimernim molekulima ćelijskog zida rezultuje velikim afinitetom drveta prema vodi. Šoškić i Popović (2002) navode da adsorpcionoj sposobnosti drveta prema vodi u najvećoj meri doprinosi celuloza sa 47 %, zatim hemiceluloze sa 37 % i lignin sa svega 16 %.

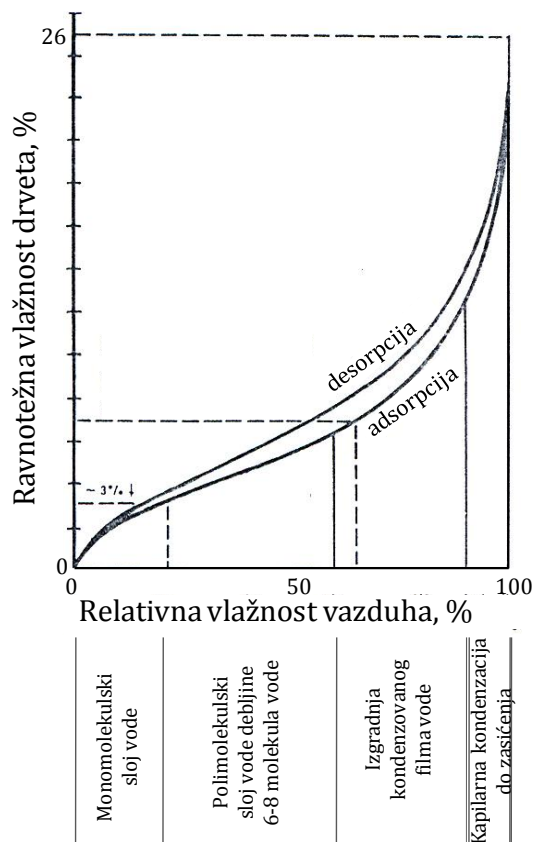
Voda u drvetu može biti prisutna kao *vezana*, ili *higroskopska voda*, i *slobodna* ili *kapilarna voda* (osmotska). Termin "vezana" voda odnosi se na vodu koja se nalazi u ćelijskom zidu, i vezana je jakim vezama za hidroksilne grupe molekula ćelijskog zida, na prvom mestu celuloze i hemiceluloza. Pri promeni relativne vlažnosti okolne atmosfere, drvo razmenjuje vlagu sa okolinom do postizanja ravnotežnog stanja. U uslovima stabilne relativne vlažnosti, drvo postiže

konstantan sadržaj vlage poznat kao *ravnotežni sadržaj vlage* (*EMC - Equilibrium Moisture Content*) (Hill, 2006), koji je za određenu vrstu drveta definisan relativnom vlažnošću vazduha i temperaturom okoline (Šoškić i Popović, 2002).

Maksimalni sadržaj higroskopne vlage koji se može postići u uzorku drveta u kontaktu sa zasićenom vodenom parom (relativna vlažnost vazduha 100 %) na konstantnoj temperaturi ograničen je brojem slobodnih hidroksilnih grupa u ćelijskom zidu sposobnih da grade vodonične veze sa molekulima vode, i označava se kao *tačka zasićenja vlakanaca* ili *granica higroskopnosti* (*FSP - Fibre Saturation Point*). Procenjene vrednosti tačke zasićenja vlakanaca različitih vrsta drveta kreću se između 21 % i 32 %, dok Siau (1984) navodi vrednost od 30 % vlažnosti.

Po dostizanju *tačka zasićenja vlakanaca* ćelijski zid više ne može da povećava sadržaj vlage. Pri sadržaju vlage većem od tačke zasićenja vlakana voda je smeštena u lumenima, ili u drugim makrošuplinama drveta, kao takozvana "slobodna" voda, pri čemu, izuzev gustine, ne izaziva promene drugih fizičkih svojstava drveta. Kapilarna voda nije vezana fizičko-hemijskim vezama za molekule koji grade ćelijski zid.

U higroskopnoj oblasti za drvo je karakteristična pojava *histerezisa sorpcije* koja se manifestuje pojavom da je sadržaj vlage drveta posle sušenja veći od očekivanog, ravnotežnog sadržaja vlage. Isto tako, ako je početni sadržaj vlage manji od ravnotežne vlažnosti, i konačni sadržaj vlage biće manji od očekivanog, ravnotežnog sadržaja higroskopne vlage. Razlika između sadržaja vlage prilikom smanjivanja vlažnosti (desorpcije) i povećavanja vlažnosti (adsorpcije) naziva se histerezis sorpcije (slika 2.15).



Slika 2.15. Adsorpciono-desorpcione izoterme za sistem drvo-voda

Histerezis sorpcije drveta obično se izražava kao odnos sadržaja ravnotežne vlažnosti u stanju desorpcije prema stanju vlažnosti u stanju adsorpcije (Skaar, 1988), i za većinu vrsta drveta iznosi 0,85 (Kollmann i Cote, 1984). Histerezis sorpcije veći je kod usitnjenog drveta (iverja) (Kolin, 2000).

Histerezis sorpcije karakterističan je za područje relativne vlažnosti vazduha između 10 i 95 %, a najveći je u oblasti apsolutnog sadržaja vlage od 6 do 18 % (pri relativnoj vlažnosti vazduha između 20 i 80 %). Pojava histerezisa sorpcije objašnjava se činjenicom da se jednom raskinute veze između molekula vode i organskih molekula drveta, u području fizičko-hemijski vezane vode, prilikom ponovnog vlaženja ne mogu uspostaviti u prvobitnom obliku. Drugi razlog pojave histerezisa sorpcije je što, prilikom udaljavanja vode, između fibrila dolazi do uspostavljanja vodoničnih veza, koje je prilikom ponovnog vlaženja nemoguće raskinuti.

2.6.4. DIMENZIONALNA NESTABILNOST DRVETA

Pri povećanju sadržaja vode u higroskopnoj oblasti, dolazi do pojave bubrenja molekula celuloze, hemiceluloza i lignina. Naime, prisustvo higroskopne vode dovodi do međusobnog razmicanja molekula u ćelijskom zidu i nastajanja međumolekularnih prostora, usled čega dolazi do povećavanja dimenzija ćelijskog zida. Ovo bubrenje posledica je prodiranja vode u amorfne oblasti mikrofibrila, što znači da radi se o intermicelarnom (interkristalnom) bubrenju. Naime, u amorfnim oblastima fibrilarne strukture celuloze hidroksilne grupe su „slobodne“, tj. nisu angažovane u formiranju vodoničnih veza, i u mogućnosti su da adsorbuju vodu, što se ispoljava kao bubrenje celuloze (Šoškić i Popović, 2002).

Kao posledica promena dimenzija na nivou ćelijskog zida, na makronivou se javlja promena dimenzija drveta. Ove promene dimenzija su anizotropne i najveće su u tangencijalnom, a najmanje u podužnom pravcu (Hill, 2006).

Dimenzionalna nestabilnost, kao jedan od velikih problema koji se javlja prilikom upotrebe drveta i proizvoda od drveta, naročito u uslovima promenjive vlažnosti okoline, već dugi niz decenija predstavlja predmet interesovanja istraživača.

2.6.5. TOPLOTNA MOĆ DRVETA

Sa smanjenjem rezervi fosilnih goriva, ali i postavljanjem sve većih ekoloških zahteva, drvo kao obnovljivi izvor energije sve više dobija na značaju.

Sagorevanje je složen fizičko-hemijski proces vezivanja kiseonika sa sagorljivim sastojcima goriva praćen oslobađanjem unutrašnje (hemijske) energije goriva i svetlosti. Osnovnu karakteristiku goriva čini njegova toplotna moć, kao energetski efekat hemijske reakcije sagorevanja goriva (Đorđević et al., 1990).

Toplotne moći ksilema domaćih tvrdih lišćara (bukva, hrast) kreću se u granicama od 19,344 do 21,341 MJ/kg. Toplotna moć lignina lišćarskih vrsta iznosi 25,761 MJ/kg, dok je energetska vrednost celuloze od 16,160 MJ/kg znatno manja, što je u skladu sa elementarnim sastavom, to jest odnosom O/C u ovim jedinjenjima (Stevanović-Janežić et al., 1995).

S obzirom da prilikom tretmana drveta dolazi do promena u hemijskom sastavu tretiranih uzoraka, može se očekivati i promena toplotne moći tretiranih uzoraka.

2.6.6. REAKTIVNOST UGLJENIH HIDRATA

Glavne funkcionalne grupe u ugljenim hidratima su: redukujuće završne grupe u polisaharidnim lancima, glikozidne veze i hidroksilne grupe. Zbog kristalne prirode celuloze, dostupnost funkcionalnih grupa za odigravanje hemijskih reakcija ograničena je na amorfne oblasti (Lai, 2001, Stevanović-Janežić, 1993).

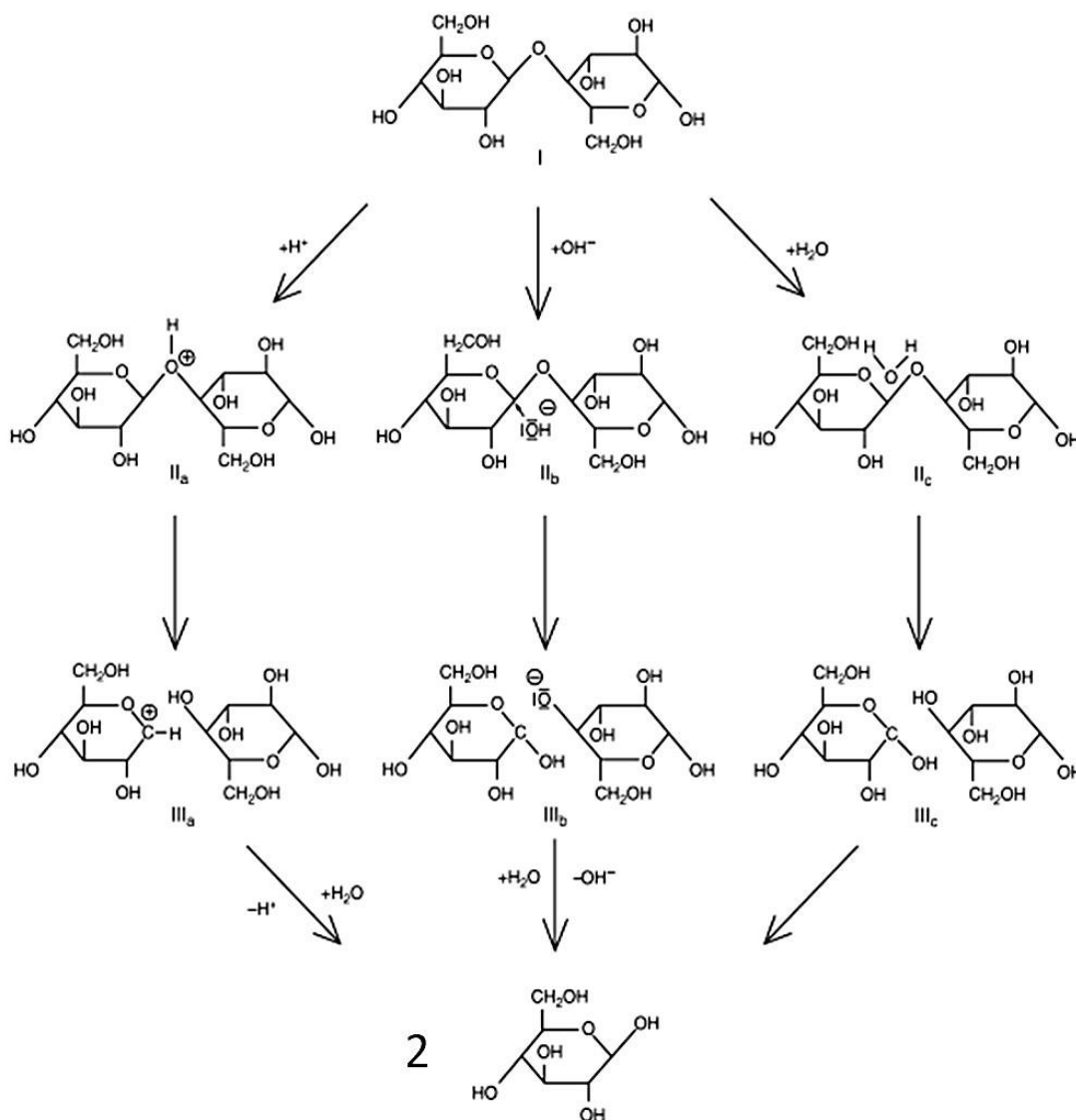
Redukujući krajevi lanaca polisaharida sadrže slobodni poluacetalni hidroksil, koji zbog ravnoteže poluacetalnog prstena i otvorenog okso-aldehidnog oblika ima redukujuća svojstva.

Hidroksilne grupe su potencijalna reakciona mesta za odigravanje reakcija supstitucije. Dejstvom organskih (anhidrid sirćetne kiseline) ili neorganskih kiselina (azotna, sumporna, hlorovodonična), procesima eterifikacije ili esterifikacije OH grupa, naravno uz uslov da su pristupačne za odigravanje reakcija, nastaju važni komercijalni proizvodi.

Svaka jedinica anhidrovanog šećera u polisaharidnom nizu sadrži jednu

primarnu i dve sekundarne hidroksilne grupe. Hidroksilna grupa na poziciji broj 2 je po prirodi najkiselija zbog aktivirajućeg efekta anomernog centra. Procesima oksidacije hidroksilna grupa se konvertuje u aldehidne i keto grupe.

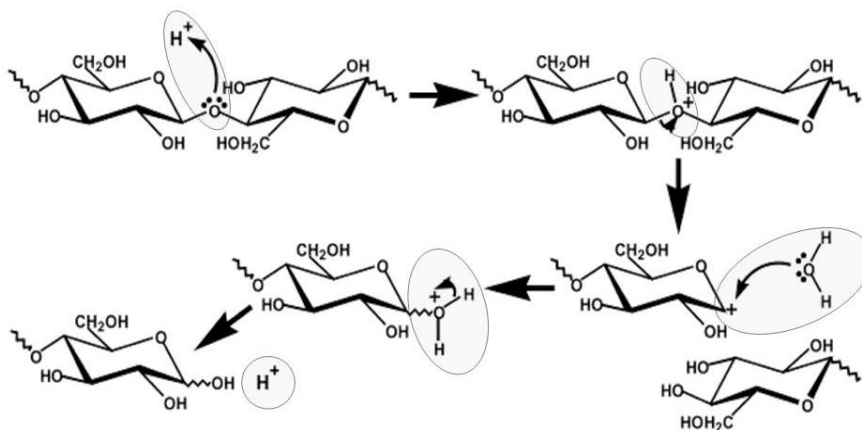
Glikozidne veze mogu biti hidrolizovane i u kiselim i u alkalnim uslovima. Mehanizam hidrolitičke razgradnje glikozidne veze prikazan je na slici 2.16.



Slika 2.16. Hidroliza glikozidne veze u kiseloj (H⁺), baznoj (OH⁻) sredini i vodi (H₂O) (Dumitriu, 2005)

Hidroliza glikozidnih veza u kiseloj sredini zahteva manje oštre uslove u odnosu na alkalnu hidrolizu. Mehanizam hidrolitičke razgradnje glikozidne veze u kiseloj sredini prikazan je na slici 2.17 (Dumitriu, 2005).

U prvoj fazi, adicijom protona na kiseonik glikozidne veze obrazuje se konjugovana kiselina, posle čega se odigrava sporo raskidanje glikozidne veze uz obrazovanje karbonijum jona. Adicijom vode karbokation se stabilizuje, uz oslobađanje protona (Stevanović-Janežić, 1993).



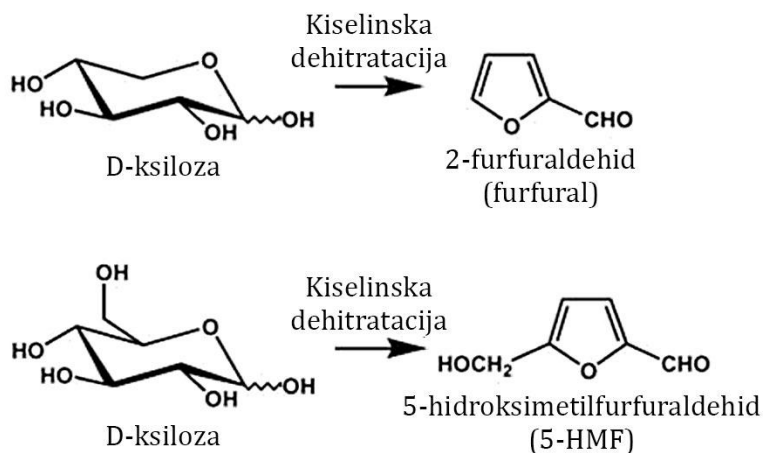
Slika 2.17. Mehanizam hidrolize glikozidne veze u kiseljoj sredini

U uslovima kiselinske hidrolize neizbežne su sporedne reakcije na oslobođenim monosaharidima, kao proizvodima hidrolitičke razgradnje glikozidne veze. U prisustvu razblaženih kiselina na umerenoj temperaturi odigravaju se dehidratacione promene na monosaharidima oslobođenim iz polisaharida. Usled reakcija unutarmolekulske dehidratacije, obrazuje se unutarmolekulska glikozidna veza, uz nastajanje anhidro-šećera. Na ovaj način obrazuju se 1,6-anhidroglukoza, 1,2-anhidroglukoza dihidroksi-benzoeva kiselina i 3-hidroksi-6-hidroksi-metil-2-metil hromon (Stevanović-Janežić, 1993).

U uslovima hidrolize kiselinama visoke koncentracije i povišene temperature transformacijama pentoznih šećera i uronskih kiselina i heksoza nastaju važni komercijalni proizvodi: furfural i 5-hidroksimetilfurfural (slika 2.18).

Daljim povećanjem temperature hidroksimetilfurfural se prevodi u mravlju i levulinsku kiselinu. Levulinska kiselina je sirovina za dobijanje α -andželika laktona, koji predstavlja efikasno gorivo (Nimz i Casten, 1986).

Hidrolizati dobijeni kao sporedni proizvodi iz različitih tehnologija prerade drveta mogu se prerađivati hemijskim i biohemijskim postupcima u komercijalno vredne proizvode (Stevanović-Janežić, 1993).



Slika 2.18. Kiselinska dehidratacija monosaharida

U alkalnoj sredini glikozidne veze celuloze relativno su stabilne na temperaturama ispod 170 °C. Međutim, preko mehanizma, poznatog kao "piling" ili "ljuštenje" ipak postoji degradacija na redukujućim krajevima celuloze. Ovo podrazumeva prethodnu transformaciju na redukujućem kraju celuloznog lanca, koja dovodi do skraćivanja celuloznog lanca, što dovodi do stvaranja novog redukujućeg kraja (završne grupe) podložnog alkalnoj degradaciji. Na slici 2.19 prikazan je mehanizam odigravanja reakcija na završnim grupama sa mogućim proizvodima prilikom alkalne hidrolize celuloze.

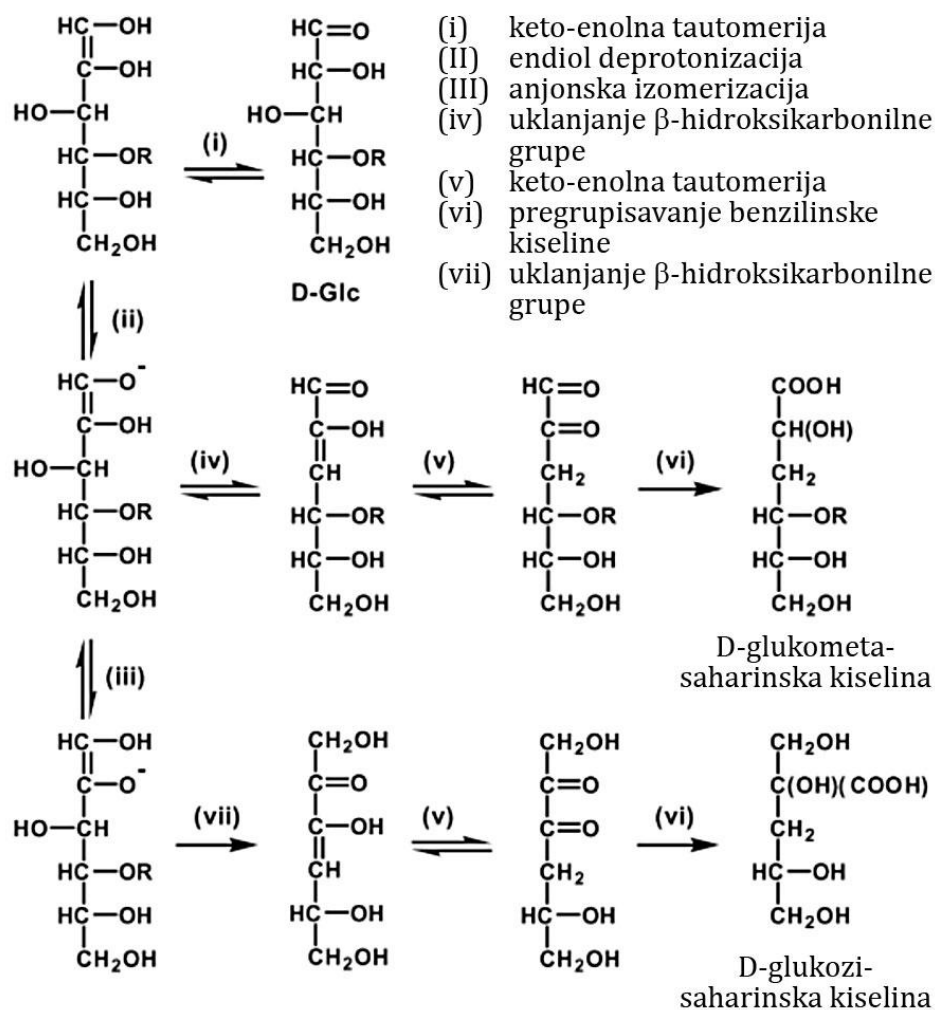
Broj otcepljenih jedinica glukoze uslovljen je koncentracijom alkalija i reakcionom temperaturom, pri čemu je ograničavajući faktor za odigravanje "piling" reakcija nedostupnost završnih grupa celuloznih lanaca. Naime, zbog postojanja visoko-kristalinične strukture, odigravanje ovih reakcija ograničeno je na amorfne oblasti mikrofibrila (Gupta, 2008).

Na temperaturama iznad 170 °C prisutna je, takođe, i alkalna hidroliza celulozne glikozidne veze praćena generisanjem novih krajnjih grupa podložnih "piling" reakcijama.

Reaktivnost različitih monosaharidnih jedinica u reakciji cepanja glikozidne veze pri alkalnoj hidrolizi je različita i opada u sledećem nizu: glukuronska kiselina > ksiloza > glukoza > manoza, što je trend suprotan kiselinskoj hidrolizi.

Za razliku od stabilne kristalne strukture celuloze sa obiljem međumolekulskih vodoničnih veza, nizak stepen polimerizovanja, razgranata struktura, kao i odsustvo kristalne strukture čine hemiceluloze podložnim

reakcijama hidrolitičke razgradnje. Pored načina vezivanja monosaharida u osnovnom lancu i završnih grupa analogno celulozi, hemiceluloze sadrže estar u obliku acetil grupe, zatim metil-etar, kao i i kovalentnu estarsku ili etarsku vezu sa ligninom.



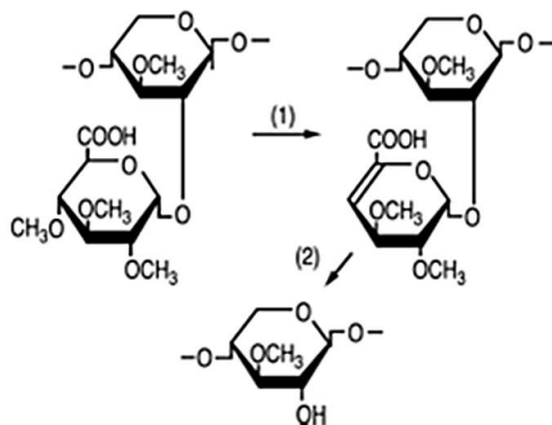
Slika 2.19. Mogući proizvodi alkalne hidrolize celuloze

Hidroliza estarskih i glikozidnih veza moguća je u kiselim i alkalnim uslovima, s tim što je u uslovima kisele sredine veći stepen odigravanja reakcija. Naime, sirćetna kiselina oslobođena prilikom hidrolitičke razgradnje u kiseljoj sredini povećava kiselost i poboljšava dalju hidrolizu estarske grupe, ali i glikozidnih veza i lignina. U ovakvoj reakcionoj sredini može doći do potpune hidrolize hemiceluloza (autohidroliza), kao i do fragmentacije lignina. Mehanizam hidrolize u kiseljoj sredini odigrava se preko karbonijum jona (slika 2.17).

U uslovima alkalnog pulpovanja odigravaju se reakcije "ljuštenja" koje počinju na redukujućem kraju polisaharida. Posle odvajanja β -D-ksiloze, u ksilanskom nizu ostaje uronska kiselina, koja je otporna na ovu reakciju.

Zbog svoje kisele prirode acetil grupe hemiceluloza posebno su osetljive u alkalnoj sredini i podležu hidrolitičkoj razgradnji (Stevanović-Janežić, 1993). Međutim, prilikom reakcije dolazi do oslobađanja OH grupe hemiceluloze na mestu acetil grupe, dok oslobođena kiselina acetil grupa prelazi u rastvor snižavajući pri tom pH reakcione smeše, što dovodi do smanjenja stepena odigravanja i ograničavanja daljih reakcija alkalne hidrolize (Dumitriu, 2005).

U vodenoj sredini rastvorljivi su ksilani, a u baznoj ksilani i manani (Stevanović-Janežić, 1993).



Slika 2.20. Eliminacija ostatka 4-O-metil -D-glukuronske kiseline u metilovanom ksilanu. (1) Alkalni tretman; (2) Blago kiselna hidroliza

2.6.7. REAKTIVNOST LIGNINA

Reaktivnost lignina određena je funkcionalnim grupama prisutnim u građi lignina:

- fenolne hidroksilne grupe – koje su podložne reakcijama halogenovanja, nitrovanja, oksidacije, kondenzacije;
- hidroksilne grupe u bočnim lancima - podložne su reakcijama sulfonovanja;
- etarske veze u bočnim lancima - podložne su reakcijama hidrolize, acidolize, alkalnog pulpovanja;
- metoksilne grupe - podložne su reakcijama alkalnog pulpovanja.

Za aromatske sisteme, poput lignina karakteristične su reakcije elektrofilne aromatične supstitucije (nitrovanje, halogenovanje, sulfonovanje, alkilovanje i acilovanje), uz očuvanje aromatske strukture.

Reakcije razgradnje lignina često se primenjuju u cilju ispitivanja strukture lignina. Blaga hidroliza po *Nimcu* odigrava se višednevnim tretmanom vrelom vodom na temperaturi od 100 °C, pri čemu ulogu katalizatora imaju vodonični joni iz samog drveta. Raskidaju se prvenstveno α -O-4 i β -O-4 veze lignina, uz nastajanje dimera kao proizvoda (Stevanović-Janežić, 1993).

Cepanje α - i β -aril etarskih veza glavne su reakcije prilikom razgradnje lignina u alkalnoj sredini. α -etarska veza se lako raskida u blago alkalnoj sredini, ali je ova veza u lignin-ugljenohidratnom kompleksu stabilna u istim uslovima. Stepenn odigravanja reakcije zavisi od koncentracije alkalija. Siringil jedinice lignina podložne su reakcijama cepanja β -etarske veze u prisustvu natrijum-hidroksida. Naime, reaktivnost β -etarske veze u velikoj meri zavisi od R ostataka vezanih u γ -poziciji fenolnog jezgra (Lai et al., 2001).

2.7. PREGLED ISTRAŽIVANJA TRETMANA

Poslednjih decenija postoji veliko interesovanje istraživača za primenu predtretmana u procesima prerade drvene sirovine, bilo da se radi o poboljšanju svojstava drveta za kasniju preradu ili o optimizaciji iskorišćenja drveta. U zavisnosti od željenog cilja, kompleksnost strukture lignocelulozne biomase uslovljava primenu različitih tipova predtretmana, koji mogu biti: fizički, hemijski, fizičko-hemijski i biološki (Taherzadeh i Karimi, 2008).

Međusobna povezanost polisaharida drveta (celuloze i hemiceluloza), kao i povezivanje estarskim i etarskim vezama sa ligninom u stabilnu kompozitnu strukturu čine lignocelulozni kompleks otpornim na procese degradacije (Yan i Shuya, 2006; Xiao et al., 2007). Osnovni cilj svakog predtretmana je da izmeni polaznu strukturu drveta, čime se, na primer, olakšava dalja hidroliza (Mosier et al., 2005; Hendriks i Zeeman, 2009). Vrsta primenjenog tretmana, kao i uslovi procesa, dovode do različitih efekata koji mogu biti: delimično uklanjanje lignina i hemiceluloza, smanjenje kristaliničnosti (Mosier et al., 2005) i stepena

polimerizacije celuloze (Rojo et al., 2013), uklanjanje acetil grupa iz hemiceluloza (Mosier et al., 2005; Hosseinaei et al., 2011 b) i sl. Dejstvo tretmana, pored hemijskih, neminovno dovodi i do promena nekih mehaničkih, fizičkih, termičkih i bioloških svojstava polaznog materijala.

Modifikacija drveta u praksi nije nepoznata. Na primer, u proizvodnji bioetanola iz lignoceluloznog materijala koriste se različite tehnologije predtretmana za poboljšanje razgradljivosti ugljenih hidrata u biomasi, čineći celulozne delove pristupačnijim enzimima (Zhang i Lynd, 2004).

Takođe, u klasičnom postupku Kraft pulpovanja, hemiceluloze nisu optimalno iskorišćene, i često se spaljuju kao deo crnog luga, iako im je toplotna moć relativno niska, svega 13,6 MJ/kg (Yoon i Heiningen, 2008). Savremeni pristup podrazumeva ekstrakciju hemiceluloznih šećera pre pulpovanja, uz mogućnost dobijanja novih proizvoda iz ekstrakta. Iz tog razloga, preporučljiva je primena blago alkalnog predtretmana pre kraft pulpovanja u cilju ekstrakcije hemiceluloza za proizvodnju biogoriva (etanola), ali i za dobijanje različitih hemijskih jedinjenja (Al-Dajani i Tschirner, 2008; Yoon i Heiningen, 2008). Na primer, drvo javora sadrži 35 % hemiceluloza, čiji gubici u procesu pulpovanja iznose oko 75 % (Liu i Amidon, 2007). Ovi gubici sprečavaju se primenom tretmana vodom, pri čemu su optimalni parametri tretmana temperatura od 160 °C i trajanje od 120 min (Mittal, 2006).

2.7.1. HEMIJSKI PREDTRETMANI

Različite hemikalije kao što su oksidaciona sredstva, alkalije, kiseline i soli mogu se koristiti u cilju modifikacije hemijske strukture lignoceluloznog materijala, pri čemu može doći do degradacije hemiceluloza, celuloze, i lignina.

Prethodna istraživanja predtretmana pokazuju selektivnost upotrebljenih reagensa prema određenim tipovima hemijskih reakcija, odnosno specifičnim hemijskim vezama u lignin-ugljenohidratnoj matrici. Na primer, moćni oksidacioni agensi kao što su ozon i vodonik peroksid efikasno uklanjaju lignin, ne proizvodeći toksične ostatke. Pri tom, reakcije se odigravaju na sobnoj temperaturi i pritisku (Sun i Cheng, 2002). Fizičko-hemijski tretman vodom pod pritiskom od oko 5 MPa i temperaturi od 170 - 230 °C u trajanju nekoliko minuta, posle čega sledi

dekompresija do atmosferskog pritiska, hidrolizuje 80 - 100 % hemiceluloza iz šećerne trske, kukuruznih stabljika i slame pšenice, pirinča i ječma, sa prinosom ksiloze od 45 - 65 % (Sun i Cheng, 2002; Sánchez i Cardona, 2008).

Metode predtretmana kod kojih su vrednosti pH niske, kao što su eksplozija pare (Fernandez-Bolanos et al., 1999; Schwald et al., 1988), tretman vrućom vodom (Allen et al., 2001; Garrote et al., 2002; Vaquez et al., 2001), kao i tretman razblaženim kiselinama (Burns et al., 1989; Jacobsen i Wyman, 2000) kao efekat imaju uklanjanje značajne količine hemiceluloza. "Tečni ekstrakt" iz ovih predtretmana sadrži hemicelulozne šećere i ostale produkte razgradnje drveta.

Razblažene i koncentrovane kiseline u uslovima visoke temperature pogodne su za hidrolizu lignoceluloznog materijala. U svojim istraživanjima del Campo sa saradnicima (2006) i Karimi sa saradnicima (2006) utvrdili su da je koncentracija od 0,5 % H_2SO_4 optimalna za tretiranje poljoprivrednih ostataka. Primena većih koncentracija H_2SO_4 (do 2,5 M) ne samo da hidrolizuje celulozu i hemiceluloze, već vrši izdvajanje lignina i drugih organskih komponenti iz lignoceluloznog materijala (Iranmahboo et al., 2002; Alma i Acemioglu, 2004; Okafoagu i Nzelibé, 2006; Miller et al., 2007; Rahman et al., 2007). Kao efikasni agensi tretmana pokazali su se i SO_2 , HNO_3 , HCl i višebazni alkoholi u prisustvu sumporne kiseline (Fan, 2003; Herrera et al., 2004; Kobayashi et al., 2004; Rodríguez-Chonga et al., 2004; Hassan i Shukry, 2008). Skorašnja istraživanja pokazala su da je primena kiselih tretmana u kombinaciji sa alkalnim mnogo efikasnija od pojedinačnog kiselog ili baznog tretmana (Damisa et al., 2008).

Organske kiseline kao što je oksalna, acetilsalicilna i salicilna kiselina mogu se koristiti kao katalizatori u organosolv procesima pri čemu se organska kiselina, ili vodeni rastvor organske kiseline meša sa neorganskim kiselinama (HCl ili H_2SO_4) u cilju razgradnje veze lignina i hemiceluloza. Kao organski rastvarači u procesu se koriste metanol, etanol, aceton, etilen-glikol, trietilen-glikol i tetrahidrofurfuril alkohol (Sun i Cheng, 2002).

Sa druge strane, metode predtretmana sa visokim vrednostima pH, kao što su AFEX (Dale et al., 1986; Dale et al., 1996; Foster et al., 2001), alkalni predtretman (Chang et al., 1997; Chang i Holtzaple, 2000) i ARP (Iyer et al., 1996; Kim i Lee, 1996) pokazuju mali uticaj na hemiceluloze, ali znatan uticaj na lignin.

Alkalni reagensi (NaOH, Ca(OH)₂, NaOH-urea, Na₂CO₃) korišćeni su za hidrolizu pirinčane slame (Carrillo et al., 2005), ostataka drveta smrče (Zhao et al., 2008), ostataka šećerne trske, manioke i kikirikija (Thomsen i Belinda, 2007), kukuruznog klipa (Torre et al., 2008), organskog komunalnog čvrstog otpada (Torres i Llorens, 2008). Primenom 0,5 - 2 M rastvora alkalija pri temperaturama procesa 120 - 200 °C, dolazi do saharifikacije i poboljšava se enzimska hidroliza modifikovanog lignoceluloznog materijala.

Na tok i intenzitet hidrolitičke razgradnje drveta utiču mnogobrojni faktori, kao što su parametri procesa ali i svojstva drveta. Stepem i brzina razlaganja polisaharida zavise od koncentracije primenjenih reagenasa, temperature i pritisaka tretmana, kao i dužine trajanja procesa. Pored toga, stepen odigravanja reakcija zavisi od pristupačnosti uzorka dejstvu reagenasa, koja zavisi od poroznosti, permeabilnosti i dimenzija uzoraka. Prisustvo materija srčevine može povećati hidrofobnost i smanjiti permeabilnost (Marković et al., 1975).

2.7.1.1. Tretmani vodom

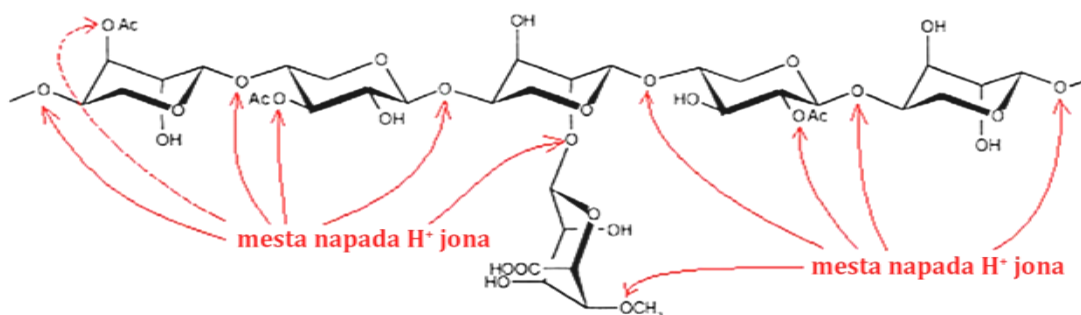
Zbog jednostavnosti izvođenja procesa, odsustva agresivnih hemikalija, usled čega nema zahteva za specijalnom opremom, a takođe i ekološke podobnosti, postoji veliko interesovanje istraživača za ispitivanje dejstva tretmana vodom na promene u svojstvima drveta.

Prilikom dejstva vode na lignocelulozni materijal na povišenim temperaturama odigravaju se autokatalizovane reakcije hidrolitičke razgradnje polisaharida (slika 2.21). Autokataliza podrazumeva katalitičko dejstvo kiselina prisutnih u sastavu molekulske strukture drveta, na prvom mestu sirćetne kiseline prisutne u obliku estara u hemicelulozama (Marković et al., 1975).

Količina H⁺ jona u procesima autokatalitičke hidrolize zavisi od sadržaja i hemijskog sastava hemiceluloza, njihove lokacije u zidovima ćelija, odnosno pristupačnosti dejstvu vode, kao i od poroznosti i dimenzija uzoraka koji uslovljavaju brzinu prodiranja vode u unutrašnjost tkiva drveta (Marković et al., 1975).

Značajno je da se kao proizvodi tretmana vodom u hidrolizatu pojavljuju monosaharidi, koji mogu da se upotrebe za proizvodnju bioetanolu i/ili drugih

proizvoda. Pored razgradnje hemiceluloza, tokom tretmana vodom mogući su gubici lignina i ekstraktiva rastvorljivih u vodi. Sattler sa saradnicima (2008) referiše gubitak lignina od 1,25 % tokom 60 min ekstrakcije vodom na 160 °C.



Slika 2.21. Potencijalna mesta napada H⁺ jona prilikom autohidrolitičkog razlaganja ksilana

Gubici mase tretiranih uzoraka drveta proporcionalni su sadržaju proizvoda u hidrolizatu, i povećavaju se sa povećanjem temperature tretmana i trajanja procesa. Gubici mase usled dejstva tretmana vodom zabeleženi u literaturi kreću se u opsegu od 2,9 % kod drveta bukve tretirane pri temperaturi tretmana od 130 °C i trajanju od 30 min (Mirzaei et al., 2012), do čak 26,8 % kod žutog bora tretiranog 60 min na 160 °C (Zhang et al., 2011).

Isto kao gubici mase, i prinos proizvoda u hidrolizatu zavisi od uslova izvođenja procesa. Kisela hidroliza glikozidne veze hemiceluloza glavna je reakcija koja se odigrava u sistemu, usled čega hidrolizat sadrži monosaharide oslobođene prilikom hidrolitičke razgradnje ove veze. Koncentracija šećera raste sa porastom temperature i vremena trajanja tretmana. U hidrolizatu mogu biti prisutni: monosaharidi (D-ksiloza, L-arabinoza, D-glukoza, D-manoza, D-galaktoza, L-ramnoza i D-riboza) iz hemiceluloza i celuloze, sirćetna kiselina, 2-furfuralaldehid, metanol, propionska kiselina, ali i fragmenti lignina, uronskih kiselina i ekstraktiva rastvorljivih u vodi (Sattler et al., 2008; Laurová, 2011 b). Prisustvo i koncentracija pojedinačnih proizvoda tretmana u hidrolizatu zavisi od uslova izvođenja procesa. Glavni proizvod tretmana vodom drveta jasena (*Fraxinus excelsior* L.) na temperaturama 100 - 140 °C je D-glukoza poreklom iz glukomanana i amorfnih regiona celuloze, dok je koncentracija ksiloze na ovim temperaturama niža, i raste sa temperaturom i vremenom trajanja tretmana (Laurová, 2011 a). Degradacija celuloze u amorfnim oblastima prisutna je na svim temperaturama, dok se najveći

obim razlaganja hemiceluloza odvija na temperaturama od 160 °C. Pri temperaturama tretmana od 150 - 230 °C u hidrolizatu vrbe detektovani su ekstraktivi, hemiceluloze i vodorastvorni lignin (Laurová et al., 2009). Naime, hidroliza glikozidnih veza hemiceluloza vodi ka slabljenju i raskidanju veza hemiceluloza sa ligninom. Na temperaturama oko 170 °C odigravaju se i reakcije depolimerizacije celuloze.

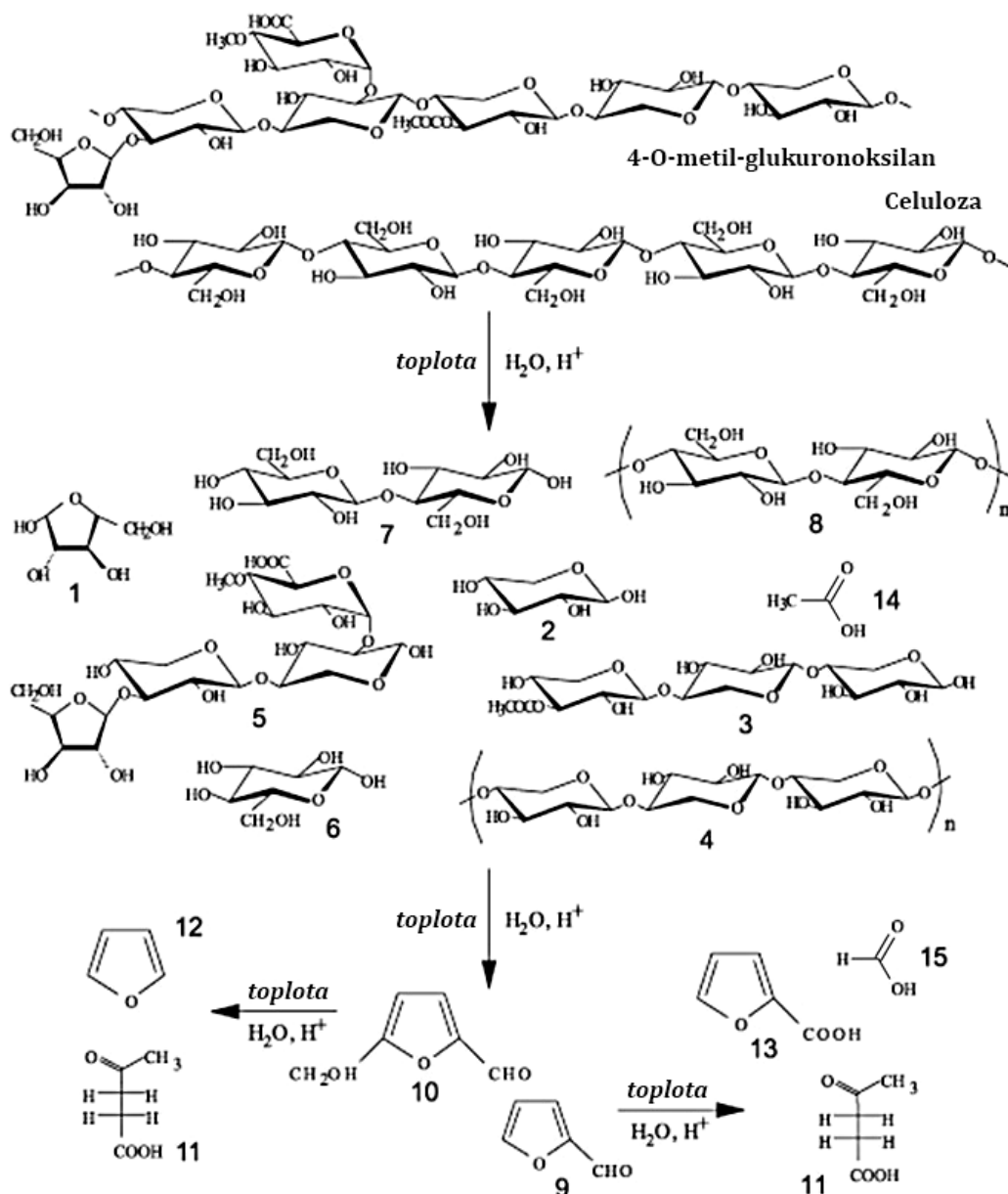
Istovremeno, tokom procesa hidrolize u hidrolizatu se dešavaju i reakcije dehidratacije oslobođenih pentoznih i heksoznih šećera, koje dovode do njihove transformacije u furfural, 5-hidroksimetil furfural (HMF), levulinsku kiselinu i mravlju kiselinu (slika 2.22). Obim transformacije i koncentracija proizvoda zavise od uslova autohidrolize, odnosno primenjene temperature i trajanja procesa (Marković et al., 1975; Hosseinaei et al., 2011 a).

Zbog oslobađanja acetil grupa pH vrednost u reakcionoj smeši vremenom se snižava do 3 - 4 (Jara et al., 2006; Hosseinaei et al., 2011 b). Promena hemijske strukture uslovljava promene fizičkih i mehaničkih svojstava tretiranih uzoraka (Kúdela, 2005; Kúdela, 2009).

Novija istraživanja idu u pravcu poboljšanja dimenzionalne stabilnosti drveta ekstrakcijom hemiceluloza (Zhang et al., 2011). Naime, poznato je da polimeri ćelijskog zida sadrže veliki broj OH grupa koje mogu da grade vodonične veze sa vodom, što dovodi do upijanja vode i dimenzionalne nestabilnosti drveta i proizvoda od drveta. Smanjenje stepena higroskopnosti i upijanja vode može poboljšati dimenzionalnu stabilnost drveta i proizvoda od drveta. Brojnim metodama, kao što su termički tretmani drveta, kroz procese degradacije hemiceluloza koje su najhidrofilniji konstituenti drveta, smanjuje se broj pristupačnih OH grupa (Tjeerdsma i Militz, 2005), čime se poboljšava dimenzionalna stabilnost drveta (Kocaeffe et al., 2008 b).

Ekstrakcija hemiceluloza vodom takođe dovodi do smanjenja broja OH grupa, što rezultuje smanjenjem adsorpcije vode i povećanjem dimenzionalne stabilnosti tretiranih uzoraka drveta (Hosseinaei et al., 2011 a). Naime, smanjenje površinske energije uzoraka tretiranih vodom, koje je konstatovano, ukazuje da je došlo do smanjenja polarnosti površine drveta posle ekstrakcije (Zhang et al., 2011). Takođe, na porast hidrofobnog karaktera uzoraka drveta tretiranih vodom ukazuje i povećanje kontaktnog ugla kvašenja. Usled gubitka hemiceluloza udeo

lignina i drugih hidrofobnih komponenti u tretiranim uzorcima se povećava, što može biti jedan od razloga povećanja hidrofobnog karaktera tretiranih uzoraka (Hosseinaei et al., 2011 b).



Slika 2.22. Hidroliza ksilana lišćara i prikaz mogućih proizvoda:

(1) Arabinoza; (2) Ksilioza; (3) Acetilovani ksiloooligomeri; (4) Ksiloooligomeri visoke molekulske mase; (5) Kiseli razgranati oligosaharidi; (6) Glukoza; (7) Celobioza; (8) Celooligomeri; (9) Furfural; (10) Hidroksimetilfurfural; (11) Levulinska kiselina; (12) furan; i (13) 2-furoinska kiselina; (14) sirćetna kiselina i (15) mravlja kiselina (Ramos, 2003)

Usled smanjenja kapaciteta za adsorpciju vode tretirani uzorci upijaju manje vode prilikom izlaganja povišenoj relativnoj vlažnosti. Međutim, pri oštrijim

uslovima tretmana, koji su praćeni većim gubicima mase, povećano je prodiranje vode u tretirane uzorke (Zhang et al., 2011). OSB ploče izrađene od vodom ekstrahovanih uzoraka crvenog javora takođe su povećano apsorbivale vodu. Smatra se da je ovo posledica stvaranja većih pora tokom ekstrakcije (Zhang et al., 2011). Uprkos tome, bubrenje ovih ploča bilo je smanjeno u odnosu na ploče izrađene od netretiranih uzoraka (Paredes et al., 2008). Analiza površine drveta uzoraka sa povećanim upijanjem vode primenom SEM mikroskopije nije ustanovila morfološka promene u strukturi tkiva tretiranih uzoraka, pa se pretpostavlja da su novostvorene pore reda veličine nanopora (Hosseinaei et al., 2011 b).

Primenom SEM mikroskopije primećene su kapljičaste tvorevine na površini tretiranih uzoraka, što ukazuje da tokom ekstrakcije dolazi do omekšavanja i tečenja lignina, koji se kreće i redeponuje na površini ćelijskog zida (Donohoe et al., 2008). Na ovaj način dolazi do "otvaranja" lignoceluloznog matriksa, čime se smanjuje gustina i tvrdoća tretiranih uzoraka drveta, kao i modul elastičnosti (Hosseinaei et al., 2011 b). Pad mehaničkih svojstava tretiranih uzoraka istraživači pripisuju ostvarivanju kontakta između celuloze i lignina posle razgradnje hemiceluloza (Gündüz et al., 2009; Kocaefe et al., 2010).

Smanjenje broja OH grupa u uzorcima tretiranim vodom, pored smanjenja higroskopnosti uzrokuje i smanjenje smicajne čvrstoće u sloju adheziva, kao i veću površinu loma po drvetu kod tretiranih uzoraka (Mirzaei et al., 2012). Mirzaei i saradnici (2012) takođe su ustanovili smanjenje smicajne čvrstoće drveta breze posle hidrotermičkog tretmana. Naime, OH grupe drveta predstavljaju potencijalna mesta za ostvarivanje veze sa adhezivom (River et al., 1991). Smanjenjem broja pristupačnih OH grupa smanjuje se i broj ostvarenih veza između drveta i adheziva. Isto tako, na ostvarivanje veze sa adhezivom uticaj može imati i promena pH vrednosti drveta, usled uklanjanja "kiselih" acetil grupa.

2.7.1.2. Tretmani u kiseloj sredini

Tretmani mineralnim ili organskim, koncentrovanim ili razblaženim kiselinama često se primenjuju u cilju hidrolitičke razgradnje lignoceluloznog

materijala. Najviše pažnje usmereno je na tretmane drveta sumpornom kiselinom, zatim hlorovodoničnom, azotnom i fosfornom kiselinom.

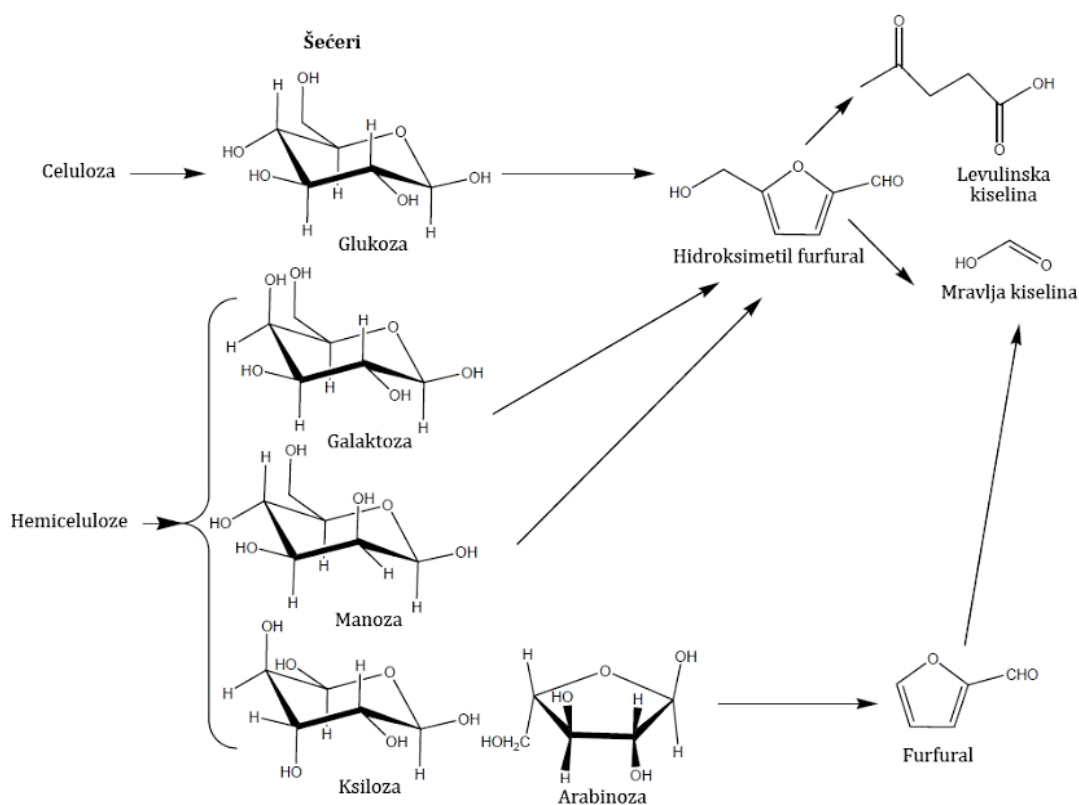
Brojna pilot postrojenja, čiji je cilj proizvodnja bioetanol, koriste tretmane lignoceluloznog materijala u kiseloj sredini za povećanje efikasnosti hidrolitičke razgradnje celuloze (Taherzadeh i Karimi, 2007). Visok stepen hidrolize lignoceluloznog materijala, sa velikim prinosom monosaharida postiže se dejstvom koncentrovanih kiselina (30 - 70 %). Uprkos zahtevima za skupom opremom zbog korozivnog dejstva koncentrovanih kiselina, i dalje vlada interesovanje za ove procese. U istraživanjima proizvodnje bioetanol intenzivno se razmatra proces impregnacije biomase sumpornom kiselinom koncentracije 70 %, posle čega se hidroliza nastavlja razblaživanjem vodom (Taherzadeh i Karimi, 2007).

Hidroliza dejstvom razblaženih kiselina verovatno je najviše istraživana metoda u oblasti hemijskih tretmana. Primenom niskih koncentracija kiselina i visokih temperatura (140 - 190 °C) postiže se visok stepen odigravanja reakcija, uz značajno povećanje pristupačnosti celuloze za dalju razgradnju. Tretmani drveta pri niskim ili umerenim temperaturama i pritiscima rezultuju malom količinom proizvoda degradacije, koja se povećava sa porastom ostalih parametara procesa (temperatura, pritisak, trajanje tretmana) (Sivers i Zacchi, 1995). Jedan od glavnih efekata tretmana drveta pri niskim vrednostima pH kao što su tretmani vrućom vodom (Allen et al., 2001; Garrote et al., 1999; Yoon i Heiningen, 2008; Amidon et al., 2006) i tretmani razblaženim kiselinama (Jacobsen i Wyman, 2000; Kumar et al., 2009; Mosier et al., 2005) je uklanjanje značajne količine hemiceluloza iz tkiva drveta. Prema literaturi, u istraživanjima se najčešće primenjuju tretmani rastvorima sumporne kiseline koncentracije 0,5 do 1,5 % pri temperaturi od 120 – 160 °C, zatim rastvori hlorovodonične, azotne i fosforne kiseline.

Hidrolizati iz procesa kiselinske hidrolize bogati su monosaharidima koji su proizvodi hidrolitičke razgradnje ugljenohidratnih komponenti drveta, a sadrže i sirćetnu kiselinu, fenolne i druge aromatične komponente, ekstraktivne materije, kao i proizvode degradacije lignina.

Međutim, u uslovima visokih temperatura procesa, u kiseloj sredini dolazi do degradacije oslobođenih monosaharida, ksiloze i glukoze na prvom mestu, uz stvaranje furfurala, odnosno 5-hidroksimetilfurfurala (HMF), mravlje i levulinske kiseline (slika 2.22 i 2.23). Da bi se sprečila degradacija proizvoda često se

primenjuje dvostepena kiselinska hidroliza. U prvom stepenu hidrolize, koji se odigrava u relativno blagim uslovima, prvenstveno se odvija konverzija hemiceluloza u monosaharide. Posle uklanjanja proizvoda, u drugoj fazi procesa, pri oštrijim uslovima hidrolize odigravaju se reakcije hidrolitičke razgradnje celuloze. Ovakav način vođenja procesa omogućava visok prinos monosaharida.



Slika 2.23. Transformacija monosaharida u kiseloj sredini u furfural i HMF

Dvostepena hidroliza lignoceluloznog materijala kiselinama primenjuje se u komercijalnim procesima *BCI* (SAD) i *SEKAB* (Švedska) za proizvodnju bioetanol. U prvoj fazi procesa odigrava se hidrolitička razgradnja hemiceluloza na temperaturama 170 - 190 °C, posle čega se povećanjem temperature na 200 - 220 °C odvija hidroliza celuloze. Švajcarsko postrojenje *Inventa AG* za proizvodnju etanola koristi proces zasnovan na blago kiselinskoj hidrolizi, sa koncentracijom kiseline od 0,6 %, dok se temperatura procesa kreće u opsegu 140 - 180 °C (Taherzadeh i Karimi, 2007).

Da bi se povećala efikasnost, u nekim procesima koristi se kombinacija različitih reagenasa. Na primer, sirćetna kiselina, čak i pri visokim koncentracijama

i temperaturama, ne može da razgradi lignin. Međutim, posle hidrolitičkog dejstva sirćetne kiseline, efikasno uklanjanje lignina vrši se dodavanjem azotne kiseline. Kombinacijom 30 % sirćetne kiseline i 2 % azotne kiseline efikasno se uklanja lignin, i povećava odnos celuloza/lignin u tretiranim uzorcima sa 1,6 na 9,9 (Taherzadeh i Karimi, 2007).

Istraživanja kiselih tretmana sprovode se uglavnom radi pronalaženja načina što optimalnije hidrolitičke razgradnje glikozidnih veza ugljenohidratnih komponenti, u cilju dobijanja maksimalnog prinosa monosaharida kao sirovine za proizvodnju bioetanola. Interesovanje istraživača za uticaj kiselih tretmana na promene fizičkih i mehaničkih svojstava drveta mnogo je manje.

Ipak, odgovarajućim parametrima procesa može se postići manja degradacija tretiranih uzoraka, uz poboljšanje određenih svojstava. Kao rezultat, monosaharidi iz hidrolizata mogu da se konvertuju u etanol, dok drvo, modifikovane strukture i svojstava može da se koristi za dalju preradu (McConnell et al., 2011). Pokazalo se da su oksalna kiselina i njeni derivati pogodni za ekstrakciju ugljenih hidrata iz drvnog tkiva. Koncentracija monosaharida u ekstraktu iz tretmana je visoka (Li et al., 2011), a povećanje temperature tretmana dovodi do većih gubitaka mase (Li et al., 2011). Posle ekstrakcije, tretirani uzorci prevode se u pulpu uz smanjen utrošak energije (Kenealy et al., 2007; Akhtar et al., 2008; Winandy et al., 2008). Tretman nije imao negativan uticaj na kvalitet ovako dobijenih proizvoda od papira. Naprotiv, pri odgovarajućim parametrima tretmana, jačina i belina papira su povećane (Kenealy et al., 2007).

Drvno-plastični kompoziti na bazi vlakana tretiranih oksalnom kiselinom pokazala su slična mehaničke performanse kao kompoziti od netretiranih vlakana (Winandy et al., 2008), a utrošak energije prilikom rafinacije vlakana posle tretmana oksalnom kiselinom bio je znatno manji u poređenju sa netretiranim uzorcima. MDF ploče izrađene od tretiranog iverja bile su otpornije na upijanje vode (Akhtar et al., 2008). Poredeći svojstva MDF ploča izrađenih od netretiranih i uzoraka tretiranih vodom i oksalnom kiselinom, Li i saradnici (2011) ustanovili su da je, usled delimičnog uklanjanja hemiceluloza, sorpcija vode MDF ploča izrađenih od vlakana tretiranih oksalnom kiselinom manja u odnosu na ostale uzorke. Istovremeno, i debljinsko bubrenje ovih uzoraka bilo je manje. Međutim, smanjen sadržaj hemiceluloza u tretiranim vlaknima uzrokovao je lošija mehanička svojstva

ovih uzoraka, što se naročito odrazilo na zateznu čvrstoću, ali i na modul elastičnosti i savojnu čvrstoću.

Pad mehaničkih svojstava drvno-plastičnih kompozita od drvnih vlakana tretiranih oksalnom kiselinom Winandy i saradnici (2008) pripisali su hemijskim promenama u ćelijskom zidu koje su posledica ekstrakcije hemiceluloza, usled čega je smanjena kompatibilnost tretiranih drvnih vlakna i UF veziva. Pored toga, uticaj na pad mehaničkih svojstava drveta ima smanjenje gustine tretiranih uzoraka koje je neminovno usled gubitka mase drveta prilikom tretmana (Kellog i Ifju, 1962; Blankenhorn et al., 1989).

2.7.1.3. Tretmani u alkalnoj sredini

Alkalni tretmani lignoceluloznog materijala uključuju brojne procese, kao što su: rastvaranje nedegradibilnih polisaharida, piling reakcije završnih grupa, uz formiranje alkali-stabilnih završnih grupa, hidrolitičko raskidanje glikozidnih veza, otcepljivanje acetil grupa, razlaganje ili rastvaranje polisaharida (Fengel i Wegener, 1984). Ovi tretmani pokazali su se kao veoma efikasni za razlaganje estarskih veza između lignina, hemiceluloza i celuloze, ali dovode i do fragmentacije hemiceluloznih polimera (Gaspar et al., 2007). Efekti tretmana zavise od uslova tretmana (koncentracija alkalija, temperatura, vreme), ali i od karakteristika samog lignoceluloznog materijala (Zhao et al., 2008).

Radi poboljšanja ciljanih svojstava lignoceluloznog materijala često se primenjuju reagensi kao što su natrijum hidroksid (NaOH), kalcijum hidroksid i kalijum hidroksid, ali i amonijak.

Najveće interesovanje istraživača u oblasti alkalnih tretmana je za efekte tretmana rastvorima NaOH različite koncentracije na lignocelulozni materijal. Pošto parametri procesa - koncentracija NaOH, temperaturni opseg (20 – 130 °C), kao i vreme trajanja procesa (od 10 minuta do 18 sati, pa čak i više dana), variraju u širokom opsegu, u skladu sa tim i postignuti efekti su različiti. Ovim tretmanima se, usled procesa ograničenog intrakristalnog bubrenja, menjaju parametri kristalne rešetke celuloze u polaznom uzorku, bez narušavanja same kristalne strukture. Naime, povoljan jonski radijus natrijumovih jona omogućava njihovo umetanje u kristalnu rešetku celuloze, usled čega dolazi do razmicanja

kristalografskih ravni i promene konformacije celuloze, odnosno promene načina pakovanja celuloznih lanaca unutar kristalne rešetke i stvaranja polimorfa celuloze (Fengel i Wegener, 1984). Dejstvom ovog tretmana postojeće vodonične veze između celuloznih makromolekula se raskidaju, uz istovremeno formiranje novih vodoničnih veza između lanaca celuloze. Istovremeno sa bubrenjem dolazi do povećanja specifične površine celuloznih vlakana. Ograničeno intramicelarno (intrakristalno) bubrenje celuloze mogu izazvati i drugi alkalni agensi, kao što su rastvori kalijum hidroksida i litijum hidroksida. Stepem bubrenja celuloze zavisi od vrste, koncentracije i temperature rastvora alkalija koji se koristi kao agens bubrenja (Fengel i Wegener, 1984; Stevanović-Janežić, 1993).

Tokom alkalnog tretmana takođe dolazi do raskidanja strukturnih veza između lignina i ugljenih hidrata, kao i razlaganja samog lignina. Brojna istraživanja pokazala su da alkalni tretmani dovode do razlaganja i uklanjanja dela hemiceluloza, lignina i ekstraktivnih materija. U ekstraktima alkalnih tretmana takođe su prisutne acetil grupe i uronske kiseline (Albano et al., 2001; Xue et al., 2007; Mwaikambo et al., 2007; Dipa et al., 2001). Tarkow i Feist (1969) navode smanjenje kristaliničnosti celuloze i raskidanje strukturnih veza između lignina i ugljenih hidrata tokom alkalnih tretmana, što dovodi do njihovog olakšanog uklanjanja. Usled toga dolazi do povećanja poroznosti, čime drvena materija postaje pristupačnija za hemijske interakcije.

Međutim, drugi autori navode povećanje kristaliničnosti celuloze posle tretmana rastvorima natrijum hidroksida. Naime, tokom alkalnih tretmana istovremeno se odigravaju dva suprotna fenomena: usled prodiranja natrijumovih jona u strukturu celuloze, povećava se udeo amorfnih oblasti; istovremeno, kroz mehanizam piling reakcija razgrađuju se amorfne oblasti celuloze. U zavisnosti od koncentracije primenjenog rastvora preovlađuje jedan od ova dva fenomena (Rojo et al., 2013). Gassan i Bledzki (1999) povećanje kristaliničnosti posle alkalnog tretmana objašnjavaju uklanjanjem dela lignina i hemiceluloza, usled čega dolazi do boljeg pakovanja celuloznih lanaca.

Kako je već rečeno, iako su glikozidne veze celuloze relativno stabilne u alkalnoj sredini na temperaturama ispod 170 °C, čak i pri blagim uslovima ipak dolazi do smanjenja stepena polimerizacije celuloznih lanaca usled piling reakcija na redukujućim krajevima polisaharida. Povećanjem koncentracije alkalija

povećava se i koncentracija glukoze u hidrolizatu (Cao et al., 2011). Mehanizam odigravanja piling reakcija u alkalnoj sredini prikazan je na slici 2.18.

Veće koncentracije alkalija dovode do znatne delignifikacije vlakana, pri čemu dolazi do slabljenja ili oštećenja vlakana (Wang et al., 2007; Xue et al., 2007). Rojo i saradnici (2013) su ustanovili da celulozna vlakna tretirana natrijum hidroksidom koncentracije od 10 % ili više, kao i pri visokim temperaturama procesa, počinju da degradiraju bez obzira na trajanje tretmana.

Usled značajnih promena u strukturi i sastavu drveta, alkalni tretmani imaju znatan uticaj na promenu mehaničkih i fizičkih svojstava drveta. Usled delimičnog uklanjanja hidroksilnih grupa otpornost na vlagu alkalno tretiranog lignoceluloznog materijala se poboljšava. Takođe, Vikstrom i Nelson, (1980) pokazali su da tretman rastvorom NaOH koncentracije 5 i 10 g/l na sobnoj temperaturi modifikuje dinamičko-mehanička svojstva drveta breze i značajno poboljšava čvrstoću papira napravljenog od ovako tretirane pulpe.

Rojo i saradnici (2013) su u svojim istraživanjima odabrali tretman celuloznih vlakana 5 % NaOH u trajanju od 2 h kao optimalan, pošto ovi uslovi povećavaju udeo amorfne oblasti vlakana, i smanjujući kristaliničnost, dovode do bubrenja mikrofibrila i vlakna, što poboljšava kvašenje i termičku stabilnost. Nabubrela vlakna tretirana NaOH pokazuju povećanu dostupnost i reaktivnost u poređenju sa polaznim, a imaju i veću efektivnu površinu dostupnu za hemijske interakcije. Povećanje termičke stabilnosti alkalno tretiranih vlakana Rojo i saradnici (2013) objašnjavaju uklanjanjem voskova i drugih površinskih nečistoća prisutnih u drvnim vlaknima, čije su temperature razlaganja niže od temperature razlaganja celuloze, te njihovo uklanjanje poboljšava termičku stabilnost vlakana.

Promena strukture drveta, takođe, neminovno izaziva promene u procesu adhezije, kao i čvrstoće formirane veze.

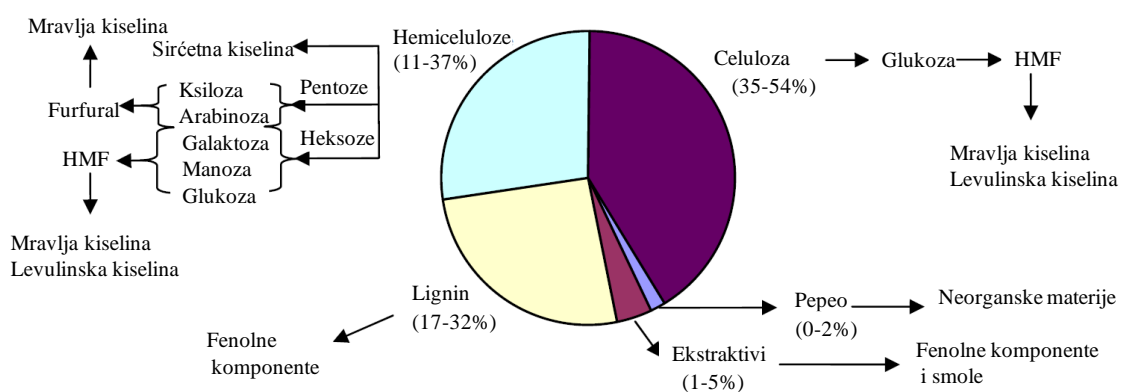
2.7.2. EFEKTI TRETMANA

S obzirom na veliki spektar različitih tretmana u pogledu vrste, primenjenih reagenasa i parametara procesa, kao i veoma raznovrsnu i složenu strukturu lignoceluloznog materijala, i postignuti efekti tretmana uključuju niz pojedinačnih faktora koji mogu biti izmenjeni dejstvom tretmana. Tretmani najčešće dovode do

promena kristaliničnosti celuloze, delimičnog uklanjanja lignina i hemiceluloza čime se povećava pristupačnost površine celuloze, stepena polimerizacije celuloze i stepena acetilovanja hemiceluloza (Wyman, 1996).

Na ovaj način i sva druga svojstva drveta, kao što su fizička, mehanička, biološka su izmenjena.

Primenom hemijskih tretmana, pored postignutih promena u strukturi drvnog tkiva, kao proizvod se dobija ekstrakt sa rastvorenim proizvodima razlaganja komponenti drvnog tkiva (slika 2.24).



Slika 2.24. Struktura lignoceluloznog materijala i potencijalni proizvodi hidrolize (Taherzadeh i Karimi, 2007).

Podrazumeva se da sastav proizvoda tretmana, pored uslova primenjenog tretmana zavisi i od polaznog hemijskog sastava drveta. Proizvodi nastali tretiranjem drveta imaju primenu u hemijskoj, farmaceutskoj, prehrambenoj i drugim granama industrije.

2.8. PLOČE IVERICE

Ploče iverice definišu se kao "proizvodi od iverja drveta ili drugih lignoceluloznih materijala, koji su međusobno slepljeni pomoću organskog veziva i drugih agenasa kao što su katalizatori i aditivi, uz upotrebu toplote i pritiska" (Miljković, 1991).

Fizička i mehanička svojstva ploča izotropnija su od svojstava originalnog drveta, i zavise od brojnih faktora, između ostalog i od vrste drveta i adheziva od

kojih su izrađene, veličine i oblika iverja, uslova izrade, dodatka aditiva i sl. Jedno od važnih fizičkih svojstava ploča iverica tokom upotrebe je debljinsko bubrenje i upijanje vode (Youngquist et al., 1986 a). Higroskopni karakter i porozna struktura ploče iverice omogućava prodiranje vode u unutrašnjost ploče. Voda ispunjava najpre veće šupljine između iverja, a zatim prodire u drveno tkivo samoga iverja, odnosno u zidove ćelija, izazivajući bubrenje.

Kako ploče iverice zauzimaju sve značajnije mesto na svetskom tržištu (Frihart, 2005 b), razumljivo je interesovanje istraživača za načine poboljšanja njihovih svojstava - vlagootpornosti, vatrootpornosti, mehaničkih i tehnoloških svojstava (Nicholls et al., 1991; Blankenhorn et al., 1989; Rowell et al., 1986; Youngquist et al., 1986 b; Oliveira et al., 2010; Papadopoulos i Gkaraveli, 2003; Sernek et al., 2008; Pan et al., 2007). Kao jedno od svojstava, kome je u ovim istraživanjima data posebna pažnja, izdvaja se dimenzionalna stabilnost ploča. Brojna istraživanja modifikacije različitih vrsta drveta postupcima acetilovanja, koji dovode do supstitucije hidrofilnih OH grupa drveta, rezultovala su smanjenjem upijanja vode i debljinskog bubrenja ploča od acetilovanog iverja (Rowell et al., 1986; Youngquist et al., 1986 b). Međutim, poboljšanje dimenzionalne stabilnosti ploča iverica izrađenih od hemijski modifikovanog iverja korišćenjem urea-formaldehidnog (UF) adheziva, uglavnom prati značajan pad mehaničkih svojstava, kao što su smanjenje savojne čvrstoće (Oliveira et al., 2010) i/ili smanjenje zatezne čvrstoće (Papadopoulos i Gkaraveli, 2003).

Blankenhorn i saradnici (1989) istraživali su uticaj tretmana vodom, kao i rastvorima sirćetne kiseline (2 - 4 %) i natrijum hidroksida (0,25 - 0,5 %) na dimenzionalna i mehanička svojstva ploča iverica proizvedenih FF adhezivom. Svi primenjeni tretmani doveli su do povećanog upijanja vode, koje je bilo najveće kod ploča od iverja tretiranog natrijum hidroksidom, pri čemu je ovaj tretman izazvao i najveći gubitak mase drveta. Kiseli tretmani i tretman vodom doveli su do smanjenja debljinskog bubrenja u odnosu na kontrolne ploče, dok je debljinsko bubrenje ploča od iverja tretiranog natrijum hidroksidom povećano. Sve ploče izrađene od tretiranog iverja imale su lošija mehanička svojstva, pri čemu su vrednosti savojne čvrstoće, modula elastičnosti i zatezne čvrstoće (raslojavanja) bile najmanje kod iverja tretiranog natrijum hidroksidom.

Nicholls i saradnici (1991) istraživali su uticaj tretmana vodom i rastvorom sirćetne kiseline na dimenzionalna stabilnost ploča iverica proizvedenih dodatkom UF adheziva. Primenjeni tretmani nisu pokazali značajan uticaj na debljinsko bubrenje i upijanje vode ploča od tretiranog iverja, dok su mehanička svojstva bila niža u odnosu na kontrolne ploče, ali samo u slučajevima manjeg gubitka mase tokom tretmana.

Ostvarivanje veze sa adhezivom jedan je od faktora koji značajno utiče na kvalitet gotove ploče (Frihart, 2005 b). Adhezija između drveta i adheziva, kao i čvrstoća formirane veze zavisi od više faktora, koji se, pored svojstava adheziva i parametara procesa slepljivanja, odnose i na drvo, kao adherent. Jedan od značajnih činilaca koji utiču na kvalitet ostvarene veze drveta i adheziva prilikom slepljivanja jeste hemijski sastav drveta (Frihart, 2005 a), odnosno hidroksilne grupe drveta preko kojih se formiraju vodonične veze sa adhezivom (Frihart, 2007).

Svojstava drveta izmenjena dejstvom tretmana, usled promena u hemijskoj strukturi, neminovno izazivaju promene u procesu adhezije, kao i jačini formirane veze. Sernek i saradnici (2008) navode promene u distribuciji adheziva po površini, kao i penetracije u strukturu modifikovanog drveta, usled povećanja hidrofobnosti drveta posle termičkog tretmana.

Mirzaei i saradnici (2012) ustanovili su smanjenje smicajne čvrstoće u sloju adheziva drveta breze posle hidrotermičkog tretmana, što su Tjeerdsma i Militz (2005) objasnili su smanjenjem broja hidroksilnih grupa, kao potencijalnih mesta za ostvarivanje veze između drveta i adheziva.

Pan i saradnici (2007) istraživali su uticaj tretmana vrelom vodom na karakteristike ploča debljine 5,5 mm izrađenih od iverja eukaliptusa, pri dodatku UF adheziva od 7 % u odnosu na masu apsolutno suvog iverja. Apsorpcija vode i debljinsko bubrenje ovih ploča smanjeno je za 10 % i 34 %, respektivno, uz istovremeno poboljšanje mehaničkih svojstava u odnosu na kontrolnu ploču. Poboljšanje mehaničkih svojstava ploča od tretiranog iverja objašnjeno je uklanjanjem ekstrakta iz drveta, koji mogu da ometaju reakcije očvršćavanja UF adheziva. Na taj način, nakon tretmana vrelom vodom, vrednost pH je smanjena, odnosno povećana je kiselost iverja, što je povoljno uticalo na ostvarivanje interakcije UF adheziva sa tretiranim iverjem.

3. CILJEVI I ZADACI ISTRAŽIVANJA

Poznavanje komponenata drveta i njihovog hemijskog ponašanja, odnosno osobina, neophodno je u cilju boljeg razumevanja postojećih tehnoloških procesa, a naročito za unapređenje i razvoj novih postupaka, optimalnih načina izolacije komponenata drveta, kao i mogućnosti boljeg iskorišćenja drvene sirovine. Isto tako, poznavanje hemijskog sastava drveta od velikog je značaja i za istraživanja u pravcu izolovanja novih jedinjenja i dobijanje novih proizvoda na njihovoj bazi.

Imajući u vidu da u literaturi nema podataka o anatomskom i hemijskom sastavu domaćeg poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon), jedan od ciljeva ovog rada bio je da se dobiju detaljni podaci o njegovoj hemijskoj i anatomskoj građi, zatim da se utvrdi raspodela i promena, kako sadržaja hemijskih konstituenata, tako i dimenzija anatomskih elemenata, po visini na stablu, koja je evidentna za sve drvene vrste, kao i da se utvrdi zavisnost hemijskog i anatomskog sastava od starosti drveta. Statističkom obradom dobijenih rezultata hemijskog sastava i dimenzija anatomskih elemenata utvrdiće se varijabilnost hemijskog sastava i anatomske građe drveta poljskog jasena u skladu sa navedenim ciljem rada.

Primena blago kiselog, blago alkalnog i predtretmana vodom, i ispitivanje efekata ovih tretmana na promene u hemijskom sastavu juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon), kao i sastava dobijenih ekstrakata, mogu da posluže kao putokaz ka efikasnijem iskorišćenju drvene sirovine.

Izradom eksperimentalnih jednoslojnih ploča iverica od netretiranog i tretiranog drveta, a zatim ispitivanjem njihovih svojstava, biće istražene mogućnosti primene predtretmana u proizvodnji ploča iverica, kao i racionalnijeg

iskorišćenja drvnih ostataka koji se pojavljuju i prilikom seče, ali i u svim procesima prerade drveta.

Kako je već navedeno u teorijskom delu, različiti parametri tretmana, kao što su temperatura, koncentracija primenjenih hemikalija i vreme trajanja tretmana dovode do različitih promena u strukturi i svojstvima drvnog tkiva. Imajući u vidu da je jedan od ciljeva ovog rada procena mogućnosti primene tretmanom modifikovanog drveta za izradu ploča iverica povećane dimenzionalne stabilnosti, bilo je potrebno odabrati takve parametre tretmana koji će dovesti do poboljšanja dimenzionalne stabilnosti i povećanja hidrofobnosti tretiranog drveta, uz uslov da jačina adhezivne veze između tretiranog iverja i adheziva ostane zadovoljavajuća.

S obzirom na iznetu problematiku i aktuelna istraživanja u svetu, u ovom radu postavljeni su sledeći **ciljevi**:

1. Da se dobiju podaci o hemijskom i anatomskom sastavu poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon);
2. Da se utvrdi varijabilnost sadržaja hemijskih konstituenata po visini na stablu;
3. Da se ustanovi varijabilnost hemijskog sastava u zavisnost od starosti drveta;
4. Da se sagledaju efekti odabranih predtretmana:
 - vodom,
 - blago kiselog (sirćetnom kiselinom) i
 - blago alkalnog (natrijum karbonatom)na promene u hemijskom sastavu ove vrste drveta;
5. Da se ispita sastav ekstrakta dobijenog kao sporednog proizvoda predtretmana, radi procene mogućnosti njegovog iskorišćenja; i
6. Da se proceni mogućnost primene ovako modifikovanog drveta za izradu ploča iverica povećane dimenzionalne stabilnosti i hidrofobnosti.

U skladu sa postavljenim ciljevima, istraživanja u ovom radu zasnovana su na sledećim **hipotezama**:

- Pretpostavka je da starost stabla, kao i položaj na samom stablu (po visini i u radijalnom pravcu) imaju uticaj na varijabilnost hemijskog i anatomskog sastava drveta poljskog jasena. Analiza hemijskog sastava i anatomskih karakteristika juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena na tri položaja po visini i statistička obrada dobijenih rezultata trebalo bi da pokaže stepen ove varijabilnosti u zavisnosti od starosti i položaja po visini na stablu.
- Kao jedan od efekata primene različitih predtretmana očekuju se promene u hemijskom sastavu drveta poljskog jasena, naročito u pogledu sadržaja ekstraktivnih materija i hemiceluloza, ali i promene nekih svojstava tretmanom izmenjenog drveta.
- S obzirom da se očekuje smanjenje sadržaja hemiceluloza usled primene predtretmana, a time i smanjenje sadržaja hidroksilnih grupa, za očekivati je da će to uticati na upijanje vode i bubrenje, kao i ravnotežni sadržaj vlage tako modifikovanog drveta.
- Takođe, s obzirom na očekivane promene u hemijskom sastavu drveta poljskog jasena usled dejstva tretmana, pretpostavlja se da će i toplotna moć ovako modifikovanog drveta biti promenjena.
- Istovremeno, tečni ekstrakt dobijen prilikom predtretmana trebalo bi da sadrži različita jedinjenja "rastvorena" iz drveta, na prvom mestu hemicelulozne šećere, te bi mogao poslužiti kao sirovina za proizvodnju niza različitih proizvoda.
- Iz prethodno navedenog proizilazi da se može očekivati povećanje vlagootpornosti, kao i dimenzionalne stabilnosti ploča iverica izrađenih od tretiranog u odnosu na one izrađene od nativnog drveta poljskog jasena.
- Međutim, sa smanjenjem sadržaja hemiceluloza, odnosno hidrofilnih i polarnih hidroksilnih grupa, može se očekivati i smanjenje hemijske aktivnosti tretiranog drveta prilikom formiranja adhezivnih veza između drvnih čestica, pa se pretpostavlja da će to imati uticaj na čvrstoću na zatezanje (raslojavanje) ploča iverica izrađenih od ovako modifikovanog drveta.

4. EKSPERIMENTELNI DEO

Eksperimentalni deo sastoji se od sledećih poglavlja:

- 4.1. Plan istraživanja i metode eksperimentalnog rada
- 4.2. Materijal za istraživanje
- 4.3. Karakterizacija drvene vrste
- 4.4. Karakterizacija adheziva
- 4.5. Ispitivanje dejstva predtretmana na hemijski sastav i svojstva juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- 4.6. Izrada i ispitivanje laboratorijskih ploča iverica

4.1. PLAN ISTRAŽIVANJA I METODE EKSPERIMENTALNOG RADA

Svaka od metoda koje je opisana u odgovarajućoj tački *Eksperimentalnog dela* ovog rada, primenjena je radi postizanja zadatih ciljeva u uslovima **kontrolisanog laboratorijskog eksperimenta**, koji omogućava **komparativnu analizu** dobijenih rezultata. Kod svake pojedinačne analize korišćene su specifične metode za to ispitivanje, bilo da su propisane standardom ili predstavljaju naučne metode.

4.1.1. IZBOR UTICAJNIH PARAMETARA

Za ispitivanja u ovom radu izabran je poljski jasen - *Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon, jer je primećen nedostatak detaljnijih istraživanja hemijskog i anatomskog sastava ove vrste, koja su od značaja za njegovu primenu, a imajući u vidu i mogućnost plantažnog uzgajanja ove vrste.

U skladu sa varijabilnošću svojstava drveta opisanih u tački 2.5 za karakterizaciju vrste: utvrđivanje hemijskog sastava, anatomskih i fizičkih karakteristika, kao uticajni parametri odabrani su:

- **starost drveta** (juvenilno - zrelo),
- **položaj po visini stabla** (na 1,3 m, 1/2 i 3/4 visine stabla)
- **položaj u radijalnom pravcu** (samo za anatomsku građu).

Na osnovu pregleda dostupne literature (tačka 2.7), a u skladu sa usvojenim ciljevima rada, kao **uticajni parametar na promene u hemijskom sastavu drvnog tkiva**, kao i na kvalitet izrađenih ploča iverica odabrana je

VRSTA PRIMENJENOG PREDTRETMANA:

- **vodom** (redestilovana voda),
- **blago kiseli** (vodeni rastvor sirćetne kiseline - CH_3COOH) i
- **blago alkalni** (vodeni rastvor natrijum karbonata - Na_2CO_3).

Kriterijumi za izbor reagenasa za ispitivanje efekata tretmana na promene u hemijskom sastavu drveta poljskog jasena, bili su na prvom mestu ekološki, ali i ekonomski razlozi, odnosno njihova netoksičnost (ekološka prihvatljivost), dostupnost, kao i pristupačna cena (ekonomski aspekt).

S obzirom da efekat tretmana zavisi od uslova izvođenja procesa (tačka 2.7.1), a imajući u vidu zahtev za što manjim narušavanjem polazne strukture drveta, za svaki od tri vrste testiranih predtretmana kao **uticajni parametri na promene svojstava** drveta poljskog jasena odabrani su:

- **temperatura predtretmana** od:

100 °C i 120 °C

- **dodatak primenjenog sredstva** (osim u slučaju predtretmana vodom) od:

0,03 0,06 i 0,09 g/g suve supstance drveta.

Da bi se procenio uticaj temperature i koncentracije na promene svojstava tretiranih uzoraka, prilikom svih tretmana **konstantni** su bili sledeći parametri:

- trajanje tretmana od 60 min, usvojeno na osnovu rezultata Popović i Điporović (2012);
- dimenzije uzoraka;
- sadržaj vlage uzoraka i
- hidromodul (odnos drvo:voda = 1:5, zbog toga što omogućava potpuno potapanje drvene sirovine u tečnu fazu tokom tretmana).

Na osnovu usvojenih ciljeva rada, koji obuhvataju izradu ploča iverica poboljšane dimenzionalne stabilnosti i hidrofobnosti od iverja tretiranog različitim tretmanima usvojeni su sledeći **kriterijumi za izbor optimalnih parametara predtretmana**:

- upijanje vode
- zapreminsko bubrenje i
- smicajna čvrstoća u sloju adheziva tretiranog drveta.

Prilikom izrade laboratorijskih ploča iverica od iverja tretiranog različitim predtretmanima **konstantnim** su održavani sledeći uticajni parametri:

- sadržaj vlage iverja;
- dodatak adheziva i katalizatora (receptura);
- režim oblepljivanja (vreme i brzina mešanja) i
- režim presovanja (temperatura, pritisak i vreme presovanja).

Za ispitivanje izrađenih laboratorijskih ploča iverica uzorci su klimatizovani pri istim uslovima (65 % relativne vlažnosti i temperaturi od 20 °C) okoline.

4.1.2. PLAN EKSPERIMENTALNOG RADA

U skladu sa osnovnim zadacima, istraživanja u ovom radu obuhvataju tri oblasti koje se međusobno nadovezuju, ali se istovremeno mogu posmatrati kao nezavisne i samostalne celine.

U **prvom delu** istraživanja, u okviru **karakterizacije vrste** *Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon za juvenilno i zrelo drvo izvršeno je određivanje:

- **Fizičkih svojstava** na visini stabla od 1,3 m, u zavisnosti od starosti stabala:
 - Zapreminska masa (gustina);
 - Poroznost i
 - Sadržaj ravnotežne vlage.
- **Anatomskih svojstava**, u zavisnosti od položaja u radijalnom pravcu i od starosti stabala:
 - Prečnik traheja na visini stabla od 1,3 m
 - Dimenzije mehaničkih vlakana na tri položaja po visini stabla.
- **Hemijskog sastava**, u zavisnosti od položaja po visini i od starosti stabala:
 - Sadržaj gradivnih materija i
 - Sadržaj pratećih materija drvnog tkiva

na tri položaja po visini stabla.

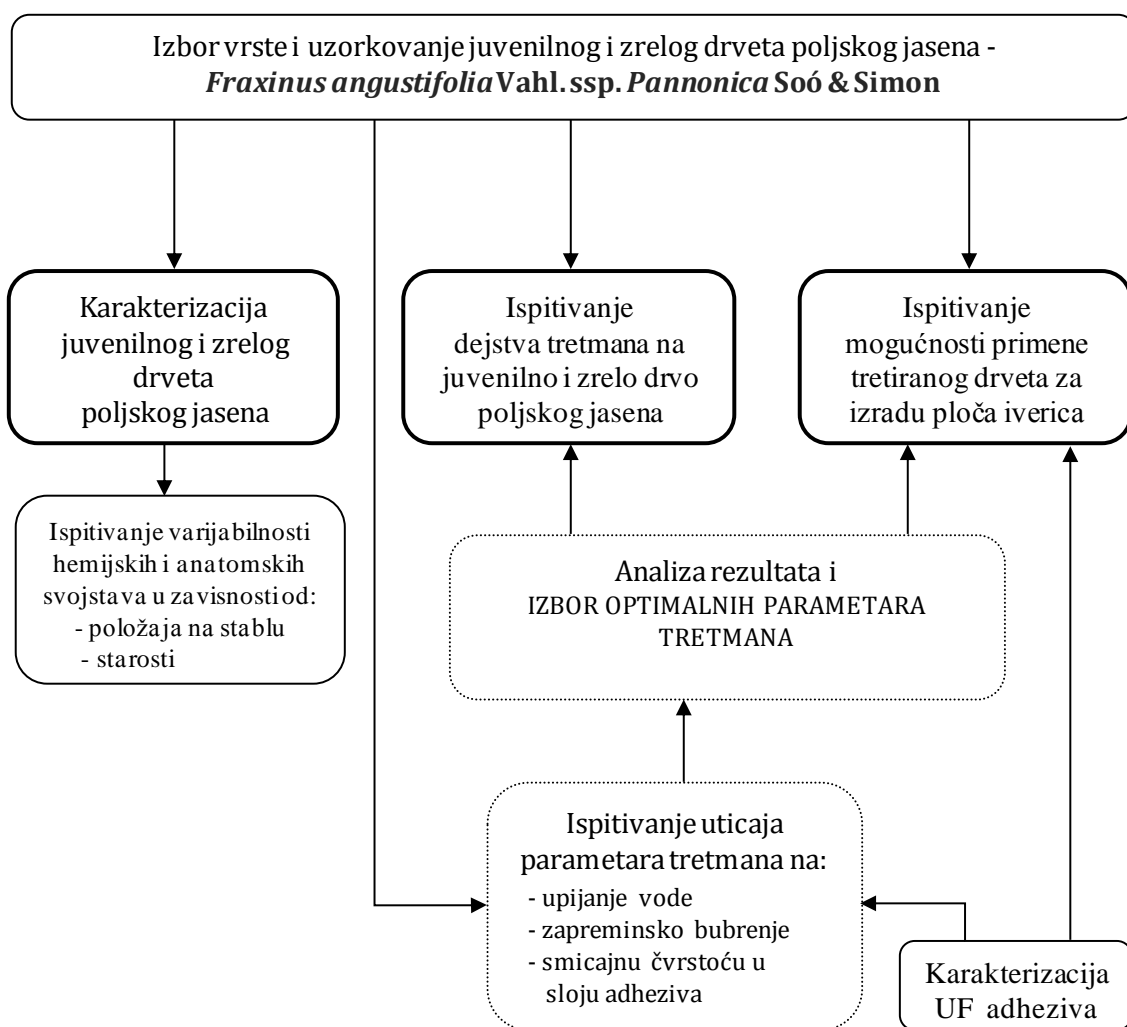
U **drugom delu**, u okviru **ispitivanja dejstva predtretmana** na hemijski sastav i svojstva juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena izvršeno je:

- Ispitivanje uticaja različitih parametara predtretmana na fizička (upijanje vode i zapreminsko bubrenje) i adhezivna svojstva drveta;
- Izbor optimalnih parametara blago kiselog, blago alkalnog i tretmana vodom;
- Utvrđivanje uticaja odabranih tretmana na promene u hemijskom i anatomskom sastavu juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena;
- Kvalitativno i kvantitativno određivanje monosaharida u ekstraktu iz tretmana;
- Ispitivanje toplotne moći tretiranog drveta i
- Ispitivanje fizičkih svojstava tretiranog drveta.

U **trećem delu**, koji se odnosi na **ispitivanje mogućnosti primene modifikovanog drveta**:

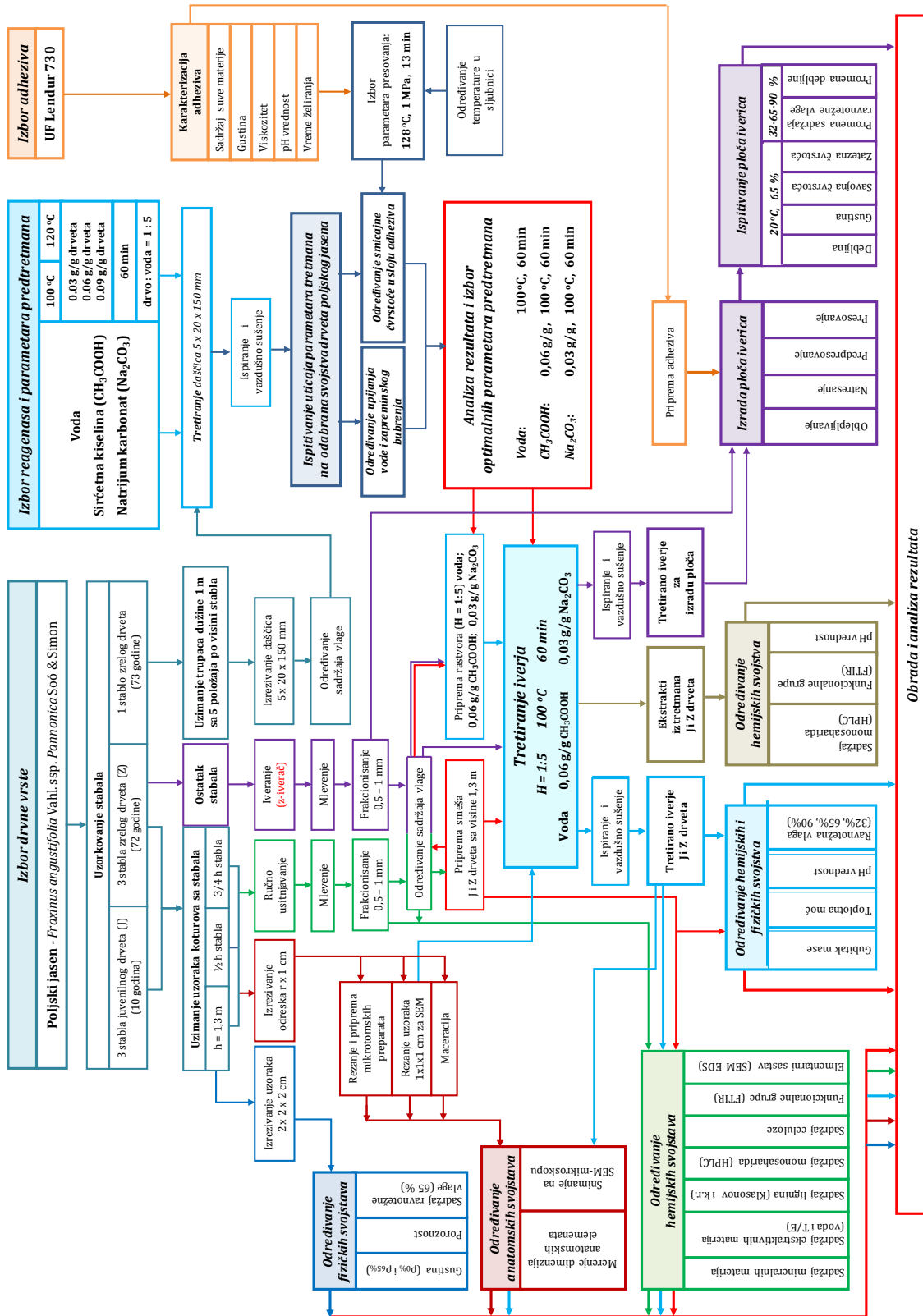
- Izrađene su jednoslojne ploče iverice od tretiranog iverja poljskog jasena, i
- Izvršeno je ispitivanje fizičkih i mehaničkih svojstava ploča iverica izrađenih od tretiranog iverja.

Osnovni plan istraživanja prikazan je na slici 4.1.



Slika 4.1. Osnovni plan istraživanja

Detaljan plan eksperimentalnog rada prikazan je na slici 4.2.



Slika 4.2. Plan eksperimentalnog rada

4.1.3. METODOLOGIJA ISPITIVANJA

Jedan od ciljeva istraživanja u ovom radu bila je detaljna hemijsko-anatomska karakterizacija vrste *Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon. Da bi uvid u hemijsko-anatomsku konstituciju poljskog jasena bio potpun, usled varijabilnosti navedene u tački 2.5, bilo je neophodno karakterisanje ne samo zrelog već i juvenilnog drveta ove vrste, i to na tri različita položaja po visini stabla.

Za uzorkovanje, pripremu uzoraka i ispitivanje hemijskog sastava i anatomske građe drvnog tkiva poljskog jasena primenjene su klasične standardne i naučne metode, uz podršku savremenih instrumentalnih metoda i tehnika merenja. Tradicionalna priprema uzoraka za merenje dimenzija elemenata anatomske građe drveta u kombinaciji sa savremenim tehnikama mikroskopije uz mogućnost elektronskih merenja i softverske obrade (*Image processing and analysis software - IM1000*) koje su primenjene u ovom radu rezultuju velikom preciznošću merenja, memorisanja i obrade rezultata. Za kvalitativnu karakterizaciju (analizu) elemenata anatomske građe, kao i za procenu dejstva primenjenih tretmana na anatomsku strukturu drvnog tkiva u ovom radu primenjena je SEM (*Scanning Electron Microscopy*) mikroskopija (tačka 4.5.2.3.9).

Imajući u vidu da je, kao jedan od ciljeva ovog rada, planirana izrada jednoslojnih ploča iverica poboljšane dimenzionalne stabilnosti i hidrofobnosti, u skladu sa tim trebalo je odabrati optimalne uslove predtretmana. Da bi se ispitaio uticaj parametara tretmana na upijanje vode, dimenzionalnu stabilnost i jačinu lepljene veze, uzorci drveta pripremljeni prema standardnoj metodologiji (tačka 4.5.1.1) tretirani su vodom i vodenim rastvorima sirćetne kiseline i natrijum karbonata, na dve temperature, pri čemu su primenjene tri različite koncentracije sirćetne kiseline i natrijum karbonata (tačka 4.5.1.3).

Karakterizacija primenjenog UF adheziva, kao i ispitivanja upijanja vode, zapreminskog bubrenje i jačine adhezivne veze (smicajna čvrstoća u sloju adheziva) tretiranih i kontrolnih uzoraka, u cilju određivanja optimalnih parametara predtretmana izvršena su standardnim EN SRPS metodama (tačke 4.4, 4.5.1.4 i 4.5.1.5). Statistička obrada dobijenih rezultata ispitivanja poslužila je da se, na osnovu usvojenih kriterijuma, izaberu optimalni parametri za svaku od tri

vrste predtretmana čiji će se uticaj na promene u hemijskom sastavu drveta poljskog jasena ispitivati u okviru istraživanja u ovom radu (tačka 4.5.1.6 i 5.2).

Analize hemijskog sastava uzoraka drvnog tkiva obavljene su prema savremenim međunarodno priznatim TAPPI i ASTM standardnim metodama (tačka 4.3.3). Uz klasične metode, za procenu dejstva tretmana na promene u hemijskom sastavu uzoraka primenjene su i najsavremenije instrumentalne tehnike merenja. Karakteristika fenolnih jedinjenja da apsorbuju u ultraljubičastoj oblasti spektra poslužila je za određivanje sadržaja kiselo-rastvornog lignina pomoću UV spektrofotometra. Infracrvena spektroskopija sa Furijeovom transformacijom (*FTIR*) primenjena je za kvalitativnu analizu hemijske strukture, odnosno analizu karakterističnih funkcionalnih grupa tretiranih uzoraka u poređenju sa netretiranim, kao i za karakterizaciju ekstrakata kao sporednih proizvoda tretmana (tačke 4.5.2.3.4 i 4.5.2.4.3). Za ispitivanje sastava ekstrakata dobijenih kao nusproizvoda prilikom predtretmana, radi procene mogućnosti njegovog iskorišćenja, odnosno određivanje sadržaja monosaharida u ekstraktu, primenjena je tečna hromatografija visokog stepena razdvajanja - HPLC (*High-performance liquid chromatography*, ili *High-pressure liquid chromatography*). (tačka 4.5.2.4.4). Takođe, HPLC tehnika hromatografije primenjena je i za određivanje sadržaja monosaharida u hidrolizatima tretiranih i netretiranih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena, radi poređenja efekata tretmana na promene u hemijskom sastavu drvnog tkiva (tačka 4.5.2.3.5).

EDS-SEM (*EDAX- energy dispersive x-ray analysis*) mikroskopija primenjena je za rasvetljavanje hemijske strukture (hemijsku karakterizaciju) uočenih karakterističnih detalja na mikro nivou (tačka 4.5.2.3.9).

Za ispitivanje toplotne moći modifikovanog drveta i poređenje sa nemodifikovanim drvetom primenjena je standardna metoda u kalorimetarskoj bombi.

Laboratorijske ploče od netretiranog i tretiranog iverja izrađene su u uslovima kontrolisanog laboratorijskog eksperimenta, simuliranjem, koliko je to bilo moguće, procesa industrijske proizvodnje (tačka 4.6.2). Sva ispitivanja fizičkih i mehaničkih svojstava izrađenih ploča iverica obavljena su prema odgovarajućim EN SRPS standardnim metodama (tačka 4.6.3).

4.2. MATERIJAL ZA ISTRAŽIVANJE

4.2.1. DRVNA VRSTA

Kao materijal za istraživanja u ovom radu izabran je

POLJSKI JASEN

Fraxinus angustifolia Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon

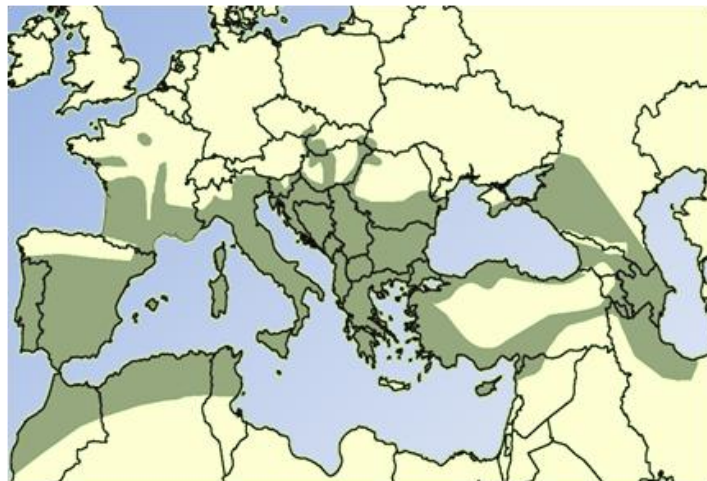
sa područja Morovića, kako bi se dobilo što više podataka u cilju procene i proširenja mogućnosti primene ove drvene vrste, koja je česta i značajna u šumama naše zemlje.

Klasifikacija: Rod *Fraxinus* L., koji pripada familiji *Oleaceae*, sadrži oko 80 vrsta, rasprostranjenih uglavnom u umerenom pojasu severne hemisfere (Vilotić, 2000). Prema Greuter i saradnicima (1989), vrsta *Fraxinus angustifolia* Vahl. izdiferencirana je na dve podvrste:

1) *Fraxinus angustifolia* subsp. *angustifolia* koja je rasprostranjena u zapadnom Sredozemlju i

2) *Fraxinus angustifolia* Vahl subsp. *oxycarpa* (M.Bieb. ex Willd.)= *Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon, rasprostranjena u ostalom delu areala pa time i u panonskom arealu.

Opšta rasprostranjenost: Poljski jasen, i njegovi brojni varijeteti, rasprostranjen je na području Mediterana i Crnog mora, zatim u Portugaliji i zapadnoj Francuskoj uz obale Atlantika, ali i u severnoj Africi, jugozapadnoj Evropi i jugozapadnoj Aziji. Na Balkanskom poluostrvu poljski jasen se nalazi na širokom području uz obalu mora i nizijama reka u Albaniji, Grčkoj, Rumuniji i Bugarskoj (slika 4.3).



Slika 4.3. *Fraxinus angustifolia* - rasprostranjenost
(preuzeto sa: http://herbaria.plants.ox.ac.uk/fraxigen/ash/ash_distribution.html)

Rasprostranjenost u Srbiji: Poljski jasen je česta i značajna vrsta u šumama naše zemlje. Nacionalnom inventurom ustanovljeno je učešće poljskog jasena u šumama središnje Srbije i Vojvodine u ukupnoj zapremini od 1,6 %, sa zapreminskim prirastom od 1,7 %. Šume u kojima je poljski jasen dominantna vrsta u Srbiji zauzimaju površinu od 25.200 ha (Banković *et al.* 2008). Ova vrsta prisutna je u aluvijalnim šumama kraj svih većih rečnih dolina (Dunav, Sava, Tisa, Zapadna, Južna i Velika Morava, Kolubara, Nišava, Timok), najčešće u šumskoj zajednici sa lužnjakom (tip šume *Quercus-Fraxinetum serbicum* Rud.), ali i u asocijaciji sa vrbama, topolama i jovom.



Slika 4.4. Šume poljskog jasena i hrasta lužnjaka (*Quercus-Fraxinetum serbicum* Rud.), Morović

Na području Panonije rasprostranjena je podvrsta poljskog jasena - *Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soo & Simon, koji je predmet proučavanja ovog rada.

U „*Flori SR Srbije*“ Jovanović (1973), navodi da se ovaj varijetet odlikuje usko lancetastim listićima, pri osnovi klinoliko suženim u vidu peteljke. Listić je često izdužen u uski vršić, koji je manje - više nepravilno, testerast (slika 4.5).

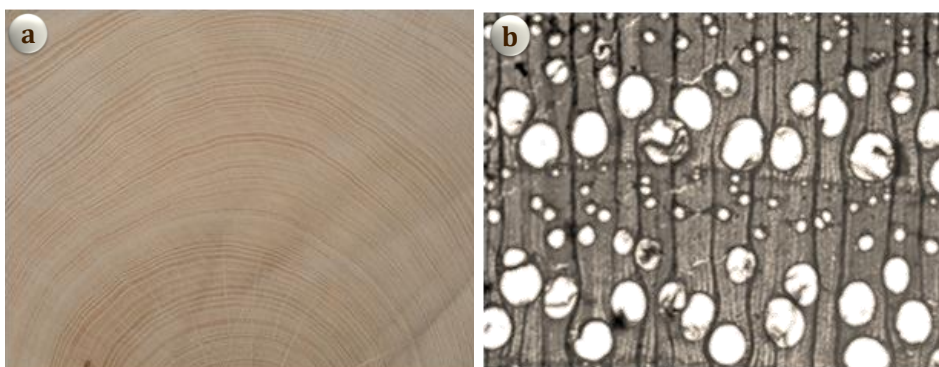


Slika 4.5. *Fraxinus angustifolia* -izgled lista (preuzeto sa: <http://en.wikipedia.org/wiki/Fraxinus>)

Opis vrste: Jasen spada u grupu jedričavih, krupno prstenasto-poroznih vrsta. Prstenovi prirasta jasno su uočljivi (slika 4.7 a), a prstenasto raspoređene traheje ranog drveta vidljive su golim okom. Vrste roda *Fraxinus* L. odlikuje široka beljika, žućkasto-bele boje i srčevina crvenkasto-bele boje (Vilotić, 2000).



Slika 4.6. Izgled kore: a) juvenilnog i b) zrelog drveta poljskog jasena



Slika 4.7. Poljski jasen - poprečni presek: a) makroskopski i b) mikroskopski

Pod povoljnim uslovima, stablo jasena dostiže visinu od preko 30 m i prsni prečnik i do 1,5 m, te spada u vrste drveća I reda. Grane su debele i usmerene na gore. Kora mladih stabala je glatka i smeđesiva, a sa starošću postaje siva, uzdužno i poprečno ispucala (slika 4.6), sa zapreminskim učešćem od oko 13,9 % (Šoškić i Popović, 2002).

Mikroskopska građa: Traheje vrsta roda *Fraxinus* L. odlikuju se srazmerno debelim zidovima, u odnosu na njihove lumene (Vasiljević, 1967). U ranom drvetu traheje na početku prstena prirasta mnogo su šire od ostalih traheja i grupisane su u tangencijalnim nizovima (1 - 4), tako blizu jedna drugoj da na poprečnom preseku čine potpuno kontinuirani porozni prsten koji se jasno vidi (slika 4.7 b). Traheje poznog drveta raspoređene su pojedinačno ili u malim grupama, i nevidljive su golim okom. Traheje su često ispunjene tilama (Vilotić, 2000).

Drvena vlakna vrsta roda *Fraxinus* L. odlikuju se debelim ćelijskim zidovima sa uskim lumenima. Jamice su malobrojne, jednostavne, koso položene. Drvena vlakana su raspoređena disperzno u masi ostalih elemenata. Od njihovih dimenzija, na prvom mestu od debljine njihovih ćelijskih zidova zavise svojstva drveta.

Svojstva: Drvo jasena poseduje dobra, pre svega fizičko - mehanička svojstva: veliku elastičnost, tvrdoću, zapreminsku masu i trajnost. Istovremeno, drvo jasena se i ručno i mašinski dobro obrađuje, rendiše, suši i lepi, lako se savija. Gustina prosušenog drveta jasena kreće se u granicama 0,45 - 0,86 g/cm³, a apsolutno suvog drveta 0,41 - 0,82 g/cm³ (Šoškić i Popović, 2002). Prosečne vrednosti utezanja drveta jasena su: 8,0 % u tangencijalnom, 5,0 % u radijalnom i 0,2 % u aksijalnom pravcu (Ugrenović, 1950).

Upotreba: Zbog svojih dobrih fizičko-mehaničkih ali i estetskih svojstava drvo jasena je veoma cenjeno, sa višestrukom primenom u zanatstvu i drvnoj industriji. Koristi se za proizvodnju sečenog i ljuštenog furnira, nameštaja, parketa, zatim kao konstrukciono drvo, za spoljašnju i unutrašnju upotrebu. Specijalna namena jasenovine je za proizvodnju stilskog nameštaja, u brodogradnji, vagonogradnji, avionskoj i mašinskoj industriji, a zbog svoje elastičnosti posebno je pogodna za proizvodnju sportskih sprava (Vilotić, 2000; Šoškić i Popović, 2002).

4.2.1.1. Uzorkovanje

Uzorkovanje stabala vrste *Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon za potrebe istraživanja u ovom radu izvršeno je iz sertifikovanih šuma J.P. Vojvodinašume, Šumska uprava Morović (Certificate SGS-FM/COC-005064, Slika I-1, Prilog I).

Izbor uzorkovanih stabala drveta poljskog jasena izvršen je prema metodi srednjeg sastojinskog stabla, u skladu sa standardom SRPS ISO 4471:1997 (takođe i Mirković, 1972), koji propisuje uzimanje uzoraka stabala i trupaca za određivanje fizičkih i mehaničkih svojstava. Na osnovu veličine prosečnog prečnika stabala u sastojini, koji je izračunat na osnovu zbira kružnih preseka sastojine, pronađena su srednja sastojinska stabla, koja su pri tom imala i približno jednake visine.



Slika 4.8. Šume poljskog jasena i hrasta lužnjaka (*Querco-Fraxinetum serbicum* Rud.), Morović



Slika 4.9. Uzorkovana stabla zrelog drveta poljskog jasena

Za potrebe istraživanja, koja obuhvataju određivanje fizičkih, anatomskih i hemijskih osobina juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena, a zatim ispitivanje uticaja tretmana na promene u hemijskom sastavu ove vrste, kao i izradu ploča iverica, odabrana su i posečena tri stabla zrelog drveta starosti 70 - 73 godine (slika 4.9) i tri stabla juvenilnog drveta starosti 10 godina vrste *Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon.

Stabla zrelog drveta uzorkovana su na području G. J. 2702 - "Neprečava-Varoš-Lazarica", Šumska uprava Morović, Š.G. Sremska Mitrovica, odeljenje 2, odsek „b“, gazdinska klasa 10458 70, iz veštački podignute jednodobne (srednjedobne) mešovite sastojine hrasta lužnjaka sa prirodno obnovljenim jasenom (*Fraxineto-Quercetum typicum*). Stabla juvenilnog drveta ove vrste, starosti 10 godina, uzorkovana su sa stalne ogledne površine, odeljenje 41 na području iste gazdinske jedinice.

Za ispitivanje uticaja parametara tretmana na svojstva drveta u cilju izbora optimalnih parametara tretmana odabrano je i posečeno jedno zdravo, reprezentativno stablo drveta poljskog jasena sa parcele 2705/10b.

4.2.1.1.1. Dendrometrijske karakteristike uzorkovanih stabala

Uzorkovanim stablima zrelog i juvenilnog drveta izmerene su visine, kao i prečnici na prsnoj visini (1,3 m), ali i na 1/2 i na 3/4 visine stabala. Starost, visine i prečnici uzorkovanih stabala prikazani su u tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Dendrometrijske karakteristike uzorkovanih stabala

Stablo	Zrelo drvo					Juvenilno drvo				
	Starost, god.	Visina (h), m	Prečnik (h=1,3m), cm	Prečnik ½ h, cm	Prečnik ¾ h, cm	Starost, god.	Visina (h), m	Prečnik (h=1,3m), cm	Prečnik ½ h, cm	Prečnik ¾ h, cm
1	73	29,20	26,50	19,35	15,90	10	10,20	6,75	3,95	2,35
2	73	31,10	30,75	20,50	18,80	10	10,00	6,00	3,15	2,40
3	70	28,80	24,25	19,20	15,75	10	12,00	7,25	4,35	2,75
Sr. vr.	72	29,70	27,17	19,93	16,82	10	10,73	6,67	3,82	2,50
4	73	28,50	34,75	23,88	18,25					

4.2.1.1.2. Stanišni i klimatski uslovi

Orografski uslovi: Gazdinska jedinica "Neprečava-Varoš-Lazarica" nalazi se u neplavnom području između reka Studve i Bosuta, na nadmorskoj visini od 79 do 81 m, između 43°52' i 44°02' severne geografske širine i 19°15' i 19°38' istočne geografske dužine.

Edafsko-hidrografski uslovi: Geološku podlogu ove gazdinske jedinice predstavljaju aluvijalni nanosi peska različite strukture. Od zemljišnih tvorevina sreću se glejna zemljišta, ritske crnice, livadske crnice i gajnjače.

Hidrološko-hidrografske karakteristike: Šume ove gazdinske jedinice nalaze se u neplavnom području, što znači da površinske vode nemaju uticaja na osnovne ekološke karakteristike. Nasuprot tome, nivo podzemnih voda je jedan od osnovnih uticajnih faktora na ekološko-proizvodne karakteristike zemljišta, odnosno šumskih sastojina.

Klimatski uslovi: Za prikazivanje klimatskih prilika poslužili su podaci merenja na stalnoj meteorološkoj stanici u Sremskoj Mitrovici, koja se nalazi na 80 m nadmorske visine, za period 1982.-2003. godine.

Temperatura vazduha je jedan od najvažnijih klimatskih pokazatelja. Srednja godišnja temperatura vazduha iznosi 10,9 °C, dok srednja temperatura vegetacionog perioda od 17,6 °C pogoduje razvoju šumske vegetacije.

Padavine: Srednja godišnja količina padavina je od 580 mm, od čega skoro 60 % (344 mm) padne u vegetacionom periodu, što pogoduje razvoju šumske vegetacije. Vegetacioni period je bez mraznih dana, a znatna oblačnost u zimskom periodu ublažava dnevna temperaturna kolebanja.

Relativna vlažnost vazduha: Srednja relativna vlažnost vazduha iznosi 75,5 %, a srednja vrednost u toku vegetacionog perioda 70,3 %.

Sagledavajući stanišne i klimatske uslove, može se konstatovati da su u ovom području ekološki uslovi za razvoj šumske vegetacije povoljni (Posebna osnova gazdovanja šumama za G.J. "Neprečava-Varoš-Lazarica" (2005-2014), 2005).

4.2.1.1.3. Uzimanje uzoraka sa stabala juvenilnog i zrelog drveta

Sa svih posečenih stabala juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena uzeti su uzorci u vidu koturova debljine oko 5 cm (slika I-2 i slika I-3, *Prilog I*), i to:

- prvi uzorak sa visine 1,3 m,
- drugi uzorak sa $\frac{1}{2}$ visine stabla a
- treći sa uzorak $\frac{3}{4}$ visine stabla.

Sa svake visine uzorkovana su po dva kotura, jedan do drugog. Odmah po isecanju koturovi su označeni sistemom višestrukog obeležavanja, kako bi se za svaki od uzoraka znalo sa kog stabla i sa koje visine tog stable potiče. Način označavanja prikazan je u tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Način obeležavanja uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

Oznaka starosti			Z - Zrelo drvo			J - Juvenilno drvo		
Oznaka stabla			Z 1	Z 2	Z 3	J 1	J 2	J 3
Oznaka položaja (h) na stablu	h = 1,3m	/1	Z 1/1	Z 2/1	Z 3/1	J 1/1	J 2/1	J 3/1
	$\frac{1}{2}$ h	/2	Z 1/2	Z 2/2	Z 3/2	J 1/2	J 2/2	J 3/2
	$\frac{3}{4}$ h	/3	Z 1/3	Z 2/3	Z 3/3	J 1/3	J 2/3	J 3/3

Ovakav materijal omogućio je ispitivanja karakteristika drveta u zavisnosti od starosti stabala, ali i položaja po visini stabla.

Uzorkovani koturovi juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena namenjeni su za:

- određivanje fizičkih svojstava juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- određivanje anatomskih karakteristika juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- pripremu preparata juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena za anatomsku karakterizaciju - SEM mikroskopiju, kao i hemijsku karakterizaciju na sistemu SEM-EDS
- određivanje hemijskog sastava juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
- ispitivanje efekata tretmana na promene u hemijskom sastavu juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

Uzorkovani i obeleženi koturovi su, posle okoravanja, i vazdušnog sušenja, prema zahtevima standardne metodologije, pripremljeni za ispitivanje fizičkih, anatomskih i hemijskih karakteristika.

Ostatak uzorkovanih stabala zrelog drveta, posle uzimanja koturova na tri visine stabla, namenjen je za pripremu materijala za izradu laboratorijskih ploča iverica.

4.2.2. REAGENSI ZA TRETMANE

Da bi se ispitali efekti predtretmana na promene u hemijskom sastavu drveta poljskog jasena kao hemijski reagensi odabrani su: voda, sirćetna kiselina (CH_3COOH) za blago kiseli i natrijum karbonat (Na_2CO_3) za blago alkalni tretman.

Karakteristike reagenasa primenjenih za tretmane prikazane su u tabeli 4.3.

Tabela 4.3. Karakteristike reagenasa primenjenih za tretmane

<i>Karakteristike</i>	<i>Redestilovana voda</i>	<i>Sirćetna kiselina (glacijalna)</i>	<i>Natrijum karbonat (anhidrat)</i>
<i>Hemijska formula</i>	H_2O	CH_3COOH	Na_2CO_3
<i>Molska masa (g/mol)</i>	18	60,05	112
<i>Proizvođač</i>	Galenika a.d. Beograd	ZORKA <i>Pharma</i> Šabac, Srbija	AnalaR NORMAPUR, Belgija
<i>Čistoća</i>	100 %	99,5 %	99,9 %

4.2.3. ADHEZIVNO SREDSTVO

Zbog svojih povoljnih svojstava, kao što su: visoka reaktivnost, dobra rastvorljivost u vodi, ali i niska cena, iz niza veziva različitih po hemijskom sastavu, brzini i temperaturi očvršćavanja, jačini lepljene veze, vodootpornosti, izdvaja se urea-formaldehidni (UF) adheziv kao najčešće korišćen adheziv u industriji ploča na bazi drveta. Iz tog razloga urea-formaldehidno (UF) adhezivno sredstvo odabrano je za istraživanja u ovom radu.

Za ova istraživanja korišćen je UF adheziv **Lendur 730F** proizvođača **NAFTA-PETROCHEM d.o.o.** iz Lendave, Slovenija. Lendur 730F je adheziv F klase namenjen za izradu ploča iverica, sa sadržajem formaldehida nižim od 0,3 %.

Fabričke karakteristike UF adheziva **Lendur 730F** prikazane su u tabeli 4.4.

Tabela 4.4. *Fabričke karakteristike UF adheziva Lendur 730F*

Svojstvo	Fabrički podaci
Sadržaj suve materije (%)	65,07
Gustina (kg/m ³)	1280-1300
Viskozitet 20 °C (mPa·s)	453
pH na 20 °C	8,6
Vreme želiranja na 100 °C (s)	41 *
Sadržaj formaldehida (%)	0,171

*Korišćen je 20 % (w/w) rastvor NH₄Cl

4.3. KARAKTERIZACIJA DRVNE VRSTE

4.3.1. ISPITIVANJE FIZIČKIH SVOJSTAVA DRVETA

4.3.1.1. Priprema uzoraka za ispitivanje fizičkih svojstava

Izrezivanje uzoraka: Iz sredine jednog uzorkovanog kotura sa prsne visine (1,3 m) svakog stabla juvenilnog i zrelog drveta izrezan je odrezak širine veće od 20 mm, dužine jednake prečniku kotura. Iz ovog odreska izrezani su i obeleženi uzorci oblika kocke sa stranicama dimenzija $20 \pm 0,5$ mm za ispitivanje zapreminske mase i poroznosti juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena posle klimatizacije i u apsolutno suvom stanju.

Istovremeno, ovi uzorci poslužili su i za određivanje sadržaja ravnotežne vlage klimatizovanih uzoraka.

Klimatizacija uzoraka obavljena je prema standardu ISO 31329:1975, u eksikatorima iznad zasićenog rastvora amonijum nitrata (NH₄NO₃), pri uslovima relativne vlažnosti vazduha od 65 ± 5 % i temperaturi 20 ± 2 °C, do postizanja konstantne mase.

Sušenje uzoraka za potrebe određivanja zapreminske mase i sadržaja vlage drveta obavljeno je prema standardnoj metodi ISO 3130:1975, sušenjem uzoraka u ventilacionoj sušnici na temperaturi od 103 ± 2 °C do postizanja konstantne mase.

4.3.1.2. Metode za ispitivanje fizičkih svojstava

Određivanje zapreminske mase i poroznosti

Zapreminska masa pripremljenih uzoraka određena je pri ravnotežnoj vlazi posle klimatizacije (tačka 4.3.1.1) i u apsolutno suvom stanju, prema standardu SRPS D.A1.044 (1979). Nakon klimatizacije uzorcima su izmerene mase sa tačnošću od 0,01 g i dimenzije pomoću kljunastog pomičnog merila sa tačnošću od 0,01 mm.

Zapreminska masa pri ravnotežnoj vlazi (ρ_w) za svaki uzorak izračunata je po obrascu (4.1).

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w}, (\text{g/cm}^3) \quad (4.1)$$

gde je:

m_w - masa uzorka nakon klimatizacije (g)

V_w - zapremina uzorka nakon klimatizacije (cm^3)

Zapreminska masa u apsolutno suvom stanju određena je na isti način, posle sušenja uzoraka u ventilacionoj sušnici na temperaturi od 103 ± 2 °C do konstantne mase prema standardnoj metodi propisanoj standardom ISO 3130:1975. Za svaki uzorak zapreminska masa u apsolutno suvom stanju (ρ_0) izračunata je po obrascu (4.2).

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}, (\text{g/cm}^3) \quad (4.2)$$

gde je:

m_0 - masa uzorka nakon sušenja do apsolutno suvog stanja (g)

V_0 - zapremina uzorka nakon sušenja do apsolutno suvog stanja (cm^3).

Zapreminska poroznost (P_z) zavisi od gustine drveta i za svaki uzorak izračunata je po obrascu (4.3).

$$P_z = \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_{ds}} \right) \cdot 100, (\%) \quad (4.3)$$

gde je:

ρ_o - zapreminska masa uzorka u apsolutno suvom stanju (g/cm^3)

ρ_{ds} - zapreminska masa drvene supstance (g/cm^3) koja iznosi $1,5 \text{ g/cm}^3$

Određivanje sadržaja ravnotežne vlage

Sadržaj ravnotežne vlage klimatizovanih uzoraka određen je gravimetrijskom metodom, prema standardu ISO 3130:1975, sušenjem u ventilacionoj sušnici na temperaturi od $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ do postizanja konstantne mase.

Pošto im je izmerena masa uzorci su stavljeni u sušnicu da se osuše do apsolutno suvog stanja, odnosno do postizanja konstantne mase. Smatra se da je konstantna masa postignuta kada gubitak mase uzorka između dva uzastopna merenja u intervalu od 6 h nije veći od 0,5 % od mase samog uzorka. U skladu sa ovim zahtevom, tokom sušenja proveravana je masa 5 nasumično izabranih uzoraka.

Po postizanju konstantne mase, uzorci su izvađeni iz sušnice i hlađeni u eksikatoru sa silika-gelom do sobne temperature, a zatim je svakom uzorku izmerena masa u suvom stanju sa tačnošću od 0,01 g. Sadržaj ravnotežne vlage (W_{rav}) za svaki uzorak je izračunata po obrascu (4.4).

$$W_{rav} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100, (\%) \quad (4.4)$$

gde je:

m_w - masa uzorka nakon klimatizacije (g)

m_0 - masa apsolutno suvog uzorka (g)

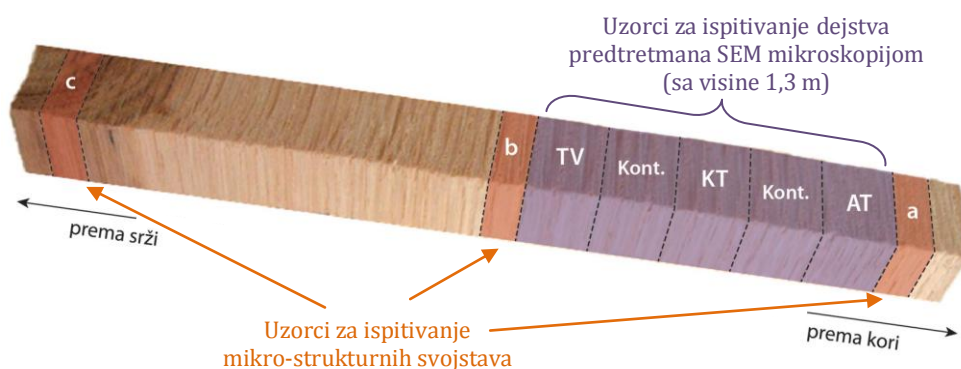
4.3.2. ISPITIVANJE ANATOMSKIH KARAKTERISTIKA DRVETA

U okviru analize anatomskih mikro-strukturnih karakteristika juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena obavljena su merenja:

- prečnika lumena traheja;
- dužine drvnih vlakana;
- debljine ćelijskog zida drvnih vlakana i
- prečnika lumena drvnih vlakana.

4.3.2.1. Priprema uzoraka za ispitivanje anatomskih mikro-strukturnih svojstava

Posle okoravanja i vazdušnog sušenja, iz svakog uzorkovanog kotura juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena izrezan je odrezak širine oko 1 cm, od srži do kore. Iz svakog odreska analizirani su delovi do srži, iz sredine odreska i do kore, kako je prikazano na slici 4.10.



Slika 4.10. Odrezak za anatomsku karakterizaciju

Uzorci (delovi odreska) za merenje dimenzija anatomskih elemenata obeleženi su tako što je na oznaku kotura dodata oznaka položaja na epruveti (slika 4.10), na sledeći način:

- oznaka "a" - za delove odreska do kore;
- oznaka "b" - delove iz sredine odreska;
- oznaka "c" - za delove odreska do srži.

Priprema uzoraka za merenje prečnika traheja

Upotrebom mikrotomskog noža (*Leitz Wetzaler*) iz svakog od delova odreska **a**, **b** i **c** (slika 4.10) sa visine 1,3 m izrezani su uzorci debljine oko 20 μm , stavljeni na predmetno staklo i pokriveni pokrovnim staklom. Ovako pripremljeni preparati posmatrani su i fotografisani pod mikroskopom sa uvećanjem 5 x.

Priprema uzoraka za SEM mikroskopiju

Iz ostatka odreska iz kotura uzorkovanog sa visine od 1,3 m jednog stabla juvenilnog i jednog stabla zrelog drveta poljskog jasena izrezani su i obeleženi uzorci približnih dimenzija 1 x 1 x 1 cm, za ispitivanje dejstva predtretmana na morfološke promene primenom SEM mikroskopije, kako je prikazano na slici 4.10,. Na svakom od uzoraka obeležena je dodirna površina. Jedan ovako pripremljen uzorak iz para namenjen je za tretman, a drugi je poslužio kao kontrolni. Uzorci su obeleženi oznakama koje se odnose na vrstu tretmana (slika 4.10) na sledeći način:

- oznaka "**TV**" - za delove odreska za predtretman vodom;
- oznaka "**KT**" - za delove odreska za predtretman kiselinom (CH_3COOH);
- oznaka "**AT**" - za delove odreska za predtretman alkalijama (Na_2CO_3);
- oznaka "**Kont**" - za kontrolne delove odreska (bez tretmana).

Priprema uzoraka za merenje dimenzija vlakana

Uzorci za merenje dimenzija vlakana uzeti su sa tri položaja na odresku, i to: iz dela odreska koji obuhvata nekoliko prstenova prirasta do srži (c), nekoliko prstenova prirasta do kore (a), i prstenove prirasta na sredini odreska drveta (b) (slika 4.10), za sva uzorkovana stabla juvenilnog i zrelog drveta, na sve tri uzorkovane visine. Upotrebom mikrotomskog noža (*Leitz Wetzaler*) iz svakog od delova odreska **a**, **b** i **c** (slika 4.10) izrezani su uzorci dimenzija oko 2 x 2 x 20 mm, koji su stavljeni u staklene epruvete, i pripremljeni za merenje dimenzija vlakana.

Uzorci su macerirani Šulcovom metodom (Chamberlain, 1932) na sledeći način: po nekoliko uzoraka postavljeno je na dno staklene epruvete. Preko uzorka su nasuti kristali Bertoletove soli (kalijum hlorat - KClO_3), a zatim je pažljivo, niz zid epruvete sipana koncentrovana azotna kiselina (68 %, w/w), da pokrije materijal u epruveti. Prilikom tretmana drveta Šulcovim reagensom dolazi do burne reakcije, čiji je rezultat razlaganje međućelijske supstance (srednje lamele) u cilju dobijanja pojedinačnih ćelija tkiva drveta. Posle 24 h, kada je tretirani materijal postao beo, sadržaj epruvete je ispiran destilovanom vodom, pri čemu se vodilo računa da se ne izgubi macerirani materijal. Nakon protresanja epruveta dobijene su pojedinačne ćelije drvnog tkiva pogodne za merenje (slika 4.11).



Slika 4.11. Macerat drveta poljskog jasena

4.3.2.2. Metode merenja dimenzija anatomskih elemenata

Snimanje digitalnih fotografija, a zatim i merenja dužine vlakana, debljine ćelijskih zidova i prečnika lumena vlakana i prečnika traheja vršena su u *Laboratoriji za elektronsku mikroskopiju* Poljoprivrednog fakulteta u Beogradu.



Slika 4.12. Izgled mikroskopa sa pratećom opremom

Sistem koji čini mikroskop *Leica DMLS* (Švajcarska) i kamera: *Leica DC 300*, uz softversku podršku *Leica IM 1000* omogućio je snimanje digitalnih zapisa pripremljenih preparata (*Prilog II*) i veoma precizna elektronska merenja navedenih anatomskih elemenata (slika 4.12).

Merenje prečnika traheja

Pripremljeni preparati posmatrani su i fotografisani pod mikroskopom sa uvećanjem 5 X.

Na dobijenim digitalnim fotografijama merena je širina po najmanje 30 traheja sa svakog uzorkovanog položaja. Zbog manje varijabilnosti dimenzija u odnosu na radijalni, meren je tangencijalni prečnik traheja (Vasiljević, 1967).

Merenje dimenzija vlakana

Macerirani fragmenti drveta prenošeni su anatomskom iglom na predmetno staklo, posmatrani pod mikroskopom i fotografisani. Za merenje dužine vlakana snimljene su digitalne fotografije uzoraka (macerata) sa uvećanjem 5 X, a za merenje debljine ćelijskog zida i prečnika lumena sa uvećanjem 20 X.

Iz svakog pripremljenog uzorka, je na po 100 vlakana merena njihova dužina, sa uvećanjem od 50 X.

Debljina ćelijskog zida i prečnik lumena iz svakog pripremljenog uzorka, merene su na po 50 vlakana, sa uvećanjem 200 X.

Na osnovu izmerenih vrednosti izračunata je aritmetička sredina za svaki uzorak.

4.3.3. ISPITIVANJE HEMIJSKIH KARAKTERISTIKA DRVETA

Ispitivanje hemijskih karakteristika juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena obuhvata analize hemijskog sastava u cilju karakterizacije vrste, ali i ispitivanje hemijskog sastava tretiranih uzoraka u cilju procene dejstva tretmana na promene u sadržaju hemijskih konstituenata.

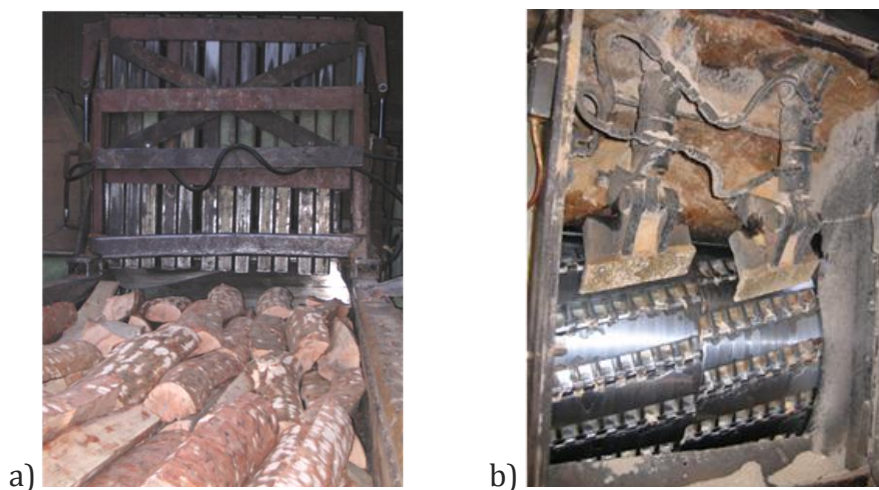
4.3.3.1. Priprema uzoraka za analize hemijskog sastava

Priprema uzorkovanog materijala za analize hemijskog sastava juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena izvršena je prema uputstvima TAPPI standardne metode T 257 cm-12:201.

Usitnjavanje (iveranje)

Posle uklanjanja kore i uzimanja uzorka drvnog tkiva za analize anatomsku karakterizaciju, kako je opisano u tački 4.3.2.1, ostaci svih uzorkovanih koturova (tačka 4.2.1.1.3) juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena izrezani su u odreske širine oko 1 - 2 cm, kako bi se olakšalo usitnjavanje. Usitnjavanje ovako pripremljenih uzorkovanih koturova u iverje debljine do 1 mm (juvenilno drvo), odnosno do 3 mm (zrelo drvo) izvedeno je pomoću noža ručne izrade.

Usitnjavanje iverja za izradu ploča iverica: Posle uzorkovanja koturova za karakterizaciju drveta poljskog jasena ostaci stabala su motornom testerom izrezani u cepanice dužine oko 1 m i ručno okorani. Cepanice su transportovane u fabriku ŠPIK "FANTONI" u Ivanjici, gde su usitnjene na fabričkom cilindričnom Z-iveraču "Hombak" (slika 4.13).



Slika 4.13. Z-iverač "Hombak": a) transporter i b) noževi iverača

Mlevenje

Dalje usitnjavanje uzoraka vršeno je mlevenjem. Iverje zrelog drveta samleveno je mlinom čekićarom, a iverje juvenilnog drveta, zbog male količine materijala, Vajlijevim laboratorijskim mlinom u *Laboratoriji hemijsko-mehaničke prerade drveta* Šumarskog fakulteta u Beogradu. Za mlevenje je, na oba mlina, korišćeno sito sa otvorima prečnika 2 mm, koje daje maksimalan prinos čestica dimenzija pogodih za hemijske analize, uz što manje drvne prašine.

Da bi se izbegle promene u hemijskom sastavu tokom pripreme uzoraka,

tokom mlevenja vodilo se računa da ne dođe do prekomernog zagrevanja drvene sirovine (usled trenja) održavanjem temperature čekića do 30 °C.

Frakcionisanje (prosejavanje)

Za analize hemijskog sastava koriste se čestice drveta dimenzija 0,5 - 1,0 mm, čime se obezbeđuje potpuno prodiranje hemijskih reagenasa u dravno tkivo i uslovi za odvijanje uniformne hemijske reakcije (Browning, 1967; Fengel i Wegener, 1984).

Iz tog razloga mlevene čestice drveta prosejavane su, tokom 15 min, na seriji od 5 vibracionih sita sa otvorima dimenzija: 2,5; 1,5; 1,0; 0,5 mm i nulto sito.

Za analize hemijskog sastava svakog od uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena uzeta je frakcija koja se zadržala na situ dimenzija 0,5 mm.

Nasipna masa iverja za prosejavanje iznosila je oko 100 g, a prinos frakcije veličine čestica 0,5 - 1,0 mm bio je oko 28 %.

Posle frakcionisanja, uzorci pripremljeni za analize hemijskog sastava, čuvani su u obeležanim i hermetički zatvorenim reagens bocama, kako bi zadržale uspostavljeni sadržaj vlage.

4.3.3.2. Metode ispitivanja hemijskog sastava drveta

Metode ispitivanja hemijskog sastava drveta opisane u ovom poglavlju primenjene su za karakterizaciju i utvrđivanje varijabilnosti u hemijskom sastavu po starosti i po visini stabla, kao i za procenu uticaja tretmana vodom, i rastvorima sirćetne kiseline i natrijum karbonata na promene u hemijskom sastavu uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena. Sve navedene metode spadaju u grupu kvantitativnih metoda hemijske analize.

Prilikom analiza hemijskog sastava sve mase merene su na poluautomatskoj analitičkoj vagi *Sartorius* sa tačnošću od 0,1 mg. Posude u kojima su vršena merenja (vegeglasi, gučevi) prethodno su osušene do konstantne mase, a zatim im je, posle hlađenja u eksikatoru, izmerana masa.

Analize primenjene u ovom radu u cilju karakterizacije i varijabilnosti u hemijskom sastavu, kako po visini, tako i po starosti stabala, urađene su za sva tri stabla i sve tri uzorkovane visine svakog stabla juvenilnog i zrelog drveta poljskog

jasena (po devet uzoraka zrelog i devet uzoraka juvenilnog drveta, što čini 18 uzoraka ukupno).

Za utvrđivanje efekata tretmana na promene u hemijskom sastavu izvedeno je po tri tretmana na svakom od pripremljenih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena (ukupno šest). Analize hemijskog sastava opisane u ovom poglavlju primenjene su na svih šest tretiranih, kao i na netretirane (kontrolne) uzorke juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena, što je bilo ukupno osam uzoraka.

Sve opisane metode primenjene su sa minimalno tri ponavljanja. Ukoliko su se dobijeni rezultati ova tri ponavljanja međusobno razlikovali za više od 5 %, postupak je ponavljan.

Svi rezultati sadržaja hemijskih konstituenata drvnog tkiva izraženi su u odnosu na apsolutno suhu masu drveta i prikazani kao srednje vrednosti (aritmetička sredina) tri ponavljanja.

Određivanje sadržaja vlage

Sadržaj vlage ispitivanih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena određen je gravimetrijski, prema standardnoj TAPPI metodi T 264 cm-97:2002, merenjem razlike masa uzorka pre i posle sušenja na 103 ± 2 °C do konstantne mase uzorka. U vegeglasu, čija je masa izmerena posle sušenja do konstantne mase, odmereno je oko 1 g drveta poljskog jasena pripremljenog za analize hemijskog sastava. Posle 5 h sušenja, u vremenskim intervalima od 1 h proveravana je masa, sve dok razlika između dve uzastopno izmerene mase nije bila manja od 0,001 g. Posle vađenja iz sušnice vegeglas je hlađen u eksikatoru do sobne temperature, nakon čega mu je izmerena masa sa suvim drvetom.

Na osnovu izmerenih vrednosti masa uzoraka drveta pre i posle sušenja izračunat je sadržaj relativne i apsolutne vlage, kao i koeficijent suvoće svih pripremljenih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena.

Sadržaj relativne (W_{rel}) vlage u drvetu računat je po obrascu:

$$W_{rel} = \frac{m_{vl} - m_{as}}{m_{vl}} \cdot 100, (\%) \quad (4.5)$$

Sadržaj apsolutne vlage (W_{aps}) u drvetu računat je po obrascu:

$$W_{aps} = \frac{m_{vl} - m_{as}}{m_{as}} \cdot 100, (\%) \quad (4.6)$$

Koeficijent suvoće drveta (K_s) računat je po obrascu:

$$K_s = \frac{m_{as}}{m_{vl}} \quad (4.7)$$

gde je:

m_{vl} – masa vazdušno suvog uzorka drveta, g

m_{as} – masa apsolutno suvog uzorka drveta, g

Određivanje sadržaja mineralnih materija (pepela)

Određivanje sadržaja mineralnih materija preko pepela, kao nesagorivog ostatka, vršeno je prema standardnoj ASTM metodi D 1102 – 84, žarenjem drveta u prethodno izžarenom tigli čija je masa izmerena. Da bi se izbeglo burno sagorevanje uz pojavu plamena, koje može dovesti do mehaničkih gubitaka uzorka, drvo je lagano žareno, najpre na rešou, a potom na bunzenovom plameniku do pojave pepeljasto sive boje. Žarenje je zatim nastavljeno u užarenoj peći za žarenje na temperaturi 580 - 600 °C još najmanje 1 h, odnosno do postizanja konstantne mase. Konstantna masa je postignuta kada se dve uzastopno izmerene mase u intervalu od 30 min ne razlikuju više od 0,1 mg. Masa tigla sa pepelom meri se posle hlađenja u eksikatoru do sobne temperature.

Sadržaj pepela u drvetu (P) predstavlja udeo pepela u apsolutno suvoj drvnjoj sirovini izražen u procentima (%), i računat je na osnovu dobijenih podataka prema sledećem obrascu:

$$P = \frac{m_p}{m_{vl} \cdot K_s} \cdot 100, (\%) \quad (4.8)$$

gde je:

m_p - masa pepela, g

m_{vl} - masa vazdušno suve drvene sirovine, g

K_s - koeficijent suvoće drvene sirovine.

Određivanje sadržaja ekstraktivnih materija rastvorljivih u vreloj vodi

U cilju određivanja sadržaja ekstraktivnih materija rastvorljivih u vreloj vodi prema standardnoj TAPPI metodi T 207 cm-99, usitnjeni materijal drveta čija je masa (oko 1 g) prethodno izmerena, tretiran je destilovanom vodom na temperaturi ključanja vodenog kupatila tokom 3 h. Po završetku ekstrakcije, vodeni ekstrakt i ostatak drvnog materijala razdvajani su filtriranjem kroz guč srednje poroznosti (G-2 ili G-3), čija je masa u apsolutno suvom stanju prethodno izmerena. Guč sa ekstrahovanim drvetom zatim je sušen u sušnici do apsolutno suvog stanja, i izmerena mu je masa posle hlađenja u eksikatoru.

Na osnovu podataka prethodno opisane analize izračunat je sadržaj ekstraktivnih materija rastvorljivih u vreloj vodi (F_{H_2O}), koji predstavlja njihov udeo u apsolutno suvoj drvnj sirovini izraženoj u procentima, prema sledećem obrascu:

$$F_{H_2O} = \frac{m_{ex} - m_{vl} \cdot K_s}{m_{vl} \cdot K_s} \cdot 100, (\%) \quad (4.9)$$

gde je:

m_{vl} - masa vazdušno suvog uzorka drveta odmerenog za analizu, g

m_{ex} - masa ekstrahovanog uzorka drveta u apsolutno suvom stanju, g

K_s - koeficijent suvoće drvene sirovine.

Određivanje sadržaja ekstraktivnih materija rastvorljivih u organskim rastvaračima

Za određivanje sadržaja ekstraktiva rastvorljivih u organskim rastvaračima prema standardnoj TAPPI metodi T 264 cm-97 primenjena je smeša toluola i etanola u zapreminskom odnosu 2:1 ($C_6H_5CH_3/C_2H_5OH = 2/1, v/v$). Ekstrakcija je izvedena u Sokslet (*Soxhlet*) aparatu (slika 4.14), čija specijalna konstrukcija omogućava kontinualnu promenu rastvarača, čime se postiže iscrpna ekstrakcija drvnog materijala.

Uzorak usitnjenog, vazdušno suvog drveta izmerene mase stavljen je u guč, koji je zatim prekriven gazom koja je služila kao mehanička prepreka da prilikom sifoniranja usitnjeno drvo ne bude povučeno zajedno sa rastvorom u balon, i postavljen u ekstrakcioni deo Sokslet aparata. Sokslet aparat spojen je sa balonom

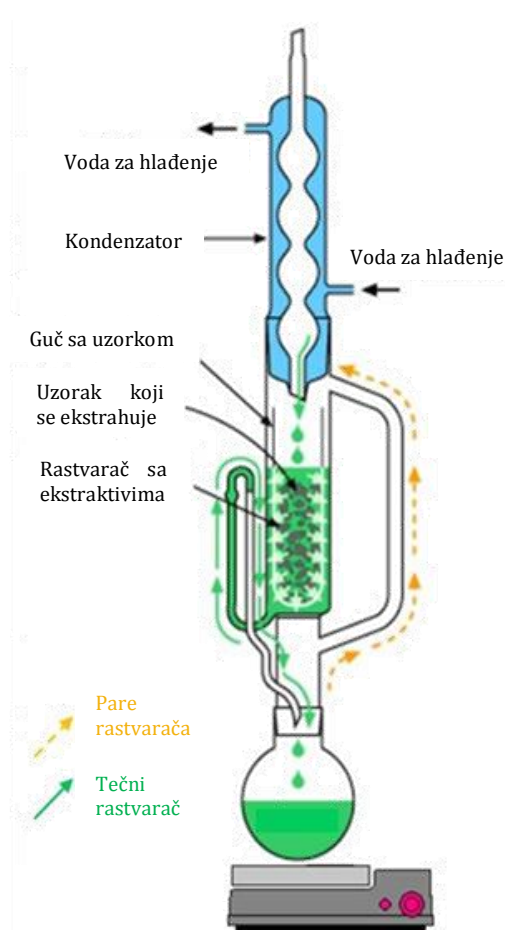
u koji je prethodno sipana smeša za ekstrakciju toluol/etanol (2/1, v/v) i kondenzatorom. Zagrevanje rastvarača u balonu vršeno je na peščanom kupatilu.

Tokom procesa pare rastvarača iz balona prolaze kroz spoljnu cev Sokslet aparata, ulaze u kondenzator, gde se kondenzuju i slivaju na drvo u guču u ekstrakcionom delu Sokslet aparata, natapajući ga, pri čemu se iz drveta rastvaraju ekstraktivne materije (slika 4.14). Istovremeno, nivo smeše za ekstrakciju u ekstrakcionom delu Sokslet aparata raste. U momentu kada se izjednači hidrostatički pritisak stuba tečnosti u ekstrakcionom delu Sokslet aparata sa naponom para u balonu dolazi do preliivanja (sifoniranja) smeše za ekstrakciju sa do tada rastvorenim ekstraktivnim materijama kroz spiralno uvijenu cev Sokslet aparata u balon.

Difuziju ekstraktiva iz drveta u rastvarač odvija se usled razlika koncentracija ekstraktiva u drvetu i u smeši za ekstrakciju. U početku, kada je ova razlika najveća, najveća je i brzina rastvaranja, a kako proces ekstrakcije napreduje brzina rastvaranja se smanjuje.

Proces se nastavlja, a kako je tačka ključanja ekstraktivnih materija veća u odnosu na temperaturu ključanja rastvarača, uvek čiste pare rastvarača napuštaju balon. Natapanje uzorka drveta čistim rastvaračem u početku svakog novog ciklusa ekstrakcije omogućuje maksimalnu razliku koncentracija ekstraktiva u drvetu i u rastvaraču.

Uzorci drveta poljskog jasena ekstrahovani su u trajanju od 6 sati, pri čemu se vodilo računa da se zagrevanje reguliše tako da se za jedan sat izvrši bar 6 preliivanja (sifoniranja).



Slika 4.14. Aparatura za određivanje sadržaja ekstraktivnih materija

Na kraju procesa ekstrakcije sve ekstraktivne materije nalazile su se rastvorene u smeši rastvarača u balonu, a drveni materijal u guču je ekstrahovan i posle vazdušnog sušenja pripremljen za određivanje Klasonovog lignina.

Smeša za ekstrakciju sa rastvorenim ekstraktivnim materijama iz balona u potpunosti je prenetu u prethodno osušenu do apsolutno suvog stanja i izmerenu šolju za uparavanje, a zatim je rastvarač lagano uparen zagrevanjem na pešćanom kupatilu na temperaturi ispod 50 °C.

Posle uparavanja rastvarača na dnu šolje ostale su ekstraktivne materije, čiji je sadržaj (E), posle sušenja do konstantne mase i merenja izračunat kao njihov udeo u apsolutno suvoj drvnjoj sirovini izražen u procentima (4.10).

$$E = \frac{m_E}{m_{vl} \cdot K_S} \cdot 100, (\%) \quad (4.10)$$

gde je:

m_E - masa ekstraktiva, g

m_{vl} - masa vazdušno suvog uzorka drveta odmerena za ekstrakciju, g

K_S - koeficijent suvoće drvene sirovine

Pored određivanja sadržaja ekstraktiva rastvorljivih u smeši organskih rastvarača, ekstrakcijom u smeši toluol/etanol uzorci drveta pripremljeni su za određivanje sadržaja lignina.

Određivanje sadržaja lignina

U ovom radu sadržaj lignina u ekstrahovanim uzorcima poljskog jasena određen je modifikovanom Klasonovom metodom (T 222 om-11), uz spektrofotometrijsko određivanje kiselo-rastvornog dela lignina prema TAPPI metodi T UM 250.

Određivanje sadržaja lignina Klasonovom metodom

U cilju hidrolize drveta i izolovanja lignina, ekstrahovani uzorci drveta čija je masa izmerena tretirani su 72 % (w/w) sumpornom kiselinom (H_2SO_4) na sobnoj temperaturi u trajanju od 2,5 h. Nakon toga, dodatkom tačno određene količine destilovane vode, smanjena je koncentracija kiseline na 3 % i nastavljen

proces hidrolize još 1 h na temperaturi ključanja reakcione smeše (120 °C), koja se postiže zagrevanjem na peščanom kupatilu. U kiseloj sredini odvijaju se reakcije hidrolitičke razgradnje polisaharida drvnog tkiva, odnosno prevođenje celuloze i hemiceluloza u proste šećere, koji su rastvoreni u reakcionoj smeši, i uklanjaju se operacijom filtriranja kroz guč srednje poroznosti (G-2 ili G-3), čija je masa u suvom stanju prethodno izmerena, dok lignin ostaje u guču kao nerastvorni talog.

Nerazblaženi filtrat (hidrolizat) sačuvan je za analizu sadržaja kiselorastvornog lignina, kao i određivanje sadržaja monosaharida primenom HPLC hromatografije. Potpuno prenošenje kiselonerastvornog lignina iz erlenmajera u guč, odnosno ispiranje lignina od kiseline do neutralne reakcije, vršeno je uz pomoć tople destilovane vode, pri čemu je pH - vrednost filtrata proveravana univerzalnim indikatorom. Posle sušenja do apsolutno suvog stanja i hlađenja u eksikatoru izmerena je masa guča sa ligninom.

Sadržaj Klasonovog lignina (L) izračunat je kao udeo lignina u apsolutno suvoj drvnoj sirovini, prema obrascu:

$$L = \frac{m_L}{m_{vl(ekstr)} \cdot \left(\frac{100}{100-E}\right) \cdot K_{S(ekstr)}} \cdot 100, (\%) \quad (4.11)$$

gde je:

$m_{vl(ekstr)}$ - masa vazdušno suve ekstrahovane drvne sirovine, g;

m_L - masa lignina u apsolutno suvom stanju, g;

E - sadržaj ekstraktivnih materija drveta ekstrahovanih smešom toluol/etanol (2/1, v/v);

$K_{S(ekstr)}$ - koeficijent suvoće ekstrahovane drvne sirovine.

Određivanje sadržaja kiselorastvornog lignina UV-spektrofotometrijskom metodom

Sadržaj kiselorastvornog lignina iz filtrata (hidrolizata) posle određivanja Klasonovog lignina određen je spektrofotometrijski prema TAPPI metodi T UM 250. Pipetom je odmeren 1 ml nerazblaženog filtrata dobijenog posle kiselinske hidrolize drveta tokom filtriranja Klasonovog lignina i prebačen u epruvetu, u koju je zatim, korišćenjem pipete, dodato i 15 ml 3 % (w/w) H₂SO₄.

Na ovaj način filtrat je razblažen do stepena razblaženja $D=16$. Step (faktor) razblaženja (D) izračunat je pomoću obrasca:

$$D = \frac{V_1}{V_0} \quad (4.12)$$

gde je:

V_1 - ukupna zapremina razblaženog uzorka,

V_0 - zapremina nerazblaženog filtrata

UV-apsorpcija pripremljenog rastvora, i 3 % (w/w) rastvora H_2SO_4 , kao slepe probe merena je na UV-spektrofotometru *Vision-600* korišćenjem kvarcnih kiveta širine 1 cm i na talasnoj dužini od 205 nm, u *Pedološkoj laboratoriji* Šumarskog fakulteta u Beogradu.

Koncentracija kiselo-rastvornog lignina u ispitivanom uzorku, na osnovu Lamber-Berov-og zakona proporcionalna je apsorpciji monohromatske svetlosti kroz uzorak:

$$A = -\log(I/I_0) = e \cdot c \cdot l \quad (4.13)$$

gde je:

A - apsorbanza

e - molarni apsorpcioni koeficijent, ($l \cdot g^{-1} \cdot cm^{-1}$);

l - dužina optičkog puta ($l = 1$ cm);

c - koncentracija (g/l).

Prema literaturnim podacima, koeficijent apsorpcije lignina (a) na 205 nm iznosi $110 l \cdot g^{-1} \cdot cm^{-1}$ (TAPPI T UM 250; Dence, 1992), pa je koncentracija lignina u nerazblaženom filtratu izračunata prema obrascu:

$$c = A/(110 \cdot l), (g/l) \quad (4.14)$$

odnosno, uzimajući u obzir u razblaženje filtrata:

$$c = \frac{A}{110} \cdot D, (g/l) \quad (4.15)$$

Na osnovu ukupne zapremine filtrata (hidrolizata) i mase apsolutno suve drvene sirovine uzete za analizu, određen je sadržaj kiselo-rastvornog lignin (L_{kr}):

$$L_{kr} = \frac{c \cdot V \cdot 100}{m_{vl(ekstr)} \cdot 1000 \cdot \left(\frac{100}{100-E}\right) \cdot Ks(ekstr)} \cdot 100, (\%) \quad (4.16)$$

gde je:

c - koncentracija lignina u filtratu, g/l

V - ukupna zapremina filtrata (15 ml 72 % (w/w) H_2SO_4 i 420 ml destilovane vode, ukupno 435 ml filtrata), ml

$m_{vl(ekstr)}$ - masa vazdušno suve ekstrahovane drvene sirovine, g;

E - sadržaj materija drveta ekstrahovanih smešom toluol/etanol (2/1, v/v);

$Ks(ekstr)$ - koeficijent suvoće ekstrahovane drvene sirovine.

Određivanje sadržaja celuloze

Sadržaj celuloze u uzorcima drveta poljskog jasena određen je *Kurschner-Hoffer*-ovom metodom (Browning, B.L., 1967 b). U cilju izolovanja celuloze uzorci drveta izmerene mase tretirani su rastvorom azotne kiseline u etanolu (20 % HNO_3 : 80 % C_2H_5OH , v/v), na temperaturi ključanja vodenog kupatila u ukupnom trajanju od dva sata, pri čemu se odigravaju reakcije delignifikacije i hidrolize hemiceluloza. Prioizvodi razlaganja hemiceluloza i lignina koji su rastvoreni u reakcionoj smeši uklanjani su prilikom filtriranja kroz guč srednje poroznosti (G-2 ili G-3). Izolovana celuloza, koja zbog hidrolitičkih efekata ima nešto niži stepen polimerizovanja u odnosu na nativnu, isprana je toplom destilovanom vodom do neutralne reakcije, a zatim osušena u ventilacionoj sušnici na temperaturi od 103 ± 2 °C do konstantne mase koja joj je izmerena posle hlađenja u eksikatoru.

Sadržaj celuloze (C), kao udeo celuloze u apolutno suvoj drvnoj sirovini izražen u procentima (%), računat je po obrascu:

$$C = \frac{m_c}{m_{vl} \cdot K_s} \cdot 100, (\%) \quad (4.17)$$

gde je:

m_c - masa celuloze izolovane iz odmerene mase, g

m_{vl} - masa vazdušno suvog drveta koeficijenta suvoće K_s , g.

4.4. KARAKTERIZACIJA ADHEZIVA

U Laboratoriji za ispitivanje ploča iverica i vlaknatica Šumarskog fakulteta u Beogradu ispitane su sledeća svojstva adheziva Lendur 730F: sadržaj suve materije, gustina, pH vrednost i vreme želiranja. Viskozitet veziva određen je u Laboratoriji za drvo Instituta za ispitivanje materijala (IMS) u Beogradu.

4.4.1. Priprema adheziva za ispitivanje

Imajuću u vidu da je UF vezivo, kao adheziv u obliku emulzije, podložan taloženju, prema preporukama standarda SRPS EN 1067:2009, pre uzimanja uzoraka za svako od navedenih ispitivanja, rastvor adheziva dobro je promešan.

Ukoliko, zbog zavisnosti ispitivanog svojstva od temperature, metoda ispitivanja zahteva određenu temperaturu ispitivanja posle mešanja, rastvor adheziva sipan je u čistu, suhu posudu u količini potrebnoj za dato ispitivanje, koja je potom zatvarana i klimatizovana do postizanja propisane temperature. Temperatura je proveravana digitalnim termometrom sa tačnošću od 0,1 °C.

4.4.2. Metode za ispitivanje karakteristika adheziva

Sadržaj suve materije adheziva

Osim što služi kao pokazatelj kvaliteta kupovnog adheziva, sadržaj suve materije (koncentracija) adheziva je polazni parametar za proračun prilikom pripreme veziva po zadatoj recepturi.

Sadržaj suve materije UF adheziva određen je prema standardu SRPS EN 827:2009.

Aluminijumskoj šolji, posle sušenja do konstantne mase u sušnici sa ventilacijom na temperaturi od 120 ± 1 °C, i hlađenja u eksikatoru, izmerena je masa (m_0) na analitičkoj vagi sa tačnošću od 0,1 mg.

Pošto je dobro promešan, masa od oko 2 g adheziva sipana je u svaku od šolja tako da ravnomerno prekrije dno. Izmerena je masa šolje sa adhezivom (m_1). Šolje sa adhezivom sušene su u sušnici sa ventilacijom na temperaturi od 120 ± 1

°C u trajanju od 2 h, a potom, posle hlađenja u eksikatoru izmerena je masa šolje sa suvom supstancom adheziva (m_2).

Sadržaj suve materije adheziva (S_m) izračunat je prema obrascu:

$$S_m = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \cdot 100, (\%) \quad (4.18)$$

gde je:

m_0 - masa prazne aluminijske šolje (g),

m_1 - masa šolje sa emulzijom kupovnog adheziva (g) i

m_2 - masa šolje sa apsolutno suvom supstancom adheziva (g).

Sadržaj suve materije adheziva, izračunat kao srednja vrednost iz pet ponavljanja, prikazan je u tabeli 4.5.

Određivanje vrednosti pH adheziva

Ispitivanje vrednosti pH adheziva obavljeno je prema metodi opisanoj standardom SRPS EN 1245:2009 pH-metarom "Iskra" sa staklenom kombinovanom elektrodom, pri temperaturi od 20 °C.

Pre merenja vrednosti pH adheziva pH-metar je kalibrisan standardnim rastvorima pufera prema uputstvu proizvođača i preporuci standarda SRPS EN 1245:2009. Temperatura rastvora pufera i adheziva merena je digitalnim termometrom sa tačnošću od 0,1 °C.

Vrednost pH, izračunata kao srednja vrednost iz tri merenja, prikazana je u tabeli 4.5.

Određivanje gustine adheziva

Gustina adheziva određena je korišćenjem staklenog Gay - Lussac piknometara zapremine 100 ml, u skladu sa zahtevima standardne metode SRPS EN 542:2009.

Posle klimatizacije i merenja mase (m_0), piknometar je napunjen sveže destilovanom vodom i izmerena je njegova masa sa vodom (m_1). Nakon sušenja i ponovnog kondicioniranja piknometar je napunjen rastvorom adheziva koji je prethodno promešan, i izmerena je masa piknometra sa adhezivom (m_2).

Gustina UF adheziva (ρ) na 20 °C izračunata je prema obrascu 4.19.

$$\rho = \frac{m_2 - m_0}{m_2 - m_0} \cdot \rho_w, (\text{g} \cdot \text{m}^{-3}) \quad (4.19)$$

gde je:

m_0 - masa praznog piknometra (g),

m_1 - masa piknometra sa destilovanom vodom (g),

m_2 - masa piknometra sa UF adhezivom (g) i

ρ_w - gustina destilovane vode na temperaturi od 20 °C ($\rho_{w(20\text{ }^\circ\text{C})}=0,9982 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$).

Ispitivanje je vršeno pri temperaturi od 20 °C. Temperatura je merena digitalnim termometrom sa tačnošću od 0,1 °C. Sve mase merene na su analitičkoj vagi sa tačnošću od 0,1 mg.

Rezultati ispitivanja gustine adheziva prikazani su u tabeli 4.5 kao srednja vrednost iz četiri merenja.

Određivanje viskoziteta adheziva

Viskozitet UF adheziva određen je metodom rotacionog viskozimetra prema standardu SRPS EN 12092:2009, u *Laboratoriji za drvo Instituta za ispitivanje materijala* (IMS), Beograd. Za ispitivanje viskoziteta korišćen je Brukfilfov (*Brookfield*) *Synchro-Lectric* rotacioni viskozimetar tipa LVF.

Prethodno termostatiran (20°C) i promešan adheziv pažljivo je sipan u stakleni pehar zapremine 250 cm³, pri čemu se vodilo računa da ne dođe do pojave mehurića. Vreteno viskozimetra uronjeno je u adheziv do položaja označenog na dršci, a potom je viskozimetar pušten u rad sa izabranim brojem obrtaja. Kazaljka postiže stabilan položaj posle 5 do 10 s, a očitavanje se vrši posle 30 s. Viskozitet (η) je izračunat prema obrascu:

$$\eta = l \cdot k, (\text{mPa} \cdot \text{s}) \quad (4.20)$$

gde je:

l - vrednost očitana na skali viskozimetra, sa tačnošću od 0,25 podele

k - koeficijent koji zavisi od veličine vretena i brzine obrtaja vretena, a očitava se iz tablice u prilogu instrumenta.

Viskozitet UF adheziva izračunat je kao srednja vrednost iz tri serije merenja sa vretenima označenim brojevima 1, 2 i 3, pri brzinama obrtaja vretena od 6, 12, 30 i 60 obrt/min.

Ispitivanje je vršeno na temperaturi od 20 °C. Temperatura adheziva proveravana je digitalnim termometrom sa tačnošću od 0,1 °C.

Srednja vrednost viskoziteta UF adheziva data je u tabeli 4.5.

Vreme očvršćavanja (želiranja) adheziva

U cilju snižavanja vrednosti pH i iniciranja reakcija očvršćavanja, adhezivu se dodaje katalizator, obično u količini od 1 do 5 % u odnosu na suhu materiju veziva. Kao katalizator za iniciranje reakcija očvršćavanja UF adheziva odabran je amonijum sulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

U cilju izbora koncentracije katalizatora pripremljena je serija UF adheziva sa dodakom različitih koncentracija $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, koje su se kretale u opsegu od 0,2 do 3,0 % u odnosu na suhu supstancu adheziva. Pripremljenim adhezivima zatim je ispitivano vreme očvršćavanja na sobnoj (20 °C) i na temperaturi od 100 °C.

Kao vreme očvršćavanja (želiranja) na datoj temperaturi uzima se vremenski raspon od trenutka mešanja veziva sa katalizatorom do trenutka njegovog očvršćavanja, odnosno trenutka kada viskozitet adheziva toliko poraste da ne može više da se meša.

Vreme očvršćavanja ispitivano je prema standardnom postupku (Miljković i Crnogorac, 1998). U pehar je, na analitičkoj vagi, odmereno 10 g veziva sa tačnošću od 0,1 mg. Prema prethodno određenom sadržaju suve materije i proračunu na osnovu zadate koncentracije katalizatora, izmerena je potrebna masa katalizatora na sa tačnošću od 0,1 mg. Takođe je izmerena i količina destilovane vode za rastvaranje katalizatora, čijim je dodatkom adheziv razblažen do koncentracije od 56,45 %.

Odmerena masa katalizatora rastvorena je u destilovanoj vodi, a zatim je ovaj rastvor dodat adhezivu uz neprekidno mešanje. U epruvetu je sipano oko 2 g ovako pripremljenog veziva. Epruveta je zatim uronjena u ključalo vodeno kupatilo (100 °C), tako da cela količina veziva bude pod vodom. U trenutku uranjanja epruvete u ključalu vodu uključena je štoperica. Staklenim štapićem neprestano i

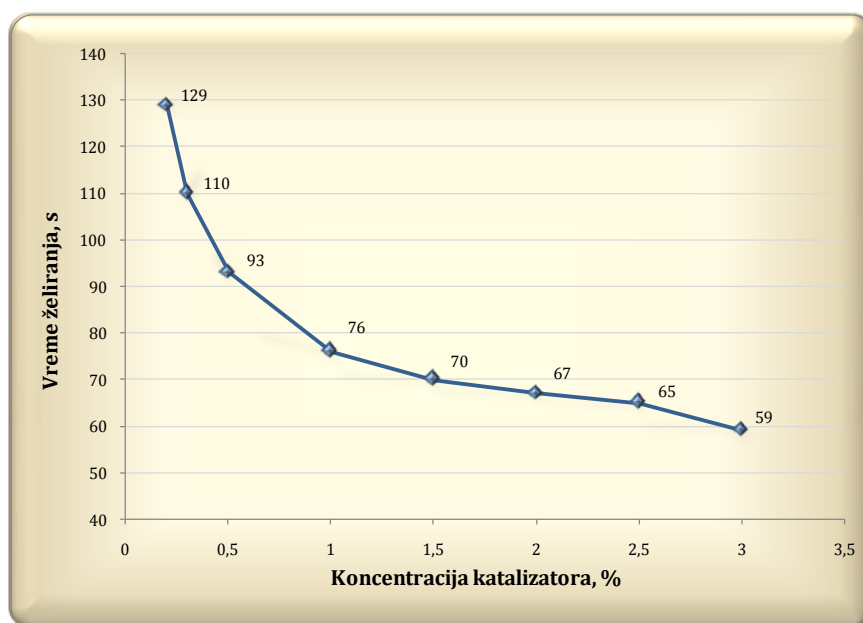
ujednačeno meša se vezivo do trenutka očvršćavanja, kada se zaustavlja štoperica i očitava vreme očvršćavanja.

Tokom želiranja adheziv iz stanja svog prvobitnog viskoziteta, pod dejstvom toplote, prolazi kroz fazu smanjenja viskoziteta, u kojoj postaje veoma tečan. Nakon ove faze, adheziv rapidno povećava svoj viskozitet, prelazeći u gelasto, a zatim, u roku od 1 - 2 sekunde, u sasvim očvrsnuto stanje.

Na ovaj način pripremljena je i ispitana serija adheziva sa koncentracijom katalizatora od: 0,2 %, 0,3 %, 0,5 %, 1,0 %, 1,5 %, 2,0 %, 2,5 % i 3,0 %.

Vreme očvršćavanja veziva na 100 °C za svaku koncentraciju katalizatora izračunato je kao srednja vrednost iz tri ponavljanja, a rezultati su prikazani na slici 4.15.

Ostatak veziva upotrebljen je za ispitivanje vremena očvršćavanja na 20 °C (radni vek adheziva). Na isti način, uranjanjem epruvete sa pripremljenim adhezivom u vodeno kupatilo termostatirano na 20 °C, određeno je i vreme očvršćavanja adheziva na 20 °C, pri datim koncentracijama katalizatora.



Slika 4.15. Vreme želiranja UF adheziva Lendur 730F na 100 °C pri različitim dodacima katalizatora $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Međutim, čak ni sa dodatkom katalizatora od 3 %, ni posle 2 h (120 min) nije došlo do očvršćavanja adheziva, dok adheziv sa dodatkom katalizatora u iznosu od 0,2 % nije očvrstnuo ni posle 15 h.

Tabela 4.5. Karakteristike UF adheziva Lendur 730F

Svojstvo	Dobijeni podaci	Standard
Sadržaj suve materije (%)	63,92	SRPS EN 827
Gustina (kg/m ³)	1281,4	SRPS EN 542
Viskozitet 20 °C (mPa·s)	471	SRPS EN 12092
pH na 20 °C	8,45	SRPS EN 1245
Vreme želiranja na 100 °C (s)	Slika 4.15	

4.5. ISPITIVANJE DEJSTVA PREDTRETMANA NA HEMIJSKI SASTAV I SVOJSTVA JUVENILNOG I ZRELOG DRVETA POLJSKOG JASENA

U cilju planiranih ispitivanja dejstva tretmana na promene u hemijskom sastavu, pripremljeni uzorci juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena tretirani su u autoklavu, pri usvojenim parametrima tretmana.

4.5.1. IZBOR PARAMETARA PREDTRETMANA

Svaki hemijski tretman dovodi do promene hemijskog sastava, a time i svojstava drveta. Kvalitet i kvantitet ovih promena uslovljen je uslovima izvođenja tretmana. Kako je navedeno u *Teorijskom delu* ovog rada, dosadašnja istraživanja tretmana drveta pokazala su da dejstvo istog hemijskog agensa pri različitim uslovima izvođenja procesa, kao što su: koncentracija rastvora hemikalija, primenjena temperatura, kao i trajanje tretmana, dovode do različitih promena u tkivu drveta.

Zbog nedostatka odgovarajućih podataka, a imajući u vidu planirana istraživanja, nije bilo moguće odabrati optimalne parametre tretmana, pa je u tu svrhu ispitan uticaj različitih parametara tretmana, prikazanih u tabeli 4.6, na svojstva drveta.

Tabela 4.6. Parametri odabrani za ispitivanje uticaja tretmana na svojstva drveta

Vrsta tretmana	Oznaka tretmana	Koncentracija rastvora za tretman*	Temperatura tretmana	Trajanje tretmana	Hidromodul (drvo:tečnost)
Tretmani vodom	TV 1	/	100 °C	60 min	1 : 5
	TV 2	/	120 °C		
Blago kiseli tretmani	KT 1	0,03 g/g	100 °C	60 min	1 : 5
	KT 2	0,06 g/g			
	KT 3	0,09 g/g			
	KT 4	0,03 g/g	120 °C		
	KT 5	0,06 g/g			
	KT 6	0,09 g/g			
Blago alkalni tretmani	AT 1	0,03 g/g	100 °C	60 min	1 : 5
	AT 2	0,06 g/g			
	AT 3	0,09 g/g			
	AT 4	0,03 g/g	120 °C		
	AT 5	0,06 g/g			
	AT 6	0,09 g/g			

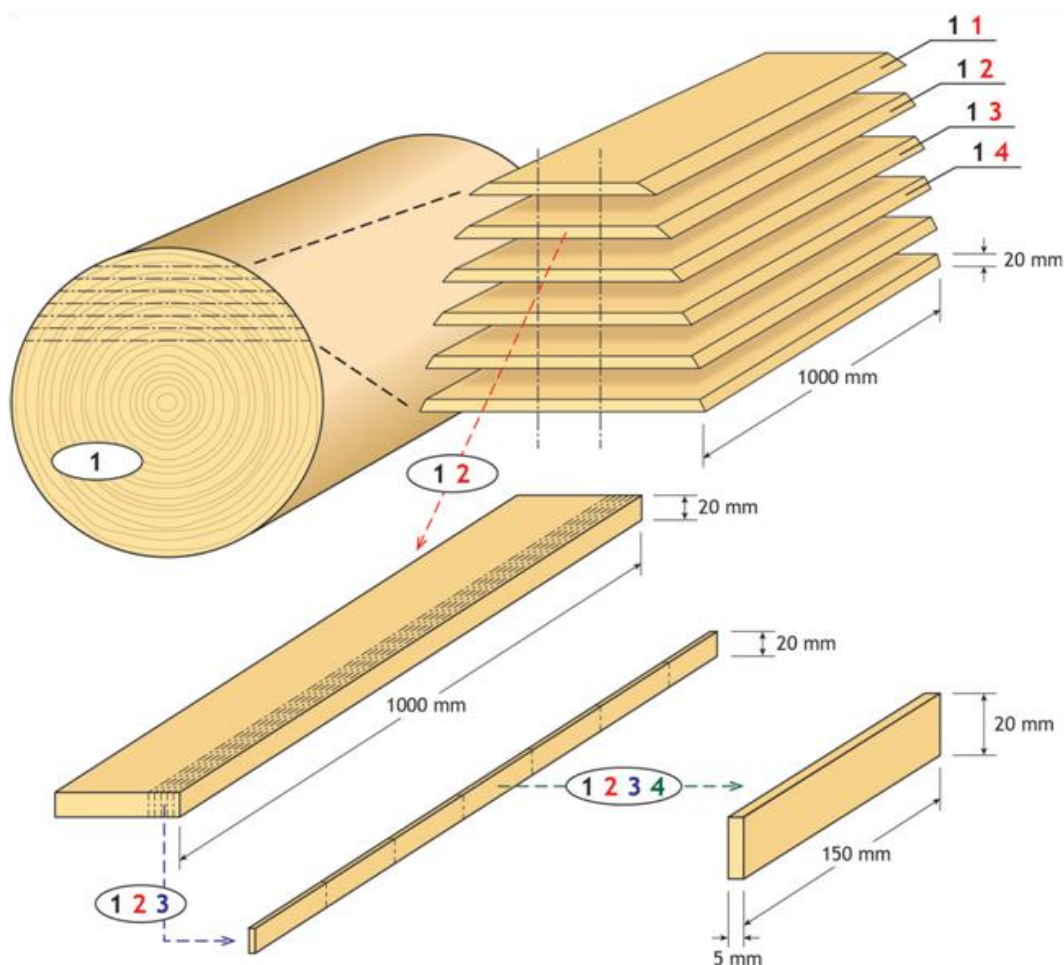
* g CH₃COOH/Na₂CO₃ /g suve mase drveta

Kao kriterijumi za izbor optimalnih parametara predtretmana, na osnovu i u skladu sa usvojenim ciljevima rada, odabrana su sledeća svojstva tretiranog drveta: upijanje vode, zapreminsko bubrenje i smicajna čvrstoća u sloju adheziva.

4.5.1.1. Priprema uzoraka za ispitivanje uticaja parametara predtretmana na svojstva drveta

Izrezivanje: Na ravnomernim rastojanjima, sa pet položaja po visini uzorkovanog stabla br. 4 (tačka 4.2.1.1, tabela 4.1), počevši od visine 1,3 m, uzeti su uzorci u vidu trupaca dužine oko 1 m. Na ovaj način uzeta je u obzir varijabilnost u hemijsko-anatomskoj građi po visini stabla, koja povlači varijabilnost ostalih svojstava drveta. Posle okoravanja, trupci su obeleženi brojevima od 1 do 5, idući od podnožja ka vrhu stabla (to je prva oznaka na uzorcima za ispitivanje).

Posle 6 meseci vazdušog sušenja, u *Laboratoriji za mašine i alate* Šumarskog fakulteta, iz trupaca su izrezani uzorci za ispitivanja dimenzija 5 x 20 x 150 mm, koje su propisane standardom SRPS EN 205:2009, prema šemi prikazanoj na slici 4.16. Prilikom izrezivanja vodilo se računa o položaju koji su uzorci zauzimali u trupcu, te je, u skladu sa tim, istovremeno vršeno njihovo obeležavanje.



Slika 4.16. Šema rezanja i obeležavanja uzoraka

Prema šemi na slici 4.16, svaki uzorak obeležen je sa 4 cifre, što je omogućilo da se u svakom trenutku zna položaj koji je uzorak zauzima u stablu. Poznavanje položaja uzorka u stablu značajno je zbog postojeće varijabilnosti osobina drveta kako u radijalnom, tako i u aksijalnom pravcu (po visini stabla). Iz tog razloga moralo se voditi računa o tome da uzorci koji su međusobno bili u neposrednoj blizini u stablu, budu što ravnomernije raspoređeni u sve grupe uzoraka, tako da u svakoj od 15 grupa uzoraka predviđenih za istraživanja bude podjednaka zastupljenost uzoraka sa različitih položaja u stablu. Na ovaj način u najvećoj mogućoj meri otklonjen je uticaj varijabilnosti svojstava drveta na rezultate ispitivanja. Uzorci odabrani za istraživanja nisu imali oštećenja ili nepravilnosti (pukotine, čvorovi, usukana vlakna i sl.).

Ostaci koji su preostali posle rezanja uzoraka standardnih dimenzija, takođe su obeleženi odgovarajućim oznakama i dalje pripremani na isti način kao i standardni uzorci. Ostaci uzoraka poslužili su za podešavanje ukupne mase drveta u cilju postizanja konstantnih uslova u svakom od autoklava.

Klimatizacija pripremljenih uzoraka: Posle izrezivanja i obeležavanja, uzorci su vazdušno sušeni u *Laboratoriji za ispitivanje ploča iverica i vlaknatica* tokom 30 dana, pri temperaturi od 20 ± 2 °C i relativnoj vlažnosti vazduha od 65 ± 5 %, da bi im se ujednačio sadržaj vlage (slika 4.17). Tokom klimatizacije, na 20 uzoraka odabranih metodom slučajnog izbora praćena je promena mase sa tačnošću od 0,01 g, svakih 5 dana, a zadnjih pet dana svakodnevno. Kada se masa ovih uzoraka ustalila, odnosno kada je razlika dve uzastopno izmerene mase bila manja od 0,5 % od mase uzorka, klimatizovani uzorci su sortirani i spakovani u plastične kesice.

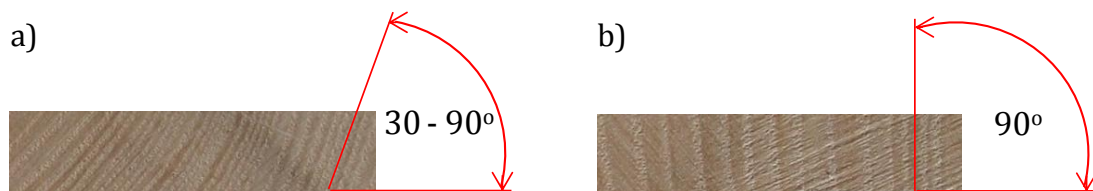


Slika 4.17. Klimatizacija uzoraka

Sortiranje uzoraka: Prema planiranom broju tretmana i obimu istraživanja određen je potreban broj uzoraka i obavljeno je njihovo odabiranje i sortiranje. S obzirom na način njihovog rezanja, linije godova uzoraka, gledano u poprečnom preseku, zaklapale su sa širom stranom uzoraka različite uglove (od 0 do 90°), o čemu se takođe vodilo računa prilikom izbora i sortiranja uzoraka, imajući u vidu metodologiju i zahteve odgovarajućih standarda za ispitivanje.

Za ispitivanje uticaja tretmana na smicajnu čvrstoću u sloju adheziva prema standardu SRPS EN 205:2009 odabrane su daščice u paru (15 parova ukupno), tj. one koje su u stablu bile jedna pored druge, kako bi isključio uticaj varijabilnosti drveta na rezultate ispitivanja. Istovremeno, vodilo se računa da linije godova, gledano u poprečnom preseku, zaklapaju sa širom stranom uzorka, odnosno površinom po kojoj će biti ostvarena adhezija, ugao između 30° i 90° (slika 4.18 a).

Imajući u vidu da je bubrenje u tangencijalnom pravcu oko dva puta veće od bubrenja u radijalnom pravcu (Šoškić i Popović, 2002), za ispitivanje uticaja predtretmana na upijanje vode i zapreminsko bubrenje, odabrani su uzorci sa dimenzijama od 5 mm u tangencijalnom pravcu i 20 mm u radijalnom pravcu, odnosno oni uzorci kojima linije godova, gledano u poprečnom preseku, zaklapaju sa širom stranom ugao od 90° (slika 4.18 b).



Slika 4.18. Poprečni presek uzoraka za ispitivanje a) smicajne čvrstoće u sloju adheziva i b) zapreminskog bubrenja

Za ispitivanje uticaja parametara tretmana na odabrana svojstva pripremljeno je po 60 uzoraka drveta poljskog jasena za svaki tretman, što sa kontrolnom grupom čini ukupno 900 uzoraka. Svaki od odabranih uzoraka zatim je dodatno obeležen oznakama tretmana, prikazanim u tabeli 4.6, koje označavaju kojim tretmanom će uzorak biti tretiran, kao i oznakama svojstva koje će se ispitivati na datom uzorku, kao na slici 4.19.

Oznaka ispitivanog svojstva:

- **L** – smicajna čvrstoća u sloju adheziva
- **B** – zapreminsko bubrenje i upijanje vode



Slika 4.19. Primer obeležavanja uzorka

Imajući u vidu veliki broj uzoraka i operacija koje će na njima biti obavljene tokom veoma opsežnih istraživanja, ovaj način obeležavanja uzoraka sveo je na minimum mogućnost greške prilikom rukovanja uzorcima.

Merenje mase uzoraka: Svim pripremljenim uzorcima poljskog jasena izmerena je masa sa tačnošću od 0,01 g. Izmerene su i mase uzoraka koji su odbačeni

(preostalih) ili, zbog neodgovarajućih dimenzija, predstavljaju ostatak posle rezanja.

Određivanje sadržaja vlage uzoraka: Posle sortiranja, od preostalih klimatizovanih uzoraka metodom slučajnog izbora odabrano je 30 uzoraka za određivanje sadržaja vlage. Sadržaj vlage klimatizovanih uzoraka određen je gravimetrijskom metodom, prema standardu ISO 3130:1975, sušenjem u ventilacionoj sušnici na temperaturi od 103 ± 2 °C do postizanja konstantne mase.

Tabela 4.7. Sadržaj apsolutne (W_{aps}) i relativne vlage (W_{rel}) i koeficijent suvoće (K_s) uzoraka (5 x 20 x 150 mm) poljskog jasena

Statistička obrada podataka	W_{rel} , %	W_{aps} , %	K_s
Srednja vrednost	9,36	10,32	0,91
Minimalna vrednost (x_{min})	8,84	9,69	0,90
Maksimalna vrednost (x_{max})	9,66	10,70	0,91
Standardna devijacija	0,2172	0,2639	0,0022

Raspodela uzoraka po autoklavima: Planirano je da se svaki tretman izvede u jednom ciklusu (ukupno 14 ciklusa), odnosno u šest autoklava istovremeno, te je ukupan broj uzoraka pripremljenih za jedan tretman bilo neophodno podeliti na šest delova približno jednakih masa kako bi u svakom autoklavu bila ista količina drveta i tečnosti.

Prilikom raspodele vodilo se računa da u svakoj od ovih šest podgrupa bude jednaka brojna zastupljenost uzoraka za sve planirane analize (ispitivanje upijanja vode i dimenzionalnih promena i smicajne čvrstoće u sloju adheziva), kao i da parovi epruveta za jačinu lepljene veze budu u istom autoklavu. Na ovaj način isključen je uticaj eventualnih razlika u uslovima izvođenja tretmana u različitim autoklavima.

Da bi se izjednačile mase drvene supstance ove 84 podgrupe uzoraka (14 ciklusa tretmana u po 6 autoklava) dodati su ostaci posle rezanja odgovarajućih masa. Na taj način se dobila veoma ujednačena raspodela masa drvene supstance po autoklavima, sa maksimalnom razlikom masa između podgrupa uzoraka od 0,07 g, čime su obezbeđeni isti uslovi izvođenja tretmana u svakom autoklavu za sve cikluse kuvanja.

4.5.1.2. Priprema rastvora hemikalija za tretmane

Proračun potrebnih masa hemikalija i vode: Na osnovu mase svake od šest podgrupa uzoraka u okviru jednog tretmana, sadržaja vlage uzoraka, usvojenog hidromodula, koncentracije i čistoće hemikalija, za svaki od 14 planiranih tretmana izračunate su potrebne mase vode i hemikalija za svaki od šest autoklava. Pri proračunu potrebne količine vode oduzeta je količina vode prisutna u drvetu izražena preko sadržaja vlage. Proračun potrebnih masa hemikalija i vode za svaki autoklav prikazani su u tabeli I-1, *Prilog I*.

Priprema rastvora hemikalija za tretman: Za svaki tretman (tabela 4.6) napravljeni su rastvori hemikalija (sirćetne kiseline ili natrijum karbonata) u vodi za svaki od šest autoklava, prema proračunu prikazanom u tabeli I-1, *Prilog I*.

4.5.1.3. Postupak tretiranja

4.5.1.3.1. Uređaj za izvođenje tretmana (autoklav)

Tretmani pripremljenih uzoraka drveta poljskog jasena izvedeni su u uređaju "Stalsvets" (Švedska) sa šest zasebnih autoklava (slika 4.20). Autoklav predstavlja zatvoreni sud unutar koga je moguće povećanje temperature tečnosti iznad tačke ključanja na atmosferskom pritisku, što se postiže izohorskim procesom uz dovođenje toplote. Na ovaj način omogućeno je izvođenje hemijskih reakcija pod visokim pritiskom i na visokoj temperaturi.

Autoklav je cilindričnog oblika sa zidovima napravljenim od specijalnog čelika i odgovarajućim masivnim poklopcem koji se hermetički zatvara pomoću 4 naspramno postavljena zavrtnja (slika 4.20). Na taj način obezbeđuju su uslovi za razvijanje potrebnog pritiska i sprečava se izlazak vodene pare. Centralni deo cilindra autoklava je komora radne zapremine 2,5 l, u koju se stavljaju reaktanti. Na poklopcu se nalazi ventil čijim otvaranjem unutrašnjost (komora) autoklava ostvaruje vezu sa manometrom, što omogućava praćenje pritiska tokom procesa. Svaki od šest autoklava i odgovarajući poklopac označeni su svojim serijskim brojem.



Slika 4.20. Autoklav i uređaj "Stalsvets" sa autoklavima

Zagrevanje autoklava vrši se u uljanom kupatilu uređaja. Kao grejni fluid uljanog kupatila korišćen je etilen glikol, čija je tačka ključanja 197 °C. Uljano kupatilo zagreva se grejačima, a regulacija temperature ostvaruje se preko termostata. Autoklavi se u horizontalnom položaju postavljaju i učvršćuju na rotor uređaja koji je povezan sa elektromotorom (slika 4.20). Uključivanje elektromotora dovodi do rotiranja autoklava u termostatiranom uljanom kupatilu, čime je, pored zagrevanja, omoćeno i mešanje reakcione smeše u radnoj komori autoklava.

4.5.1.3.2. Tretiranje

Pripremljeni uzorci drveta poljskog jasena (daščice dimenzija 5 x 20 x 150 mm) i rastvor hemikalija napravljen prema proračunu za dati autoklav (tabela I-1, *Prilog I*), stavljeni su u odgovarajući autoklav. Svaki autoklav je potom hermetički zatvoren svojim poklopcem, koji je učvršćen zavrtnjevima. Autoklavi su zatim postavljeni i učvršćeni u svoja ležišta na rotoru uljanog kupatila.

Vreme zagrevanja reakcione smeše u autoklavu do radne temperature koje iznosi 11 min, prethodno je eksperimentalno određeno. Po postizanju zadate temperature tretmana u autoklavu, mereno je vreme trajanja tretmana od 60 min.

Nakon 60 min autoklavi su skidani sa rotirajućeg kalema istim redosledom kojim su i stavljeni, a reakcija je prekidana hlađenjem u vodenom kupatilu. Vreme hlađenja autoklava do temperature vodenog kupatila i postizanja atmosferskog pritiska unutar njega bilo je 11 min.

Ispiranje uzoraka posle tretmana: Nakon hlađenja do sobne temperature, autoklavi su otvarani, i iz njih su izvađeni uzorci. Uzorci su, zatim, ispirani vodom do postizanja neutralne pH vrednosti koja je proveravana lakmus papirom. Ispiranje svake grupe tretiranih uzoraka trajalo je oko 60 min.

Vazdušno sušenje tretiranih uzoraka: Nakon ispiranja tretirani uzorci drveta poljskog jasena vazdušno su sušeni u uslovima sobne temperature.

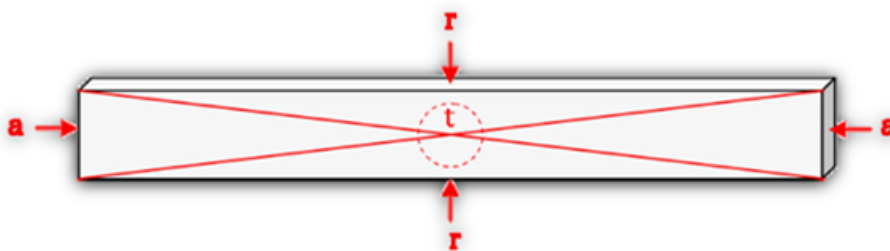
4.5.1.4. Ispitivanje uticaja parametara tretmana na upijanje vode i zapreminsko bubrenje

Sušenje: Tretirani i kontrolni uzorci drveta poljskog jasena namenjeni za ispitivanje upijanja vode i zapreminskog bubrenja, osušeni su do apsolutno suvog stanja, kako je već opisano u tački 4.3.1.1. Uzorci na kojima su se tokom sušenja pojavile pukotine su odbačeni.

Merenje mase i dimenzija suvih uzoraka: Nakon sušenja do konstantne mase i hlađenja u eksikatoru do sobne temperature, kontrolnim i tretiranim uzorcima drveta poljskog jasena izmerene su masa (sa tačnošću od 0,01 g) i dimenzije pomoću digitalnog pomičnog merila u radijalnom i aksijalnom pravcu, odnosno mikrometrom sa kružnom stopicom u tangencijalnom pravcu (sa tačnošću od 0,01 mm), kako je prikazano na slici 4.21.

Određivanje gubitka mase: Gubitak mase uzoraka prilikom tretmana određen je iz razlike masa uzoraka u apsolutno suvom stanju pre i posle tretmana, u odnosu na masu uzoraka pre tretmana, izražen u procentima.

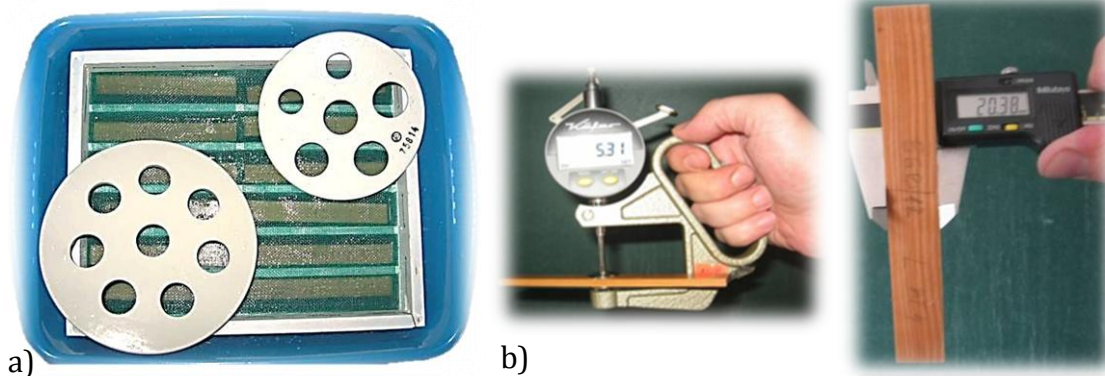
Određivanje gustine: Imajući u vidu veliki uticaj gustine na ostala svojstva drveta (Šoškić i Popović, 2002), nakon merenja mase i dimenzija u apsolutno suvom stanju, kontrolnim i tretiranim uzorcima drveta poljskog jasena namenjenim za ispitivanje upijanja vode i zapreminskog bubrenja, izračunata je gustina prema obrascu 4.5 (tačka 4.3.1.2).



Slika 4.21. Merna mesta na uzorku

Ispitivanje upijanja vode i zapreminskog bubrenja

Upijanje vode i zapreminsko bubrenje kontrolnih i tretiranih uzoraka drveta poljskog jasena ispitivano je, u skladu sa standardom SRPS ISO 4860:1997, odnosno SRPS ISO 4859:1997, potapanjem apsolutno suvih uzoraka u plastične kadice koje su napunjene destilovanom vodom. U kadice za potapanje postavljeni su ručno napravljeni ramovi sa pregradama od plastične mreže, kako se epruvete ne bi međusobno dodirivale (slika 4.22 a), a zatim je u njih sipana destilovana voda. Pre potapanja uzoraka destilovana voda i posude klimatizovane su na 20 ± 2 °C.



Slika 4.22. Potapanje uzoraka u vodu (a) i merenje dimenzija (b)

Prvih 10 sati ispitivanja, na svakih sat vremena uzorci su vađeni iz vode i pošto su ovlaš obrisani upijajućim papirom, svakom uzorku izmerene su masa i dimenzije (slika 4.22 b), kako je prikazano na slici 4.21. Posle merenja uzorci su vraćani u vodu. Masa i dimenzije uzoraka ponovo su izmerene posle 24 h i 48 h stajanja u vodi. Ustanovljeno je da napajanje uzoraka duže od 48 h ne dovodi do značajnog povećanja dimenzija (Popović i Điporović, 2012), te nakon merenja posle

48 h napajanja uzorci nisu vraćani u vodu. Tokom trajanja potapanja uzoraka temperatura vode u kadicama održavana je na 20 ± 2 °C, kako to standard zahteva.

Izračunavanje upijanja vode i zapreminskog bubrenja:

Svakom uzorku, za svaki interval merenja tokom potapanja izračunato je:

- upijanje vode (M_{up}), na osnovu izmerenih masa, po obrascu:

$$M_{up} = \frac{m_v - m_s}{m_s} \cdot 100, (\%) \quad (4.21)$$

gde je:

m_v - masa napojenog uzorka, g

m_s - masa apsolutno suvog uzorka, g;

- zapreminsko bubrenje (B_V), na osnovu izmerenih dimenzija, po obrascu:

$$B_V = \frac{t_v \cdot r_v \cdot l_v - t_s \cdot r_s \cdot l_s}{t_s \cdot r_s \cdot l_s} \cdot 100, (\%) \quad (4.22)$$

gde je:

t_s, r_s i l_s - dimenzije uzorka u suvom stanju u tangencijalnom, radijalnom i aksijalnom pravcu, mm

t_v, r_v i l_v - dimenzije uzorka sa upijenom vodom u tangencijalnom, radijalnom i aksijalnom pravcu, mm

Za svaki primenjeni tretman, za svaki interval merenja izračunata je srednja vrednost upijene vode i zapreminskog bubrenja kao aritmetička sredina izračunatih vrednosti svih ispitivanih uzorka.

Povećanje upijanja vode (P_{UP}) i poboljšanje dimenzionalne stabilnosti (P_{DS})

tretiranih u odnosu na kontrolnu grupu uzoraka drveta poljskog jasena za sve primenjene tretmane, u svakom od intervala merenja, izračunati su prema obrascima:

$$P_{UP} = \frac{M_{upT} - M_{upK}}{M_{upK}} \cdot 100, (\%) \quad (4.23)$$

gde je:

M_{upT} - procenat upijene vode tretiranih uzoraka, %

M_{upK} - procenat upijene vode kontrolnih uzoraka, %

$$P_{DS} = \frac{B_{VT} - B_{VK}}{B_{VK}} \cdot 100, (\%) \quad (4.24)$$

gde je:

B_{VT} - zapreminsko bubrenje tretiranih uzoraka, %

B_{VK} - zapreminsko bubrenje kontrolnih uzoraka, %

4.5.1.5. Ispitivanje uticaja parametara tretmana na smicajnu čvrstoću u sloju adheziva

U cilju ispitivanja jačine lepljene veze određivanjem smicajne čvrstoće u sloju adheziva, u skladu sa standardom SRPS EN 205:2009, po dve pripremljene daščice dimenzija 5 x 20 x 150 mm slepljene su presovanjem na povišenoj temperaturi.

4.5.1.5.1. Priprema uzoraka za slepljivanje – klimatizacija

Posle tretmana, vazdušno osušene daščice namenjene za izradu eksperimentalnih uzoraka za ispitivanje jačine lepljene veze, prema zahtevima standarda SRPS EN 205 klimatizovane su pri vlažnosti vazduha od 65 ± 5 % i temperaturi 20 ± 2 °C.

4.5.1.5.2. Priprema i karakterizacija pripremljenog adheziva

Izbor dodatka katalizatora UF adhezivu

Izbor dodatka katalizatora izvršen je na osnovu rezultata ispitivanja vremena očvršćavanja na 20 °C i 100 °C, imajući u vidu činjenicu da adheziv treba da očvrstne tokom vrelog presovanja, ali i da „radni vek“ pripremljenog adheziva mora biti dovoljno dugačak da obezbedi nanošenje i oblepljivanje iverja prilikom izrade laboratorijskih ploča iverica.

Na slici 4.15 (tačka 4.4.2) može se uočiti da vreme očvršćavanja adheziva pri dodatku katalizatora od 3 % iznosi 59 s, što odgovara realnom vremenu očvršćavanja adheziva u industrijskim uslovima prilikom proizvodnje ploča iverica, te je usvojena ova vrednost dodatka katalizatora.

Priprema adheziva

Adheziv je pripremljen prema usvojenom dodatku katalizatora $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ od 3 %, i suvoj materiji adheziva od 56.45 % (Gavrilović-Grmuša, 2010), pri čemu su adheziv, voda, katalizator, kao i uzorci za slepljivanje, termostatirani na 20 °C.

Tabela 4.8. Receptura za pripremu UF adheziva sa dodatkom katalizatora - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ od 3 %

	Masa, g	Koncentracija, %	Suva materija, g	Voda, g
UF adheziv	15	63,92	9,5883	5,4117
Katalizator $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0,2876	100	0,2876	0
Voda	2,2074	100	0	2,2074
Pripremljeno vezivo	17,4951	56,45	9,8760	7,6191

Izmerena količina katalizatora rastvarana je u izračunatoj i izmerenoj količini vode, a zatim je rastvor sipan u prethodno izmerenu količinu adheziva (tabela 4.8), i posle mešanja u trajanju od jednog minuta nanošen na daščice. Za svake dve serije uzoraka pripremana je nova količina adheziva.

Karakterizacija pripremljenog adheziva

Dodatkom katalizatora smanjuje se pH vrednost adheziva u cilju iniciranja reakcija polikondenzacije. Kako se katalizator dodaje u obliku vodenog rastvora, smanjuje se i koncentracija (suva materija) rastvora adheziva, a menjaju se i ostale karakteristike adheziva. Iz tog razloga, posle dodatka vodenog rastvora katalizatora koncentracije 3 % u odnosu na suhu masu adheziva, ispitane su karakteristike pripremljenog adheziva. Ispitivanje je vršeno prema odgovarajućim standardima, na način kako je već opisano u tački 4.4.2. Karakteristike pripremljenog adheziva prikazane su u tabeli 4.9.

Tabela 4.9. Karakteristike pripremljenog UF adheziva Lendur 730F pri dodatku katalizatora od 3 %

<i>Svojstvo</i>	<i>Dobijeni podaci</i>	<i>Standard</i>
<i>Sadržaj suve materije (%)</i>	54,51	SRPS EN 827
<i>Gustina (na 20 °C) (kg/m³)</i>	1241	SRPS EN 542
<i>Viskozitet (na 20 °C) (mPa·s)</i>	82,3	SRPS EN 12092
<i>pH (na 20 °C)</i>	5,58	SRPS EN 1245
<i>Vreme želiranja na 100 °C (s)</i>	59 s	

4.5.1.5.3. Nanošenje adheziva i vrelo presovanje

Nanos adheziva izračunat je prema nanosu od 200 g/m² koji je usvojen na osnovu podataka iz literature (Gavrilović-Grmuša, 2010).

Pripremljen adheziv nanošen je plastičnom spatulom, jednostrano (da bi se simulirali industrijski uslovi) tako što je daščica merena na vagi sa tačnošću od 0,01 g, a zatim je na nju naneta tačna masa adheziva, obračunata prema usvojenom nanosu (200 g/m²) i njenoj površini (20 x 150 mm). Druga, nenamazana daščica postavljena je odozgo (tako da im je paralelan pravac protezanja vlakana), a zatim su, zbog bolje penetracije u nju, zajedno okretane tako da nenamazana bude dole.

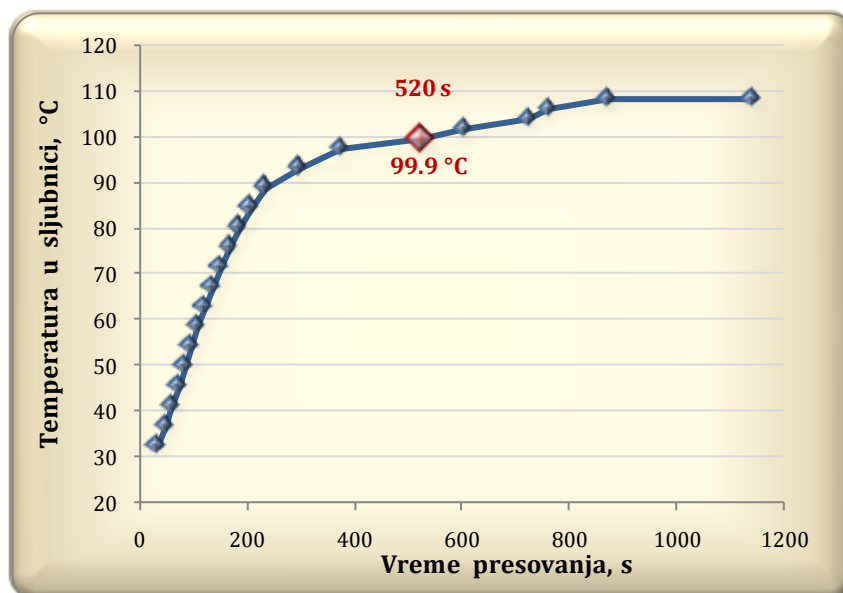
4.5.1.5.3.1. Izbor parametara presovanja

Pritisak presovanja: Na osnovu literaturnih podataka (Kollmann i Cote, 1968; Marra, 1992) o preporučenim pritiscima presovanja za tvrde lišćare (1 - 2 MPa), usvojen je specifični pritisak od 1 MPa kao pritisak pri presovanju uzoraka (5 sendviča uzoraka). Hidraulični pritisak presovanja iznosio je 20 bar (2MPa).

Određivanje temperature i vremena presovanja: Vrednosti temperature presovanja za UF adheziv kreću od 100 °C (Kollmann i Cote, 1968), pa do 130 - 135 °C (Nikolić, 1988). U cilju izbora temperature presovanja urađeno je nekoliko serija probnih presovanja, sa različitim temperaturama presovanja. Ostali uslovi presovanja: pritisak, nanos adheziva, kao i broj uzoraka koji se presuju, bili su isti. Tokom svakog probnog presovanja praćen je porast temperature u sljubnici pomoću termometra sa termoparom proizvodnje "ISKRA"-Kranj.

Jedan kraj termopara bio je u posudi sa vodom i ledom, a drugi u jednoj od sljubnica. Praćena je promena napona u mV termopara u zavisnosti od vremena presovanja. Pomoću dijagrama zavisnosti napona od razlike temperatura koji je dobijen baždarenjem aparata, očitana vrednost (razlike) napona termopara u mV preračunata je u vrednosti temperature (°C). Utvrđeno je da pri nižim temperaturama presovanja temperatura u sljubnici veoma sporo raste, i ne dostiže temperaturu očvršćavanja adheziva od 100 °C ni posle 10 min presovanja. Posle analize rezultata usvojene su temperature gornje i donje etaže prese od 128 °C.

Na osnovu podataka merenih pri usvojenoj temperaturi presovanja od 128 °C napravljen je dijagram zavisnosti temperature u sljubnici od vremena presovanja (slika 4.23).



Slika 4.23. Porast temperature u sljubnici u zavisnosti od vremena pri probnom presovanju uzorka (temperatura presovanja 128 °C)

Vreme presovanja: Da bi se odredilo vreme presovanja pri usvojenoj temperaturi presovanja od 128 °C, bilo je potrebno ustanoviti posle koliko vremena od početka presovanja temperatura u sljubnici dostiže 100 °C. Sa dijagrama zavisnosti temperature u sljubnici od vremena presovanja (slika 4.23) očitano je da vreme za koje temperatura u sljubnici dostiže 100 °C iznosi 520 s (8,7 min).

Ukupno vreme presovanja je dobijeno tako što je vremenu potrebnom da se u sljubnici postigne temperatura od 100 °C (oko 9 min) dodato vreme želiranja,

odnosno očvršćavanja veziva na 100 °C (1 min) te je, uz sigurnosni faktor od 1,3, usvojeno vreme presovanja od 13 minuta.

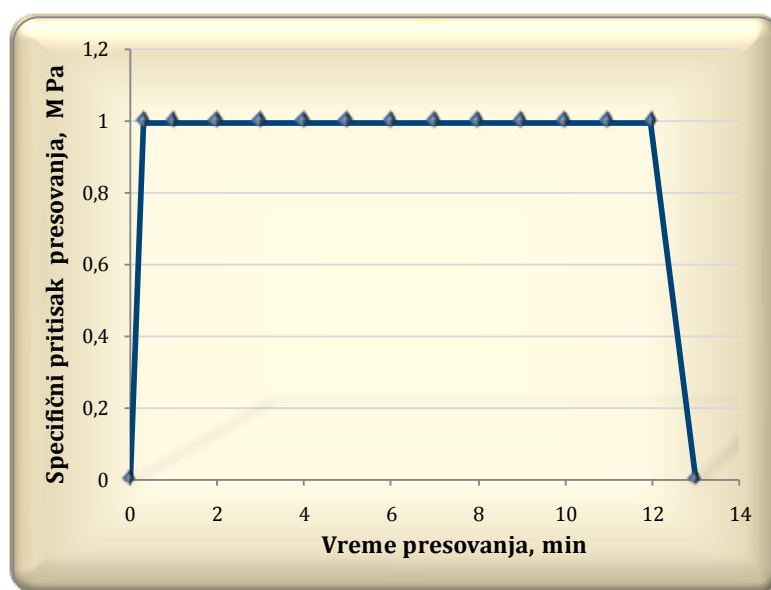
4.5.1.5.3.2. Postupak presovanja

Po pet sendviča od po dve dašice pripremljenih kako je opisano u tački 4.5.1.5.3.1 postavljano je između dva podložna lima na koja su stavljeni kompenzacioni jastučići i sve zajedno je ulagano u etažu prese (slika 4.24).



Slika 4.24. Nanošenje adheziva, slaganje sendviča na podložni lim i vrelo presovanje

Tokom presovanja praćeni su: pritisak na manometru prese i temperature gornje i donje etaže prese za svaku od 39 serija presovanja. Za vreme vrelog presovanja pritisak raste, dostiže zadatu vrednost za 20 sekundi, ostaje konstantan i zatim opada, kako je prikazano na slici 4.25



Slika 4.25. Specifični pritisak tokom vrelog presovanja

4.5.1.5.4. Ispitivanje smicajne čvrstoće

Priprema slepljenih uzoraka

Posle presovanja, u skladu sa zahtevima standarda SRPS EN 205, svakom paru slepljenih daščica kružnom testerom urezani su, sa obe strane, poprečni žlebovi, čija dubina ide do sloja lepka (slika 4.26). Razmak između žlebova iznosio je $10 \pm 0,1$ mm. Pri zarezivanju žlebova vodilo se računa da se ne ošteti adheziv.



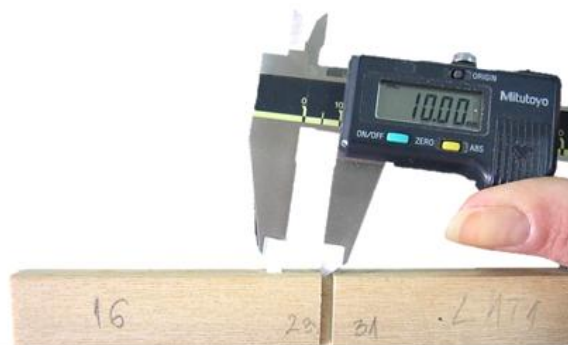
Slika 4.26. Slepljeni uzorci sa žlebovima

Klimatizacija: Prema zahtevima standardu SRPS EN 205, posle urezivanja žlebova, uzorci su klimatizovani do ispitivanja smicajne čvrstoće u sloju adheziva.

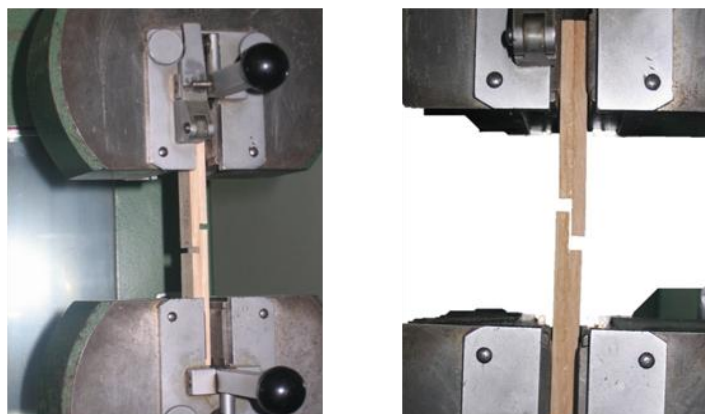
Određivanje smicajne čvrstoće:

U cilju ispitivanja kvaliteta ostvarene lepljene veze određena je smicajna čvrstoća u sloju adheziva (σ_m) svih slepljenih uzoraka. Vrednosti sile smicajne čvrstoće merene su na elektronskoj kidalici tipa "ZWICK", (Nemačka), pri brzini porasta sile od 10 mm/min, sa tačnošću od 0,1 MPa (slika 4.28).

Pre ispitivanja uzorcima su izmerene dimenzije površine smicanja sa tačnošću od 0,01 mm (slika 4.27).



Slika 4.27. Merenje dimenzija površine smicanja



Slika 4.28. Ispitivanje jednog uzorka na kidalici "ZWICK"

Smicajna čvrstoća u sloju adheziva izračunata je na osnovu obrasca:

$$\sigma_m = \frac{F}{b \cdot l}, \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4.25)$$

gde je:

σ_m - smicajna čvrstoća u sloju adheziva, (N/mm²)

F - sila smicanja, (N)

b - širina epruvete (mm)

l - dužina po kojoj je vršeno smicanje (mm)

Posle određivanja smicajne čvrstoće obavljena je procena površine loma po drvetu ispitivanih uzoraka.

Smicajna čvrstoća u sloju adheziva, kao i površina loma po drvetu izračunata je kao aritmetička sredina svih dobijenih vrednosti.

4.5.1.6. Izbor optimalnih parametara tretmana

Izbor optimalnih parametara za svaku vrstu tretmana izvršen je na osnovu rezultata ispitivanja uticaja parametara tretmana na upijanje vode, zapreminsko bubrenje i smicajnu čvrstoću u sloju adheziva (tačka 5.2), tako da su za svaku vrstu tretmana usvojeni parametri (tačka 5.2.4) koji su doveli do:

- najvećeg poboljšanja dimenzionalne stabilnosti tretiranih uzoraka drveta,
- uz što manje upijanje vode i
- zadovoljavajuću čvrstoću u sloju adheziva.

4.5.2. KARAKTERIZACIJA JUVENILNOG I ZRELOG DRVETA POLJSKOG JASENA NAKON TRETMANA

Na osnovu analize rezultata uticaja parametara tretmana na upijanje vode, zapreminsko bubrenje i smicajnu čvrstoću u sloju adheziva, prikazanih u tački 5.2 ovog rada, izvršen je izbor optimalnih parametara tretmana za ispitivanje dejstva predtretmana na juvenilno i zrelo drvo poljskog jasena. Izabrani parametri predtretmana prikazani su u tabeli 4.10.

Tabela 4.10. Parametri tretmana izabrani za ispitivanje efekata tretmana na promene u hemijskom sastavu juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

<i>Tretman</i>	H ₂ O	CH ₃ COOH	Na ₂ CO ₃
<i>Oznaka tretmana</i>	TV	KT	AT
<i>Koncentracija rastvora</i>	/	0,06 g/g	0,03 g/g
<i>Temperatura</i>		100 °C	
<i>Vreme</i>		60 min	
<i>Hidromodul (tečnost : drvo)</i>		5:1	

4.5.2.1. Priprema iverja i rastvora za ispitivanje efekata tretmana

Priprema iverja

Zbog male količine pripremljenog materijala, naročito u slučaju juvenilnog drveta, čiji su prečnici stabala bili mali (2,35 - 7,25 cm), za ispitivanje efekata tretmana na promene u hemijskom sastavu, pomešani su, u istom masenom odnosu, uzorci sa visine od 1,3 m sva tri stabla zrelog drveta poljskog jasena. Isti postupak primenjen je i kod juvenilnog drveta. Mešanje uzoraka opravdano je, s obzirom da je statističkom analizom utvrđeno da ni kod zrelog ni kod juvenilnog drveta poljskog jasena nema značajnih razlika u sadržaju hemijskih konstituenata na istoj visini različitih stabala (*Prilog VI-3*).

Pored toga, imajući u vidu činjenicu da je udeo juvenilnog drveta u stablima zrelog drveta najmanji na visini od 1,3 m, kako je navedeno u tački 2.5, na ovaj način omogućeno je da se istaknu eventualne razlike u dejstvu tretmana na

juvenilno i zrelo drvo poljskog jasena.

Na osnovu poznatog sadržaja vlage i planirane količine materijala za pripremu smeša, izračunate su potrebne mase vazdušno suvih uzoraka sa visine od 1,3 m svakog od stabala juvenilnog i zrelog drveta koje sadrže iste mase suve supstance drveta.

Određivanje sadržaja vlage smeše iverja

Pripremljenim smešama iverja juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena određen je sadržaj vlage, na isti način kako je opisano u tački 4.3.3.2. Rezultati su prikazani u tabeli 4.11.

Tabela 4.11. Sadržaj vlage smeše juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

Uzorak	Juvenilno drvo		Zrelo drvo	
	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Srednja vrednost	Standardna devijacija
Sadržaj relativne vlage (W_{aps}), %	7,58	0,1244	6,91	0,0514
Sadržaj apsolutne vlage (W_{rel}), %	8,20	0,1456	7,42	0,0593
Koeficijent suvoće (K_s)	0,92	0,0012	0,93	0,0005

Proračun potrebnih količina vode i hemikalija

Prilikom izvođenja tretmana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena u svakom autoklavu bila je ista masa suve materije drveta (119,25 g - tabela I-1, Prilog I), i tečnosti, kako bi se zadržali isti uslovi procesa kao i prilikom ispitivanja uticaja parametara tretmana na upijanje vode, zapreminsko bubrenje i smicajnu čvrstoću u sloju adheziva.

Pored pripremljenog iverja istovremeno su tretirani uzorci za ispitivanje morfoloških promena SEM mikroskopijom pripremljeni kako je opisano u tački 4.3.2.1.

Izračunate mase vazdušno suvog iverja, kao i mase Na_2CO_3 ili CH_3COOH i vode potrebne za pravljenje rastvora za tretmane prikazane su u tabeli 4.12.

Prema rezultatima proračuna prikazanim u tabeli 4.12 pripremljeni su rastvori za tretman. Pripremljenim rastvorima izmerena je pH vrednost.

Tabela 4.12. Potrebne količine vode i hemikalija za pravljenje rastvora za tretman

Tretman	TV		AT		KT	
	H ₂ O		0,03 g/g Na ₂ CO ₃		0,06 g/g CH ₃ COOH	
Uzorak	J	Z	J	Z	J	Z
Masa suvog iverja, g	119,25	119,25	119,25	119,25	119,25	119,25
Koeficijent suvoće	0,92	0,93	0,92	0,93	0,92	0,93
Masa vazdušno suvog iverja, g	129,62	128,23	129,62	128,23	129,62	128,23
Čistoća hemikalija, %	100		99,5		99,9	
Masa hemikalija, g	/	/	3,58	3,58	7,19	7,19
Masa vode, g	585,88	587,27	582,30	583,69	578,69	580,08
Masa rastvora za tretman, g	585,88	587,27	585,88	587,27	585,88	587,27

4.5.2.2. Postupak tretiranja iverja juvenilnog i zrelog drveta

Izmerena količina iverja je kroz stakleni levak u potpunosti preneti u autoklav, a zatim je pažljivo, niz zid autoklava sipan rastvor pripremljen za tretman. Autoklav je zatvoren, postavljen na rotor uređaja (postupak rada je detaljno izložen u tački 4.5.1.3) i zabeleženo je vreme uranjanja autoklava u uljno kupatilo, prethodno termostatirano na 100 °C.

U svakom od šest ciklusa kuvanja izveden je po jedan tretman. Na ovaj način obezbeđeno je da operacije koje slede po završetku tretmana budu sprovedene na isti način kod svih uzoraka.

Po završetku tretmana i hlađenju sadržaja u autoklavu do sobne temperature u vodenom kupatilu, autoklav je otvaran i ekstrakt je pažljivo dekantovan u pehar (slika 4.29), a zatim filtriran kroz guč (poroznosti G3) u vakuum bocu. S obzirom da je drvo, kao porozan materijal, upilo deo tečnosti, zapremina prikupljenog ekstrakta posle tretmana bila je manja od zapremine rastvora pripremljenog za tretman.

**Slika 4.29.** Dekantovanje ekstrakta

Deo ekstrakta iz tretmana ostavljen je za određivanje sadržaja suve materije i merenje pH-vrednosti, a ostatak je čuvan u sterilnim bočicama u zamrzivaču za dalja ispitivanja (sadržaj monosaharida u ekstraktu primenom HPLC hromatografije).

Ispiranje i vazdušno sušenje: Po uzimanju uzorka ekstrakta, iverje je u potpunosti preneto u sito veličine otvora 0,15 mm, uz pomoć destilovane vode kojom je, tokom 30 min i ispirano od ostataka reakcione smeše (do postizanja neutralne pH vrednosti).

Ispirano i ocedeno tretirano iverje je ravnomerno, u tankom sloju raspoređeno na papir i vazdušno sušeno tokom 15 dana uz povremeno mešanje i rastresanje.

4.5.2.3. Ispitivanje hemijskog sastava i svojstava juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena nakon tretmana

4.5.2.3.1. Određivanje sadržaja vlage tretiranog iverja

Tretiranom iverju juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena određen je sadržaj vlage gravimetrijskom metodom, kako je opisano u tački 4.3.4.2 ovog rada.

4.5.2.3.2. Gubitak mase drveta tokom tretmana

Tokom tretmana dolazi do promena u hemijskom sastavu uzoraka drveta, kao što je navedeno u tački 2.7. Udeo drvene supstance koji se rastvorio u reakcionoj smeši određen je preko gubitka mase drveta (G_M), koji je izračunat prema obrascu:

$$G_M = \frac{m_{vl} \cdot K_s - m_{vl(TR)} \cdot K_{s(TR)}}{m_{vl} \cdot K_s} \cdot 100, (\%) \quad (4.26)$$

gde je:

m_{vl} – masa celokupne količine vazdušno suvog iverja pre tretmana, g;

$m_{vl(TR)}$ – masa celokupne količine vazdušno suvog iverja posle tretmana, g;

K_s – koeficijent suvoće vazdušno suvog iverja pre tretmana i

$K_{s(TR)}$ – koeficijent suvoće vazdušno suvog iverja posle tretmana.

4.5.2.3.3. Analize hemijskog sastava drveta

U cilju utvrđivanja dejstva tretmana na promene u hemijskom sastavu drveta, svim tretiranim i netretiranim uzorcima juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena određeni su:

- sadržaj ekstraktivnih materija rastvorljivih u organskim rastvaračima i u vrućoj vodi (%),
- sadržaj pepela (%),
- sadržaj celuloze (%),
- sadržaj Klasonovog lignina (%) i kiselo-rastvornog lignina (%).

metodama koje su detaljno opisane u tački 4.3.3.2 ovog rada.

U cilju procene dejstva tretmana, za svaki određivani konstituent izračunata je promena sadržaja (Pr , %) u tretiranom (S_{tr} , %) u odnosu na netretirani (S_{netr} , %) uzorak prema obrascu:

$$Pr = \frac{S_{tr} - S_{netr}}{S_{netr}} \cdot 100, \% \quad (4.27)$$

4.5.2.3.4. Analiza funkcionalnih grupa drveta primenom FTIR - spektroskopije

Priprema uzoraka: Drvni prah tretiranih i kontrolnih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena, dodatno usitnjenih mlevenjem na laboratorijskom Vajlijevom mikro-mlinu, mešan je sa sprašenim kalijum bromidom (KBr) do potpune homogenizacije smeše. Zatim su, presovanjem pod vakuumom, pripremljene KBr-pločice ispitivanih uzoraka, koje su potom postavljane u nosač IR-spektrofotometra.

Snimanje FTIR - spektara: Pripremljenim uzorcima tretiranog drveta snimljeni su apsorpcioni spektri u IR oblasti elektromagnetnog zračenja na infracrvenom spektrofotometru sa Furijeovom transformacijom (FTIR) tipa BOMEM (*Hartmann & Braun*) na *Katedri za organsku hemiju Tehnološko-metalurškog fakulteta* u Beogradu. Svi spektri su snimljeni u transmissionom modu na sobnoj temperaturi u opsegu talasnih dužina 400 - 4000 cm^{-1} , sa rezolucijom 2 cm^{-1} .

4.5.2.3.5. *Analiza ugljenohidratnih komponenti drveta primenom visoko-efikasne tečne hromatografije - HPLC*

U cilju određivanja ukupnog sadržaja monosaharida u uzorcima, kako bi se procenio uticaj primenjenih tretmana na hidrolizu ugljenohidratne komponente juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena, analizirani su hidrolizati posle potpune hidrolize netretiranih i tretiranih uzoraka 72 %-tnom (w/w) sumpornom kiselinom (H_2SO_4) iz određivanja Klasonovog lignina. Hidrolizati su analizirani primenom visoko-efikasne tečne hromatografije - HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*) u *Naučnom institutu za prehrambene tehnologije (FINS)*, u Novom Sadu.

Sadržaj monosaharida određen je tečnom hromatografijom na uređaju *Liquid Chromatograph Agilent Technologies, 1200 Series* (slika 4.30), sa univerzalnim detektorom koji meri intenzitet rasute svetlosti - *ELSD (Evaporative Light Scattering Detector)*, proizvođača *Agilent Technologies, SAD*.

Priprema uzoraka: Zbog niske pH-vrednosti uzoraka dobijenih potpunom hidrolizom juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena, koja može uticati na brzinu eluiranja, izvršena je njihova neutralizacija do pH-vrednosti 7 dodatkom rastvora NH_4OH . U odmerni sud zapremine 10 ml automatskom pipetom odmeravano je po 7 ml hidrolizata, 1000 μ l rastvora NH_4OH i acetonitril (*Sigma-Aldrich, p.a.*) do zapremine od 10 ml.

Pripremljeni rastvori filtrirani su kroz mikrofilter (*Econofilter, regen. cellulose syringe filter, 0,45 μ m, Agilent Technologies*) u ampulu (vial) (slika 4.31), koja je zatim postavljena u uređaj za doziranje HPLC sistema (autosampler).

Razdvajanje komponenata smeše izvedeno je na koloni *ZORBAX Carbohydrate* (4,6 x 250 mm, 5 μ m) (*Agilent Technologies*) na sobnoj temperaturi. Kao mobilna faza korišćena je smeša acetonitril-voda (70/30, v/v), izokratski, uz protok od 1,00 ml/min. Za pripremu mobilne faze korišćen je acetonitril HPLC čistoće i ultra čista voda. Sistem za prečišćavanje vode je: *Elix UV*, a zatim *Simplicity water purification system, Millipore* (Francuska).

Parametri ELSD bili su: temperatura: 40 ± 1 °C, pritisak azota: $4,5 \pm 0,1$ bar. U kolonu za razdvajanje hromatografa iz ampule automatski je injektovano 10 μ l pripremljenog uzorka. Analiza svakog uzorka trajala je 15 min.



Slika 4.30. HPLC sistem



Slika 4.31. Priprema uzoraka: filtriranje i uzorak pripremljen za HPLC analizu

Kvalitativna i kvantitativna analiza razdvojenih komponenata smeše je izvedena poređenjem retencionih vremena i površina pikova uzorka i standarda.

Kao standardi korišćeni su šećeri: ksiloza, manoz, glukoza i saharoza, proizvođača *Merck*, Nemačka, rastvoreni u ultračistoj vodi. Pripremljena je serija rastvora standarda u opsegu koncentracija od 0,02 do 2,00 mg/ml.

4.5.2.3.6. *Određivanje pH vrednosti drveta*

S obzirom da je usled dejstva tretmana došlo do promena u hemijskom sastavu, moglo se očekivati da je došlo do promena pH vrednosti tretiranih uzoraka drveta. Posle ekstrakcije vodom u trajanju od 30 min tretiranih i kontrolnih uzoraka drveta (0,5 - 1,0 mm), i filtriranja, izmerena je pH vrednost uzoraka dobijenih ekstrakta (Miljković i Crnogorac, 1998). Prethodno je izvršeno

baždarenje pH-metra pomoću standardnih pufernih rastvora pH = 4 i pH = 7. Merenja su obavljena na temperaturi od 20 ± 2 °C.

4.5.2.3.7. Određivanje sadržaja ravnotežne vlage drveta

Sadržaj ravnotežne vlage iverja određen je posle izlaganja iverja različitim vrednostima relativne vlažnosti okoline:

- 32 ± 3 %, koja se postiže iznad zasićenog rastvora CaCl_2 ;
- 65 ± 3 %, koja se postiže iznad zasićenog rastvora NH_4NO_3 i
- 90 ± 3 %, koja se postiže iznad zasićenog rastvora ZnSO_4 ,

pri čemu je temperatura održavana na 20 ± 1 °C. Rastvori soli napravljeni su na osnovu karakteristika soli i teorije zasićenih rastvora i rastvorljivosti (Handbook of Chemistry and Physics, 1974 ; Perry, 1969; Švab, 1964).

Iverje (frakcija 0,5 - 1,0 mm) je u petri-posudama postavljeno u eksikatoru sa zasićenim rastvorima odgovarajućih soli i klimatizovano dok im se masa nije ustalila. Potom je uzorcima određen sadržaj postignute ravnotežne vlage gravimetrijskom metodom opisanoj u tački 4.3.4.2 ovog rada.

4.5.2.3.8. Određivanje toplotne moći drveta

Toplotna moć (gornja) tretiranih i netretiranih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena određena je u kalorimetroj bombi, prema standardnoj metodologiji, u *Institutu za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu* u Novom Sadu. Uzorci iverja veličine 0,5 - 1,0 mm osušeni su do apsolutno suvog stanja, a potom su, u specijalnom uređaju od njih pripremljene tablete. Toplotna moć uzoraka određena je spaljivanjem u kalorimetroj bombi *IKA-WERKE C 200* (GmbH & Co. KG, Nemačka), prema standardnoj metodi DIN 51 708.

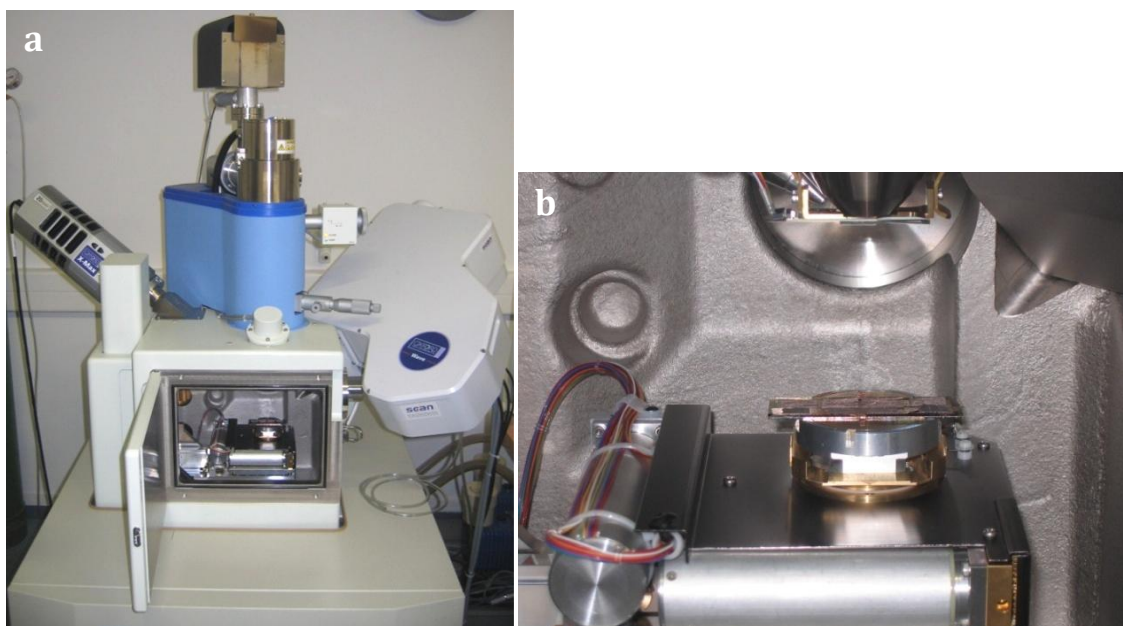
4.5.2.3.9. Analiza drveta primenom skenirajuće elektronske mikroskopije - SEM

Snimanje tretiranih i kontrolnih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta pomoću skenirajućeg elektronskog mikroskopa (*Scanning Electron Microscopy - SEM*) poslužilo je za procenu promena u anatomskoj mikrostrukturi drvnog tkiva poljskog jasena usled dejstva tretmana. Snimanja su obavljena u *Laboratoriji za*

skenirajuću elektronsku mikroskopiju na Rudarsko-geološkom falultetu u Beogradu, na SEM-mikroskopu model **JEOL JSM** (*Jeol scanning microscopy*)-**6610LV**, "JEOL", Tokio, Japan koji je prikazan na slici 4.32 a).

Pored detektora za sekundarne elektrone (SE) i povratno-rasute elektrone (BSE), ovaj mikroskop dodatno je opremljen i **energetsko - disperzivnim spektrometrom** (detektorom) - **EDS** model: *X-Max Large Area Analytical Silicon Drift* u sprezi sa *INCA Energy 350 Microanalysis System*-om, koji omogućava detekciju elemenata $Z \geq 5$. Granica detekcije je približno 0,1 - 0,2 mas %, a rezolucija 126 eV.

U komori za uzorke skenirajućeg elektronskog mikroskopa (slika 4.32 b) nalazi se nosač uzoraka koji se može pomerati duž pet osa, čime je omogućeno pomeranje uzorka napred-nazad, levo-desno, gore-dole, kao i rotiranje i nagnjanje na neku stranu. Kombinacija rotacije (*R*) i nagiba (*T-tilt*) uzorka omogućava posmatranje i analizu objekta iz različitih projekcija.

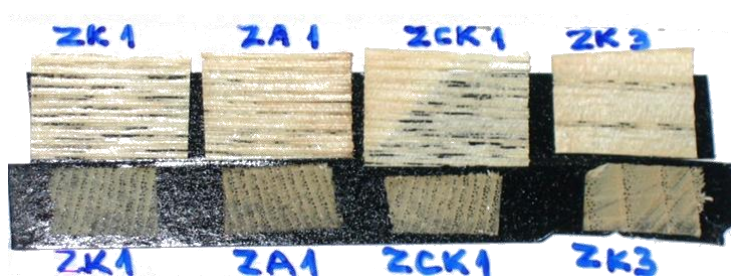


Slika 4.32. Skenirajući elektronski mikroskop - SEM model: JEOL JSM-6610LV (a) i komora za uzorke (b)

Priprema uzoraka: Prilikom izvođenja tretmana, kako je opisano u tački 4.5.2.2, zajedno sa iverjem tretirani su uzorci juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena dimenzija: 1 x 1 x 1 cm namenjeni za ispitivanje SEM- mikroskopijom,

pripremljeni kako je opisano u tački 4.3.2.1. Sa površine tretiranih, kao i odgovarajućih kontrolnih (netretiranih) uzoraka upotrebom mikrotomskog noža izrezani su preparati poprečnog i podužnog preseka drveta debljine 60 - 80 μm . Uzorci su očišćeni od čestica prašine i drugih čestica, masnoće i sl. uranjanjem u etanol u trajanju od nekoliko minuta, a zatim osušeni pod običnom lampom.

Suvi uzorci postavljeni su na stakleni nosač preko koga je zalepljena dvostruko lepljiva ugljenikova traka (provodni materijal), kako je prikazano na slici 4.33, i postavljeni u komoru za napanje (slika 4.34).



Slika 4.33. Uzorci drveta poljskog jasena pripremljeni za napanje zlatom

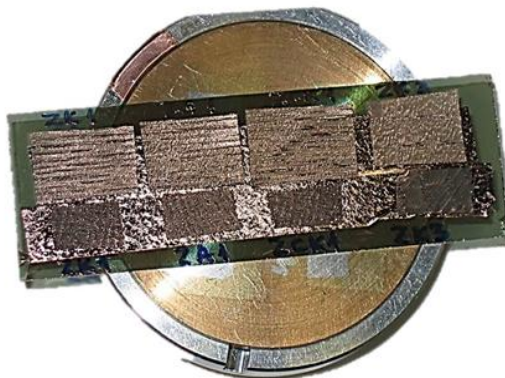
S obzirom da se analiza materijala vrši pod elektronskim snopom, potrebno je da ispitivani materijal bude elektroprovodan, kako ne bi došlo do nagomilavanja naelektrisanja i zagrevanja uzorka. Drvo, kao i većina materijala slabo provodi ili ne provodi struju, pa su uzorci prethodno napareni, tj. prekriveni tankim slojem (15 - 25 nm) zlata, kao elektroprovodnog materijala.



Slika 4.34. Uzorci drveta u komori za napanje uzoraka zlatom (Au) i ugljenikom (C): model LEICA SCD005

U uređaju za neparivanje uzoraka model **LEICA EM SCD005**, koji je prikazan na slici 4.34, uzorci su prekriveni slojem zlata debljine 10 - 15 nm.

Posle neparivanja zlatom nosač sa uzorcima (slika 4.35) postavljen je u vakuum komoru SEM mikroskopa (slika 4.32 b).



Slika 4.35. Uzorci prekriveni slojem zlata

Snimanje SEM mikroskopom: Snimanje SEM mikroskopom pripremljenih uzoraka vršeno je pri radnom naponu od 20 kV i vakuumu od 20 μ Pa. Izvor elektrona (katoda) elektronskog topa mikroskopa bilo je volframsko vlakno. Udaljenost preparata od izvora elektrona (radno rastojanje) tokom snimanja, iznosilo je oko 10 mm, a vreme akvizicije, to jest "prikupljanja podataka" iznosilo je 30 s po jednom snimku (spektru).

U SEI (*Secondary Electron Imaging*) modu (načinu rada) snimljene su digitalne fotografije pripremljenih uzoraka sa uvećanjem 50 X, 100 X, 1000 X, a po potrebi i većim, do 5000 puta. Poređenjem digitalnih fotografija tretiranih i kontrolnih uzoraka drveta analizirane su promene u mikrostrukтури drveta usled dejstva tretmana (morfološka analiza).

SEM - ED analize: Primenom EDS-a (energy dispersive spectrometry), tačnije - EDAX (energy dispersive X-ray analysis) analiziran je elementarni sastav karakterističnih detalja koji su uočeni tokom snimanja uzoraka SEM mikroskopom. Karakteristični detalji uočeni na uzorcima snimljeni su i u BEI (BSE) (*Backscattered electron imaging*) modu - načinu rada uz pomoć detektora koji sakuplja elektrone iz primarne emisije, odnosno odbijene elektrone iz snopa elektrona kojim se bombarduje preparat posle sudara sa nekim elektronom sa površine preparata.

Snimak BSE (povratno-rasutih elektrona) ili SE elektrona prenosi se na računar za EDS analize čime je omogućeno biranje mesta za analizu direktno na snimku. Analize se mogu raditi u jednoj tački, na odabranoj površini (četvorougao, ili nepravilan oblik) ili duž odabrane linije - profilna analiza. U donjem delu monitora, ispod snimka uzorka, prikazuje se EDS spektar. Apscisa na spektru predstavlja energiju rendgenskog zračenja izraženu u kiloelektronvoltima (keV), pa se na osnovu položaja pikova utvrđuje se prisustvo hemijskih elemenata, to jest dobija se kvalitativna hemijska analiza. Ordinata na spektru predstavlja intezitet nekog pika izražen u brojevima impulsa (counts), koji zavisi od koncentracije nekog elementa, što je osnova za kvantitativnu hemijsku analizu. Pored spektra, hemijski sastav proba prikazan je i tabelarno u mas %. S obzirom da su analize normalizovane na 100 % i rađene na neravnim površinama, mogu se tretirati kao semi-kvantitativne.

4.5.2.4. Analiza ekstrakta iz tretmana

Ekstrakt iz tretmana sadrži materije koje su se rastvorile, odnosno razložile iz drveta tokom tretmana. Ekstrakt iz tretmana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena prikupljen je dekantovanjem, kako je opisano u tački 4.5.2.2 ovog rada. Posle filtriranja, izvršene su sledeće analize ekstrakta:

4.5.2.4.1. Određivanje pH vrednosti ekstrakta

Posle termostatiranja (20 °C), ekstraktima iz tretmana izmerena je pH vrednost, na isti način kao prilikom merenja pH vrednosti iverja, kako je opisano u tački 4.5.2.3.6. Baždarenje pH-metra obavljeno je standardnim rastvorima pufera pH = 4, pH = 7 i pH = 9,2. Merenja su obavljena na temperaturi od 20 ± 2 °C.

4.5.2.4.2. Sadržaj suve materije ekstrakta

Pipetom je odmereno po 50 ml ekstrakta (na temperaturi od 20 ± 2 °C). Odmerena količina ekstrakta preneti je u šolju za uparavanje, čija je masa u suvom stanju prethodno izmerena. Ekstrakt je uparen u ventilacionoj sušnici na temperaturi od 103 ± 2 °C do konstantne mase, a zatim je, posle hlađenja u

eksikatoru, izmerena masa šolje sa suvim ostatkom. Masa suve materije (M_{sm}) iz 50 ml ekstrakta izračunata je prema obrascu:

$$M_{sm} = m_2 - m_1, \text{ (g/50 ml)} \quad (4.28)$$

gde je:

m_1 - masa prazne šolje za uparavanje, g

m_2 - masa šolje sa ekstraktom, g

4.5.2.4.3. Analiza funkcionalnih grupa u ekstraktu primenom FTIR spektroskopije

Na isti način kako je opisano u tački 4.5.2.3.4 pripremljene su KBr-pilule sa uparenim i sprašenim uzorcima svih šest ekstrakta dobijenih prilikom različitih tretmana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena. Spektri su snimljeni u transmisionom modu, u opsegu talasnih dužina 400 - 4000 cm^{-1} sa rezolucijom 2 cm^{-1} , na sobnoj temperaturi.

4.5.2.4.4. Analiza monosaharida u ekstraktu primenom HPLC hromatografije

U cilju procene sadržaja monosaharida, ekstrakti iz tretmana analizirani su primenom HPLC hromatografije. S obzirom da ekstrakti iz tretmana nisu imali ekstremno niske ili visoke vrednosti pH, nije vršena njihova neutralizacija, pa su pripremljeni dodatkom 200 μl acetonitrila po 1 ml ekstrakta. HPLC analiza ekstrakata obavljena je na način opisan u tački 4.5.2.3.5.

4.6. IZRADA I ISPITIVANJE LABORATORIJSKIH PLOČA IVERICA

U skladu sa planom rada izrađene su po dve jednoslojne laboratorijske ploče iverice od iverja tretiranog tokom 60 min, pri temperaturi od 100 °C: vodom, sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) i natrijum karbonatom (0,03 g/g), kao i dve ploče od netretiranog iverja (kontrolne), dimenzija 50 x 50 cm, debljine 12 mm, i gustine 600 kg/m^3 . Parametri tretmana iverja za izradu ploča iverica odabrani su na osnovu rezultata prikazanih u tački 5.2 ovog rada.

4.6.1. TRETIRANJE IVERJA ZA IZRADU PLOČA IVERICA

Određivanje sadržaja vlage iverja: Sadržaj vlage iverja poljskog jasena, pripremljenog za izradu ploča iverica, kako je opisano u tački 4.3.3.1, određen je gravimetrijskom metodom, sušenjem u laboratorijskoj sušnici na 103 ± 2 °C do konstantne mase, na način opisan u tački 4.3.3.2 ovog rada. Rezultati određivanja sadržaja vlage prikazani su u tabeli 4.13.

Tabela 4.13. Sadržaj vlage iverja poljskog jasena pripremljenog za tretiranje

	Aritmetička sredina	Standardna devijacija
Sadržaj apsolutne vlage, %	7,50	0,0211
Sadržaj relativne vlage, %	6,97	0,0183
Koeficijent suvoće	0,93	0,0002

Proračun potrebne količine iverja za tretmane: Na osnovu zadatih dimenzija i željene gustine ploča (ρ) izračunata je masa iverja potrebna za izradu jedne ploče iverice na osnovu obrazaca:

$$V = a \cdot b \cdot d, \text{ cm}^3 \quad (4.29)$$

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ g/cm}^3 \quad (4.30)$$

gde je:

a, b – dimenzije ploče, mm

d – debljina ploče, mm

V – zapremina ploče, cm^3

m – masa ploče, g

ρ – gustina ploče, g/cm^3

Pri proračunu uzet je u obzir sadržaj vlage iverja, gubitak mase prilikom tretmana, i mogući gubici prilikom ispiranja (zaostala drvena prašina). Kao faktor svih gubitaka usvojena je vrednost 1,2. Izračunate mase iverja za izradu jedne ploče iverice prikazane su u tabeli 4.14.

Tabela 4.14. Potrebne mase iverja za tretmane na osnovu zadatih dimenzija ploče

Ulazni parametri za jednu ploču		
Nominalne dimenzije ploče	Dužina	500 mm
	Širina	500 mm
	Debljina	12 mm
Nominalna gustina gotove ploče		0,600 g/cm ³
Potrebne mase iverja za tretmane		
Masa suve izrađene ploče (približna masa suvog iverja)		1800 g
Potrebna masa suvog iverja za izradu dve ploče		3600 g
Potrebna masa suvog iverja za tretmane, za izradu dve ploče uzimajući u obzir gubitke		4320 g
Potrebna masa vasdušno suvog iverja ($K_s=0,93$) za tretmane, za izradu dve ploče uzimajući u obzir gubitke		4645 g

Priprema rastvora i iverja za tretmane: Potrebne količine hemikalija i vode za pravljenje rastvora za svaki od tretmana izračunate su i prikazane u tabeli 4.15.

Tabela 4.15. Potrebne mase hemikalija i vode za tretiranje iverja za izradu ploča

Parametri tretmana:	TV	AT	KT
T = 100 °C			
t = 60 min			
Hidromodul = 1:5	H_2O	Na_2CO_3 (0,03 g/g*)	CH_3COOH (0,06 g/g*)
Koeficijent suvoće	0,93	0,93	0,93
Masa aps. suvog iverja, g	119,25	119,25	119,25
Masa vlažnog iverja, g	128,23	128,23	128,23
Čistoća hemikalija, %	100	99,9	99,5
Potrebna masa hemikalija, g	/	3,58	7,19
Potrebna masa vode, g	587,27	583,69	580,08
Ukupna masa tečnosti, g	587,27	587,27	587,27

* g CH_3COOH ili Na_2CO_3 / g suve mase drveta

Tretiranje iverja namenjenog za izradu ploča iverica obavljeno je u autoklavima. Posle hlađenja autoklava u vodenom kupatilu (slika 4.36), iverje je ispirano u posudi sopstvene izrade prilagođenoj za tu namenu (slika 4.37). Detaljan opis autoklava, kao i postupka tretmana već je izložen u tački 4.5.1.3 ovog rada.

U jednom ciklusu kuvanja istovremeno je tretirano iverje u šest autoklava, što zbirno iznosi oko 720 g suve mase iverja. U okviru svakog odabranog tretmana obavljeno je po 7 ciklusa kuvanja.



Slika 4.36. Hlađenje autoklava u vodenom kupatilu



Slika 4.37. Ispiranje iverja posle tretmana

Sušenje tretiranog iverja: Tretirano iverje vazdušno je sušeno tokom 3 nedelje, pri čemu je svakodnevno mešano i rastresano.

Određivanje sadržaja vlage: Vazdušno osušenom tretiranom, kao i netretiranom iverju poljskog jasena određen je sadržaj vlage kako je već opisano u tački 4.3.3.2 ovog rada. Rezultati određivanja sadržaja vlage prikazani su u tabeli 4.16.

Tabela 4.16. Sadržaj vlage vazdušno suvog tretiranog iverja

<i>Tretman</i>	<i>Sadržaj vlage (%)</i>	<i>Standardna devijacija</i>
<i>TV</i>	12,65	0,0460
<i>AT</i>	11,94	0,0372
<i>KT</i>	10,82	0,0087
<i>Kontr</i>	7,50	0,0211

4.6.2. IZRADA LABORATORIJSKIH PLOČA IVERICA

Eksperimentalne ploče iverice izrađene su u *Laboratoriji za drvene kompozite* na *Odseku za drvo* Biotehničkog fakulteta u Ljubljani, Slovenija (*Laboratorija za lesne kompozite, Oddelak za lesarstvo, Biotehniški fakultet, Univerza v Ljubljani*).

4.6.2.1. Priprema iverja i adheziva

Iverje: Tretirano i netretirano iverje sušeno je u etažnoj laboratorijskoj sušnici na temperaturi od 75 °C do postizanja sadržaja vlage od 3 % (slika V-1, *Prilog V*). Sadržaj vlage praćen je električnim kontaktnim vlagomerom „*BES BOLLMANN*“.

Adheziv: Za izradu laboratorijskih ploča iverica korišćen je UF adheziv **Lendur 730F** proizvođača *NAFTA-PETROCHEM* d.o.o. iz Lendave, Slovenija. Karakteristike adheziva, određene u fabrici, prikazane su u tabeli 4.17.

Tabela 4.17. Karakteristike UF adheziva Lendur L-730F (fabričke)

Svojstvo	Fabrički podaci
Sadržaj suve materije (m/m %)	65,00 *
Viskozitet 20 °C (mPa·s)	437**
pH na 20 °C	8,8
Vreme želiranja, s	35
Rastvorljivost u vodi	1:2
Sadržaj formaldehida, %	0,155
Postojanost na 20 °C, dana	21

* 1g 2h na 120 °C; ** po Hoppler-u

Proračun: Osnovni podaci (tabela 4.14) koji se odnose na gotovu ploču (dimenzije, gustina, udeo adheziva i katalizatora u ploči), kao i podaci o suvoj masi iverja, adheziva i katalizatora i zadatoj vlažnosti oblepljenog iverja (tabela 4.18) poslužili su kao ulazni podaci za recepturu, odnosno proračun potrebnih masa iverja, adheziva, katalizatora i vode za izradu jedne ploče.

Potrebne količine iverja, adheziva, katalizatora i vode za izradu jedne ploče prikazane su u tabeli 4.18.

Tabela 4.18. *Potrebne količine iverja, adheziva i rastvora katalizatora za izradu jedne ploče*

<i>Količina materijala</i>	<i>Udeo suve materije</i>	<i>Udeo u odnosu na suhu masu iverja</i>	<i>Masa u suvoj gotovoj ploči</i>	<i>Masa sa vlagom</i>	<i>Masa sa uračunatim faktorom gubitka ($f=1,1$) u oblepljivačici</i>
Iverje	97 %	100 %	1616,81 g	1665,32 g	1831,85 g
Adheziv	65 %	11 %	177,85 g	273,61 g	300,97 g
Katalizator	20 %	0,4 %	5,34 g	26,68 g	29,35 g
Voda	100 %	14 %	0 g	86,39 g	95,03 g
Ukupno	-		1800,00g	2052,00g	2162,17 g

Priprema adheziva: Sa tačnošću od 1 g odmerene su i pomešane potrebne količine: adheziva, vodenog rastvora amonijum-sulfata i vode, prikazane u tabeli 4.18. Katalizator je dodat u količini od 3 % u odnosu na suhu materiju adheziva, u obliku 20%-tnog (w/w) vodenog rastvora amonijum sulfata $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, *Sigma-Aldrich, p.a.*). Smeša je mešana oko 5 min električnom mešalicom pri brzini obrtanja od 1160 min^{-1} (slike V-3 - V-5, *Prilog V*).

4.6.2.2. Oblepljivanje iverja

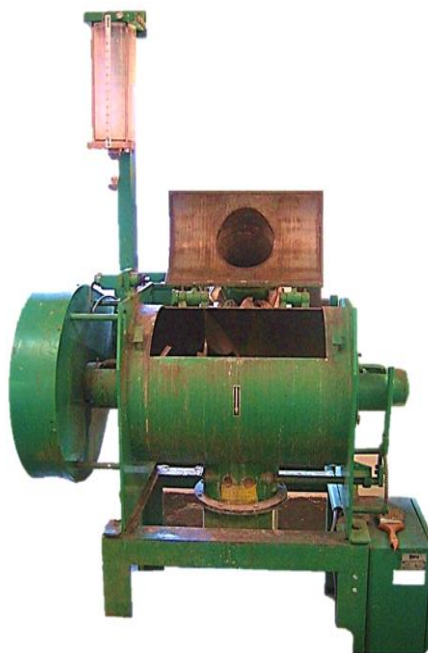
Oblepljivanje iverja obavlja se u uređajima za oblepljivanje (slika 4.38), koji poseduju deo za atomizovanje adheziva u aerosol i njegovo raspršivanje na iverje, kao i bubanj za mešanje iverja, u kome se vrši dodatno raspoređivanje adheziva prenošenjem sa ivera na iver.

Istovremeno je oblepljivano iverje za izradu dve ploče (tretirano istim tipom tretmana). Prema podacima proračuna (tabela 4.18) izmerena je potrebna masa iverja sadržaja vlage 3 % (slika V-2, *Prilog V*) potrebna za izradu dve ploče (3664 g). Odmerena količina iverja nasuta je u bubanj laboratorijske oblepljivačice (slika V-7, *Prilog V*). Poklopac je zatim spušten i pričvršćen.

Izmerena masa pripremljenog rastvora adheziva potrebna za izradu dve ploče (851 g) sipana je u menzuru za adheziv (slika V-6, *Prilog V*).

Nakon toga uključen je motor koji pokreće rotor oblepljivačice sa lopaticama za mešanje brzinom od 300 min^{-1} .

Tokom prva tri minuta oblepljivanja kroz diznu je doziran adheziv i raspršivan po iverju (slika V-8, *Prilog V*). Pritisak komprimovanog vazduha kroz diznu iznosio je 3,5 bar. Po utrošku adheziva mešanje je nastavljeno još 2 minuta, te je ukupno vreme oblepljivanja iznosilo 5 min.



Slika 4.38. Uređaj za oblepljivanje iverja

4.6.2.3. Formiranje tepiha (natresanje) oblepljenog iverja

Pre natresanja iverja pripremljen je kalup za formatiranje željenih dimenzija. Na podložni lim postavljen je papir za pečenje (da bi se sprečilo lepljenje iverja za lim), a zatim okvir za formatiranje dimenzija $500 \times 500 \text{ mm}$ (slika V-11, *Prilog V*). Po pripremi kalupa ručno je natresana odmerena količina oblepljenog iverja, vodeći računa da natresanje bude ravnomerno (slika V-12, *Prilog V*). Prvo su natresani uglovi i ivice kalupa, a zatim, što ravnomernije, svuda po celoj površini, kako bi gustina buduće ploče bila što ravnomernija. Po utrošku oblepljenog iverja obavljeno je poravnavanje tepiha češljem napravljenim za tu svrhu (slika V-13, *Prilog V*), dok se debljina tepiha iverja nije ujednačila po celoj površini. Po završetku poravnavanja vršeno je ručno predpresovanje pritiskanjem iverja drvenom pločom dimenzija $200 \times 200 \text{ mm}$ (slika V-14, *Prilog V*). Posle ručnog predpresovanja pažljivo je uklonjen okvir za formatiranje, na gornju površinu tepiha iverja postavljen je papir za pečenje, a preko njega prekrivni lim (slika V-15 - V-16, *Prilog V*).

Pripremljen tepih pažljivo je unet u vrelu presu (slika V-17, *Prilog V*), a zatim je, na isti način, pripreman tepih iverja za sledeću ploču.

4.6.2.4. Vrelo presovanje

Eksperimentalne ploče iverice izrađene su u laboratorijskoj hidrauličnoj presi sa pokretnom donjom pločom (slika 4.39). U tela ploča ugrađeni su grejači, povezani sa termostatom i termometrom, radi kontrole i održavanja stalne temperature grejnih ploča. Manometar sa presostatom obezbeđuje održavanje stalnog hidrauličnog pritiska na klipnu prese.

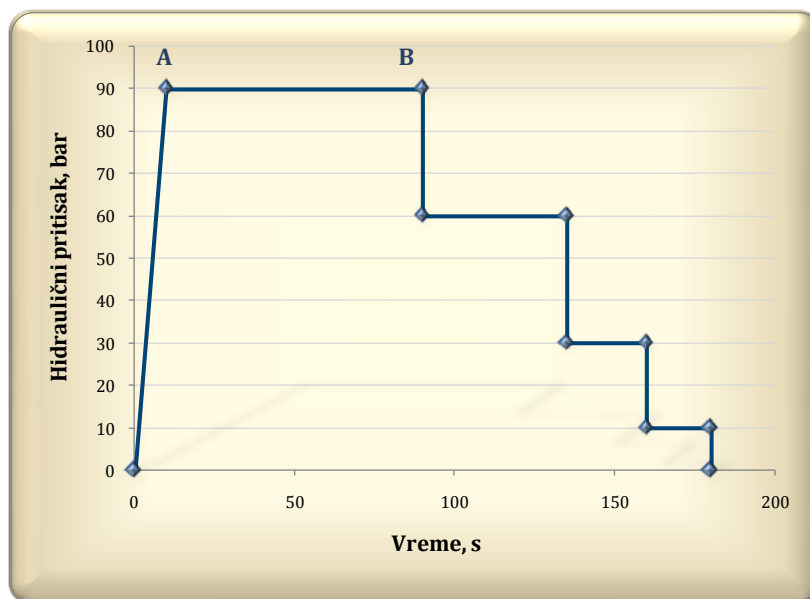
Pripremljeni tepih od oblepljenog iverja formiran u natresnom ramu postavljen je na donju grejnu ploču prethodno zagrejane prese. Na donju etažu prese postavljena je distanc lajsna nominalne debljine ploče od 12 mm (slika V-18, *Prilog V*), a zatim je presa zatvorena tokom 10 s (slika V-19, *Prilog V*). Temperatura gornje i donje etaže podešena je na 182 °C. Vreme presovanja pri hidrauličnom pritisku klipa prese od 90 bara (9 N/mm²) iznosilo je 3 min, tokom kog je temperatura u presi varirala u intervalu od 178 do 182 °C. Specifični pritisak presovanja iznosio je 3 N/mm².



Slika 4.39. Laboratorijska presa

Na slici 4.40 prikazan je režim presovanja izrađenih ploča iverica. Tokom prvih 10 sekundi presa se zatvara, i tepih se sabija dok se ne postigne maksimalan radni pritisak prese (tačka A). Od tačke A do tačke B, pri maksimalnom pritisku presovanja dolazi do konsolidovanja tepiha iverja i potpunog očvršćavanja adheziva procesima reakcija polikondenzacije.

Postepeno snižavanje pritiska pri kraju vrelog presovanja ima za cilj da ublaži dejstvo napona vodene pare u sredini ploče, koja se stvara tokom presovanja. Na taj način pospešuje se horizontalni transfer vodene pare ka ivicama ploče bez narušavanja njene strukture, čime se smanjuje rizik od pojave delaminacije u gotovoj (ispresovanoj) ploči nakon otvaranja prese (Irle i Barbu, 2010).



Slika 4.40. Režim presovanja

Po isteku 3 min presa se otvara, gotova ploča se vadi iz prese zajedno sa podložnim limovima, sa nje se skida papir za pečenje, potom se ploča obeležava i odlaže da se ohladi do sobne temperature (slika V-21 i V-22, Prilog V).

Posle hlađenja svakoj ploči izmerana je masa sa tačnošću od 1 g (slika V-23, Prilog V), i debljina na 8 mesta (uglovi i sredina svake od stranica) mikrometrom sa tačnošću od 0,01 mm. Rezultati ovih merenja prikazani su u tabeli 4.19.

Tabela 4.19. Karakteristike ploča neposredno nakon izrade

Oznaka ploče	Tretman vodom		Tretman sirćetnom kiselinom		Tretman natrijum karbonatom		Kontrolna	
	1/1	1/2	2/1	2/2	3/1	3/2	4/1	4/2
	TV		KT		AT		Kontr	
Masa (m_{pl}), kg	1,893	1,890	1,875	1,886	1,860	1,875	1,897	1,904
Debljina, mm	13,77	12,81	12,93	12,81	14,26	15,18	12,11	12,12
Standardna devijacija	0,3967	0,1632	0,1590	0,4053	1,0222	0,1192	0,1542	0,1477
Gustina, g/cm ³	0,550	0,590	0,580	0,589	0,522	0,494	0,627	0,628
	0,570		0,584		0,508		0,628	
Sadržaj vlage, %	5,17	5,00	4,17	4,78	3,33	4,17	5,39	5,78
$((m_{pl}-1,8^*) \cdot 100/1,8)$	5,08		4,48		3,75		5,58	

*masa suve materije po ploči (iverje + adheziv + katalizator) - tabela 4.18.

Izrađene ploče pripremljene su za ispitivanje fizičkih i mehaničkih svojstava na Šumarskom fakultetu u Beogradu.

4.6.3. ISPITIVANJE SVOJTAVA LABORATORIJSKIH PLOČA IVERICA

Da bi se ustanovio uticaj dejstva različitih tretmana na kvalitet izrađenih ploča iverica, ispitana su sledeća fizička i mehanička svojstva ploča:

- Debljina ploča
- Gustina (zapreminska masa) ploča
- Sadržaj vlage ploča posle izlaganja različitim sadržajima relativne vlažnosti vazduha (32, 65, 90 %)
- Debljinsko bubrenje posle izlaganja različitim sadržajima relativne vlažnosti vazduha (32, 65, 90 %)
- Savojna čvrstoća i modul elastičnosti pri savijanju
- Zatezna čvrstoća upravno na površinu ploče (raslojavanje)

4.6.3.1. Merenje debljine

Izrađenim laboratorijskim pločama, posle klimatizacije (65 ± 5 %, 20 ± 2 °C), izmerena je debljina na osam mernih mesta (uglovi i sredina svake od stranica) pomoću mikrometra sa kružnim mernim površinama sa tačnošću od 0,01 mm, u skladu sa standardom SRPS EN 324-1:2010. Debljina svake ploče, izračunata kao srednja vrednost ovih merenja, prikazana je u tabeli 4.20.

Tabela 4.20. Karakteristike ploča nakon klimatizacije (65 ± 5 %, 20 ± 2 °C)

Oznaka ploče	Tretman vodom		Tretman sirćetnom kiselinom		Tretman natrijum karbonatom		Kontrolna	
	1/1	1/2	2/1	2/2	3/1	3/2	4/1	4/2
	TV		KT		AT		Kontr	
Debljina ploče, mm	13,65	12,90	13,28	13,11	14,11	14,86	12,46	12,58
Standardna devijacija	0,2673	0,1166	0,1205	0,0901	0,3921	0,7145	0,1091	0,1705

4.6.3.2. Izrezivanje i priprema epruveta za ispitivanje

U cilju dobijanja pouzdanih rezultata, po svakom svojstvu ispitan je dovoljan broj epruveta izrezanih iz dve ploče izrađene od iverja tretiranog istim tretmanom. Broj epruveta koji je propisan standardom SRPS EN 326-1:2010 prilagođen je dimenzijama ploča (500 x 500 mm), pa je u većini slučajeva njihov broj bio veći od zahteva standarda (tabela 4.21). Prilikom pravljenja plana rezanja, u skladu sa standardom, vodilo se računa da se za ispitivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti pri savijanju iz svake ploče izrežu po dve grupe epruveta čije su uzdužne ose međusobno upravne, kao i da epruvete za ispitivanje ostalih svojstava budu ravnomerno raspoređene po celoj ploči.

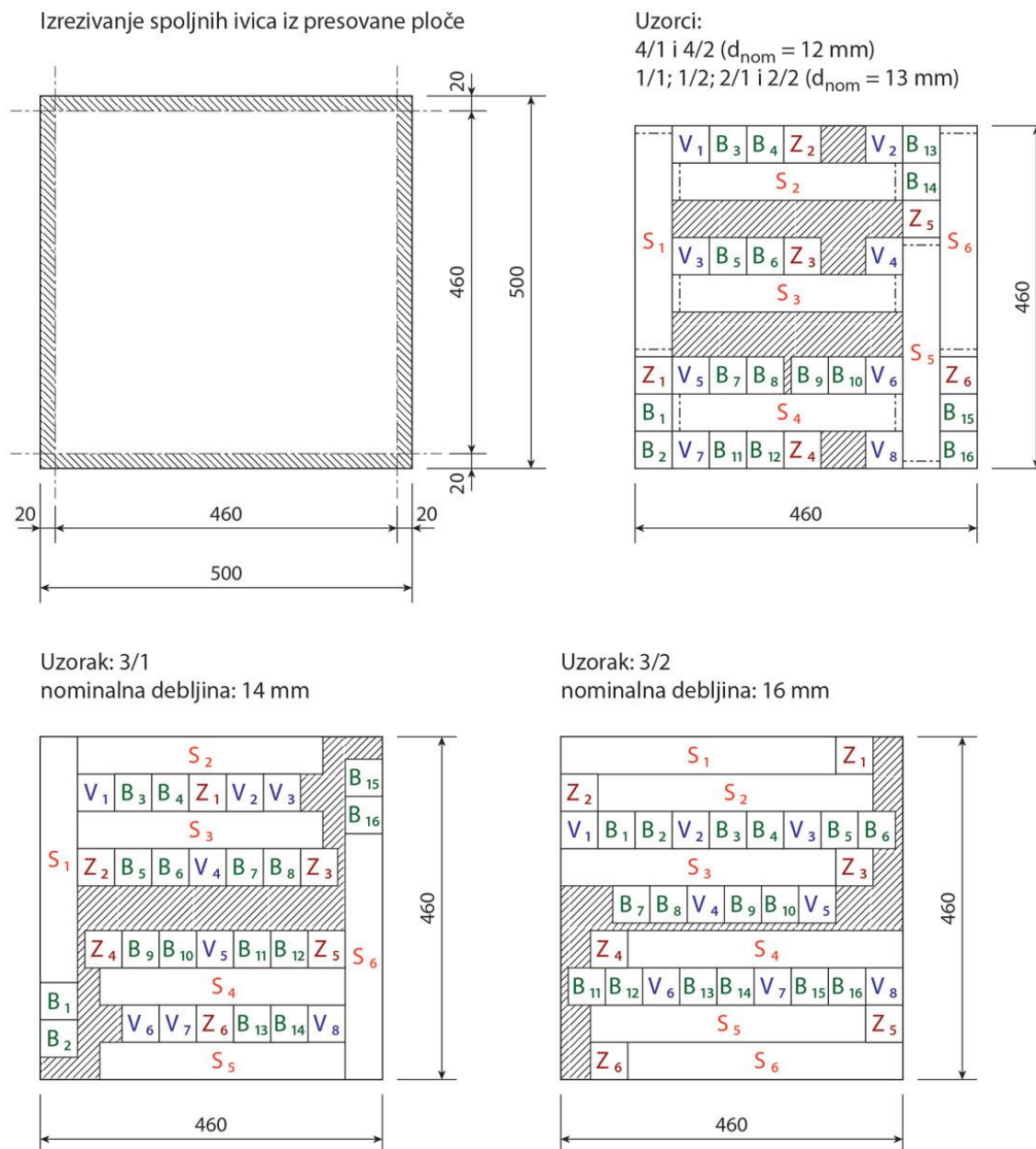
Tabela 4.21. Broj epruveta za ispitivanje izrezanih iz jedne ploče

<i>Ispitivano svojstvo</i>	<i>Broj epruveta iz jedne ploče</i>
<i>Sadržaj vlage i gustina ploče</i>	8
<i>Savojna čvrstoća i modul elastičnosti</i>	6
<i>Zatezna čvrstoća</i>	8
<i>Debljinsko bubrenje pri promeni relativne vlažnosti okoline</i>	16

Plan rezanja napravljen je za pojedinačne ploče, zbog značajnih razlika u debljini ploča nakon klimatizacije (tabela 4.20), koje su nastale kao posledica povratno-opružnog efekta usled uticaja tretmana. Plan rezanja izrađenih ploča dat je na slici 4.41.

Klimatizacija uzoraka: Sve epruvete za određivanje svojstava ploča iverica su, pre ispitivanja, klimatizovane u hermetički zatvorenim posudama, pri relativnoj vlažnosti vazduha od $65 \pm 5 \%$ i temperaturi od $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, do postizanja konstantne mase.

Merenje dimenzija epruveta: U skladu sa standardom SRPS EN 325:2010 posle klimatizacije uzorcima dimenzija 50 x 50 mm izmerena je debljina na preseku dijagonala pomoću mikrometra sa paralelnim kružnim mernim površinama, sa tačnošću od 0,01 mm. Širina i dužina uzoraka merene su pod uglom od 45° u odnosu na površinu uzorka pomičnim kljunastim merilom sa tačnošću od 0,01 mm.



Legenda:

S_{1-6} - savojna čvrstoća i modul elastičnosti ($l = 20 \cdot d + 50$, mm);

Z_{1-6} - zatezna čvrstoća upravno na ravan ploče (raslojavanje);

V_{1-8} - sadržaj vlage i gustina ploče;

B_{1-16} - debljinsko bubrenje pri promeni relativne vlažnosti vazduha.

Slika 4.41. Plan rezanja ploča iverica

4.6.3.3. Određivanje sadržaja vlage

Sadržaj vlage određen je posle klimatizacije uzoraka do normalne vlažnosti ($65 \pm 5 \%$, $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$), prema standardu SRPS EN 322:2010.

Svakoj epruveti, posle klimatizacije, izmerena je masa sa tačnošću od 0,01 g, a zatim i posle sušenja u ventilacionoj sušnici (103 ± 2 °C) do postizanja konstantne mase (kada dva uzastopna merenja mase u intervalu od šest sati ne pokazuju razliku veću od 1 %). Sadržaj vlage (W) svake klimatizovane epruvete izračunat je po obrascu:

$$W = \frac{m_h - m_0}{m_0} \cdot 100, \% \quad (4.31)$$

gde su:

m_h - masa klimatizovane epruvete (g);

m_0 - masa epruvete posle sušenja (g).

Normalna vlažnost ploče izračunata je kao srednja vrednost sadržaja vlage svih epruveta izrezanih iz iste ploče.

4.6.3.4. Određivanje gustine (zapreminske mase)

Određivanje zapreminske mase (gustine) izvršeno je prema standardnoj metodi SRPS EN 323:2010. Posle klimatizacije izmerene su masa i dimenzije standardnih epruveta sa tačnošću od 0,01 g, odnosno 0,01 mm. Normalna zapreminska masa (ρ_{vn}) svake epruvete izračunata je prema obrascu:

$$\rho_{vn} = \frac{m_k \cdot 10^3}{V_k}, \text{ g/cm}^3 \quad (4.32)$$

gde su:

m_v - masa klimatizovane epruvete, g;

V_v - zapremina klimatizovane epruvete, cm^3 .

Zapreminska masa ploče izračunata je kao aritmetička sredina zapreminskih masa svih ispitivanih epruveta.

4.6.3.5. Određivanje savojne čvrstoće

Određivanje savojne čvrstoće služi za ocenu upotrebljivosti ploča u određenim uslovima eksploatacije. Savojna čvrstoća je izračunato naprezanje koje

proizvodi maksimalni savojni momenat pre nastupanja loma u odnosu na prvobitni presek uzorka, pri dejstvu sile na savijanje upravno na površinu ploča na bazi drveta.

Savojna čvrstoća određena je u skladu sa standardom SRPS EN 310:2010, primenom opterećenja na sredini epruvete oslonjene na dva oslonca. Standardne dimenzije epruveta za ispitivanje savojne čvrstoće izračunate su na osnovu obrazaca:

$$\text{Širina epruvete: } b = 50 \pm 1 \text{ (mm);} \quad (4.33)$$

$$\text{Dužina epruvete: } l = l_e + 50 \text{ (mm);} \quad (4.34)$$

$$\text{Raspon oslonaca: } l_e = 20 \cdot d, \text{ (mm)} \quad (4.35)$$

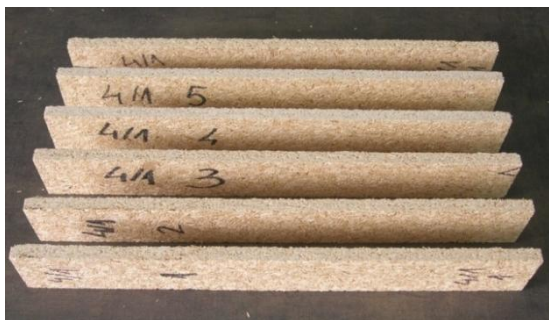
gde je:

d - debljina epruvete, mm

Dužina epruveta za određivanje savojne čvrstoće izračunata je, na osnovu prethodno određenih debljina ploča (tabela 4.20), pre pravljenja plana rezanja.

Određivanje savojne čvrstoće laboratorijskih ploča iverica izvršeno je u *Laboratoriji za kontrolu kvaliteta fabrike "Kronospan"* u Lapovu, na univerzalnoj hidrauličnoj mašini za ispitivanje mehaničkih svojstava *IMAL IB 600 (Modena, Italija)* (slika 4.44). Pre ispitivanja, klimatizovanim epruvetama (slika 4.42) izmerene su dimenzije. Dužina je merena mernom trakom sa tačnošću od 1 mm, a širina i debljina na polovini dužine uzorka merene su automatskim meračem dimenzija *IMAL (Modena, Italija)*, sa tačnošću od 0,01 mm (slika 4.43).

Epruvete su širom stranom postavljane na dva paralelna cilindrična oslonca, tako da im je podužna osa upravna na osu oslonca, a cilindar preko koga deluje sila iznad sredine epruvete (slika 4.44). Razmak između centara oslonaca podešen je da iznosi 20 nominalnih vrednosti debljine epruvete (ploče). Polovina od ukupnog broja epruveta rezanih u jednom pravcu ploče postavljana je na oslonce "licem" na dole, a druga polovina "licem" na gore. Određivanje savojne čvrstoće vršeno je pri brzini mernog stuba (dejstva sile) od 10 mm/min, do momenta loma uzorka.



Slika 4.42. Uzorci za određivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti pri savijanju



Slika 4.43. Merenje debljine uzorka automatskim meračem dimenzija IMAL



Slika 4.44. Određivanje savojne čvrstoće ploča

Čvrstoća na savijanje (f_m) izračunata je iz odnosa savojnog momenta (M) pri maksimalnom opterećenju (F_{max} , N) u odnosu na prvobitni presek epruvete prema obrascu:

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_e}{2 \cdot b \cdot d^2}, \text{ N/mm}^2 \quad (4.36)$$

gde su:

l_e - razmak oslonaca, mm;

d - debljina epruvete, mm;

b - širina epruvete, mm.

Savojna čvrstoća ploče izračunata je kao aritmetička sredina svih izmerenih vrednosti.

Određivanje modula elastičnosti pri savijanju: Modul elastičnosti savojne čvrstoće je odnos normalnog napona u poprečnom preseku epruvete u području proporcionalnosti i odgovarajućeg jediničnog ugiba. Prilikom određivanja savojne čvrstoće epruveta, pored sile, meren je i ugib na sredini epruvete sa tačnošću od 0,01 mm, te je istovremeno, i na isti način kako je opisano u postupku određivanja savojne čvrstoće određen i modul elastičnosti pri savijanju.

Modul elastičnosti savojne čvrstoće (f_m) izračunat je iz nagiba linearnog dela krive opterećenje-ugib, prema obrascu:

$$f_m = \frac{l_e^3 \cdot (F_2 - F_1)}{4 \cdot b \cdot d^3 \cdot (a_2 - a_1)}, \text{ N/mm}^2 \quad (4.37)$$

gde su:

$F_2 - F_1$ - porast opterećenja na pravolinijskom delu krive zavisnosti ugiba od opterećenja, izražen u njutnima (N). F_1 treba da iznosi približno 10 %, a F_2 40 % od maksimalnog opterećenja;

$a_2 - a_1$ - povećanje ugiba na sredini epruvete (što odgovara razlici $F_2 - F_1$).

Modul elastičnosti savojne čvrstoće izračunat je kao aritmetička sredina svih izmerenih vrednosti.

4.6.3.6. Određivanje zatezne čvrstoće upravno na površinu ploče (raslojavanje)

Zatezna čvrstoća je mehaničko svojstvo kojim se vrši procena unutrašnje strukture ploče, odnosno kvaliteta središnjeg dela ploče. Čak i kod jednoslojnih ploča, zbog uslova presovanja, spoljni slojevi su sabijeniji (veće gustine) od unutrašnjih, usled čega, pri dejstvu sile na zatezanje upravno na površinu ploče dolazi do raslojavanja i destrukcije u sloju bliže geometrijskoj sredini ploče.

Zatezna čvrstoća upravno na ravan ploče (raslojavanja) određuje se kao maksimalno opterećenje u odnosu na površinu epruvete pri dejstvu ravnomerno raspoređene zatezne sile.

Određivanje zatezne čvrstoće izrađenih ploča iverica izvršeno je prema propisima standardne metode SRPS EN 319:2010. Pre određivanja zatezne čvrstoće, klimatizovanim epruvetama kvadratnog oblika, dužine stranica

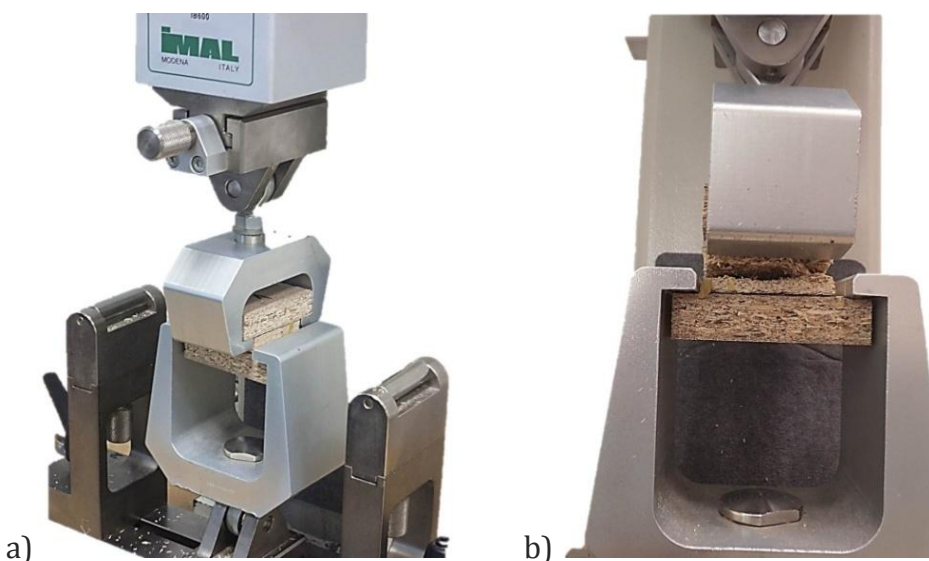
50 ± 1mm izmerene su masa sa tačnošću od 0,01 g i dimenzije. Dužina, širina i debljina na polovini dužine uzorka, izmerene su u skladu sa SRPS EN 325 standardu, automatskim meračem dimenzija IMAL, Modena, Italija, sa tačnošću od 0,01 mm (slika 4.45).

Uzorci su zatim zalepljeni između dve prizmatične obloge od sirove iverice koje su obeležene na isti način kao i uzorci. Za lepljenje je primenjen takozvan "hot-melt" adheziv *Jet Melt 3762 BRQ* na bazi termoplastičnih smola, koji se pokazao pogodan zbog brzog očvršćevanja.



Slika 4.45. Merenje dimenzija ispitnih epruveta automatskim meračem dimenzija IMAL

Prizmatične obloge, između kojih se nalazi uzorak, posle hlađenja lepka postavljene su u hvatače mašine (slika 4.46 a). Određivanje **zatezne čvrstoće** laboratorijskih ploča iverica obavljeno je u *Laboratoriji za kontrolu kvaliteta* fabrike "Kronospan" u Lapovu, na univerzalnoj hidrauličnoj mašini za ispitivanje mehaničkih svojstava *IMAL IB 600* (Modena, Italija) pri brzini mernog stuba (ravnomernom porastu dejstva sile) od 1mm/min. Lom epruvete (raslojavanje) mora da nastupi u vremenu od oko 1 min od početka dejstva sile (slika 4.46 b).



Slika 4.46. Određivanje zatezne čvrstoće (a); Raslojavanje uzorka (b)



Slika 4.47. Izgled loma uzorka

Zatezna čvrstoća svim ispitanim epruvetama izračunata je prema obrascu:

$$f_{t\perp} = \frac{F_{max}}{a \cdot b}, \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4.38)$$

gde su:

F_{max} - maksimalno opterećenje (opterećenje loma), N;

a, b - dužina i širina epruvete, mm.

Zatezna čvrstoća svake ploče izračunata je kao aritmetička sredina izmerenih vrednosti svih ispitnih epruveta.

4.6.3.7. Određivanje sadržaja ravnotežne vlage i promena debljine ploča posle izlaganja različitim vlažnostima okoline

Promena debljine epruveta nakon njihovog izlaganja različitim nivoima relativne vlažnosti okoline određene je prema standardu SRPS EN 318:2010.

Ispitivanje je vršeno izlaganjem klimatizovanih uzoraka dimenzija 50 x 50 mm u hermetički zatvorenom sudu (eksikatoru) na temperaturi od 20 ± 1 °C različitim nivoima relativne vazdušne vlage, koji su postignuti zasićenim rastvorima soli. Epruvete su izlagane relativnoj vlažnosti vazduha od 32 ± 3 %, zatim vlažnost od 65 ± 3 % i na kraju relativnoj vlažnosti vazduha 90 ± 3 %. Uzorci su postavljeni vertikalno na mrežu koja se nalazi 50 ± 2 mm iznad površine rastvora soli, tako da se međusobno ne dodiruju. Smatra se da je konstantna masa

postignuta kada se rezultati dva uzastopna merenja u intervalu od 24 h ne razlikuju više od 0,1 % od mase uzorka.

Tokom klimatizacije temperatura i relativna vlažnost u vazдушnom prostoru eksikatora praćene su digitalnim termo-vlagomerom sa mogućnošću memorisanja podataka. Po dostizanju konstantne mase posle svakog ciklusa klimatizacije, epruvetama su izmerene masa i debljina sa tačnošću od 0,01 g, odnosno 0,01 mm.

Posle sva tri ciklusa klimatizacije, epruvete su osušene do konstantne mase u ventilacionoj sušnici. Posle hlađenja svim epruvetama je izmerena masa i debljina u apsolutno suvom stanju. Sadržaj vlage epruveta pri svakoj od tri primenjene vlažnosti okoline određen je prema standardnoj metodi SRPS EN 322:2010.

Takođe, svakoj epruveti izračunata je promena debljine posle izlaganja različitim relativnim vlažnostima okoline (w_1, w_2), kao i promena debljine posle sušenja od date relativne vlažnosti okoline do suvog stanja, prema obrascima:

$$D_{w_1-w_2} = \frac{d_{w_2}-d_{w_1}}{d_{w_1}} \cdot 100, \% \quad (4.39)$$

$$D_{w-w_0} = \frac{d_w-d_0}{d_0} \cdot 100, \% \quad (4.40)$$

gde je:

$D_{w_1} - D_{w_2}$ - promena debljine epruvete prilikom promene relativne vlažnosti okoline, %;

$D_w - D_{w_0}$ - promena debljine epruvete posle sušenja od date relativne vlažnosti okoline do suvog stanja, %;

d_w, d_{w_1}, d_{w_2} - debljine epruvete pri datoj relativnoj vlažnosti okoline, mm

d_{w_0} - debljina epruvete u apsolutno suvom stanju, mm.

Sadržaj vlage i promena debljine ploče izračunate su kao aritmetička sredina svih dobijenih vrednosti.

5. REZULTATI I DISKUSIJA

Tokom višegodišnjeg eksperimentalnog rada koji je zahtevao izuzetnu organizaciju i koncentraciju, kako bi bili obezbeđeni isti uslovi kod svakog ponovljenog ispitivanja, što je bilo neophodno da bi pouzdanost rezultata merenja bila zadovoljavajuća, a dobijeni rezultati uporedivi, podaci merenja sistematizovano su unošeni u zapisnike koji se nalaze u arhivi istraživanja.

Svi rezultati merenja uneti su u računar i obrađeni uz pomoć programskih paketa *Excel* i *Word*. U daljem tekstu rezultati su prikazani tabelarno ili grafički, u zavisnosti od toga koji je vid bio pogodniji za objašnjenje i analizu.

Statistička obrada rezultata ispitivanja

Dobijeni rezultati ispitivanih svojstava statistički su obrađeni. Vrednosti ponovljenih analiza svakog pojedinačnog ispitivanja unutar svake grupe uzoraka analizirane su primenom *deskriptivne statistike*

Za međusobno upoređivanje i ocenu razlika između srednjih vrednosti dobijenih rezultata između različitih grupa uzoraka, bilo da je uticajni faktor položaj na stablu, starost stabla, ili se ispitivao uticaj primenjenog tretmana, primenjene su metode *komparativne statistike*, na osnovu analize varijansi primenom *jednofaktorske ANOVE*.

Analiza dobijenih rezultata ispitivanja drveta poljskog jasena opisanim metodama *deskriptivne* i *komparativne statistike* izvršena je pomoću *Excel* programskog dodatka *Analysis Tool Pak*. Rezultati statističke obrade podataka prikazani su u *Prilogu VI*.

5.1. KARAKTERIZACIJA JUVENILNOG I ZRELOG DRVETA POLJSKOG JASENA

U daljem tekstu prikazani su rezultati određivanja fizičkih, anatomskih i hemijskih svojstava juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena na različitim položajima po visini na stablu.

5.1.1. GUSTINA, POROZNOST I SADRŽAJ RAVNOTEŽNE VLAGE DRVETA POLJSKOG JASENA

Gustina pri ravnotežnoj vlazi (65 %, 20 °C) i u apsolutno suvom stanju, zapreminska poroznost i ravnotežna vlaga uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena sa visine na stablu od 1,3 m određeni su prema metodama navedenim u tački 4.3.1.2. Izračunate vrednosti navedenih svojstava prikazane su u tabeli 5.1. Statistička analiza dobijenih rezultata prikazana je u *Prilogu VI - 1*.

Tabela 5.1. Gustina u apsolutno suvom stanju (ρ_0), i pri ravnotežnoj vlazi ($\rho_{w=65\%}$), zapreminska poroznost (P_z) i ravnotežna vlaga ($W_{rav=65\%}$) juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena na visini 1,3 m

	Zrelo drvo	Juvenilno drvo
$\rho_{w=65\%}, \text{g/cm}^3$	0,730	0,712
$\rho_0, \text{g/cm}^3$	0,700	0,676
$P_z, \%$	53,36	54,95
$W_{rav=65\%}, \%$	10,32	10,92

Iz tabele 5.1 može se videti da, kako je i očekivano, u poređenju sa juvenilnim, zrelo drvo jasena ima nešto veću gustinu koja, u apsolutno suvom stanju, iznosi 0,700 g/cm³. Istovremeno, zapreminska poroznost, sa vrednošću od 53,36 %, kao i ravnotežna vlaga, čija je vrednost 10,32 %, nešto su nižih vrednosti u poređenju sa istim vrednostima kod juvenilnog drveta. Razlike u vrednostima navedenih svojstava juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena statistički su značajne (*Prilog VI - 1*).

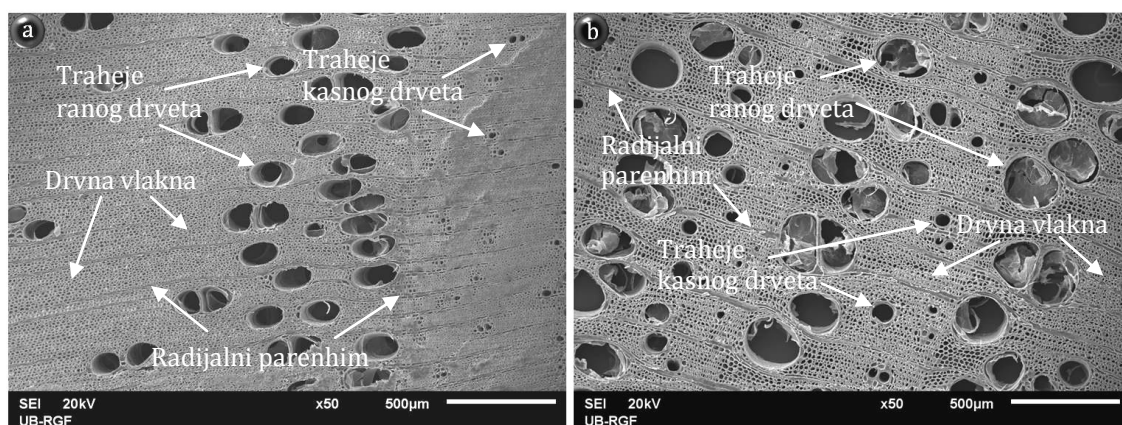
Vrednost gustine od 0,700 g/cm³ dobijena u ovom radu nešto je veća od vrednosti od 0,65 g/cm³, koju za poljski jasen, u apsolutno suvom stanju, navodi Ugrenović (1950), ali se nalazi u okviru vrednosti gustina poljskog jasena sa

plantaža u Turskoj, koje se kreću u opsegu od 0,634 do 0,704 g/cm³ (Güler et al., 2009). Poroznost ovih uzoraka iznosi 0,530 - 0,577 % (Güler et al., 2009), što je u skladu sa vrednošću dobijenom u ovom radu od 53,36 %, dok je vrednost od 58,5 %, koju navode Šoškić i Popović (2002), nešto veća.

5.1.2. MIKROSKOPSKA GRAĐA DRVETA POLJSKOG JASENA

Posmatranjem i analizom tri karakteristična preseka juvenilnog i zrelog drveta primenom SEM mikroskopije (tačka 4.5.2.3.9), kao i pripremljenih macerata (tačka 4.3.2.1), dolazi se do podataka o vrsti, rasporedu i međusobnom odnosu anatomskih elemenata građe drveta poljskog jasena.

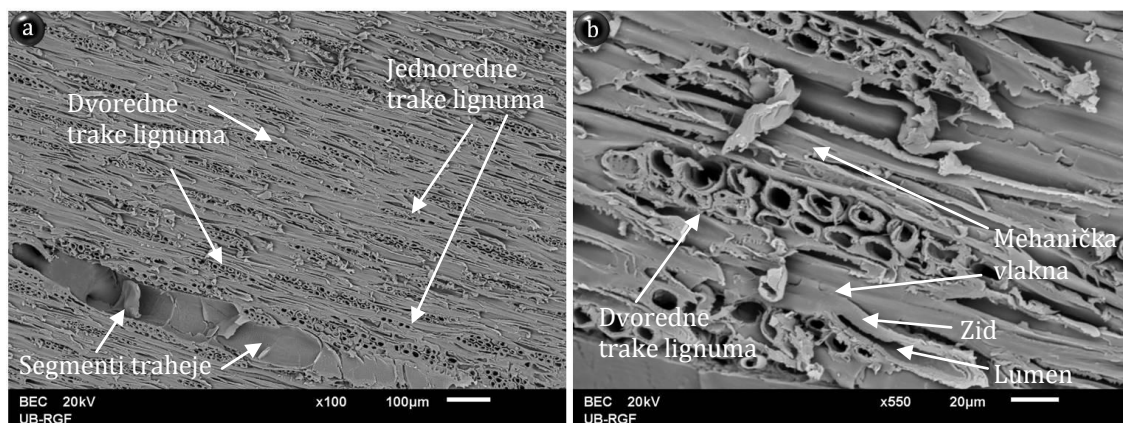
Poprečni presek: Poljski jasen spada u krupno prstenasto-porozne vrste, sa jasno uočljivim prstenovima prirasta. Pored markantnih traheja ranog drveta, na poprečnom preseku drveta poljskog jasena (slika 5.1 a i b) vide se i traheje kasnog drveta, užih lumena, trake drveta (radijalni parenhim), drvena vlakna, a pri većem uvećanju jasno su uočljive ćelije parenhima koje okružuju traheje (slika 5.4).



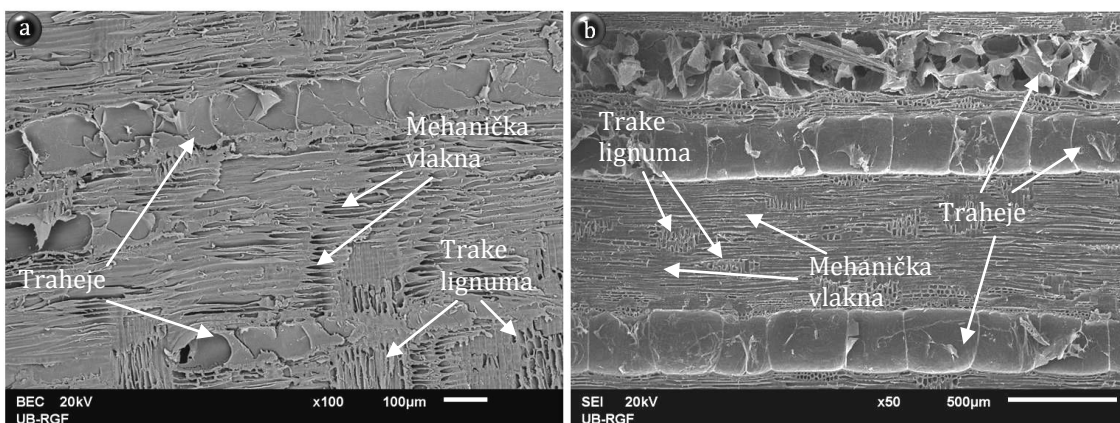
Slika 5.1. Poprečni presek a) juvenilnog i b) zrelog drveta poljskog jasena (SEM)

Tangencijalni presek: Na tangencijalnom preseku drveta poljskog jasena (slika 5.2) vide se jednorodne i dvoredne trake lignuma (radijalni parenhim), zidovi i lumeni mehaničkih vlakana i segmenti traheja.

Visina traka lignuma drveta jasena iznosi do 0,5 mm (Vilotić, 2000), sa učešćem u građi drveta od oko 15 % (Sisojević, 1982).



Slika 5.2. Tangencijalni presek a) juvenilnog i b) zrelog drveta poljskog jasena (SEM)

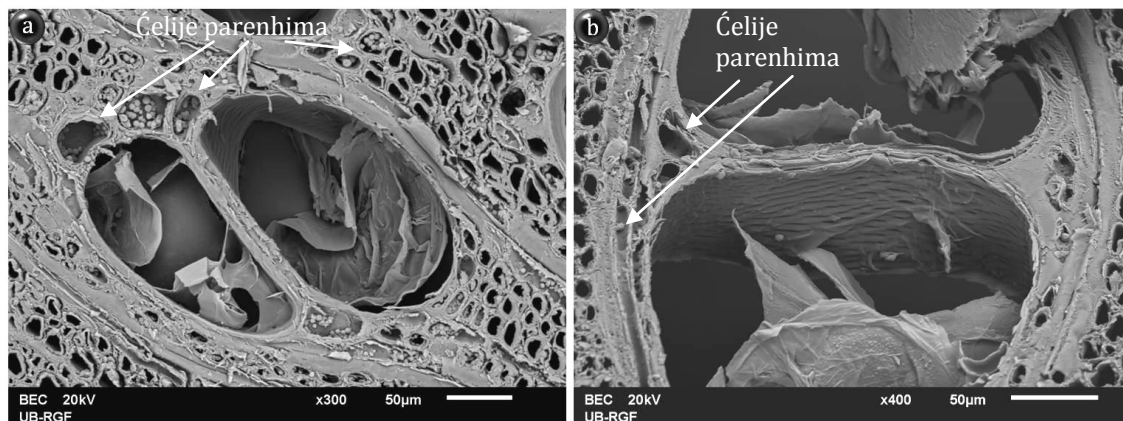


Slika 5.3. Radijalni presek a) juvenilnog i b) zrelog drveta poljskog jasena (SEM)

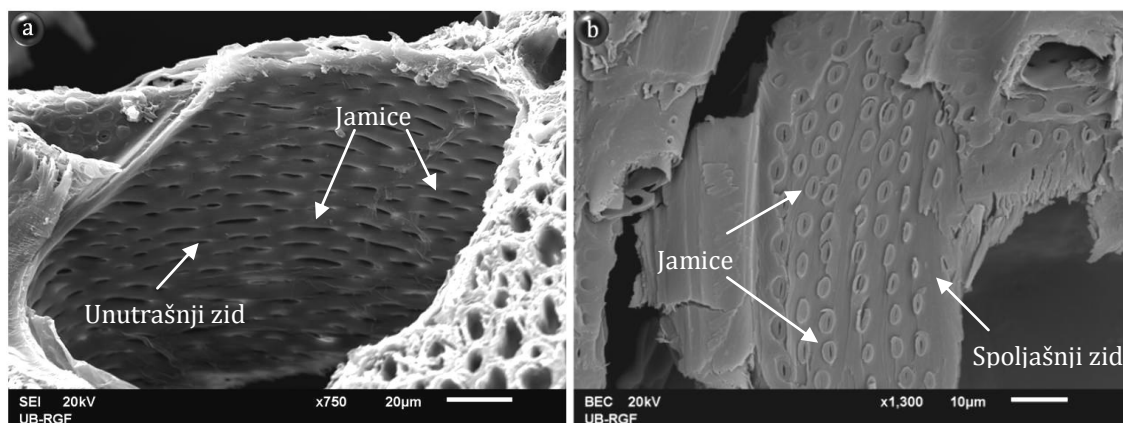
Na radijalnom preseku juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena uočljivi su uzdužno presečeni provodni elementi (traheje), mehanička vlakna i ćelije traka lignuma (slika 5.3).

Traheje: Na slici 5.1 se može primetiti da su traheje ranog drveta poljskog jasena raspoređene pojedinačno, ili u grupi po dve (slike 5.1 i 5.4), veoma blizu jedna drugoj. Širokih su lumena, i vidljive golim okom. Takođe, vidi se da su traheje zrelog drveta širih lumena u odnosu na traheje juvenilnog drveta (slika 5.1 a i b). Poprečni zidovi traheja su resorbovani, a radijalni zidovi sa nadsvođenim jamicama (slika 5.5 a i b).

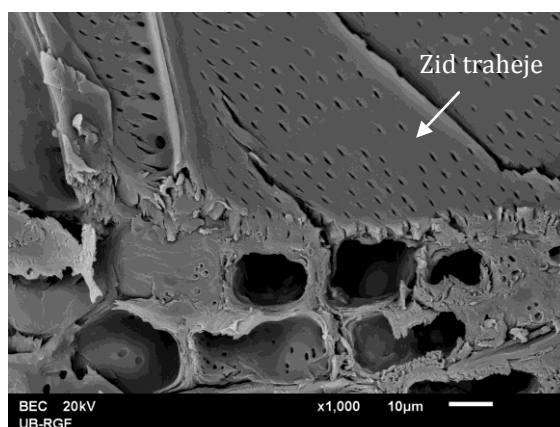
Širina lumena traheja ranog drveta poljskog jasena iznosi 150 - 350 µm, dok je prečnik traheja kasnog drveta 15 - 80 µm (Vilotić, 2000).



Slika 5.4. Traheje a) juvenilnog i b) zrelog drveta poljskog jasena (SEM)



Slika 5.5. Unutrašnji (a) i spoljašnji (b) zid traheje drveta poljskog jasena sa nadsvođenim jamicama (SEM)



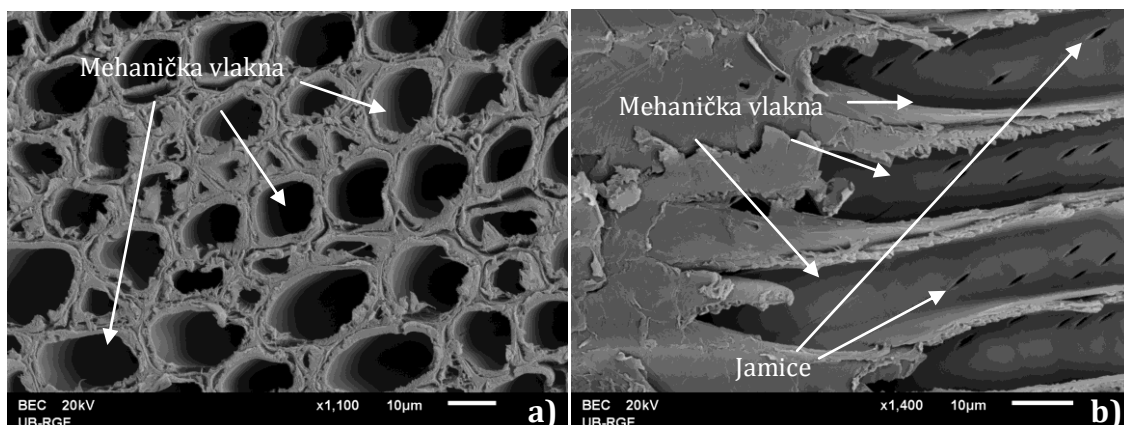
Slika 5.6. Deo zida traheje drveta poljskog jasena sa ćelijama radialnog parenhima

Aksijalni parenhim: Raspored aksijalnog parenhima na poprečnom preseku karakterističan je za pojedine rodove. Za vrste roda *Fraxinus* karakterističan je paratrahealan - (vazicentričan) aksijalni parenhim (Vasiljević, 1967), sa učešćem u

građi drveta od oko 15 % (Sisojević, 1982). Paratrahealni vazicentrični parenhim, raspoređen je u vidu potpuno zatvorenog prstena oko traheja (slike 5.4 i 5.6).

Radijalni parenhim (trake lignuma): Trake lignuma koje su uočene na tangencijalnom preseku drvena jasena uglavnom su dvoredne ili jednoredne, homocelularne građe, visine oko 10 ćelija (slika 5.2).

Mehanička vlakna (libriform): Sa učešćem od 50 do 72 % (Šoškić i Popović, 2002) mehanička vlakna čine osnovnu masu tkiva drveta jasena. Ćelije vlakana jasena dužine su 0,15 do 1,6 mm (Šoškić i Popović, 2002), veoma zašiljenih krajeva, širokih lumena, bez živog sadržaja. Jamice su jednostavne, pukotinaste, koso položene (slike 5.7 i 5.8 a).

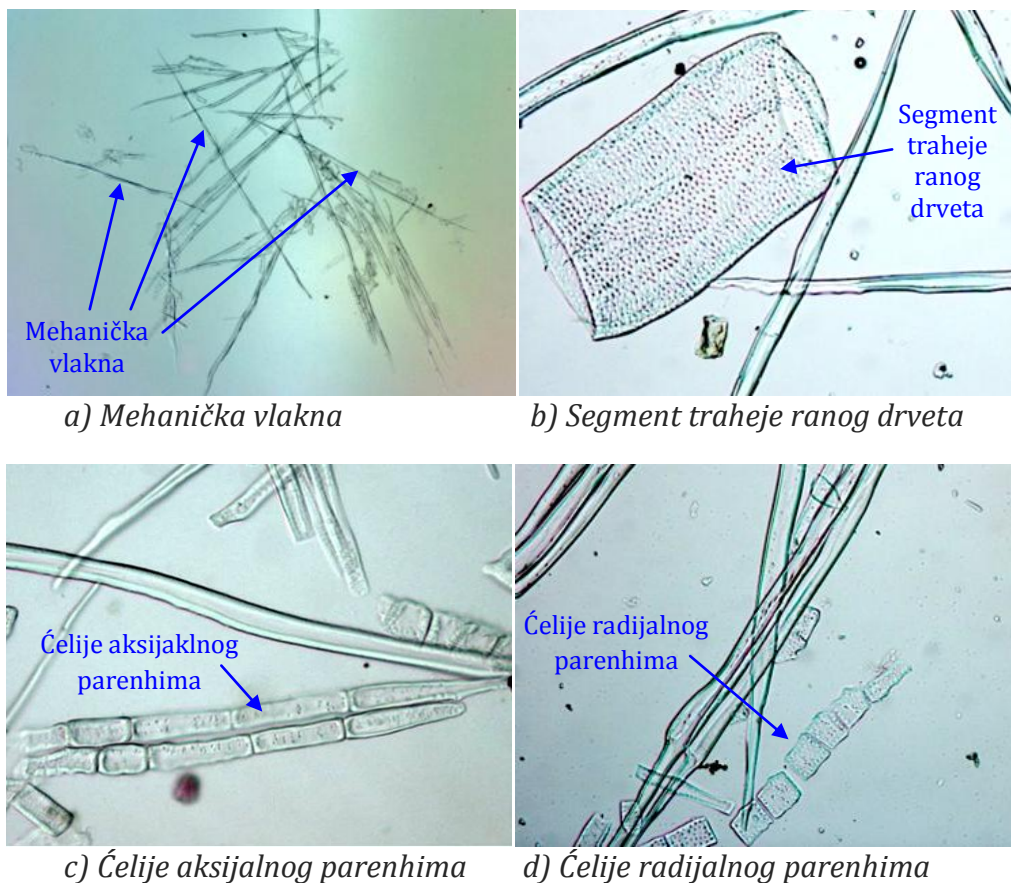


Slika 5.7. Mehanička vlakna (libriform) drveta poljskog jasena:
a) poprečni i b) uzdužni presek

Macerat drveta poljskog jasena

Macerat uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena, dobijen kako je opisano u tački 4.3.2.1, sadrži pojedinačne ćelije drvnog tkiva. Posmatranjem pod mikroskopom maceriranih uzoraka drvnog tkiva uočavaju se vrste anatomskih elemenata koje su prisutne u posmatranom uzorku, kao i njihov oblik.

Pored izrazito izduženih, na oba svoja kraja vrlo zašiljenih ćelija mehaničkih vlakana (slika 5.8 a), u maceratu drveta poljskog jasena uočene su i identifikovane prizmatično izdužene ćelije aksijalnog i prizmatične ćelije radijalnog parenhima (slike 5.8 c i d), kao i segmenti traheja (slika 5.8 b).



Slika 5.8. Macerat drveta poljskog jasena

5.1.3. DIMENZIJE ANATOMSKIH ELEMENATA DRVETA POLJSKOG JASENA

Sa snimljenih digitalnih fotografija (*Prilog II*) uzoraka macerata (tačka 4.3.2.1 i 4.3.2.2) merene su dimenzije anatomskih elemenata juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena na način opisan u tački 4.3.2.2.

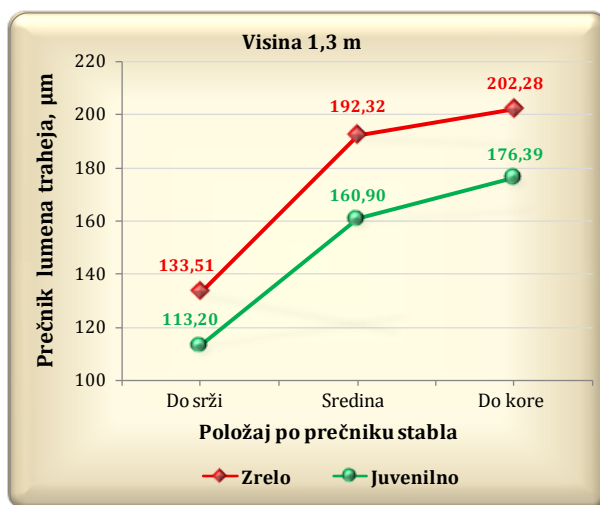
Srednje vrednosti rezultata merenja dimenzija elemenata anatomske građe na različitim položajima na stablu, izračunate kao aritmetička sredina svih merenja sa istog položaja tri stabla zrelog i tri stabla juvenilnog drveta poljskog jasena prikazane su na slikama 5.9 - 5.12.

Rezultati merenja dimenzija elemenata anatomske građe juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena obrađeni metodama *deskriptivne i komparativne statističke analize*, u zavisnosti od položaja na stablu i od starosti stabala, prikazani su u *Prilogu VI - 2*.

Tangencijalni prečnik lumena traheja

Prosečna širina traheja karakteristična je za svaku drvenu vrstu i može poslužiti kao podatak za raspoznavanje vrsta. U tu svrhu meri se tangencijalni prečnik najširih traheja, čije dimenzije variraju manje nego kod radijalnog. Takođe, širina traheja meri se u cilju procene njihovog provodnog kapaciteta (Vasiljević, 1967), što je od velikog značaja za prodor hemikalija tokom tretmana. Sa starošću stabla dimenzije traheja se povećavaju, te su na istom poprečnom preseku traheje unutrašnjih godišnjih slojeva drveta uže i kraće od traheja spoljašnjih slojeva drveta (Vasiljević, 1967). Iz tog razloga, prečnici lumena traheja mereni su, za svako stablo, na tri položaja u radijalnom pravcu: do srži, na sredini odreska i do kore, kako je objašnjeno u tački 4.3.2.2.

Srednje vrednosti rezultata merenja tangencijalnog prečnika lumena traheja na visini stabala od 1,3 m juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena prikazani su na slici 5.9.



Slika 5.9. Tangencijalni prečnik lumena traheja juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena (visina 1,3 m)

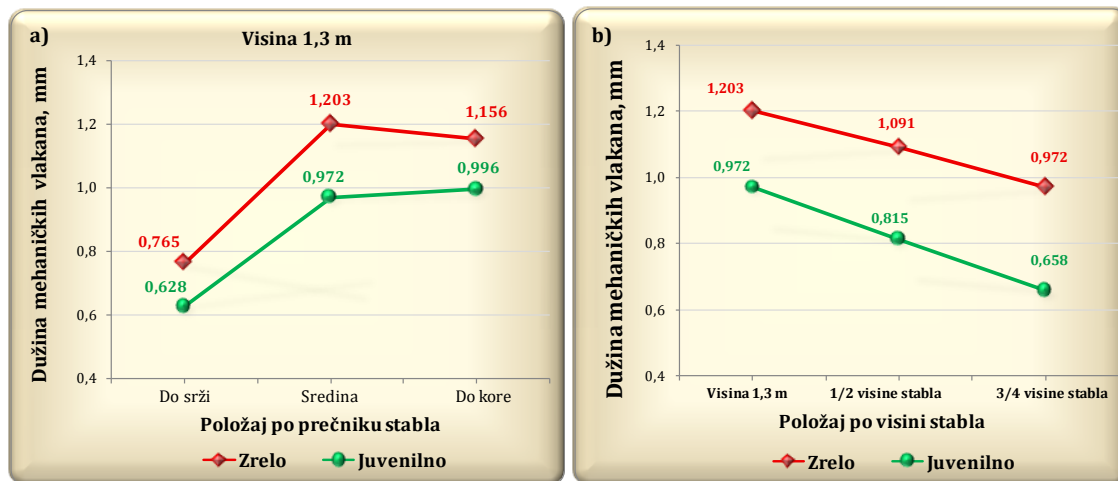
U ispitivanim uzorcima zrelog drveta poljskog jasena srednje vrednosti izmerenih tangencijalnih prečnika lumena traheja kreću se od 133,51 µm u delovima do srži, do 202,28 µm u spoljašnjim prstenovima prirasta. Tangencijalni prečnici lumena traheja juvenilnog drveta sa rasponom od 113,20 µm u unutrašnjim prstenovima prirasta do 176,39 µm u spoljašnjim slojevima drveta značajno su manji.

Uočljivo je da traheje unutrašnjih godišnjih slojeva drveta (do srži) imaju značajno manje prečnike od traheja spoljašnjih slojeva drveta (do kore), što je u skladu sa navodima Vasiljevića (1967). Pored toga što prečnik traheja raste idući od srži ka kori, na slici 5.9 može se primetiti da se sa starošću stabla dimenzije traheja povećavaju, te je na istom položaju po prečniku stabla širina traheja zrelog drveta veća od širine traheja juvenilnog drveta.

Tangencijalni prečnik traheja ranog drveta stabala vrste *Fraxinus angustifoliae* Vahl., starosti 25 do 38 godina plantažno uzgajanih u Turskoj sa vrednostima koje se kreću u intervalu od 192,20 do 230,34 μm (Güler et al., 2009) nešto je veći, što može biti posledica uslova rasta.

Dimenzije mehaničkih vlakana drveta - dužina vlakana

Na slici 5.10 a) prikazane su srednje vrednosti dužine mehaničkih vlakana sa visine od 1,3 m u zavisnosti od položaja po prečniku stabla, a na slici 5.10 b) na tri položaja po visini tri stabla juvenilnog i tri stabla zrelog drveta poljskog jasena.



Slika 5.10. Dužina mehaničkih vlakana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena u zavisnosti od a) položaja po prečniku na visini od 1,3 m i b) položaja po visini na stablu

Na visini stabla od 1,3 m dužina mehaničkih vlakana poljskog jasena kreće se od 0,765 mm do 1,203 mm kod zrelog drveta, odnosno od 0,628 do 0,996 mm kod juvenilnog drveta (slika 5.10 a). Maksimalna dužina vlakna zrelog drveta jasena od 1,794 mm izmerena je u delu do kore, dok dužina vlakna od 0,448 mm u

delu do srži ima minimalnu vrednost. Kod juvenilnog drveta vrednosti minimalne i maksimalne izmerene dužine vlakana su 0,425 mm (do srži) i 1,410 mm (do kore), respektivno. Izmerene vrednosti dužina vlakana u skladu su sa vrednostima koje se kreću od 0,15 do 1,6 mm koje navode Šoškić i Popović (2002) za *Fraxinus excelsior* L., kao i sa vrednostima dužine vlakana poljskog jasena uzgajanog u Turskoj koje se kreću u intervalu od 1,15 do 1,33 mm (Güler et al., 2009).

I kod juvenilnog i kod zrelog drveta poljskog jasena najmanju dužinu imaju vlakna u delu do srži, a najveću u središnjem delu. Vlakna u delu do srži, sa značajno nižim vrednostima dužine u odnosu na središnje i spoljašnje prstenove prirasta formirana su u juvenilnom periodu rasta stabla. Nešto niže vrednosti dužine vlakana u blizini kore, u odnosu na vlakna u središnjem delu mogu biti posledica nezavršenog rasta i formiranja ćelija. Slične rezultate navode brojni istraživači (Onilude, 2001; Panshin i Zeeuw, 1980; Zobel i Buijtenen, 1989; Bakhshi et al., 2011; Kiaei, 2012).

Idući ka vrhu stabla srednja vrednost dužine vlakana zrelog drveta jasena (središnji deo odsečka) značajno opada, tako da na 3/4 visine stabla iznosi svega 0,972 mm (slika 5.10 b). Na ovoj visini zabeležena je i najmanja izmerena dužina vlakna posmatrajući sva stabla u celini, od 0,500 mm, dok je maksimalna vrednost od 1,724 mm izmerena na visini od 1,3 m. Vlakna juvenilnog drveta prate isti trend, sa minimalnom i maksimalnom vrednošću od 0,436 i 1,318 mm izmerenim na istim visinama na stablu. Smanjenje dužine vlakana od podnožja ka vrhu stabla Rulliaty i America (1995) objašnjavaju ubrzanim stvaranjem ćelija u vršnim delovima stabla uz istovremeno smanjenje vremena njihovog sazrevanja, što rezultuje manjom dužinom ćelija.

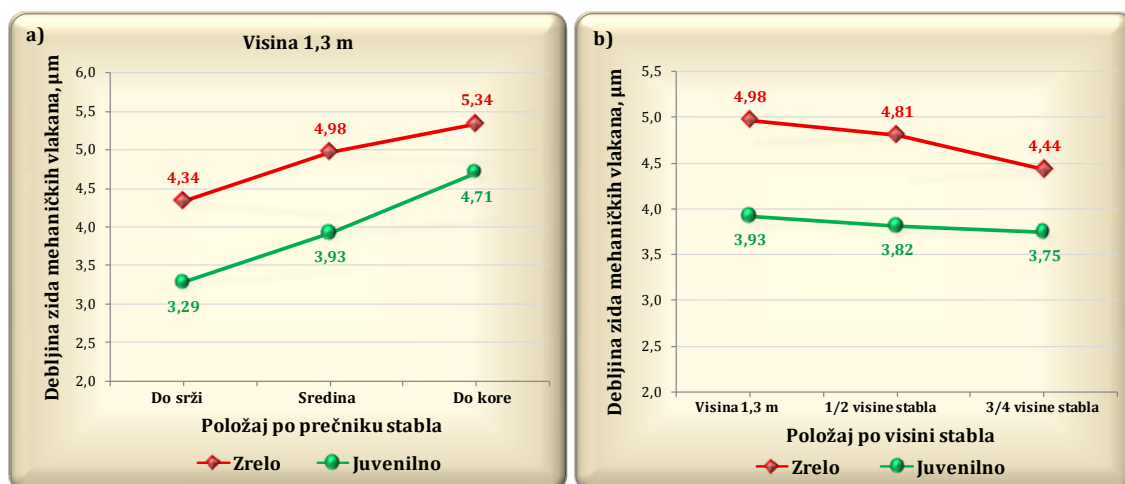
Na istim položajima u stablu, kako u radijalnom pravcu, tako i po visini stabla, mehanička vlakna juvenilnog drveta poljskog jasena znatno su kraća u poređenju sa vlakanima zrelog drveta.

Interesantno je da se srednja vrednost dužine vlakana od 0,972 mm iz središnjeg dela odsečka juvenilnog drveta sa visine od 1.3 m poklapa sa vrednošću iz istog dela ksilema zrelog drveta uzorka sa 3/4 ukupne visine stabla. Ovo može ukazati na veliko učešće juvenilnog drveta u vršnim delovima zrelih stabala poljskog jasena.

Dimenzije vlakana drveta - debljina ćelijskog zida

Na slici 5.11 prikazane su srednje vrednosti debljine ćelijskog zida mehaničkih vlakana sa tri stabla juvenilnog i tri stabla zrelog drveta poljskog jasena.

Srednja vrednost debljine ćelijskog zida mehaničkih vlakana zrelog drveta poljskog jasena na visini stabla od 1,3 m pokazuje rastući trend od srži (4,34 μm) ka spoljašnjosti (5,34 μm). Sa prosečnim vrednostima debljine ćelijskog zida od 3,29 μm u delu stabla do srži i 4,71 μm u delu stabla do kore, isti trend pokazuju i vlakna juvenilnog drveta (slika 5.11 a). Dobijeni rezultati u skladu su sa vrednostima od 3,57 do 5,47 μm koje za debljinu ćelijskog zida vlakana jasena navode Güler i saradnici (2009).

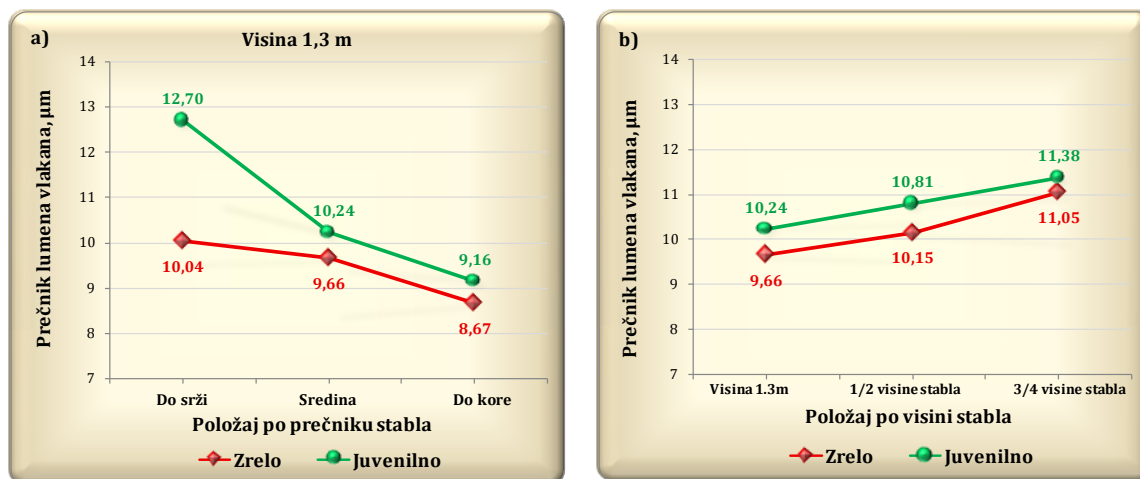


Slika 5.11. Debljina ćelijskog zida mehaničkih vlakana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena u zavisnosti od a) položaja po prečniku na visini od 1,3 m i b) položaja po visini na stablu

Krećući se od podnožja ka vrhu stabla, debljina ćelijskog zida mehaničkih vlakana opada, od vrednosti 4,98 μm na visini od 1,3 m stabla do 4,44 μm na $\frac{3}{4}$ visine stabla kod zrelog drveta poljskog jasena (slika 5.11 b). Na isti način, srednje vrednosti debljine ćelijskog zida mehaničkih vlakana juvenilnog drveta poljskog jasena kreću se u opsegu od 3,93 μm na visini od 1,3 m stabla do 3,75 μm na $\frac{3}{4}$ visine stabla.

Dimenzije vlakana drveta - prečnik lumena

Na slici 5.12 prikazane su srednje vrednosti prečnika lumena vlakana.



Slika 5.12. Prečnik lumena mehaničkih vlakana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena u zavisnosti od a) položaja po prečniku na visini od 1,3 m i b) položaja po visini na stablu

I kod juvenilnog i kod zrelog drveta poljskog jasena prečnik lumena mehaničkih vlakana opada od srži ka kori, a raste od podnožja ka vrhu (slika 5.12). Najveću srednju vrednost prečnika lumena od 12,70 μm imaju mehanička vlakna juvenilnog drveta do srži uzoraka sa visine od 1,3 m, dok najmanji prečnik lumena od 8,67 μm imaju ćelije vlakana iz maceriranog uzorka ksilema zrelog drveta do kore sa iste visine. Međutim, prečnici lumena vlakana jasena sa područja Turske sa vrednostima 14,85 - 9,71 μm nešto su veći (Güler et al., 2009).

5.1.4. HEMIJSKI SASTAV JUVENILNOG I ZRELOG DRVETA POLJSKOG JASENA

Metodama opisanim u tački 4.3.3.2 određeni su sadržaj celuloze, lignina, pepela, materija rastvorljivih u vreloj vodi i smeši toluol/etanol na svakoj uzorkovanoj visini svakog od tri stabla juvenilnog i svakog od tri stabla zrelog drveta poljskog jasena.

Primenom komparativne statističke analize (ANOVA) izvršeno je poređenje dobijenih rezultata sadržaja određivanih komponenti drvnog tkiva u uzorcima sa istih položaja po visini između tri stabla zrelog, kao i tri stabla juvenilnog drveta poljskog jasena. Utvrđeno je da nema statistički značajnih razlika u sadržaju

hemijskih konstituenata na istoj visini različitih stabala ni kod zrelog, ni kod juvenilnog drveta poljskog jasena. Rezultati komparativne, kao i deskriptivne statističke analize, sa srednjim vrednostima sadržaja određivanih komponenti tkiva poljskog jasena sa svake uzorkovane visine za svako od tri stabla zrelog i juvenilnog drveta nalaze se u *Prilogu VI - 3*.

Sadržaj svake pojedinačne komponente hemijske građe izračunat je kao srednja vrednost dobijenih rezultata na istoj visini sa sva tri stabla zrelog, kao i sva tri stabla juvenilnog drveta poljskog jasena. Rezultati su prikazani na slikama 5.13 - 5.18. Statistička obrada dobijenih rezultata metodama deskriptivne i komparativne analize za svaku od analiziranih komponenti drvnog tkiva na različitim položajima po visini stabla prikazana je u *Prilogu VI - 4*.

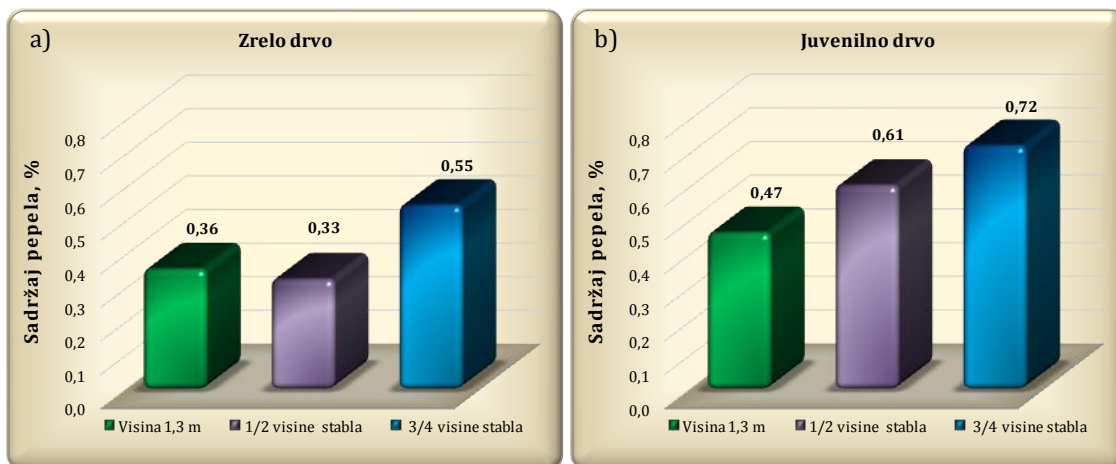
Rezultati komparativne statističke analize sadržaja svake od analiziranih komponenti iz uzoraka sa istog položaja po visini stabla juvenilnog i zrelog drveta prikazani su u *Prilogu VI - 5*.

Sadržaj mineralnih materija

Sadržaj mineralnih materija, izražen kao sadržaj pepela posle potpunog sagorevanja drveta, prikazan je na slici 5.13.

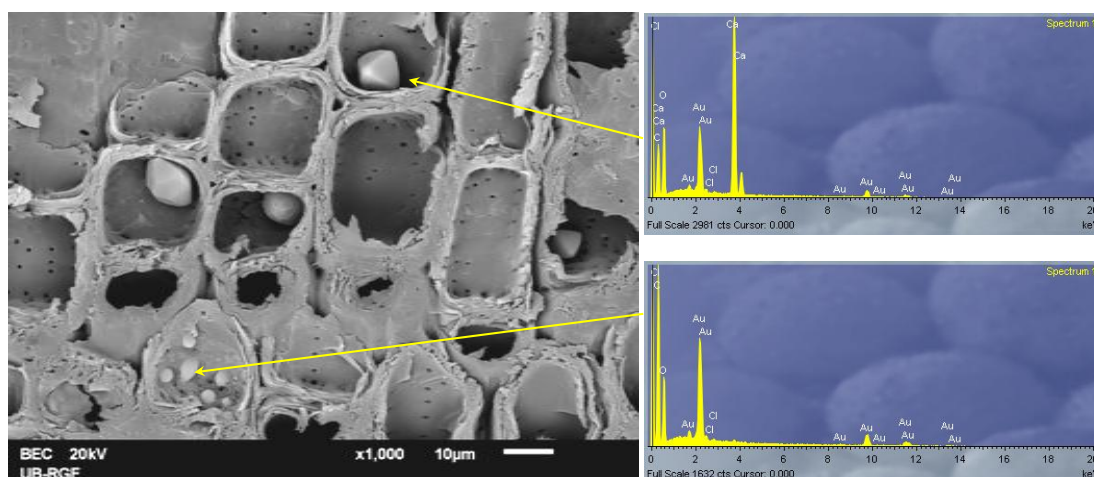
Sadržaj pepela kreće se od 0,36 do 0,55 % kod zrelog, odnosno 0,47 do 0,72 % kod juvenilnog drveta poljskog jasena, što se podudara sa navodima sadržaja pepela od 0,2 do 1,0 % vrsta umereno-kontinentalne klimatske zone (Stevanović-Janežić, 1993).

Ispitivanjem uzoraka sa različitih visina stabala poljskog jasena ustanovljeno je da sadržaj pepela raste sa porastom visine na stablu i kod zrelog i kod juvenilnog drveta (slika 5.13 a i b). Međutim, statistička analiza ukazuje da ove razlike uglavnom nisu značajne. Istovremeno, vrednosti sadržaja pepela juvenilnog drveta značajno su veće u poređenju sa vrednostima kod zrelog drveta na odgovarajućoj visini. Dobijeni rezultati u skladu su sa navodima Stevanović-Janežić (1993), prema kojoj je sadržaj mineralnih materija najveći u metabolički-fiziološki najaktivnijim delovima stabla, čiji je udeo veći u juvenilnom drvetu.



Slika 5.13. Sadržaj pepela na tri položaja po visini na stablu a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena

Tokom posmatranja uzoraka drveta na SEM - mikroskopu uočeno je da su lumeni parenhimatičnih ćelija juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena ispunjeni sadržajem (Prilog III). SEM-EDS elementarnom analizom (Prilog IV) utvrđeno je prisustvo Ca, K, Mg i Cl u drvetu poljskog jasena, koji su tipični katjoni i anjoni koji se pojavljuju u tkivu drveta (slika 5.14), a u manjoj meri i Al i Si (Prilog IV). U ćelijama traka drveta *Tectona grandis* Cote (1977) je ustanovio prisustvo depozita, za koje je SEM-EDXA analizom utvrđeno da se radi o silicijumu.



Slika 5.14. SEM-EDS elementarna analiza

U pepelu američkog belog jasena (*Fraxinus americana* L. Marsh.) detektovani su K, Mg, Ca, kao i P i Na sa znatno manjim udelom (Rowell, 1984). Sa učešćem od 1/2 do čak 3/4 ukupnog sadržaja, najveći udeo u pepelu drveta ima

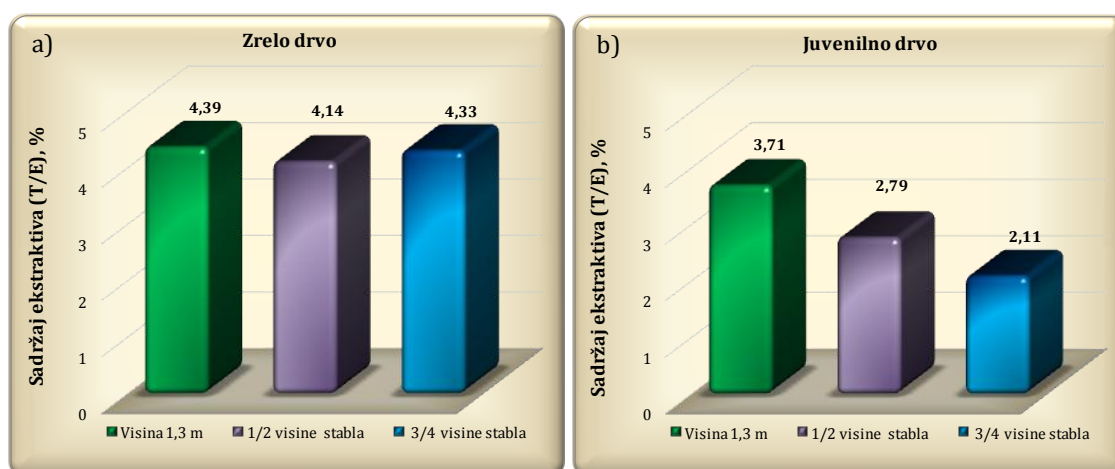
kalcijum, čiji se kristali u obliku kalcijum-karbonata i kalcijum-oksalata često mogu videti u lumenima ćelija primenom SEM-EDXA tehnike. Mineralne materije prisutne su u drvetu još i u obliku karbonata i sulfita. U manjim količinama, sa udelom 1 - 2 %, u pepelu drveta ima i Mn, Fe i Al (Rowell, 1984; Stevanović-Janežić, 1993).

Sadržaj ekstraktivnih materija rastvorljivih u smeši toluola i etanola

Na slici 5.15 prikazan je sadržaj ekstraktivnih materija rastvorljivih u smeši rastvarača toluol/etanol na različitim položajima po visini stabla zrelog i juvenilnog drveta poljskog jasena.

Rezultati komparativne statističke analize ukazuju da nema značajnih razlika u pogledu sadržaja ekstraktivnih materija određenih u smeši organskih rastvarača (toluol/etanol) na različitim položajima po visini stabla zrelog drveta poljskog jasena (slika 5.15 a). Sa druge strane, pored toga što je značajno manji u odnosu na zrelo drvo, sadržaj ovih materija u juvenilnom drvetu značajno opada od vrednosti 3,71 % na visini 1,3 m ka vrhu stabla, gde iznosi 2,11 % (slika 5.15 b).

Slične rezultate navode i drugi autori. Sadržaj od 4,90 % materija ekstrahovanih smešom etanol/benzol iz tkiva poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) starosti 33 - 36 godina, znatno je manji u odnosu na ekstrakt dobijen iz uzoraka iste vrste starosti 62 - 64 godine, u kome je učešće ovih materija čak 8,08 % (Elmas, 2011).

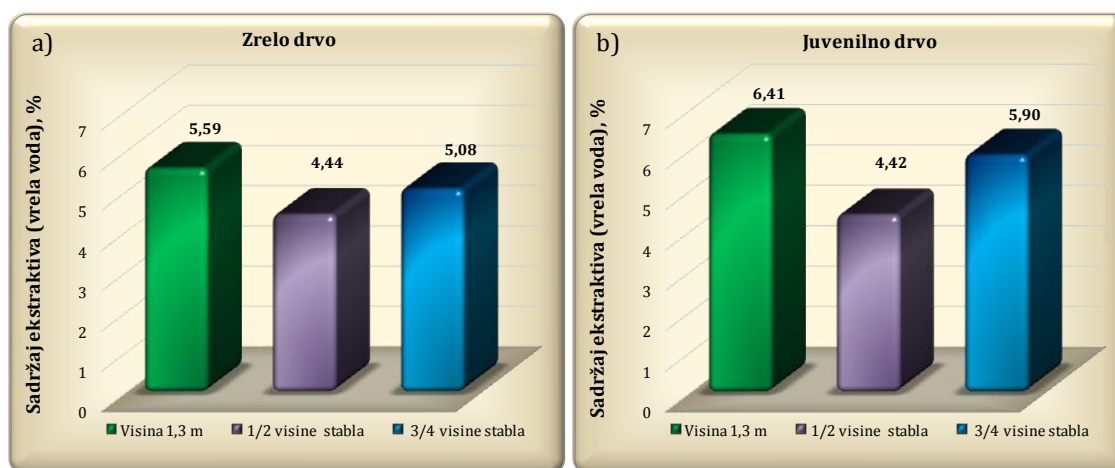


Slika 5.15. Sadržaj ekstraktivnih materija rastvorljivih u organskim rastvaračima (T/E) na tri položaja po visini stabla a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena

Manje vrednosti u odnosu na zrelo drvo, kao i opadajući trend sadržaja ekstraktiva od podnožja ka vrhu stabla kod uzoraka juvenilnog drveta ukazuju da su smešom toluola i etanola pretežno ekstrahovane materije koje se svrstavaju u klasu sekundarnih supstanci metabolizma biljaka. Sekundarne biljne supstance, kao što su terpenoidi, flavonoidi i drugi aromati, ne učestvuju u metabolizmu biljaka, već nastaju kao proizvodi njihovih metaboličkih procesa. Iz tog razloga njihova koncentracija se povećava sa starošću stabla, odnosno opada od podnožja ka vrhu stabla. Neke od sekundarnih biljnih supstanci specifične su za određenu biljnu vrstu (Stevanović-Janežić, 1993).

Sadržaj ekstraktivnih materija rastvorljivih u vreloj vodi

Sadržaj ekstraktivnih materija rastvorljivih u vreloj vodi zrelog i juvenilnog drveta poljskog jasena prikazan je na slici 5.16.



Slika 5.16. Sadržaj ekstraktivnih materija rastvorljivih u vreloj vodi na tri položaja po visini na stablu a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena

Suprotno od materija ekstrahovanih organskim rastvaračima, vrednosti sadržaja materija rastvorenih iz drveta vrelom vodom veće su kod uzoraka juvenilnog drveta poljskog jasena, u poređenju sa odgovarajućim vrednostima kod zrelog drveta (slika 5.16).

Sniženje sadržaja ekstraktivnih materija rastvorenih vrelom vodom sa povećanjem starosti stabala sa 6,38 % (52 godine) na 4,99 % (102 godine) kod vrste *Fraxinus excelsior* konstatovali su i Bodirlau i saradnici (2007), dok Elmas

(2011) navodi porast sadržaja ovih materija sa 9,5 % kod stabala starosti 33 - 36 godina na 11,23 % kod stabala poljskog jasena starosti 62 - 64 godine. Pored toga, Stevanović-Janežić i saradnici (1988) ustanovili su da vodeni ekstrakt zrelog drveta bukve, dobijen posle ekstrakcije smešom benzola i etanola, sadrži svega 0,27 % rastvorenih materija, dok je sadržaj ekstrakta juvenilnog drveta sa vrednošću od 0,59 % dvostruko veći.

Istovremeno, i kod juvenilnog i kod zrelog drveta prisutan je trend opadanja sadržaja materija rastvorenih vrelom vodom od maksimalne vrednosti 6,41 %, odnosno 5,59 % na visini od 1,3 m do 4,42 %, odnosno 4,44 % na 1/2 visine stabala. Dalje, sa porastom visine na stablu sadržaj vodenog ekstrakta se povećava kod obe vrste uzoraka, dostižući vrednosti od 5,90 % kod juvenilnog, odnosno 5,08 % kod uzoraka zrelog drveta.

Ovakvi rezultati su razumljivi, imajući u vidu da su, kako je navedeno u tački 2.2, u tkivu drveta prisutne primarne i sekundarne biljne materije. Naime, u vodi se rastvaraju proteini, amino-kiseline, nukleinske kiseline, glikozidi, alkaloidi, hidrolizabilni tanini, kao i prosti ugljeni hidrati (α -D-glukopiranoza, fruktoza), zatim disaharidi (saharoza), trisaharidi (rafinoza), oligosaharidi, polisaharidi razgranate strukture, pektini, ali i neorganska jedinjenja. Neka od navedenih jedinjenja, kao na primer proteini, prosti ugljeni hidrati, amino-kiseline i nukleinske kiseline spadaju u primarne biljne metabolite koji učestvuju u razmeni materija živih ćelija i imaju aktivnu ulogu u metaboličkim procesima biljaka. Primarni metaboliti skoncentrisani su u fiziološki aktivnim delovima biljke, čije je učešće veće u mladim stablima i u vršnim delovima starijih stabala (Stevanović-Janežić, 1993). Usled toga uzorci juvenilnog drveta, kao i vršni delovi stabala, imaju visoke vrednosti sadržaja materija u vodenom ekstraktu. Svojom rastvorljivošću u vodi, mineralne materije takođe doprinose povećanju sadržaja ekstrakta u gornjim delovima stable (slika 5.13).

S obzirom da učešće fiziološki aktivnih tkiva opada od vrha ka podnožju stabla, za očekivanje je da opadaju i vrednosti vodenog ekstrakta. Međutim, na slici 5.16 jasno je uočljivo da sadržaj materija rastvorenih u vodi ima najveće vrednosti upravo na visini od 1,3 m. Objašnjenje visokog sadržaja vodenog ekstrakta u donjim delovima stabala leži u činjenici da se u vodi, pored primarnih, rastvaraju i

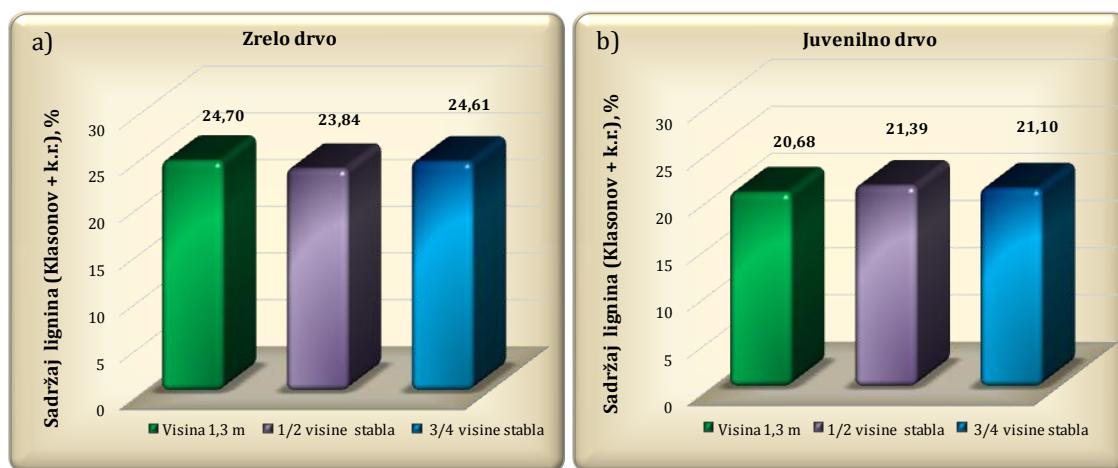
neki sekundarni metaboliti drvnog tkiva, kao što su pektini i hidrolizabilni tanini, čiji se sadržaj povećava sa starošću, i opada ka vršnim delovima stabla.

Trend opadanja udela sekundarnih metabolita, koji povećavaju sadržaj vodenog ekstrakta u donjim delovima, u kombinaciji sa porastom učešća primarnih metabolita ka vrhu stabla, gde je njihova koncentracija najveća, rezultuju minimalnim vrednostima sadržaja materija u ekstraktima vrelom vodom u središnjim delovima stabla.

Sadržaj lignina

Imajući u vidu da se se radi o lišćarskoj vrsti sa značajnim učešćem kiselorastvornog lignina, sadržaj ukupnog lignina uzoraka poljskog jasena prikazan je na slici 5.17 kao zbir Klasonovog i kiselorastvornog lignina.

Kao što se može videti sa slike 5.17 rezultati dobijeni u ovom radu ne pokazuju uobičajeni trend. U zrelom drvetu jasena sadržaj ukupnog lignina neznatno opada u smeru porasta udela juvenilnog drveta. Komparativna analiza dobijenih rezultata ukazuje da razlike u sadržaju lignina na različitim visinama zrelog drveta poljskog jasena nisu statistički značajne. Takođe, iako je sadržaj lignina juvenilnog drveta nešto veći na većim visinama stabla, statistička analiza pokazala je da nema značajne razlike u sadržaju lignina između testiranih grupa uzoraka juvenilnog drveta.



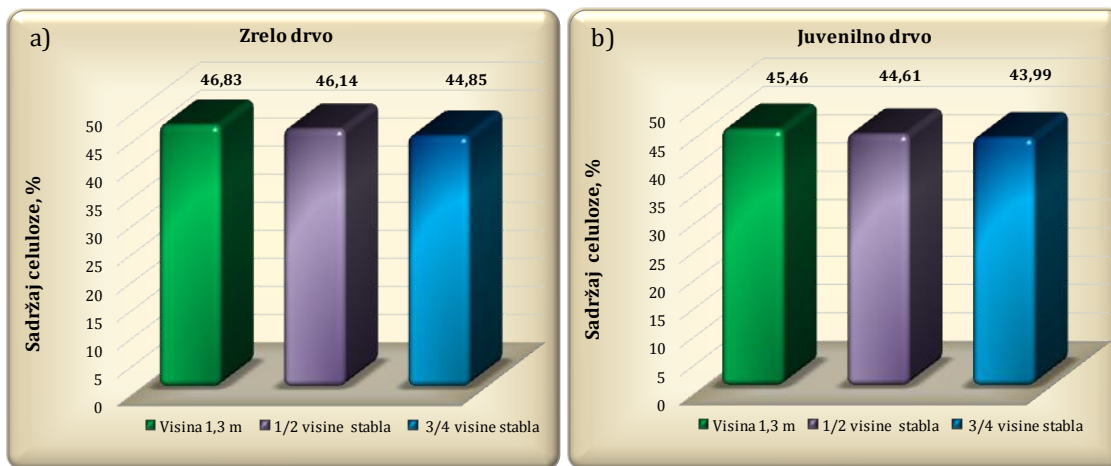
Slika 5.17. Sadržaj lignina na tri položaja po visini na stablu a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena

Međutim, značajne razlike u sadržaju lignina javljaju se između uzoraka juvenilnog i zrelog drveta sa istog položaja po visini na stablu, pri čemu je tkivo zrelog drveta jasena "bogatije" ligninom za oko 2,5 do 4 %. U skladu sa rezultatima u ovom radu, u uzorcima poljskog jasena starosti 62 - 64 godine sadržaj lignina od 25,53 % takođe ima veću vrednost u odnosu na vrednost od 23,19 % kod stabala starosti 33 - 36 godina, koje navodi Elmas (2011).

Prema literaturnim navodima, sadržaj lignina u juvenilnom periodu razvitka, odnosno u delovima stabla sa visokim učešćem juvenilnog drveta (vršni delovi stabla) je veći, i opada sa starošću (Stevanović-Janežić, 1993). Zbog nedostatka podataka za drvo jasena, navode se vrednosti za neke lišćarske vrste koji potvrđuju trend opadanja sadržaja lignina sa starošću. Prema rezultatima analiza hemijskog sastava bukve, sadržaj ukupnog lignina od 25,62 % u juvenilnom stablu bukve nešto je veći u odnosu na vrednost od 24,58 % ustanovljenu kod zrelog drveta iste vrste (Stevanović-Janežić et al., 1988). Marković (1960) takođe navodi blago povećanje sadržaja lignina sa položajem po visini na stablu hrasta od 21,67 % (1,3 m) na 23,17 % (10 m). Međutim, u juvenilnim stablima jove starosti 9 godina sadržaj lignina iznosi svega 12,97 %. Kod stabala ove vrste starosti 14 godina vrednost sadržaja lignina je čak 23,98 %, što je skoro dvostruko više, dok kod uzoraka starosti 70 godina iznosi 25,75 %. Isti trend u pogledu sadržaja lignina pokazali su rezultati ispitivanja hemijskog sastava topola, kod kojih se sadržaj lignina sa starošću stabala povećava sa 19,29 % (17 godina) na 22,13 % (22 godine), odnosno 24,30 % (42 godine) (Marković, 1960). Na osnovu izloženih rezultata može se smatrati da je sadržaj lignina u jako mladim stablima izrazito nizak, ali se veoma brzo povećava sa starošću stabala. Različiti podaci u pogledu sadržaja lignina u juvenilnom drvetu navedeni u literaturi mogu biti posledica većeg učešća zrelog drveta u ispitivanim uzorcima. Naime, treba imati u vidu da između različitih vrsta postoje velike razlike u pogledu dostizanja zrelosti (Bernabei et al., 2000, Gorišek i Straže, 2005), a samim tim i udela juvenilnog i zrelog drveta.

Sadržaj celuloze

Srednje vrednosti sadržaja celuloze juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena prikazane su na slici 5.18.



Slika 5.18. Sadržaj celuloze na tri položaja po visini na stablu
a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena

Sa slike 5.18 može se videti da se minimalan sadržaj celuloze od 43,99 % kod juvenilnog, i maksimalan sadržaj celuloze od 46,83 % kod zrelog drveta poljskog jasena nalaze se u okvirima vrednosti navedenih u literaturi za rod *Fraxinus*, koje se kreću od 38,22 do 49,24 % kod američkog belog jasena (*Fraxinus americana* L. Marsh.), odnosno od 40,86 do 46,77 % kod evropskog belog jasena (*Fraxinus excelsior* L. *Oleaceae*) (Klauditz, 1941; Rowell, 1984).

Opadanje sadržaja celuloze sa visinom na stablu zrelog drveta (slika 5.18 a) u skladu je sa porastom udela juvenilnog drveta u istom pravcu (Stevanović-Janežić, 1993). Trend porasta sadržaja celuloze sa starošću stabla potvrđen je u ovom radu nižim sadržajem celuloze u juvenilnom drvetu u odnosu na odgovarajuće vrednosti u zreloom drvetu, kao i opadanjem njenog sadržaja sa visinom na stablu (slika 5.18 b). Isti trend konstatovali su i Bodirlau i saradnici (2007) kod vrste *Fraxinus excelsior*, Elmas (2011) kod poljskog jasena, kao i Stevanović-Janežić sa saradnicima (1988) kod bukve (*Fagus moesiaca*).

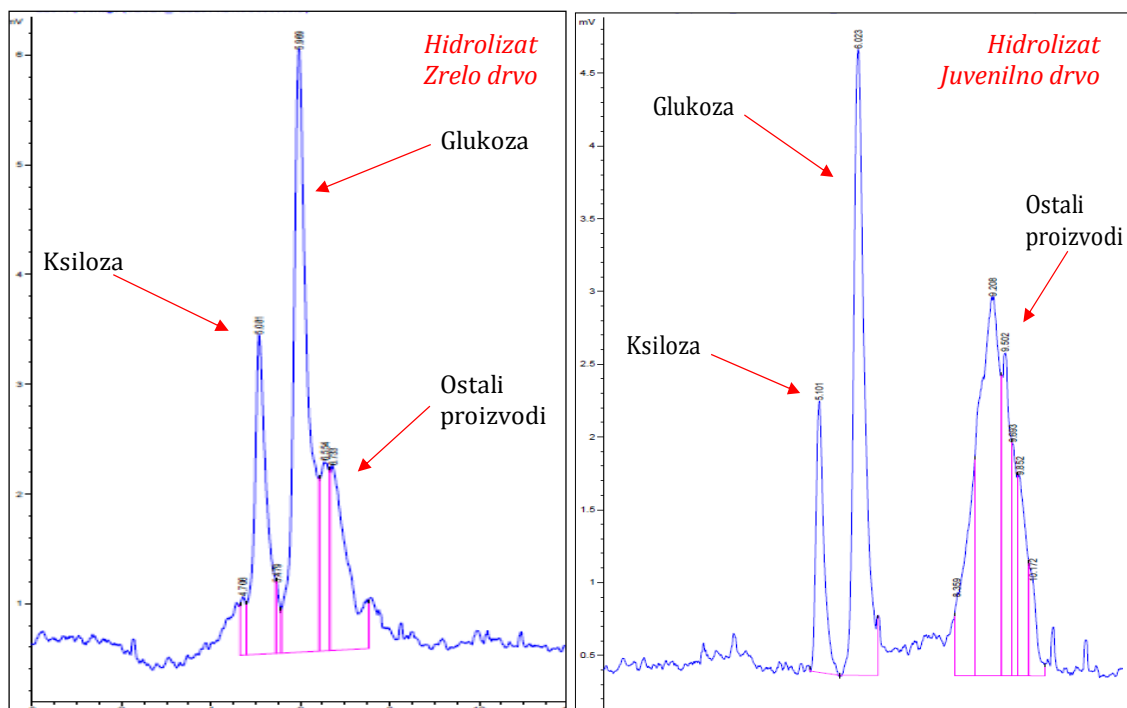
Statistička analiza rezultata pokazala je da postoje značajne razlike u sadržaju celuloze uzoraka sa različitih visina stabala zrelog drveta. Međutim, kod juvenilnog drveta poljskog jasena razlike u sadržaju celuloze značajne su samo između uzoraka sa visine od 1,3 m i uzorka sa 3/4 visine stabala.

Ugljenohidratne komponente drveta

S obzirom da hemiceluloze predstavljaju komponentu drveta najpodložniju hidrolitičkim reakcijama, razumljivo je da se iz drveta ne mogu izolovati u nepromenjenom obliku. Usled nepostojanja metode za direktno izolovanje hemicelulozne komponente, sadržaj hemiceluloza određuje se posredno, preko sadržaja prostih šećera u hidrolizatu (Stevanović-Janežić i Bujanović, 1998).

U ovom radu sadržaj monosaharida posle potpune hidrolize uzoraka drveta 72 % H_2SO_4 određen je hromatografskom metodom - HPLC. Imajući u vidu da se u literaturi navodi da sadržaj hemiceluloza ne zavisi značajno od starosti stabala (Stevanović-Janežić, 1993), sadržaj monosaharida određen je samo u uzorcima juvenilnog i zrelog drveta sa visine 1,3 m. Ksilan predstavlja glavnu hemicelulozu lišćara, dok je sadržaj ostalih hemiceluloznih komponenti veoma mali. Na primer, sadržaj glukomanana, kao sledeće po zastupljenosti hemicelulozne komponente lišćarskih vrsta je svega 2 - 3 % (Stevanović-Janežić, 1993). Iz tog razloga sadržaj hemiceluloza obično se izražava preko sadržaja ksiloze.

Hromatogrami hidrolizata juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena dobijeni kako je opisano u tački 4.5.2.3.5 prikazani su na slici 5.19.



Slika 5.19. Hromatogrami hidrolizata (72 % (w/w) H_2SO_4) zrelog i juvenilnog drveta poljskog jasena (visina 1,3 m)

Na hromatogramima juvenilnog i zrelog drveta jasno su diferencirana dva pika, koja po retencionim vremenima odgovaraju ksilozi i glukozi. Manoja, čije se prisustvo takođe očekivalo u hidrolizatu, nije diferencirana, verovatno zbog malog sadržaja. Ostali pikovi prisutni na hromatogramima potiču od ostalih komponenti prisutnih u hidrolizatu. Naime, pored monosaharida, kao proizvoda hidrolitičke razgradnje polisaharida, u hidrolizatu su verovatno prisutne i rastvorene ekstraktivne materije, zatim sirćetna kiselina nastala otcepljivanjem acetil grupa acetilovanih ksilana, uronske kiseline, oligosaharidi, kao i proizvodi fragmentacije lignin. Takođe, proizvodi hidrolitičke razgradnje polisaharida: ksiloza i glukoza, u kiseloj sredini, pod dejstvom povišene temperature podležu reakcijama dehidratacije u furfural i hidroksimetilfurfural (HMF), koji se dalje razlažu uz stvaranje organskih kiselina (levulinska, mravlja) (Fengel i Wegener, 1984; Stevanović-Janežić, 1993; Dumitriu, 2005).

Sadržaj glukoze i ksiloze u juvenilnom i zreloom drvetu poljskog jasena određen tehnikom HPLC hromatografije iz hidrolizata posle potpune hidrolize uzoraka 72 % (w/w) sumpornom kiselinom prikazan je u tabeli 5.2.

Tabela 5.2. Ugljenohidratne komponente drveta određene HPLC analizom hidrolizata (72 % (w/w) H₂SO₄) juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena (1,3 m)

	Zrelo drvo	Juvenilno drvo
Glukoza, %	38,26	29,92
Ksiloza, %	12,67	8,64

Sadržaj glukoze, kao gradivne jedinice celuloze, dobijen HPLC analizom, od 29,92 % kod juvenilnog i 38,26 % kod zrelog drveta nižih je vrednosti u odnosu na sadržaj celuloze dobijen Kiršner-Hoferovom metodom, koji u ovim uzorcima iznosi 46,83 %, odnosno 45,46 % (slika 5.18). Međutim, ovakvi rezultati su se mogli očekivati. Naime, tokom izolovanja celuloze Kiršner-Hoferovom metodom pod dejstvom azotne kiseline odvijaju se reakcije depolimerizacije lignina i hidrolitičke razgradnje hemicelulozne komponente, pri čemu oko 75 % pentozana podleže hidrolizi. Stoga, celuloza izolovana ovim postupkom sadrži izvesnu količinu hemiceluloza, što se odražava kroz prividno veći sadržaj celuloze određen na ovaj način.

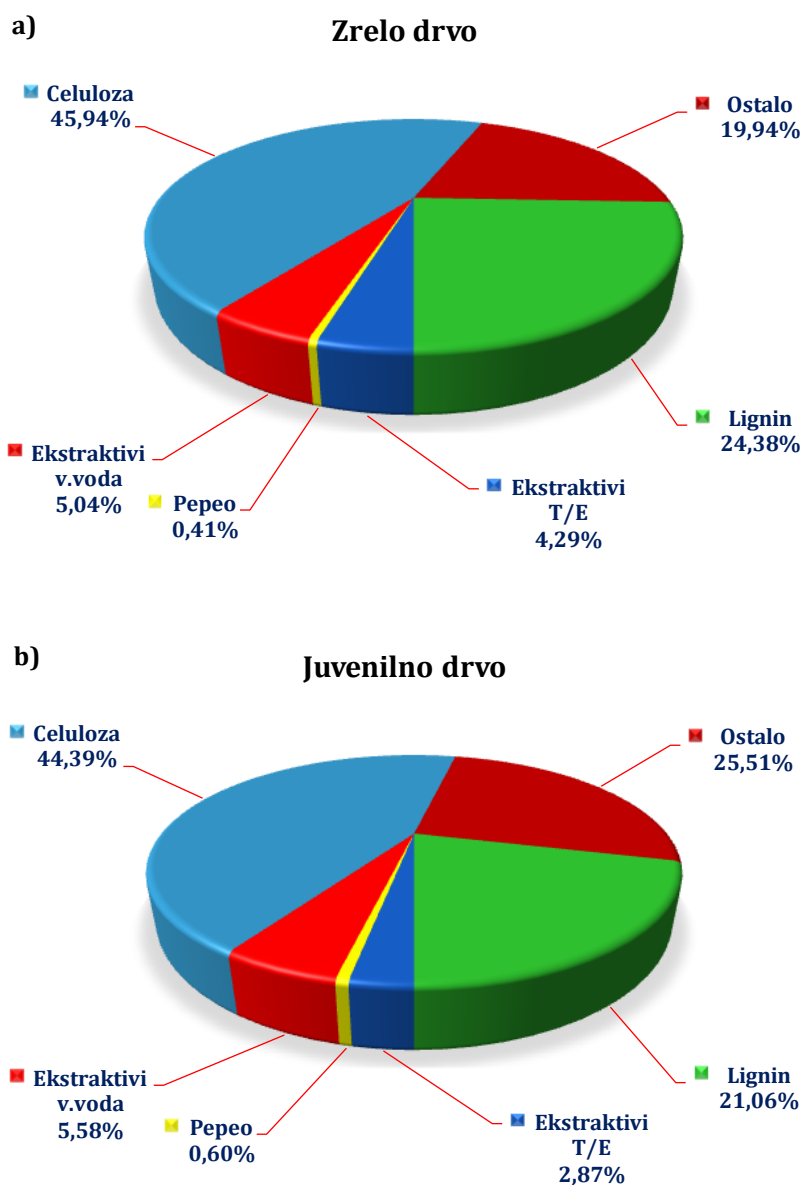
Sa druge strane, kako je već navedeno, u uslovima kisele sredine i dejstva povišene temperature, koji su prisutni prilikom hidrolitičke razgradnje ugljenohidratnih komponenti drvnog tkiva sumpornom kiselinom, novostvoreni proizvodi, ksiloza i glukoza, podležu reakcijama dehidratacije u furfural i HMF. Usled odigravanja ovih reakcija smanjuje se koncentracija ksiloze i glukoze u hidrolizatu, pa je razumljivo da je njihov sadržaj u drvetu prividno manji. U prilog tome, Ramos (2003) je u hidrolizatu drveta dobijenim dejstvom sumporne kiseline ustanovio prisustvo mravlje kiseline, furfurala i HMF pri većim retencionim vremenima.

Znatno niži sadržaj glukoze i ksiloze u juvenilnom drvetu može se pripisati povećanom stvaranju HMF i furfurala. Naime, veća poroznost (tabela 5.1) i manji sadržaj lignina (slika 5.17), kao i manji stepeni kristaliničnosti celuloze, čine celuloznu komponentu pristupačnijom hemijskim reagensima, što olakšava hidrolitičku razgradnju ugljenohidratne komponente juvenilnog drveta, pa se može očekivati da se hidrolitički procesi odvijaju brže nego u slučaju zrelog drveta, čime i proizvodi nastaju brže. U tom slučaju, s obzirom da je hidroliza oba uzorka sprovedena pod istim uslovima, proizvodi razgradnje juvenilnog drveta, duže su boravili u reakcionoj smeši što je dovelo do većeg stepena degradacije glukoze i ksiloze. Na ovo ukazuje i jako izražen, širok pik "ostalih proizvoda" na hromatogramu juvenilnog drveta, koji nije analiziran (slika 5.19).

Prosečan hemijski sastav juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

Prosečan sadržaj svake analizirane komponente hemijske građe u stablu juvenilnog i zrelog drveta izračunat je kao srednja vrednost rezultata za datu komponentu sa tri položaja po visini na stablu. Prosečan hemijski sastav juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena sa područja Morovića prikazan je na slici 5.20.

Sa slike 5.20 može se uočiti da je sadržaj celuloze, lignina i ekstraktivnih materija rastvornih u smeši tolulo/etanol veći u zreлом drvetu poljskog jasena, dok je u juvenilnom drvetu, u skladu sa većim udelom fiziološki aktivnih tkiva, veći sadržaj ekstrakta koji se rastvaraju u vreloj vodi i mineralnih materija izraženih preko pepela.



Slika 5.20. Prosečan hemijski sastav a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena

Rezultati karakterizacije juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena prosečne starosti 10 i 72 godine dobijeni u ovom radu ukazuju da ova vrsta, sa dužinom mehaničkih vlakana od 0,66 do 1,20 mm i sadržajem celuloze od 44 - 47 % ne zaostaje po kvalitetu za bukvom (*Fagus moesiaca*), koja, sa vlaknima dužine 0,6 - 1,3 mm i sadržajem celuloze od 44 - 45,4 % (Stevanović-Janežić et al., 1995), predstavlja sirovinsku bazu Srbije. Širina traheja, kao pokazatelj provodnog kapaciteta, koji je od značaja za procese hemijske prerade, sa vrednostima od

113 - 202 μm značajno je veća kod jasena u odnosu na širinu provodnih elemenata drveta bukve od 5 - 100 μm (Stevanović-Janežić et al., 1995).

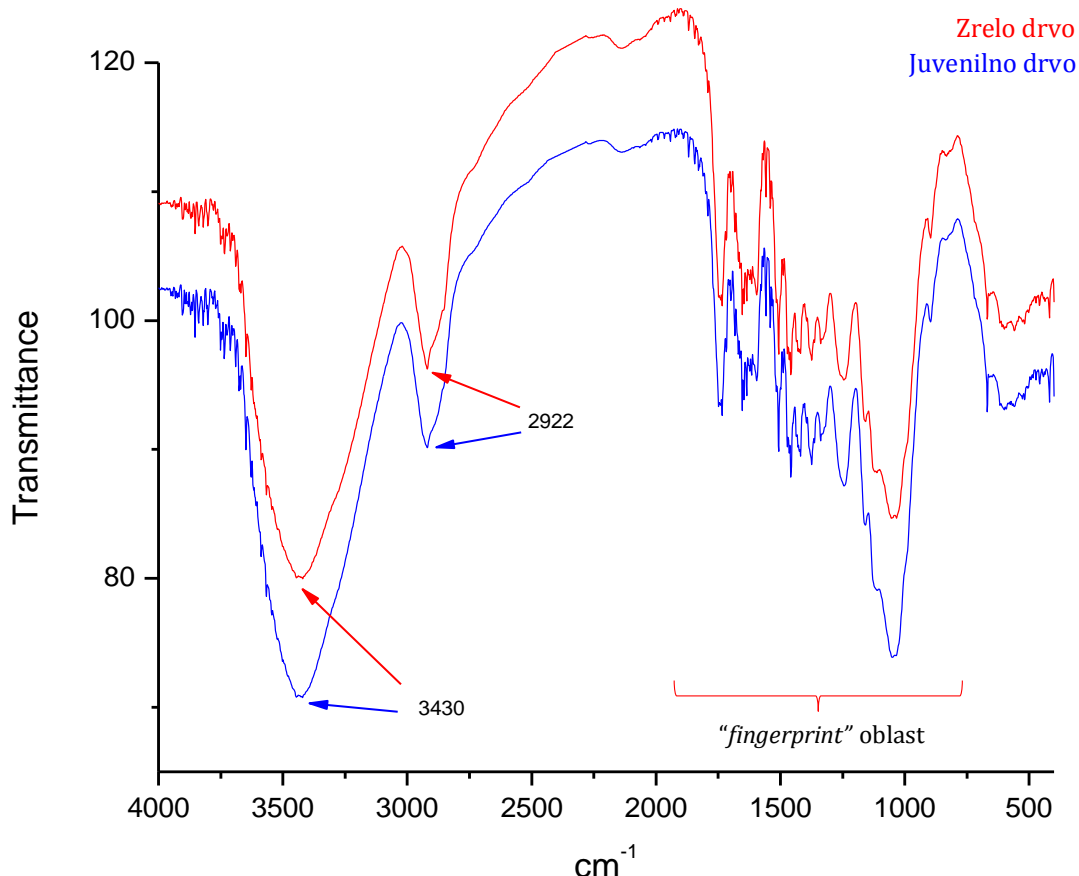
Varijabilnost hemijskog sastava u zavisnosti od starosti ukazuje da je upotreba mladih stabala poljskog jasena kao sirovine u procesima hemijske prerade opravdana. Iako je prosečan sadržaj celuloze od 44 % u stablima starosti 10 godina manji u odnosu na 46 %, koliko iznosi u zreloom drvetu (72 godine), manji sadržaj lignina (21 %) olakšava procese delignifikacije juvenilnog drveta poljskog jasena u postupcima proizvodnje celuloze. Ovi rezultati ukazuju da je poljski jasen pogodan kao vrsta za plantažno uzgajanje u cilju dobijanja kvalitetne sirovine za procese hemijsko-mehaničke prerade drveta.

Analiza funkcionalnih grupa juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena primenom FTIR spektroskopije

Drvo je organski materijal, čije osnovne komponente, celuloza, hemiceluloze i lignin apsorbuju zračenje u IR oblasti spektra. Osnovni problem koji se javlja prilikom tumačenja IR spektara drveta je preklapanje spektralnih linija koje potiču iz celuloze, lignina i hemiceluloza.

Na slici 5.21 prikazani su FTIR - spektri uzoraka juvenilnog i zrelog drveta sa visine 1,3 m poljskog jasena snimljeni kako je opisano u tački 4.5.2.3.4.

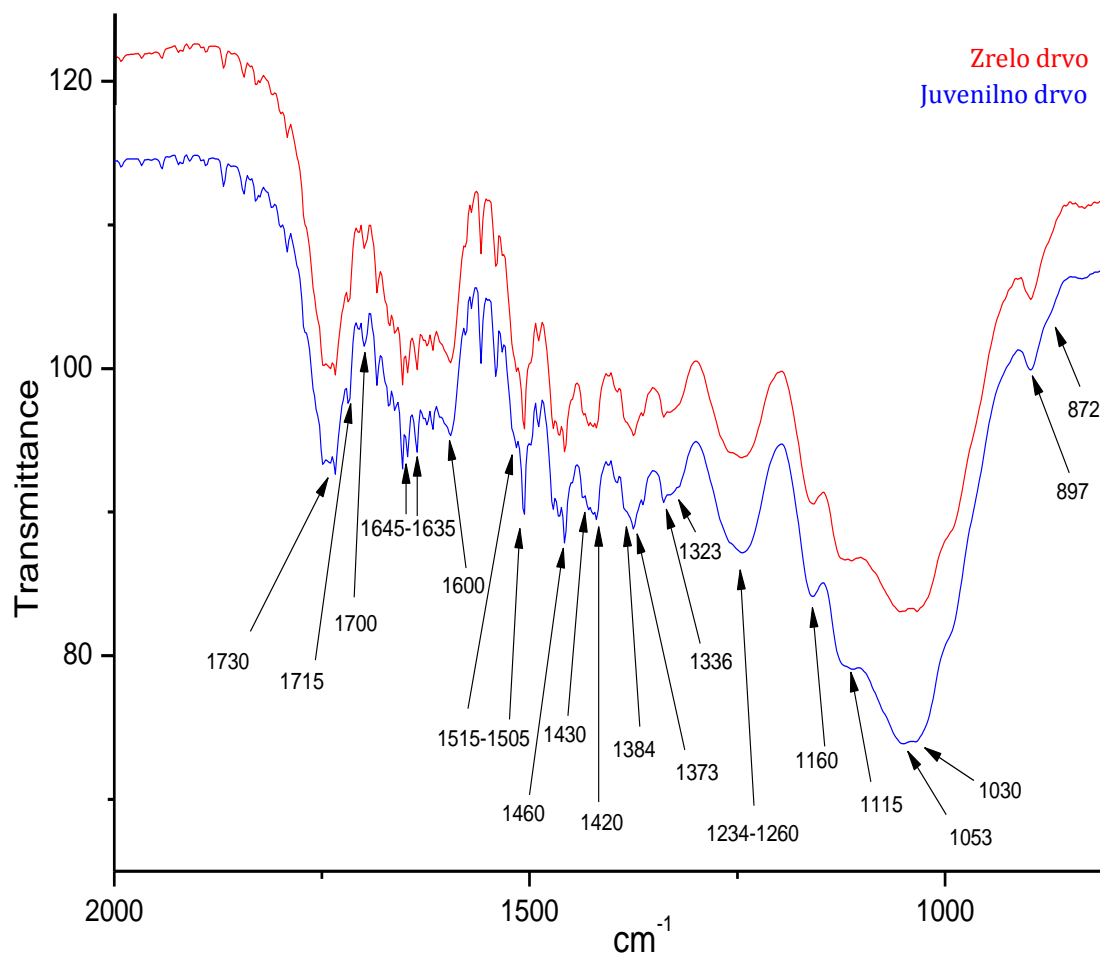
Sa slike 5.21 može se videti da su na FTIR - spektrima juvenilnog i zrelog drveta prisutne identične apsorpcione trake, karakteristične za drvo, što potvrđuje prisustvo istih hemijskih jedinjenja u oba uzorka. Jako izražena, široka apsorpciona traka u oblasti talasnih dužina, između 3400 - 3500 cm^{-1} , karakteristična za uzorke drveta, potiče od O-H vibracija istezanja ("*stretching*") unutarmolekulskih (3570 - 3450 cm^{-1}), kao i međumolekulskih (3400 - 3200 cm^{-1}) vodoničnih veza u celulozi. Apsorbpcija u oblasti 2800 - 3000 cm^{-1} (2922 cm^{-1}) pripisuje se C-H vibracijama istezanja metil (CH_3) i metilen (CH_2) funkcionalnih grupa. Ova apsorpciona traka potvrđuje prisustvo amorfne celuloze (Jahan et al., 2011; Rosa et al., 2012; Satyamurthy et al., 2011).



Slika 5.21. FTIR spektri juvenilnog i zrelog drveta jasena u oblasti 400 - 4000 cm⁻¹

U spektralnoj oblasti talasnih dužina od 800 do 1800 cm⁻¹ nalazi se takozvani "*fingerprint*" region lignoceluloznih materijala. U ovoj oblasti nalaze se karakteristične apsorpcione trake celuloze, hemiceluloza i lignina. "*Fingerprint*" region uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena prikazan je na slici 5.22.

Za aldehide, ketone, karboksilne kiseline i estre karakteristična je jaka apsorpciona traka u oblasti talasnih dužina 1690 - 1760 cm⁻¹ koja potiče od vibracija istezanja ("*stretching*") karbonilne grupe (C=O) u ligninu, hemicelulozama i pektinima (Hosseinaei et al., 2011 b; Kumar et al., 2014). Jaka apsorpcija ispitivanih uzoraka u oblasti spektra 1740 - 1715 cm⁻¹ potvrđuje prisustvo estarskih veza u građi drveta poljskog jasena. Na ovim talasnim dužinama apsorbuju nekonjugovane karbonilne grupe hemiceluloza, tanina i drugih ekstrakta, dok slaba apsorpciona traka prisutna na 1700 -1690 cm⁻¹ potiče od vibracija istezanja ("*stretching*") konjugovanih aromatičnih ketona (Hosseinaei et al., 2011 b; Bodirlau et al., 2012).



Slika 5.22. FTIR spektri juvenilnog i zrelog drveta jasena u oblasti 800 - 2000 cm⁻¹

Apsorpcija na 1240 - 1260 cm⁻¹, koja se pripisuje C-O vibracijama istezanja karakteristična je za ksilane, ali i za lignin (Bjarnestad i Dahlman, 2002; Bodirlau et al., 2009; Hosseinaei et al., 2011 b).

Za lignine drveta karakteristična je apsorpcija u oblasti talasnih dužina 1504 - 1515 cm⁻¹, koja potiče od C=C vibracija aromatičnog skeleta lignina, dok OH fenolne grupe drveta apsorbuju u delu spektra 1260 - 1234 cm⁻¹ (Pandey i Pitman, 2003; Colom et al., 2003). Obe pomenute trake prisutne su na FTIR spektrima juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena (slika 5.22). Na 1250 cm⁻¹ je apsorpciona traka istezanja C-O aril grupa lignina i ksilana (Kumar et al., 2014; Hosseinaei et al., 2011 b). Spektre lišćarskih lignina karakteriše prisustvo trake na 1600 cm⁻¹ koja potiče od aromatičnih metoksi grupa (C-O-CH₃) iz siringil jedinica lignina (Owen i Thomas, 1989). Ova traka jasno je izražena na snimljenim spektrima (slika 5.22).

Apsorpcija u oblasti $1645 - 1635 \text{ cm}^{-1}$ ukazuje na prisustvo apsorbovane vode (Picollo, 2011, Nacos et al., 2006, Troedec et al., 2008). Prema Johar sa saradnicima (2012), kao i Rosa sa saradnicima (2012), traka potiče od O-H vibracija savijanja ("*bending*") molekula vode usled jake interakcije između vode i celuloze.

Oblast $1462-1425 \text{ cm}^{-1}$ karakteristična je za C-H vibracije iz celuloze, lignina i hemiceluloza. C-H deformacione vibracije savijanja CH_2 grupa hemiceluloza i celuloze, i CH_3 grupa lignina apsorbuju na 1462 cm^{-1} , dok su na 1423 cm^{-1} vibracije aromatičnog skeleta kuplovane sa deformacijama u ravni C-H veza u ligninu (Hosseinaei et al., 2011 b).

Jaka apsorpcija na $1384 - 1346 \text{ cm}^{-1}$ potiče od C-H deformacionih vibracija savijanja celuloze i hemiceluloza (Pandey i Pitman, 2003; Colom et al., 2003; Hosseinaei et al., 2011 a). Na talasnoj dužini od 1336 cm^{-1} je jaka vibracija savijanja u ravni fenolnih OH grupa (Kumar et al., 2014).

U oblasti $1170-1153 \text{ cm}^{-1}$ apsorbuju O-H primarni i sekundarni alkoholi i alifatični etri. Na talasnoj dužini od 1115 cm^{-1} su C-C vibracije istezanja prstena, a na 1105 cm^{-1} C-O-C apsorbuju glikozidne etarske veze (Kumar et al., 2014). Apsorpciona traka zabeležena na 1054 cm^{-1} karakteristična je za C-O-C vibracije istezanja piranoznog prstena celuloze i hemiceluloza (Kumar et al., 2014). Apsorpcija na 1030 cm^{-1} pripisuje se C-O i C-C deformacionim vibracijama istezanja koje potiču od ugljeno-hidratnih komponenti drveta (Picollo, 2011), zatim C-H deformacijama u ravni aromata (1031 cm^{-1}), kao i C-O deformacionim vibracijama primarnih alkohola gvajacil jedinica lignina (Bodirlau et al., 2007; Hosseinaei et al., 2011 b).

Trake na talasnim dužinama 814 i 872 cm^{-1} specifične su za glukomanane, dok na 870 cm^{-1} apsorbuje manoza (Bjarnestad i Dahlman, 2002). Nijedna od ovih traka nije jasno izražena na FTIR spektru juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena, što ukazuje na jako mali udeo glukomanana u ovim uzorcima, i u skladu je sa odsustvom manoze u hidrolizatima ovih uzoraka (slika 5.19 i tabela 5.2).

Spektralne trake u oblasti talasnih dužina od $1420 - 1430 \text{ cm}^{-1}$ i $893 - 897 \text{ cm}^{-1}$ veoma su značajne za procenu kristalne strukture celuloze. Apsorpciona traka u FTIR spektrima celuloznih materijala na 1430 cm^{-1} , koja ukazuje na

simetrične CH₂ vibracije savijanje ("*bending*") poznata je kao "*kristalinična*", dok se traka na 898 cm⁻¹, koja potiče od C–O–C vibracija istezanja β-(1-4)-glikozidnih veza celuloze, naziva "*amorfnom*" apsorpcionom trakom (Spiridon et al., 2010).

Vrednosti apsorbanca na 1430 cm⁻¹ i 897 cm⁻¹ daju podatke o kristaliničnosti celuloze. Intenzitet "kristalinične trake" na 1430 cm⁻¹ odražava stepen kristaliničnosti celuloznih uzoraka, dok traka na 898 cm⁻¹ odražava udeo amorfne oblasti. Odnos apsorbanca A_{1430}/A_{897} daje vrednost indeksa kristaliničnosti ("*lateral order index*" - LOI), preciznije, daje podatke o sadržaju celuloze I u ispitivanom uzorku (Spiridon et al., 2010). Odnos A_{1372}/A_{2900} poznat je kao "*total crystallinity indeks*" (TCI), dok odnos A_{3308}/A_{1330} ukazuje na intenzitet vodoničnih veza (HBI). Visoke vrednosti TCI i LOI ukazuju na visoko kristaliničnu i uređenu strukturu.

Ciolacu sa saradnicima (2011) kao i Kumar sa saradnicima (2014) eksperimentalno su potvrdili da su odnosi kristaliničnosti celuloze dobijeni ovim metodama određivanja na osnovu apsorpcije u IR oblasti spektra u skladu su sa indeksom kristaliničnosti dobijenim metodom difrakcije x-zraka.

Dobrica i saradnici (2008) navode primenu FTIR spektara za izračunavanje odnosa udela lignina i ugljenih hidrata (A_{1508}/A_{1375} ; A_{1508}/A_{1158}), kao i odnosa karbonil/karboksihidratnih pikova (A_{1738}/A_{1375} ; A_{1738}/A_{1158}) u lignoceluloznim uzorcima.

U tabeli 5.3 prikazane su vrednosti indeksa kristaliničnosti, intenziteta vodoničnih veza i odnosa lignina i ugljenih hidrata u uzorcima juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena, izračunatih na osnovu apsorbanca u IR oblasti spektra.

Tabela 5.3. Indeks kristaliničnosti, intenzitet vodoničnih veza i odnos lignin/ugljeni hidrati u uzorcima juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

	Juvenilno drvo	Zrelo drvo
A_{1430}/A_{897} (LOI)	0,864	0,923
A_{1372}/A_{2900} (TCI)	0,994	0,991
A_{3308}/A_{1330} (HBI)	1,14	1,18
A_{1508}/A_{1373} (L/UH)	0,954	1,009

Vrednost indeksa kristaliničnosti (LOI), koji se odnosi na celulozu I, od 0,923 nešto je veća kod uzoraka zrelog drveta poljskog jasena u odnosu na vrednost od 0,864 kod juvenilnog drveta. Međutim, ukupni indeks kristaliničnosti (TCI) neznatno je veći kod juvenilnog drveta. Intenzitet vodoničnih veza, kao i udeo lignina neznatno su veći kod ispitivanih uzoraka zrelog drveta (tabela 5.3), što je u skladu sa rezultatima analiza sadržaja lignina i celuloze dobijenim u ovom radu (tačka 5.1.4).

5.2. UTICAJ PARAMETARA PREDTRETMANA NA SVOJSTVA DRVETA POLJSKOG JASENA

U okviru ispitivanja uticaja različitih parametara predtretmana na svojstva drveta poljskog jasena, za svaku vrstu tretmana (tretman vodom, natrijum karbonatom i sirćetnom kiselinom) pripremljeni uzorci tretirani su tokom 60 min na dve temperature: 100 °C i 120 °C, pri čemu su za tretmane natrijum karbonatom i sirćetnom kiselinom primenjene tri koncentracije vodenih rastvora hemikalija: 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta, kako je opisano u tački 4.5.1.

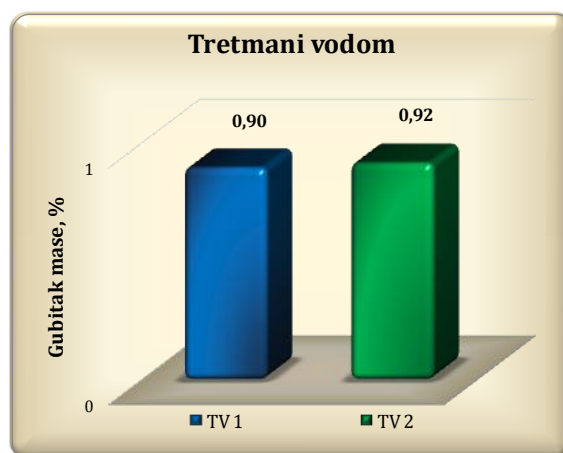
Tretiranim, kao i kontrolnim uzorcima ispitana su sledeća svojstva: gubitak mase, gustina, upijanje vode, zapreminsko bubrenje (tačka 4.5.1.4) i smicajna čvrstoća u sloju adheziva (tačka 4.5.1.5). Komparativna analiza dobijenih rezultata ispitivanih svojstava uzoraka tretiranih pri različitim parametrima tretmana u poređenju sa kontrolnom grupom, kao i međusobno, poslužila je da se za svaku grupu tretmana odaberu parametri koji kao efekat imaju najmanje zapreminsko bubrenje, uz istovremeno što manje upijanje vode i zadovoljavajuću smicajnu čvrstoću u sloju adheziva tretiranih uzoraka. Navedeni kriterijumi usvojeni su u skladu sa ciljevima rada, kojima je predviđena izrada jednoslojnih ploča iverica poboljšane dimenzionalne stabilnosti i hidrofobnosti.

U ovom delu izloženi su rezultati ispitivanja navedenih svojstava za svaki od primenjenih tretmana. Rezultati deskriptivne i komparativne statističke analize dobijenih rezultata prikazani su u *Prilogu VI - 6*.

5.2.1. PREDTRETMANI VODOM

Gubitak mase uzoraka prilikom tretmana

Na slici 5.23 prikazan je gubitak mase uzoraka poljskog jasena tretiranih vodom tokom 60 min na temperaturama od 100 °C (TV 1) i 120 °C (TV 2).



Slika 5.23. *Gubitak mase uzoraka poljskog jasena prilikom tretmana vodom tokom 60 min na temperaturama od 100 °C (TV 1) i 120 °C (TV 2)*

Sa slike 5.23 može se uočiti da je, za obe primenjene temperature tretmana (100 i 120 °C), gubitak mase uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih vodom bio približno isti (0,90 i 0,92 %, respektivno). Gubitak mase drveta prilikom tretmana vodom može biti posledica rastvaranja ekstrakta u reakcionoj smeši i hidrolize gradivnih jedinjenja drveta, pre svega hemiceluloza (Laurová et al., 2009).

Gustina tretiranih uzoraka

U tabeli 5.4 prikazane su srednje vrednosti gustine u apsolutno suvom stanju kontrolnih (Kontr) i uzoraka poljskog jasena tretiranih vodom tokom 60 min na temperaturama od 100 °C (TV 1) i 120 °C (TV 2), koje su određene kako je opisano u tački 4.5.1.4.

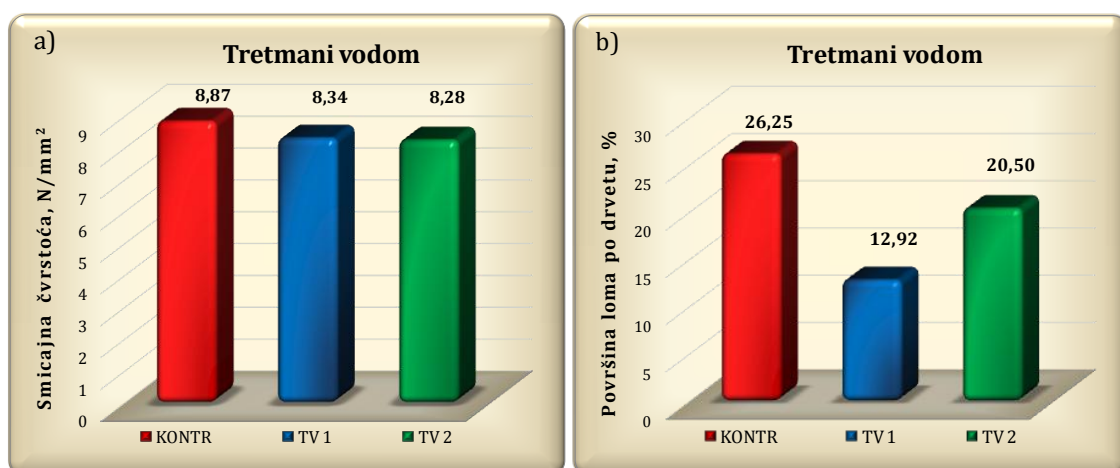
Tabela 5.4. *Gustina u apsolutno suvom stanju (ρ_0) kontrolnih (Kontr) i uzoraka tretiranih vodom na 100 °C (TV 1) i 120 °C (TV 2)*

	<i>Kontr</i>	<i>TV 1</i>	<i>TV 2</i>
<i>Gustina (ρ_0), kg/m³</i>	666,96	639,89	653,44
<i>Standardna devijacija</i>	63,98	55,88	47,74

Srednja vrednost gustine uzoraka kontrolne grupe od 666,96 kg/m³ nešto je veća u odnosu na vrednosti grupa uzoraka tretiranih vodom. Međutim, statistička analiza rezultata (*Prilog VI – 6*) pokazala je da razlike koje postoje u gustini između ove tri grupe uzoraka nisu značajne. Stoga se može isključiti uticaj razlika u gustini na smicajnu čvrstoću, upijanje vode i zapreminsko bubrenje ovih grupa uzoraka.

5.2.1.1. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva

Jedan od kriterijuma za izbor optimalnih parametara tretmana za ispitivanje dejstva predtretmana na promene u sastavu drveta poljskog jasena bila je vrednost smicajne čvrstoće u sloju adheziva tretiranih uzoraka. Na slici 5.24 prikazani su rezultati određivanja smicajne čvrstoće u sloju adheziva kontrolnih i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih vodom na 100 °C (TV 1) i 120 °C (TV 2).



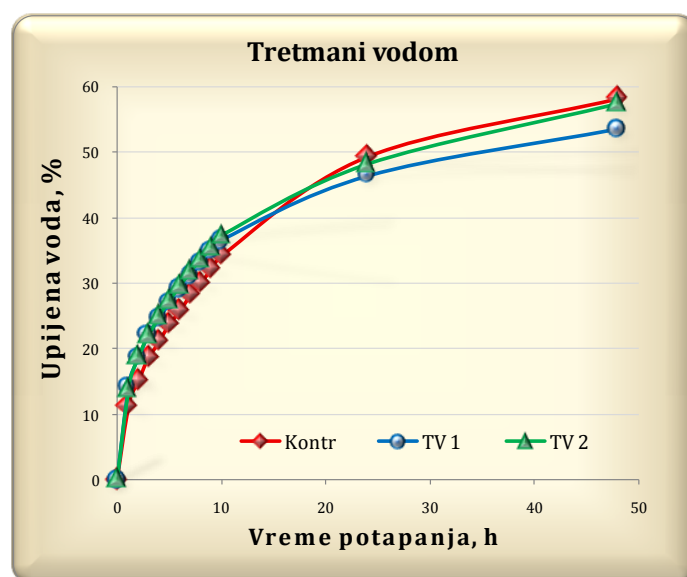
Slika 5.24. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva (a) i površina loma po drvetu (b) kontrolnih (KONTR) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih vodom na 100 °C (TV 1) i 120°C (TV 2)

Iako kontrolna grupa uzoraka pokazuje nešto veću vrednost smicajne čvrstoće od 8,87 N/mm² u poređenju sa uzorcima tretiranim vodom na 100 i 120 °C (8,34 i 8,28 N/mm²), analiza rezultata primenom statističke metode ANOVA pokazala je da ne postoje značajne razlike u dobijenim vrednostima smicajne čvrstoće između ove tri grupe uzoraka. Stoga, može se zaključiti da tretmani vodom nisu doveli do značajnih promena adhezivnih svojstava drveta poljskog jasena. Ovo nije iznenađujuće, s obzirom na mali gubitak mase uzoraka

prilikom tretmana (slika 5.23). Međutim, rezultati analize površine loma pokazuju da se lom pri opterećenju tretiranih uzoraka odvijao u manjoj meri po drvetu: 12,92 % (TV 1) i 20,50 % (TV 2) nego kod kontrolnih (26,25 %). Nasuprot tome, drugi istraživači uočili su pad mehaničkih svojstava uzoraka tretiranih vodom koji su pripisali ostvarivanju bližeg kontakta između celuloze i lignina posle razgradnje hemiceluloza (Hosseinaei et al., 2011 b, Gündüz et al., 2009; Kocaefe et al., 2010).

5.2.1.2. Upijanje vode

Na slici 5.25 prikazana je zavisnost upijanja vode kontrolnih (Kontr) i uzoraka tretiranih vodom tokom 60 min na 100 °C (TV 1) i 120 °C (TV 2) u zavisnosti od vremena potapanja. U tabeli 5.5 prikazano je povećanje upijanja vode (%), uzoraka tretiranih vodom na 100 i 120 °C u poređenju sa kontrolnim uzorcima.



Slika 5.25. Upijanje vode kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih vodom na 100 °C (TV 1) i 120°C (TV 2) u zavisnosti od vremena potapanja

Tabela 5.5. Povećanje upijanja vode uzoraka tretiranih vodom na 100 °C (TV 1) i 120°C (TV 2) u odnosu na kontrolne uzorke

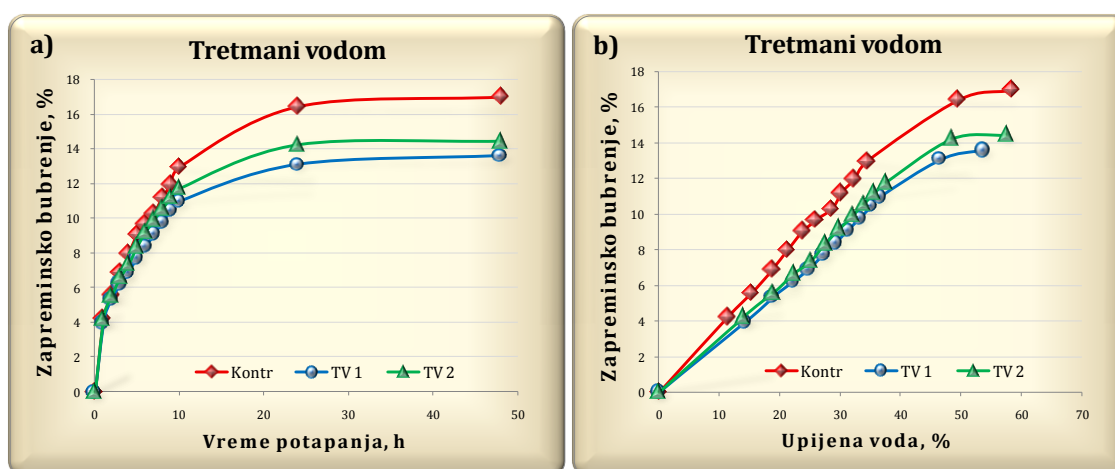
Vreme potapanja, h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	24	48	
Povećanje upijanja vode, %	TV 1	25,51	23,08	19,04	16,62	14,31	13,22	9,89	10,53	8,72	6,58	-5,90	-7,98
	TV 2	22,25	23,38	19,10	17,96	15,75	15,32	12,40	12,38	10,33	8,85	-2,27	-1,28

U prvim satima potapanja obe grupe uzoraka tretiranih vodom (TV 1 i TV 2) upijajale su veće količine vode u odnosu na kontrolne uzorke. Statistička analiza rezultata ukazuje da su razlike u upijanju vode između kontrolne grupe i tretiranih grupa uzoraka značajne, dok razlike u upijanju vode između dve tretirane grupe uzoraka nisu statistički značajne. Posle prvih 10 sati potapanja intenzitet upijanja vode tretiranih uzoraka se smanjio i posle 48 sati uzorci tretirani vodom na 100 °C upili su najmanju količinu vode.

Povećan intenzitet upijanja vode tretiranih uzoraka izražen tokom prvih sati potapanja ukazuje da su tretmani svojim dejstvom, doveli do povećanja permeabilnosti i poroznosti drveta poljskog jasena, što je posledica rastvaranja i razlaganja hemijskih jedinjenja drveta, pre svega ekstraktivnih materija.

5.2.1.3. Zapremsko bubrenje

Uzorcima potopljenim u vodu, pored upijanja vode određeno je i zapremsko bubrenje. Slika 5.26 prikazuje zavisnost zapremskog bubrenja kontrolnih (Kontr) i uzoraka tretiranih vodom tokom 60 min na 100 °C (TV 1) i 120 °C (TV 2) u zavisnosti od: a) vremena potapanja i b) upijene vode tokom 48 sati potapanja u vodi. U tabeli 5.6 prikazano je poboljšanje dimenzionalne stabilnosti, odnosno smanjenje zapremskog bubrenja (%) uzoraka tretiranih vodom na 100 i 120 °C u odnosu na kontrolne uzorke.



Slika 5.26. Zapremsko bubrenje tokom potapanja kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih vodom na 100 °C (TV 1) i 120°C (TV 2) u zavisnosti od: a) vremena potapanja i od b) upijene vode

Tabela 5.6. Poboljšanje dimenzionalne stabilnosti uzoraka tretiranih vodom na 100 °C (TV 1) i 120°C (TV 2) u odnosu na kontrolne uzorke

Vreme potapanja, h		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	24	48
Poboljšanje dimenzionalne stabilnosti, %	TV 1	5,87	3,68	9,12	13,25	14,41	13,17	11,30	12,79	12,33	15,14	20,27	19,91
	TV 2	0,09	0,64	3,35	7,49	7,77	4,82	3,13	5,67	6,37	9,30	13,46	15,10

Tokom celog trajanja potapanja kontrolna grupa uzoraka pokazala je veće bubrenje u odnosu na obe tretirane grupe uzoraka, iako je upijala značajno manju količinu vode. Imajući u vidu da je bubrenje drveta proporcionalno povećanju sadržaja vode u higroskopnoj oblasti (Šoškić i Popović, 2002), na osnovu toga može se zaključiti da su tretmani vodom na 100 i 120 °C i pored intenzivnijeg upijanja vode u prvim satima potapanja, svojim dejstvom doveli i do povećanja dimenzionalne stabilnosti uzoraka drveta poljskog jasena. Poboljšanje dimenzionalne stabilnosti više je izraženo kod grupe uzoraka tretiranih na 100 °C (tabela 5.6). Istovremeno, ova grupa uzoraka upila je najmanje vode tokom 48 h potapanja (slika 5.25).

Rezultati statističke analize ukazuju na postojanje značajnih razlika u iznosu zapreminskog bubrenja između kontrolne i grupe uzoraka TV 1 tokom trajanja ispitivanja, dok bubrenje uzoraka grupe TV 2 uglavnom nije značajno manje u odnosu na kontrolnu grupu.

Iz tabela 5.5 i 5.6 vidi se da čak i pri maksimalnom povećanju upijanja vode od 25,51 % u odnosu na upijanje vode kontrolnih uzoraka posle prvog sata potapanja, uzorci tretirani vodom na 100 °C pokazuju za 5,87 % manje zapreminsko bubrenje u odnosu na kontrolne.

Manje bubrenje uzoraka pri istom ili većem sadžaju upijene vode ukazuje na povećanje udela slobodne vode, uz istovremeno smanjenje udela higroskopne vlage u tretiranim uzorcima, odnosno na smanjenje broja slobodnih OH grupa u ćelijskom zidu tretiranih uzoraka. Naime, kako je već navedeno u tački 2.6.3, voda u drvetu može biti prisutna kao vezana (higroskopna) i slobodna. Maksimalan sadržaj higroskopne vlage ograničen je brojem slobodnih hidroksilnih grupa u ćelijskom zidu sposobnih da grade vodonične veze sa molekulima vode. U tački 2.6.4 navedeno je da povećanje sadržaja higroskopne (vezane) vode dovodi do

povećanja dimenzija (bubrenja) drveta, dok promena sadržaja slobodne vode ne izaziva promenu dimenzija drveta.

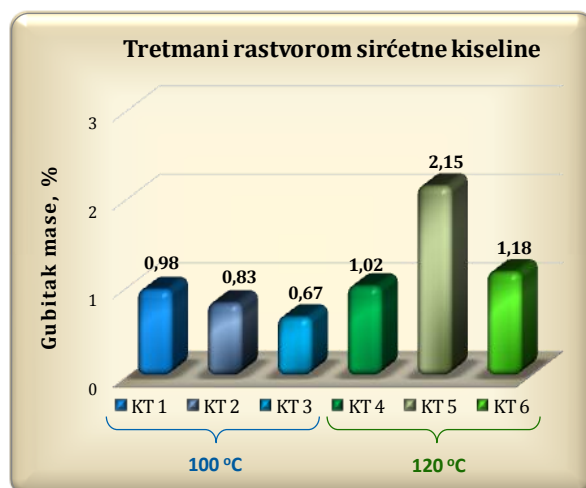
Maksimalno smanjenje zapreminskog bubrenja od 20,27 % u odnosu na kontrolne, uzorci tretirani vodom na 100 °C pokazali su posle 24 sata potapanja (tabela 5.6), pri čemu je istovremeno i upijanje vode ove grupe uzoraka nešto manje nego kod kontrolnih uzoraka (slika 5.25 i tabela 5.5).

Na osnovu izloženih rezultata (vrednosti smicajne čvrstoće, upijanja vode i zapreminskog bubrenja), za istraživanja uticaja efekata tretmana na promene u hemijskom sastavu juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena iz ove grupe tretmana kao optimalan **izabran je tretman vodom na 100 °C (TV 1)**.

5.2.2. PREDTRETMANI SIRČETNOM KISELINOM

Gubitak mase uzoraka prilikom tretmana

Na slici 5.27 prikazan je gubitak mase uzoraka poljskog jasena tretiranih rastvorima sirčetne kiseline pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g CH₃COOH /g suve mase drveta na temperaturama od 100 °C (KT 1, KT 2 i KT 3) i 120 °C (KT 4, KT 5 i KT 6) tokom 60 min.



Slika 5.27. Gubitak mase uzoraka poljskog jasena prilikom tretmana rastvorima sirčetne kiseline pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta na temperaturama od 100 °C (KT 1, KT 2 i KT 3) i 120 °C (KT 4, KT 5 i KT 6)

Gubitak mase uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih rastvorima sirćetne kiseline na različitim temperaturama tretmana ima različit trend. Pri temperaturi tretmana od 100 °C sa porastom koncentracije rastvora sirćetne kiseline primenjenih za tretman od 0,03 do 0,09 g/g, gubitak mase uzoraka poljskog jasena opada od 0,98 do 0,67 % (slika 5.27), što nije očekivano. Naime, Lu i saradnici (2003) ustanovili su da gubitak mase *Cryptomeria japonica* D. (*sugi wood*) tretiranog tokom 1 h na sobnoj temperaturi (25 °C) raste sa 1,20 % na 1,97 % sa povećanjem koncentracije rastvora sirćetne kiseline primenjenog za tretman sa 3 % na 30 %. Međutim, analizirajući promene intenziteta karbonilnog pika FTIR spektara uzoraka bukve i bora tokom hidrotermičkog tretmana, Tjeerdsma i Militz (2005) utvrdili su da u prvoj fazi tretmana dolazi do otcepljivanja acetil grupa, što rezultuje formiranjem odgovarajućih kiselina, uglavnom sirćetne. U sledećem koraku tretmana odigravaju se reakcije esterifikacije između prisutnih kiselina i hidroksilnih grupa drveta, odnosno lignina (Tjeerdsma i Militz, 2005). Na osnovu rezultata Tjeerdsma i Militz (2005) može se očekivati da je u prisustvu sirćetne kiseline u rastvorima za tretmane došlo do odigravanja reakcija esterifikacije uzoraka poljskog jasena tokom primenjenih tretmana, što može objasniti manji gubitak mase pri većim koncentracijama rastvora sirćetne kiseline. Usled rastvaranja i hidrolize jedinjenja drveta, masa uzoraka poljskog jasena tokom tretmana se smanjivala, dok je formiranje novih estarskih grupa povećavalo masu uzoraka. Step en odigravanja ovih reakcija koje su se istovremeno odvijale u reakcionim sistemima zavisio je od uslova tretmana (temperature i koncentracije sirćetne kiseline), što je rezultovalo najmanjim gubitkom mase uzoraka od 0,67 % pri najvećem dodatku sirćetne kiseline (0,09 g/g) na temperaturi tretmana od 100 °C.

Veće vrednosti gubitka mase uzoraka tretiranih na 120 °C u poređenju sa gubitkom mase uzoraka tretiranih pri istoj koncentraciji sirćetne kiseline na temperaturi tretmana od 100 °C ukazuju da su se na ovoj temperaturi tretmana intenzivnije odigravale reakcije razgradnje jedinjenja drvnog tkiva. U skladu sa tim, maksimalan gubitak mase od 2,15 % ustanovljen je kod kod uzoraka tretiranih pri dodatku od 0,06 g/g sirćetne kiseline na temperaturi tretmana od 120 °C.

Gustina tretiranih uzoraka

U tabeli 5.7 prikazane su srednje vrednosti gustine u apsolutno suvom stanju kontrolnih (Kontr) i uzoraka tretiranih rastvorima pri dodatku sirćetne kiseline od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta tokom 60 min na temperaturama od 100 °C (KT 1, KT 2 i KT 3) i 120 °C (KT 4, KT 5 i KT 6), određenih kako je opisano u tački 4.5.1.4.

Tabela 5.7. Gustina u apsolutno suvom stanju (ρ_0) kontrolnih (Kontr) i uzoraka tretiranih rastvorima sirćetne kiseline pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta na temperaturama od 100 °C (KT 1, KT 2 i KT 3) i 120 °C (KT 4, KT 5 i KT 6)

	Kontr	KT 1	KT 2	KT 3	KT 4	KT 5	KT 6
<i>Gustina (ρ_0), kg/m³</i>	666,96	646,95	637,09	623,33	632,46	644,61	652,86
<i>Standardna devijacija</i>	63,98	61,04	68,98	66,36	67,42	65,59	54,63

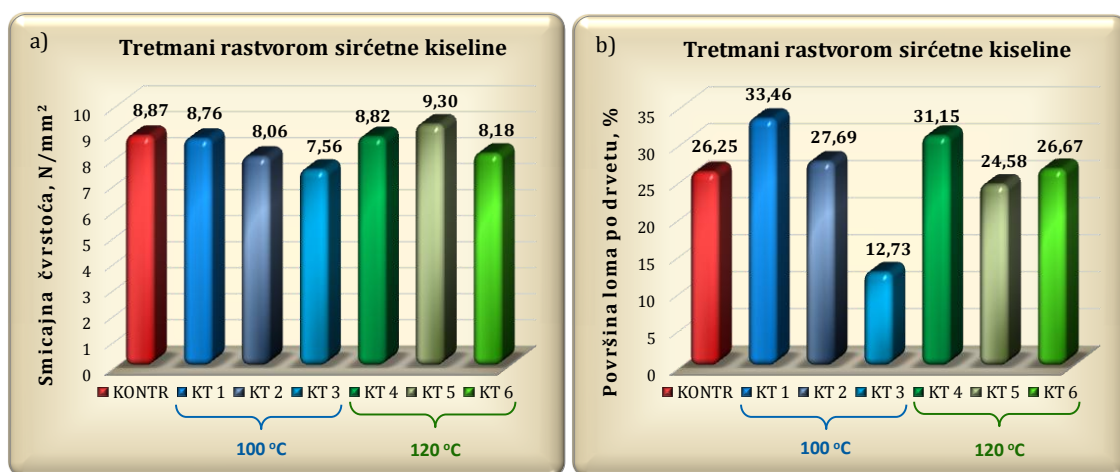
Srednja vrednost gustine uzoraka kontrolne grupe od 666,96 kg/m³ veća je u odnosu na vrednosti gustine uzoraka tretiranih sirćetnom kiselinom koje se nalaze u opsegu od 623,33 do 652,86 kg/m³. Statistička analiza rezultata (Prilog VI – 6) pokazala je da razlike koje postoje u gustini između ovih sedam grupa nisu značajne, pa se može smatrati da nisu imale uticaj na razlike u smicajnoj čvrstoći, upijanju vode i zapreminskom bubrenju ovih grupa uzoraka.

5.2.2.1. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva

Na slici 5.28 prikazane su vrednosti smicajne čvrstoće u sloju adheziva kontrolnih i uzoraka tretiranih pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g sirćetne kiseline /g suve mase drveta tokom 60 min na temperaturama od 100 °C i 120 °C.

Imajući u vidu da su tretmani izmenili hemijski sastav uzoraka, na šta ukazuje gubitak mase tretiranih uzoraka (slika 5.27), očekivano je da su promenjena i ahezivna svojstva tretiranog drveta poljskog jasena. Sa slike 5.28 može se primetiti da je najveću vrednost smicajne čvrstoće od 9,30 N/mm² pokazala grupa uzoraka označena kao KT 5 (0,06 g/g, 120 °C), koja je prilikom tretmana imala i najveći gubitak mase od 2,15 % (slika 5.27). Srednje vrednosti

smicajne čvrstoće u sloju adheziva ostalih grupa uzoraka tretiranih rastvorima sirćetne kiseline nešto su manje u poređenju sa kontrolnom grupom uzoraka, i prate trend promene gubitka mase (slika 5.27). Međutim, ove razlike nisu statistički značajne (*Prilog VI - 6*), izuzev u slučaju uzoraka grupe KT3 (0,09 g/g, 100 °C), čija je vrednost smicajne čvrstoće od 7,56 N/mm² najmanja. Istovremeno, i gubitak mase ovih uzoraka od 0,67 % bio je najmanji (slika 5.27).



Slika 5.28. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g sirćetne kiseline na 100 °C (KT 1, KT 2 i KT 3) i 120 °C (KT 4, KT 5 i KT 6)

Smanjenje vrednosti smicajne čvrstoće u sloju adheziva od 8,76 do 7,56 N/mm² sa povećanjem dodatka sirćetne kiseline od 0,03 do 0,09 g/g uzoraka tretiranih na 100 °C u skladu je sa pretpostavkom da je manji gubitak mase pri većem dodatku sirćetne kiseline posledica odigravanja reakcija esterifikacije. Naime, usled supstitucije OH grupa estarskim (acetil) grupama, smanjuje se broj potencijalnih mesta za ostvarivanje veza između drveta i adheziva (Mirzaei et al., 2012), što dovodi do slabije adhezije. Acetil grupe takođe mogu da formiraju vodonične veze sa donorom protona, ali su ove veze slabije od veza koje formiraju hidroksilne grupe (Frihart, 2006).

Trend opadanja smicajne čvrstoće sa porastom dodatka sirćetne kiseline prisutan je i kod uzoraka tretiranih na 120 °C. Izuzetak su uzorci tretirani pri dodatku od 0,06 g/g sirćetne kiseline na temperaturi od 120 °C, kod kojih je zabeležena najveća vrednost smicajne čvrstoće od 9,30 N/mm². Istovremeno, ovi

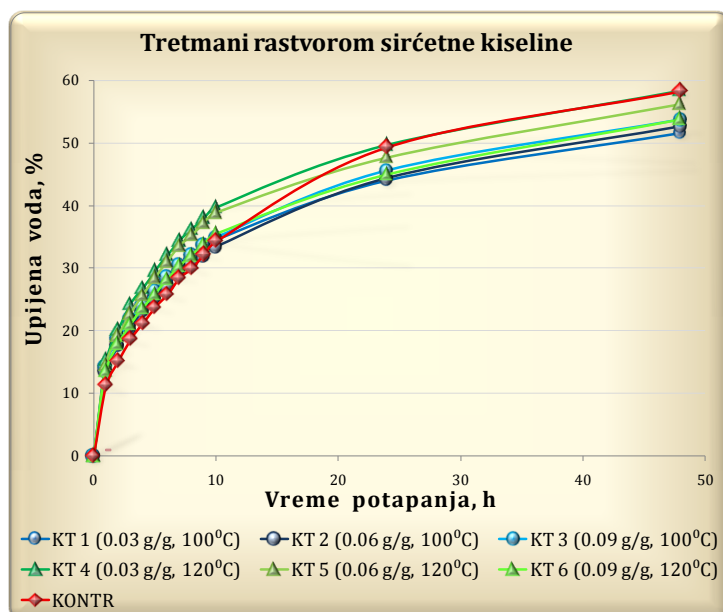
uzorci imali su najveći gubitak mase prilikom tretmana od 2,15 %, pa se može pretpostaviti da je njihova poroznost i permeabilnost povećana u poređenju sa ostalim ispitivanim uzorcima. Ovo je moglo olakšati penetraciju adheziva u tkivo drveta i povećati udeo mehaničke adhezije u ovim uzorcima, što se odrazilo na povećanje smicajne čvrstoće.

Udeo površine loma po drvetu kreće od 12,73 % kod uzoraka grupe KT 3 do 33,46 % kod uzoraka grupe KT 1 (0,03 g/g, 100 °C) (slika 5.28 b). U poređenju sa kontrolnim uzorcima, površina loma po drvetu značajnije je izmenjena jedino kod uzoraka koji su tretirani pri dodatku od 0,09 g/g sirćetne kiseline (12,73 %) na temperaturi tretmana od 100 °C, što je verovatno posledica slabije formirane adhezivne veze, jer je upravo kod ove grupe uzoraka smicajna čvrstoća od 7,56 N/mm² značajno manja u poređenju sa ostalim ispitivanim grupama uzoraka. Površina loma po drvetu ostalih grupa uzoraka tretiranih rastvorima sirćetne kiseline ne razlikuje značajno u poređenju sa vrednošću kod kontrolne grupe.

5.2.2.2. Upijanje vode

Slika 5.29 prikazuje zavisnost upijanja vode kontrolnih (Kontr) i uzoraka tretiranih rastvorima sirćetne kiseline pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta tokom 60 min na temperaturama od 100 °C (KT 1, KT 2 i KT 3) i 120 °C (KT 4, KT 5 i KT 6) u zavisnosti od vremena potapanja. U tabeli 5.8 prikazano je povećanje upijanja vode (%), ovih uzoraka u odnosu na kontrolne uzorke.

Tokom prvih 10 sati potapanja sve grupe uzoraka tretirane sirćetnom kiselinom pokazale su povećanje upijanja vode u odnosu na kontrolnu grupu uzoraka, što je verovatno posledica povećanja permeabilnosti i poroznosti tretiranih uzoraka. Sa slike 5.29 i tabele 5.8 vidi se da je tokom svih 48 sati potapanja najveće upijanje vode pokazala grupa uzoraka KT 4 i KT 5, dok grupe uzoraka KT 1 i KT 2 upijaju najmanje vode tokom ovog perioda.



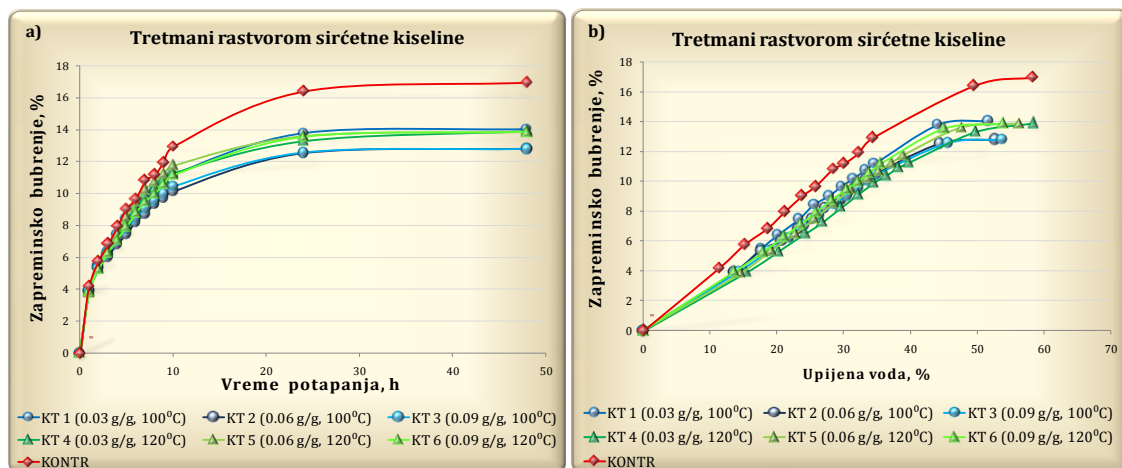
Slika 5.29. Upijanje vode kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih rastvorima sirćetne kiseline pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g na 100 °C (KT 1, KT 2 i KT 3) i 120 °C (KT 4, KT 5 i KT 6) u zavisnosti od vremena potapanja

Tabela 5.8. Povećanje upijanja vode uzoraka tretiranih rastvorima sirćetne kiseline pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g na 100 °C (KT 1, KT 2 i KT 3) i 120 °C (KT 4, KT 5 i KT 6) u odnosu na kontrolne uzorke

Vreme, h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	24	48
Povećanje upijanja vode, %												
KT 1	18,50	15,77	8,03	9,85	7,74	7,59	4,04	4,66	2,73	0,76	-10,82	-11,40
KT 2	20,11	15,84	11,01	9,23	6,06	5,18	3,93	2,55	-0,54	-2,81	-10,22	-9,64
KT 3	26,40	23,71	17,07	13,66	11,01	10,97	7,48	7,19	4,72	1,60	-7,76	-7,85
KT 4	35,42	32,59	29,89	26,44	24,49	24,67	21,27	21,00	18,31	15,83	0,66	0,31
KT 5	27,91	26,06	21,60	20,70	19,95	20,41	17,88	17,36	15,18	13,11	-3,54	-3,48
KT 6	19,74	17,85	12,53	11,07	9,02	9,37	6,86	6,86	4,79	3,24	-8,92	-7,66

5.2.2.3. Zapreminsko bubrenje

Na slici 5.30 prikazana je zavisnost zapreminskog bubrenja kontrolnih i uzoraka tretiranih rastvorima sirćetne kiseline pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta na temperaturama od 100 °C (KT 1, KT 2 i KT 3) i 120 °C (KT 4, KT 5 i KT 6) u zavisnosti od: a) vremena potapanja i b) upijene vode tokom 48 sati potapanja. U tabeli 5.9 prikazano je poboljšanje dimenzionalne stabilnosti (%), ovih uzoraka u odnosu na kontrolne uzorke.



Slika 5.30. Zapreminsko bubrenje tokom potapanja kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih rastvorima sirćetne kiseline pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g na 100 °C (KT 1, KT 2 i KT 3) i 120 °C (KT 4, KT 5 i KT 6) u zavisnosti od: a) vremena potapanja i od b) upijene vode

Svi ispitivani parametri tretmana doveli su do poboljšanja dimenzionalne stabilnosti uzoraka tretiranih sirćetnom kiselinom (slika 5.30).

Tabela 5.9. Poboljšanje dimenzionalne stabilnosti uzoraka tretiranih rastvorima sirćetne kiseline pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g na 100 °C (KT 1, KT 2 i KT 3) i 120 °C (KT 4, KT 5 i KT 6) u odnosu na kontrolne uzorke

Vreme, h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	24	48
Poboljšanje dimenzionalne stabilnosti % KT 1	7,60	4,32	6,27	6,03	6,52	6,62	10,70	8,94	9,87	13,51	15,95	17,25
KT 2	6,59	7,42	11,96	14,30	17,43	14,66	19,47	16,56	18,52	21,63	23,72	24,55
KT 3	6,39	7,58	9,41	10,95	14,17	12,21	16,14	14,44	16,12	19,39	23,46	24,63
KT 4	7,36	8,64	5,39	8,45	8,90	5,78	8,41	7,27	8,69	12,81	18,93	18,06
KT 5	8,99	7,53	5,72	5,88	5,56	2,01	5,34	4,26	6,06	9,24	17,22	18,41
KT 6	6,90	9,28	8,26	10,75	12,30	9,36	12,48	10,84	11,66	13,73	17,57	18,36

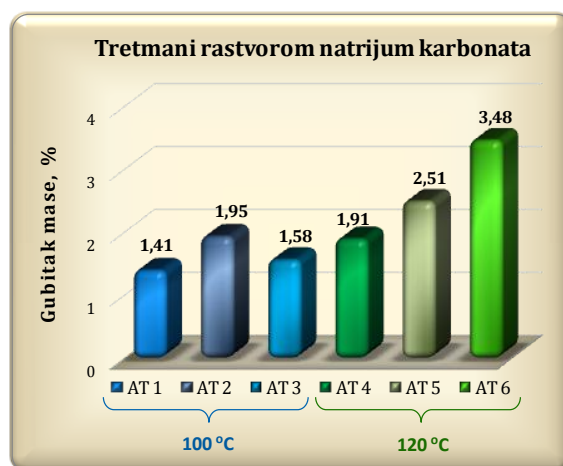
Iako je smicajna čvrstoća grupe uzoraka KT 5 bila najveća, ova grupa uzoraka imala je najmanje poboljšanje dimenzionalne stabilnosti (tabela 5.9), uz upijanje vode koje je veće u odnosu na skoro sve ostale grupe uzoraka (slika 5.29 i tabela 5.8). Najveće poboljšanje dimenzionalne stabilnosti pokazali su uzorci grupe KT 2 (0,06 g/g, 100 °C), uz istovremeno najmanje upijanje vode u odnosu na ostale uzorke tretirane sirćetnom kiselinom gotovo tokom svih 48 sati potapanja (slika 5.29 i 5.30; tabela 5.8 i 5.9).

Na osnovu izloženih rezultata (vrednosti smicajne čvrstoće, upijanja vode i zapreminskog bubrenja), za istraživanja uticaja efekata tretmana na promene u hemijskom sastavu juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena iz grupe tretmana u kiseloj sredini kao optimalan **izabran je tretman sirćetnom kiselinom koncentracije 0,06 g/g na 100 °C (KT 2).**

5.2.3. PREDTRETMANI NATRIJUM KARBONATOM

Gubitak mase uzoraka prilikom tretmana

Na slici 5.31 prikazan je gubitak mase uzoraka poljskog jasena prilikom tretmana natrijum karbonatom pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta na temperaturama od 100 °C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120 °C (AT 4, AT 5 i AT 6).



Slika 5.31. Gubitak mase uzoraka poljskog jasena prilikom tretmana rastvorima natrijum karbonata pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta na temperaturama od 100 °C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120 °C (AT 4, AT 5 i AT 6)

Sa slike 5.31 može se uočiti da su tretmani natrijum karbonatom doveli do najvećeg gubitka mase prilikom tretmana, koji se kreće od 1,41 do 1,95 % na temperaturi od 100 °C, odnosno 1,91 – 3,48 % na temperaturi tretmana od 120 °C.

Gustina tretiranih uzoraka

U tabeli 5.10 prikazane su srednje vrednosti gustine u apsolutno suvom stanju (ρ_0) kontrolnih (Kontr) i uzoraka tretiranih tokom 60 min rastvorima

natrijum karbonata pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta na temperaturama od 100 °C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120 °C (AT 4, AT 5 i AT 6), određenih kako je opisano u tački 4.5.1.4.

Tabela 5.10. Gustina u apsolutno suvom stanju (ρ_0) kontrolnih (Kontr) i uzoraka tretiranih rastvorima natrijum karbonata pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta na temperaturama od 100 °C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120 °C (AT 4, AT 5 i AT 6)

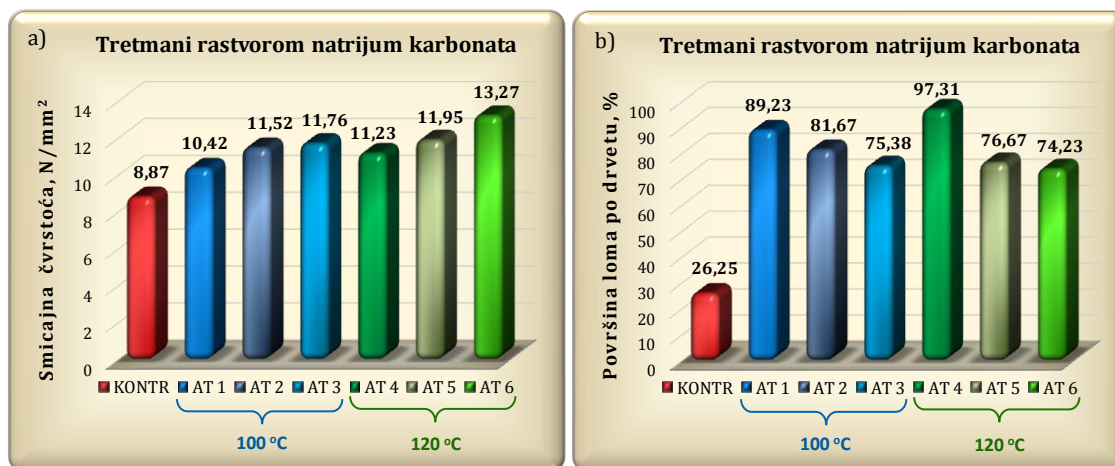
	Kontr	AT 1	AT 2	AT 3	AT 4	AT 5	AT 6
<i>Gustina (ρ_0), kg/m³</i>	666,96	666,96	639,99	654,10	686,20	664,35	661,03
<i>Standardna devijacija</i>	63,98	83,07	63,30	46,57	71,85	62,57	60,21

Analiza rezultata pokazala je da razlike koje postoje u gustini između kontrolne i grupa uzoraka tretiranih natrijum karbonatom nisu statistički značajne (Prilog IV – 6), pa se može smatrati da postojeće razlike u gustini nisu imale uticaj na smicajnu čvrstoću, upijanje vode i zapreminsko bubrenje ovih grupa uzoraka.

5.2.3.1. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva

Na slici 5.32 prikazane su vrednosti smicajne čvrstoće u sloju adheziva uzoraka tretiranih tokom 60 min pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g natrijum karbonata/g suve mase drveta, na temperaturama od 100 °C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120 °C (AT 4, AT 5 i AT 6) u poređenju sa kontrolnom grupom uzoraka.

Sa slike 5.32 a) jasno se može uočiti da su, na obe primenjene temperature tretmana (100 i 120 °C), tretmani natrijum karbonatom koncentracije 0,03; 0,06 i 0,09 g/g doveli do značajnog povećanja smicajne čvrstoće u sloju adheziva kod uzoraka drveta poljskog jasena. U poređenju sa kontrolnom grupom uzoraka, smicajna čvrstoća tretiranih uzoraka povećana je za 17,5 – 49,6 %. Takođe, na isti način kao kod gubitka mase (slika 5.31), jasno je uočljivo postojanje trenda porasta vrednosti smicajne čvrstoće uzoraka sa porastom dodatka natrijum karbonata pri istoj temperaturi tretmana, kao i sa povećanjem temperature tretmana pri istim koncentracijama primenjenog rastvora. Razlike u vrednostima smicajne čvrstoće svih tretiranih grupa uzoraka u poređenju sa kontrolnom grupom statistički su značajne.



Slika 5.32. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih rastvorima natrijum karbonata pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g na 100 °C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120 °C (AT 4, AT 5 i AT 6)

Veće vrednosti smicajne čvrstoće uzoraka posle tretmana rastvorima natrijum karbonata mogu biti posledica povećanja broja pristupačnih OH grupa na površini mikrofibrila usled prodiranja natrijumovih jona u strukturu celuloze, zbog čega dolazi do povećanja specifične površine celuloznih vlakana i povećanja efektivne površine dostupne za hemijske interakcije (Rojo et al., 2013), kao i povećanja udela amorfne oblasti u tretiranim uzorcima. Takođe, u alkalnoj sredini lako dolazi do hidrolitičkog kidanja acetil grupa hemiceluloza i njihove supstitucije OH grupama (Stevanović-Janežić, 1993; Dumitriu, 2005), što je moglo omogućiti bolju hemijsku interakciju uzoraka tretiranih natrijum karbonatom i UF adheziva. Pored toga, može se pretpostaviti da je povećanje permeabilnosti i poroznosti tretiranih uzoraka olakšalo penetraciju adheziva u tkivo drveta, a time i bolju mehaničku adheziju u ovim uzorcima. U prilog tome, jasno je uočljivo je da veći gubitak mase (slika 5.31) uzoraka tretiranih natrijum karbonatom uglavnom praćen većim vrednostima smicajne čvrstoće (slika 5.32).

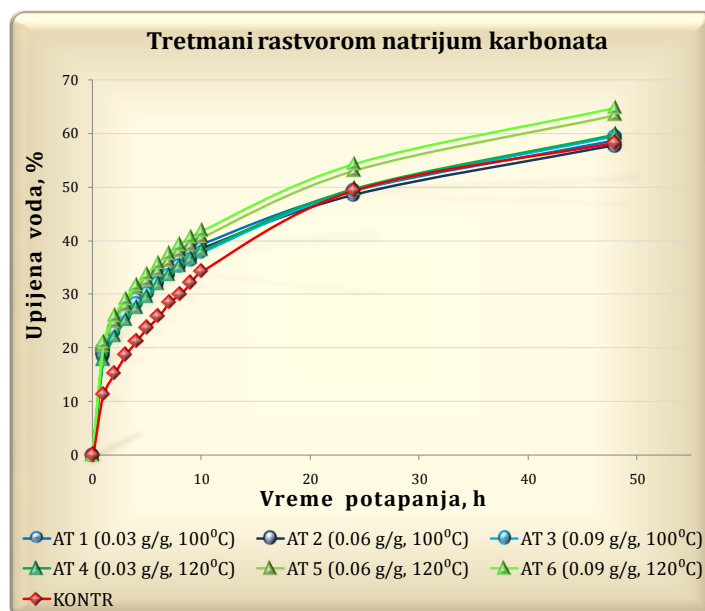
Istovremeno, površina loma po drvetu (slike 5.32 b) tretiranih uzoraka koje se kreće od 74,23 % (AT 6) do čak 97,31 % (AT 4) veća je 3 – 4 puta u poređenju sa kontrolnom grupom uzoraka (26,25 %). U skladu sa navodima Mihulja i Bognera (2007) da je veliki udeo površine loma po drvetu pokazatelj čvrstog spoja, ovakvi rezultati ukazuju na povećanja udela mehaničke adhezije u ovim uzorcima. Isto tako, može se zaključiti da je drvo najslabija karika u ovom adhezivnom

sistemu, i može ukazati na pad mehaničkih svojstava tretiranih uzoraka usled delimične destrukcije drveta prilikom tretmana. Naime, River i saradnici (1991) navode da se površina loma po drvetu smanjuje sa povećanjem gustine, odnosno jačine drveta, dok prema Hill-u (2006), usled degradacija hemiceluloza, drvo postaje krto i kruto, odnosno lako lomljivo. Pored toga, Kellog i Ifju, 1962, kao i Blankenhorn sa saradnicima (1989) navode da uticaj na pad mehaničkih svojstava drveta ima smanjenje gustine tretiranih uzoraka usled gubitka mase drveta prilikom tretmana, koji je bio veći kod uzoraka tretiranih natrijum karbonatom u odnosu na uzorke tretirane ostalim tretmanima.

5.2.3.2. Upijanje vode

Slika 5.29 prikazuje zavisnost upijanja vode kontrolnih i uzoraka tretiranih rastvorima natrijum karbonata pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta na temperaturama od 100 °C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120 °C (AT 4, AT 5 i AT 6) u zavisnosti od vremena potapanja.

U tabeli 5.11 prikazano je povećanje upijanja vode (%) uzoraka tretiranih rastvorima natrijum karbonata u odnosu na kontrolne uzorke.



Slika 5.33. Upijanje vode kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g natrijum karbonata na 100 °C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120 °C (AT 4, AT 5 i AT 6) u zavisnosti od vremena potapanja

Tabela 5.11. Povećanje upijanja vode uzoraka tretiranih rastvorima natrijum karbonata pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g na 100 °C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120 °C (AT 4, AT 5 i AT 6) u odnosu na kontrolne uzorke

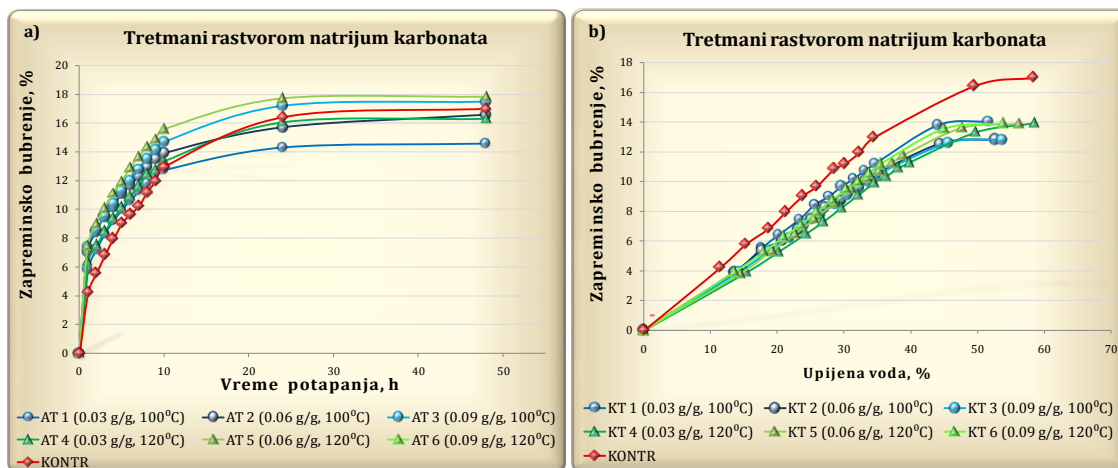
Vreme, h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	24	48
Povećanje upijanja vode, % AT 1	60,79	50,07	40,28	36,10	31,34	30,80	23,13	22,18	18,58	14,90	0,04	0,89
AT 2	66,96	55,06	42,58	37,56	31,09	27,43	21,55	20,08	15,60	12,25	-1,80	-0,91
AT 3	74,01	51,91	39,15	33,79	27,39	24,41	18,38	17,38	13,31	10,04	-0,16	2,01
AT 4	57,00	45,27	34,76	30,07	24,36	24,06	17,96	17,58	14,24	11,29	0,61	2,73
AT 5	80,79	64,13	50,29	46,61	37,27	33,75	27,38	26,57	21,99	18,28	7,24	8,81
AT 6	85,64	71,29	56,13	49,29	42,07	38,67	31,99	30,80	26,18	21,86	9,87	11,06

Na slici 5.33 može se primetiti da je, u poređenju sa kontrolnom grupom uzoraka, upijanje vode svih grupa uzoraka tretiranih natrijum karbonatom veće tokom svih 48 sati potapanja. Povećano upijanje vode tretiranih uzoraka naročito je izraženo tokom prvih 10 sati ispitivanja, nakon čega uzorci grupa AT 5 i AT 6, koji su imali najveći gubitak mase (slika 5.31) i dalje upijaju znatno veću količinu vode, dok je upijanje ostalih grupa uzoraka približno isto kao kod kontrolnih. Najmanje upijanje vode pokazali su uzorci grupe AT 4 (slika 5.33 i tabela 5.11).

5.2.3.3. Zapreminsko bubrenje

Na slici 5.34 prikazana je zavisnost zapreminskog bubrenja kontrolnih i uzoraka tretiranih rastvorima natrijum karbonata pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta na temperaturama od 100 °C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120 °C (AT 4, AT 5 i AT 6) u zavisnosti od: a) vremena potapanja i b) upijene vode tokom 48 sati potapanja.

Tokom svih 48 sati ispitivanja zapreminsko bubrenje uzoraka tretiranih natrijum karbonatom uglavnom je povećano u odnosu na bubrenje kontrolnih uzoraka (slika 5.34 a). Ovo je naročito izraženo tokom prvih 10 sati ispitivanja, kada je i upijanje vode najintenzivnije (slika 5.33 i tabela 5.11), i značajno veće u poređenju sa kontrolnim uzorcima.



Slika 5.34. Zapreminsko bubrenje tokom potapanja kontrolnih (Kontr) i uzoraka drveća poljskog jasena tretiranih rastvorima natrijum karbonata pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g na 100°C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120°C (AT 4, AT 5 i AT 6) u zavisnosti od: a) vremena potapanja i od b) upijene vode

Tabela 5.12. Poboljšanje dimenzionalne stabilnosti uzoraka tretiranih rastvorima natrijum karbonata pri dodatku od 0,03; 0,06 i 0,09 g/g na 100°C (AT 1, AT 2 i AT 3) i 120°C (AT 4, AT 5 i AT 6) u odnosu na kontrolne uzorke

Vreme, h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	24	48
Poboljšanje dimenzionalne stabilnosti %												
AT 1	-38,72	-30,22	-21,72	-16,08	-10,61	-10,03	-10,33	-5,81	-3,93	1,62	12,78	14,07
AT 2	-66,75	-52,34	-38,05	-27,76	-22,65	-20,89	-20,08	-15,64	-13,14	-7,57	4,38	2,47
AT 3	-75,06	-53,60	-39,07	-30,40	-24,75	-23,78	-24,56	-20,91	-18,49	-13,59	-4,63	-2,83
AT 4	-51,78	-35,25	-24,20	-18,34	-12,27	-12,93	-13,55	-11,44	-6,53	-3,09	2,19	3,94
AT 5	-76,96	-61,69	-47,23	-39,57	-31,71	-33,30	-32,85	-28,33	-24,52	-20,23	-7,79	-4,94
AT 6	-101,90	-85,25	-68,66	-56,91	-48,84	-48,60	-46,98	-41,20	-36,65	-29,65	-16,13	-14,01

Međutim, posmatrajući zavisnost zapreminskog bubrenja od upijene vode (slika 5.34 b), jasno je uočljivo da je zapreminsko bubrenje tretiranih uzoraka pri istim količinama upijene vode manje od bubrenja uzoraka kontrolne grupe. Očigledno, povećano zapreminsko bubrenje uzoraka tretiranih u alkalnoj sredini u zavisnosti od vremena posledica je povećanog upijanja vode. Najveće bubrenje pokazala je grupa AT 6, koja je tokom celog trajanja potapanja upijala najviše vode (tabela 5.11), ali je imala i najveći gubitak mase (slika 5.31). Iako upijanje vode grupe uzoraka AT 1 nije bilo najmanje tokom 48-časovnog potapanja (tabela 5.11), uzorci ove grupe pokazali su najmanje zapreminsko bubrenje (tabela 5.12).

Na osnovu izloženih rezultata (vrednosti smicajne čvrstoće, upijanja vode i zapreminskog bubrenja), za istraživanja uticaja efekata tretmana na promene u hemijskom sastavu juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena kao optimalan iz grupe tretmana u alkalnoj sredini **izabran je tretman natrijum karbonatom koncentracije 0,03 g/g na 100 °C (AT 1).**

5.2.4. PRIKAZ IZABRANIH PARAMETARA PREDTRETMANA

Na osnovu analize rezultata ispitivanja uticaja sledećih parametara:

- temperature (100 i 120 °C) i
- koncentracije izabranih reagenasa (0,03; 0,06 i 0,09 g/g suve mase drveta),

tretmana vodom, i rastvorima sirćetne kiseline i natrijum karbonate na:

- smicajnu čvrstoću u sloju adheziva,
- upijanje vode i
- zapreminsko bubrenje tretiranih uzoraka,

kao optimalni za ispitivanje efekata tretmana na promene u hemijskom sastavu juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena i izradu ploča iverica odabrani su sledeći parametri tretmana i prikazani u tabeli 5.13:

Tabela 5.13. Parametri tretmana izabrani za ispitivanje efekata tretmana na hemijski sastav juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

<i>Tretman</i>	<i>Oznaka</i>	<i>Optimalni parametri tretmana</i>	
		<i>Temperatura</i>	<i>Dodatak reagenasa</i>
<i>TV – Tretman vodom</i>	TV 1	100 °C	/
<i>KT – Tretman sirćetnom kiselinom</i>	KT 2	100 °C	0,06 g CH ₃ COOH/g s.m.d.*
<i>AT – Tretman natrijum karbonatom</i>	AT 1	100 °C	0,03 g Na ₂ CO ₃ /g s.m.d.*

*suva masa drveta

5.3. ISPITIVANJE UTICAJA PREDTRETMANA NA HEMIJSKI SASTAV JUVENILNOG I ZRELOG DRVETA POLJSKOG JASENA

Tokom razmatranja rezultata dejstva tretmana na promene u tkivu drveta treba imati u vidu da su svi rezultati analiza hemijskog sastava izraženi kao sadržaj pojedinačnih komponenti drvnog tkiva u odnosu na 100 g tretiranog drveta, koje je pretrpelo gubitak mase u odnosu na početni uzorak. Usled toga, promene sadržaja pojedinačnih komponenti su relativne, jer su izražene preko učešća date komponente u tretiranom, odnosno netretiranom uzorku. Uprošćeno, povećano učešće neke komponente u tretiranom uzorku ne znači da tokom tretmana nije došlo do gubitaka date komponente, već samo da su ti gubici bili manji u odnosu na ostale komponente drvnog tkiva, što se manifestuje relativnim povećanjem udela te komponente u tretiranom uzorku.

5.3.1. GUBITAK MASE DRVETA PRILIKOM TRETMANA

Posle vazdušnog sušenja tretiranim uzorcima iverja juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena određen je sadržaj apsolutne i relativne vlage i koeficijent suvoće. Rezultati su prikazani u tabeli 5.14.

Tabela 5.14. Sadržaj apsolutne (W_{aps}) i relativne (W_{rel}) vlage i koeficijent suvoće (K_s) kontrolnog i tretiranog iverja juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

Tretman	Zrelo drvo			Juvenilno drvo		
	$W_{aps}, \%$	$W_{rel}, \%$	K_s	$W_{aps}, \%$	$W_{rel}, \%$	K_s
Kontr.	7,63	7,09	0,93	7,91	7,33	0,93
TV	10,26	9,30	0,91	10,15	9,21	0,91
KT	9,82	8,94	0,91	10,25	9,30	0,91
AT	10,20	9,26	0,91	10,42	9,44	0,91

TV - tretman vodom (100 °C); KT - tretman sirćetnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C); AT - tretman natijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C)

Na osnovu izmerene mase i sadržaja vlage iverja posle tretmana i poznate mase iverja pre tretmana, uzorcima juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena izračunat je gubitak mase prilikom tretmana. Rezultati su prikazani u tabeli 5.15.

Tabela 5.15. Gubitak mase iverja juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena prilikom tretmana

<i>Tretman</i>	<i>Gubitak mase, %</i>	
	<i>Zrelo drvo</i>	<i>Juvenilno drvo</i>
<i>TV</i>	4,90	6,35
<i>KT</i>	5,60	6,71
<i>AT</i>	7,21	8,01

TV - tretman vodom (100 °C); *KT* - tretman sirćetnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C);
AT - tretman natrijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C)

Iz tabele 5.15 može se videti da su svi primenjeni tretmani doveli do gubitka mase drveta. Sa aspekta primenjenih tretmana, najmanji gubitak mase imali su uzorci tretirani vodom (TV), dok je tretman pri dodatku 0,03 g/g natrijum karbonata (AT) doveo do najvećeg gubitka materije drveta.

Mali gubitak mase prilikom tretmana vodom konstatovali su i drugi autori. Mirzaei i saradnici (2012) navode gubitak mase od 2,9 % kod bukve tretirane vodom pri temperaturi tretmana od 130 °C i trajanju od 30 min. Gubitak mase žutog bora od 6,4 % prilikom hidrotermičkog tretmana na temperaturi od 140 °C referiše Hosseinaei sa saradnicima (2011 a). Sa porastom temperature tretmana i trajanja procesa povećavaju se gubici mase. Tretmani vodom, 3 % i 30 % sirćetnom kiselinom na sobnoj temperaturi doveli su do gubitka mase drveta vrste *Cryptomeria japonica* D. (*sugi wood*) od 1,03; 1,20 i 1,97 % (Lu et al., 2003).

Poredeći dejstvo istog tretmana na juvenilno i zrelo drvo, može se uočiti da su sva tri primenjena tretmana izazvala nešto veće gubitke mase kod juvenilnog drveta poljskog jasena. Veća poroznost juvenilnog u odnosu na zrelo drvo poljskog jasena (tabela 5.1), omogućila je lakše i potpunije prodiranje raeagenasa za tretmane u tkivo juvenilnog drveta. Manji sadržaj lignina, kao hidrofobne komponente ćelijskog zida, takođe je imao uticaj na veću izloženost ugljenohidratne komponente juvenilnog drveta reagensima. Istovremeno, veći sadržaj ekstraktivnih materija rastvorljivih u smeši toluol/etanol (slika 5.15) kod zrelog drveta jasena uticao je na smanjenje permeabilnosti ovih uzoraka. Usled toga, može se pretpostaviti da je stepen odigravanja reakcija tokom tretmana bio veći kod juvenilnog drveta, što je dovelo do većeg gubitka mase ovih uzoraka.

Relativno male vrednosti gubitka mase svih tretiranih uzoraka ukazuju da struktura drveta nije značajno narušena.

5.3.2. EFEKTI PREDTRETMANA NA SADRŽAJ SPOREDNIH KOMPONENTI TKIVA JUVENILNOG I ZRELOG DRVETA POLJSKOG JASENA

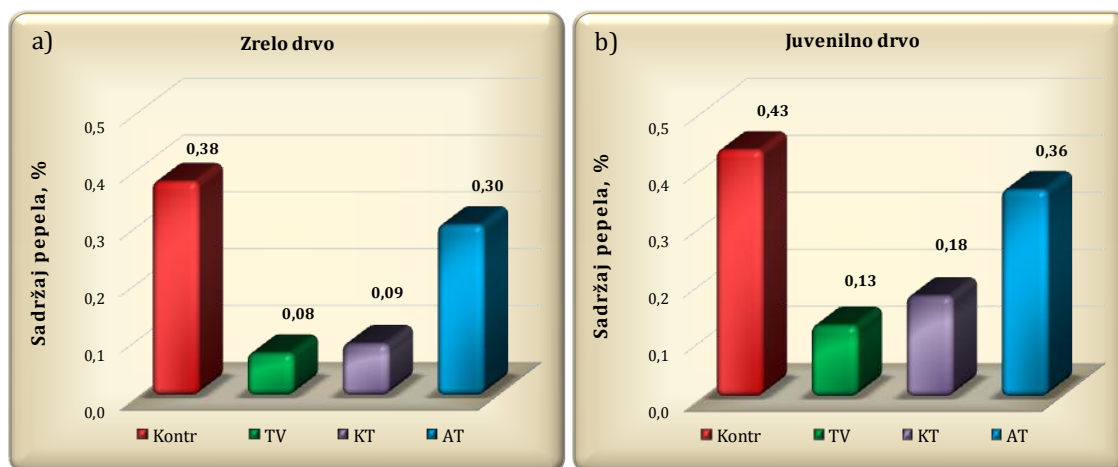
Rezultati statističke obrade sadržaja mineralnih i ekstraktivnih materija, kao sporednih komponenti drvnog tkiva, netretiranih i tretiranih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena prikazani su u *Prilogu VI - 7*.

5.3.2.1. Efekti predtretmana na sadržaj mineralnih materija

Srednje vrednosti rezultata određivanja sadržaja mineralnih materija netretiranih i tretiranih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena izraženih preko sadržaja pepela prikazane su na slici 5.35.

U tkivu juvenilnog ustanovljen je nešto veći sadržaj pepela u odnosu na zrelo drvo (slika 5.13). Sadržaj pepela u tretiranim uzorcima juvenilnog i zrelog drveta prate isti trend (slika 5.35).

Sa slike 5.35 se vidi da je prilikom tretmana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena vodom (TV) i 0,06 g/g sirćetnom kiselinom (KT) sadržaj pepela značajno manji u odnosu na netretirane uzorke (Kontr). Očigledno je da se tokom tretmana veći deo mineralnih materija prisutnih u drvetu rastvorio u reakcionoj smeši i sa njom i uklonjen. Stevanović-Janežić (1993) navodi da je samo deo mineralnih materija prisutnih u drvetu rastvorljiv u vodi i mineralnim kiselinama, što potvrđuju rezultati ovog rada.



Slika 5.35. Sadržaj pepela kontrolnih i uzoraka tretiranih vodom (TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (AT) na 100 °C a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena

Tretman natrijum karbonatom je u mnogo manjem stepenu uticao na smanjenje mineralnih materija u tkivu drveta. Iz tabele 5.16 vidi se da je promena u sadržaju mineralnih materija od 20,18 % kod zrelog i 16,07 % kod juvenilnog drveta posle tretmana natrijum karbonatom znatno manja u odnosu na ostala dva primenjena tretmana. Ovo je verovatno posledica prisustva katjona natrijuma i karbonatnih anjona u rastvoru za ovaj tretman koji su, kroz takozvani "uticaj zajedničkog jona" (Čakar i Popović, 2004) uticali na smanjenje rastvorljivosti mineralnih materija iz drveta.

Rezultate kvantitativnog određivanja sadržaja pepela potvrđuje SEM-EDAX analiza (*Prilog IV*). Naime, tokom posmatranja uzoraka na SEM-mikroskopu uočeno je da su lumeni parenhimatičnih ćelija kontrolnih i uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena tretiranih natrijum karbonatom često ispunjeni sadržajem. SEM-EDAX analiza hemijskog sastava ustanovila je da su materije prisutne u lumenima ćelija katjoni Ca, Mg i K, koji su uobičajeni sastojci pepela drveta. Kod uzoraka koji su tretirani vodom i sirćetnom kiselinom ovaj sadržaj nije primećen, što je u skladu sa rezultatima kvantitativnog određivanja sadržaja mineralnih materija. Istovremeno, posle tretmana natrijum karbonatom u ćelijama drveta i dalje su prisutne deponovane mineralne materije (*Prilog IV*).

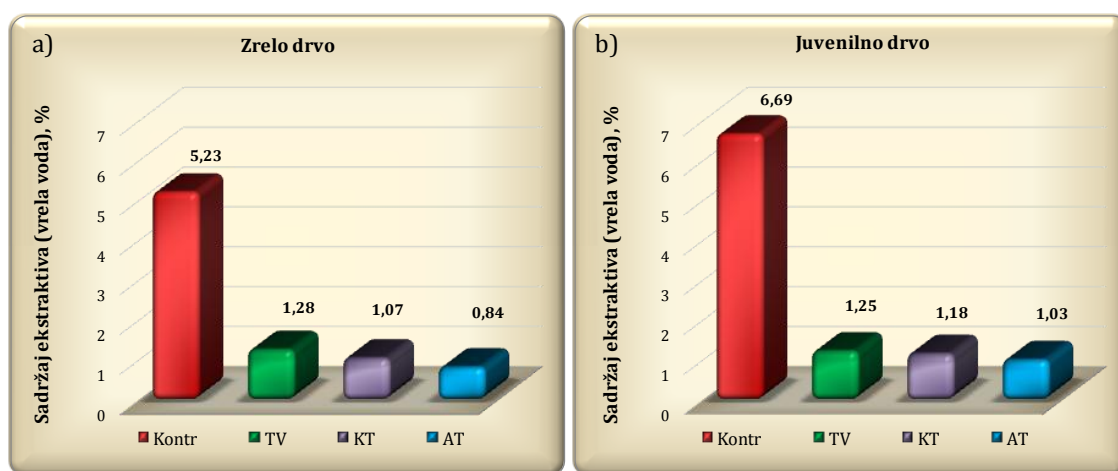
5.3.2.2. Efekti predtretmana na sadržaj ekstraktivnih materija rastvorljivih u vreloj vodi

Srednje vrednosti sadržaja ekstraktivnih materija u neorganskim rastvaračima (vreloj vodi) netretiranih i tretiranih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena prikazane su na slici 5.36.

Analiza sadržaja ekstraktivnih materija rastvorljivih u vreloj vodi pokazala je da su svi tretmani doveli do značajnog smanjenja sadržaja ovih materija u tretiranim uzorcima juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena. Ovakvi rezultati su očekivani, s obzirom da su ekstraktivne materije locirane u lumenima i mikro- i makro-šupljinama ćelijskih zidova, i nisu vezane fizičko-hemijskim vezama za makromolekulske komponente ćelijskog zida. Parham i Gray (1984) navode da se, iz navedenih razloga, kao i relativno niske molekulske mase, ekstraktivne materije prve uklanjaju iz drvnog tkiva prilikom tretmana. Zhang i saradnici (2013) takođe

su ustanovili smanjenje sadržaja ekstraktiva od 67,42 % u uzorcima zrelog drveta, odnosno od 69,42 % u uzorcima juvenilnog drveta jasena (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) tretiranim u alkalnoj sredini.

Iz tabele 5.16 uočljivo je da su svi primenjeni tretmani imali najveći uticaj upravo na jedinjenja koje se rastvaraju vrelom vodom, što je razumljivo imajući u vidu reagense primenjene za tretmane. Sadržaj materija rastvorljivih u vreloj vodi u tretiranim uzorcima smanjen je za 75,52 do 84,63 %, u zavisnosti od vrste uzorka i primenjenog tretmana.

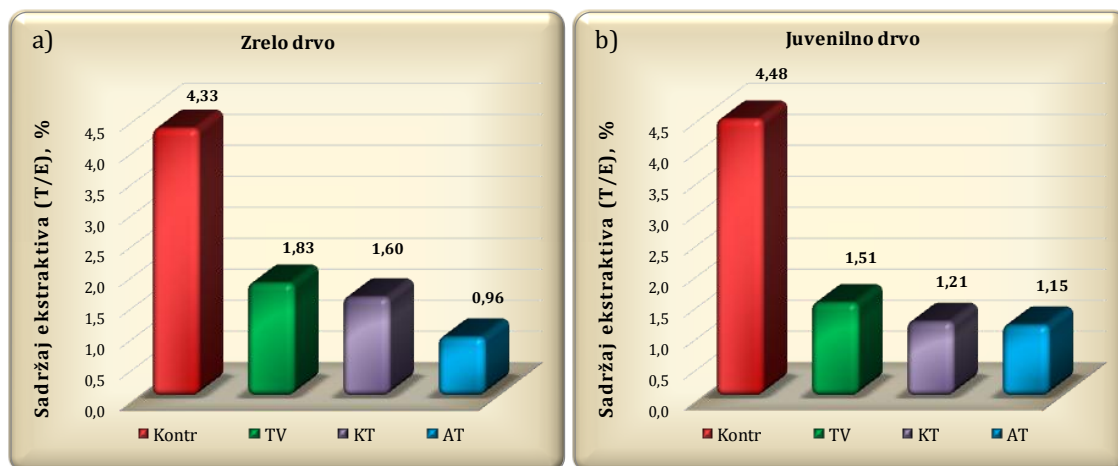


Slika 5.36. Sadržaj ekstraktivnih materija (vrela voda) kontrolnih i uzoraka tretiranih vodom (TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (AT) na 100 °C a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena

5.3.2.3. Efekti predtretmana na sadržaj ekstraktivnih materija rastvorljivih u smeši toluol/etanol

Srednje vrednosti rezultata određivanja sadržaja ekstraktivnih materija u organskim rastvaračima (smeši toluol/etanol) netretiranih i tretiranih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena prikazane su na slici 5.37.

Primenjeni tretmani su na isti način uticali na ovu klasu ekstraktivnih materija kao na materije rastvorljive u vreloj vodi. U skladu sa većom poroznošću, ekstraktivne materije uzoraka juvenilnog drveta rastvorene su u nešto većoj meri tokom tretmana. Veći sadržaj materija ekstrahovanih smešom toluol/etanol tretiranih uzoraka u odnosu na sadržaj materija ekstrahovanih vodom posledica je prisustva jedinjenja nerastvornih u vodi, koje nisu ekstrahovane tokom tretmana.



Slika 5.37. Sadržaj ekstraktivnih materija (T/E) kontrolnih i uzoraka tretiranih vodom (TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (AT) na 100 °C a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena

Takođe, važno je istaći da je, posle uklanjanja značajne količine ekstraktivnih materija, permeabilnost tkiva drveta povećana.

5.3.2.4. Pregled promena u sadržaju sporednih komponenti drveta

U tabeli 5.16 prikazan je pregled promena u sadržaju sporednih komponenti tretiranih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena u odnosu na kontrolne (netretirane) uzorke, izražen u procentima.

Tabela 5.16. Promena sadržaja sporednih komponenti tkiva juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena usled dejstva tretmana u odnosu na kontrolne uzorke

Tretman	Promena, %					
	Zrelo drvo			Juvenilno drvo		
	TV	KT	AT	TV	KT	AT
Sadržaj mineralnih materija	-79,90	-75,48	-20,18	-70,85	-58,95	-16,07
Sadržaj ekstraktivnih materija u vreloj vodi	-75,52	-79,54	-83,89	-81,35	-82,34	-84,63
Sadržaj ekstraktivnih materija u smeši T/E	-57,68	-62,90	-77,80	-66,18	-72,97	-74,25

TV - tretman vodom (100 °C); KT - tretman sirćetnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C); AT - tretman natrijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C)

Iz prikazane tabele može se uočiti da su primenjeni tretmani doveli do smanjenja pratećih komponenti drveta za 16 – 85 %, kao i da su te promene

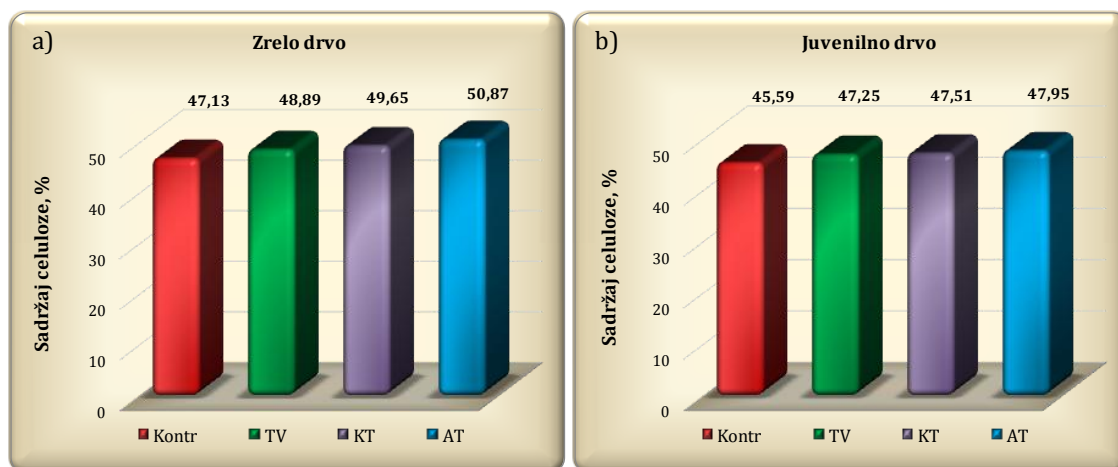
značajne (*Prilog VI - 7*). Najveći uticaj na sadržaj mineralnih materija imao je tretman vodom, koji je doveo do smanjenja sadržaja ovih materija za 80 % kod zrelog i za 71 % kod juvenilnog drveta poljskog jasena. Na ekstraktivne materije zrelog i juvenilnog drveta najveći uticaj imao je tretman natrijum karbonatom, koji je smanjio njihov sadržaj za 84 % (rastvorljive u vreloj vodi), odnosno za 74 – 78 % (rastvorljive u smeši toluol/etanol).

5.3.3. EFEKTI PREDTRETMANA NA SADRŽAJ GRADIVNIH KOMPONENTI TKIVA JUVENILNOG I ZRELOG DRVETA POLJSKOG JASENA

Direktnim metodama, izolovanjem iz tkiva drveta, određen je sadržaj celuloze i Klasonovog lignina uzoraka juvenilnog i zrelog drvnog tkiva posle tretmana, dok je udeo kiselo-rastvornog lignina određen iz rastvora hidrolizata (72 % (w/w) H₂SO₄), merenjem intenziteta apsorpcije u UV delu spektra. Dobijeni rezultati prikazani su kao srednje vrednosti tri ili više ponavljanja. Rezultati statističke obrade dobijenih vrednosti sadržaja celuloze i lignina (Klasonovog, kiselo-rastvornog i ukupnog) prikazani su u *Prilogu VI - 7*.

5.3.3.1. Efekti predtretmana na sadržaj celuloze

Sadržaj celuloze netretiranih i tretiranih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena određen Kiršner-Hoferovom metodom prikazan je na slici 5.38.



Slika 5.38. Sadržaj celuloze kontrolnih i uzoraka tretiranih vodom (TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (AT) na 100 °C
a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena

Sa slike 5.38 vidi se da su svi primenjeni tretmani doveli do povećanja učešća celuloze u tkivu tretiranih uzoraka. Povećanje sadržaja celuloze kreće se od 3,74 % kod uzoraka tretiranih vodom do 7,93 % kod uzoraka tretiranih natrijum karbonatom zrelog drveta poljskog jasena (tabela 5.17), dok je povećanje sadržaja celuloze kod uzoraka juvenilnog drveta nešto manje. Povećanje sadržaja celuloze sa 41,0 % na 56,1 % u uzorcima breze, odnosno sa 43,0 % na 52,6 % u uzorcima smrče posle tretmana NaOH na 100 °C Mirahmadi i saradnici (2010) objasnili su smanjenjem udela hemiceluloza u tretiranim uzorcima.

Međutim, prema literaturnim navodima, tretmani vodom i razblaženim rastvorima kiselina dovode do hidrolitičke razgradnje glikozidne veze u amorfnim oblastima mikrofibrila celuloze, dok alkalni rastvori mogu da prodru i u kristalinične oblasti (Fengel i Wegener, 1984; Stevanović- Janežić, 1993; Dumitriu, 2005), što je u suprotnosti sa rezultatima dobijenim u ovom radu. Laurova i Kačik (2009), na primer, kao glavni proizvod u hidrolizatu tretmana vodom drveta jasena (*Fraxinus excelsior* L.) na temperaturama 100 - 140 °C navode D-glukoza poreklom iz glukomanana, ali i iz amorfnih regiona celuloze. U alkalnoj sredini, čak i pri blagim uslovima dolazi do smanjenja stepena polimerizacije celuloznih lanaca usled piling reakcija na redukujućim krajevima polisaharida (Cao et al., 2011). Dumitriu (2005) navodi da hidroliza glikozidnih veza u kiseloj sredini zahteva manje oštre uslove u odnosu na alkalnu hidrolizu. Takođe, treba imati u vidu da su reakcije u vodenoj sredini autokatalizovane upravo otcepljenim acetil grupa hemiceluloza, kao i da je u ovom radu za tretmane u kiseloj sredini primenjen rastvor sirćetne kiseline, pa se može očekivati isti mehanizam odigravanja hidrolitičkih reakcija prilikom tretmana vodom i tretmana kiselinom.

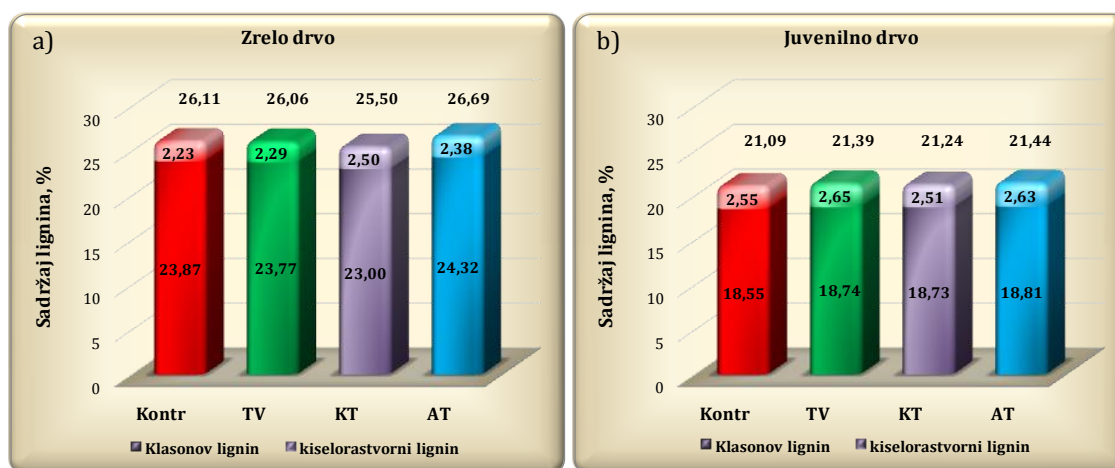
Na osnovu podataka navedenih u literaturi može se pretpostaviti da je prilikom tretmana primenjenih u ovom radu ipak došlo do reakcija hidrolize celuloze, ali u mnogo manjem stepenu u odnosu na ostale reakcije degradacije drvnog tkiva, što je rezultovalo relativnim povećanjem učešća celuloze u tretiranim uzorcima.

Razlike u sadržaju celuloze između kontrolnih i tretiranih grupa uzoraka, iako male, statistički su značajne. Isto tako, značajne su i razlike u sadržaju celuloze između alkalno tretiranih i ostale dve tretirane grupe uzoraka, dok nepostojanje

statistički značajne razlike u pogledu sadržaja celuloze između grupa uzoraka tretiranih vodom i sirćetnom kiselinom potvrđuje odigravanje reakcija hidrolitičke razgradnje glikozidne veze po istom mehanizmu.

5.3.3.2. Efekti predtretmana na sadržaj lignina

Srednje vrednosti dobijenih rezultata određivanja Klasonovog i kiselorastvornog lignina netretiranih i tretiranih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena prikazane su zbirnim dijagramima na slici 5.39, pri čemu su vrednosti Klasonovog lignina naznačene tamnijim, a kiselorastvornog svetlijim tonom iste boje.



Slika 5.39. Sadržaj lignina kontrolnih i uzoraka tretiranih vodom (TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (AT) na 100 °C
a) zrelog i b) juvenilnog drveta poljskog jasena

Vrednosti sadržaja ukupnog lignina u tretiranim uzorcima kreću se u opsegu 25,50 do 26,69 % kod zrelog drveta, odnosno od 21,24 do 21,44 % u slučaju juvenilnog drveta poljskog jasena. Neznatan gubitak lignina iz zrelog drveta jasena od 0,19 % ustanovljen je pri tretmanu vodom, dok je tretman kiselinom izazvao gubitak lignina od 2,32 %. Kod ostalih tretmana uočeno je blago povećanje sadržaja ukupnog lignina koje se kreće od 0,71 % kod juvenilnog drveta tretiranog u kiseloj sredini do 2,25 % kod zrelog drveta tretiranog u alkalnim uslovima.

Komparativnom statističkom analizom ustanovljeno je da primenjeni tretmani svojim dejstvom nisu doveli do značajnih razlika u sadržaju Klasonovog i

kiselo-rastvornog, kao i ukupnog lignina, kako u odnosu na kontrolne uzorke juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena, tako i međusobno. U skladu sa rezultatima ovog rada je neznatno smanjenje sadržaja lignina u uzorcima smrče tretiranim alkalijama (Mirahmadi et al., 2010).

Međutim, pored razgradnje hemiceluloza, tokom tretmana vodom mogući su gubici lignina. U literaturi se navode primeri degradacije lignina do koje dolazi usled slabljenja i raskidanja veza sa hemicelulozama usled njihove hidrolitičke razgradnje u vodenoj i kiseloj sredini. Sattler sa saradnicima (2008) referiše gubitak lignina od 1,25 % tokom 60 min ekstrakcije vodom na temperaturi od 160 °C, dok je Laurova (2011 b) detektovala lignin u hidrolizatu vodenog tretmana drveta vrbe. Isto tako, u alkalnim uslovima veoma efikasno se razlažu estarske veze između lignina, hemiceluloza i celuloze, što olakšava razgradnju lignina (Gaspar et al., 2007). Značajna delignifikacija naročito je izražena pri većim koncentracijama alkalija (Wang et al., 2007; Xue et al., 2007).

5.3.3.3. Pregled promena u sadržaju glavnih komponenti drveta

U tabeli 5.17 prikazan je iznos promena u sadržaju sporednih komponenti tretiranih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena u odnosu na kontrolne (netretirane) uzorke.

Tabela 5.17. Promena sadržaja gradivnih komponenti tkiva juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena usled dejstva tretmana u odnosu na kontrolne uzorke

Tretman	Promena, %					
	Zrelo drvo			Juvenilno drvo		
	TV	KT	AT	TV	KT	AT
Sadržaj celuloze	3,74	5,37	7,93	3,64	4,20	5,19
Sadržaj Klasonovog lignina	-0,45	-3,65	1,86	1,05	1,00	1,43
Sadržaj kiselo-rastvornog lignina	2,57	11,90	6,50	3,88	-1,41	3,09
Sadržaj ukupnog lignina	-0,19	-2,32	2,25	1,42	0,71	1,66

TV - tretman vodom (100 °C); KT - tretman sirćetnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C);

AT - tretman natijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C)

Iako su svi tretmani doveli do gubitaka mase (tabela 5.15), iz tabele 5.17 vidi se da je relativno učešće gradivnih komponenti ćelijskih zidova drveta u tkivu

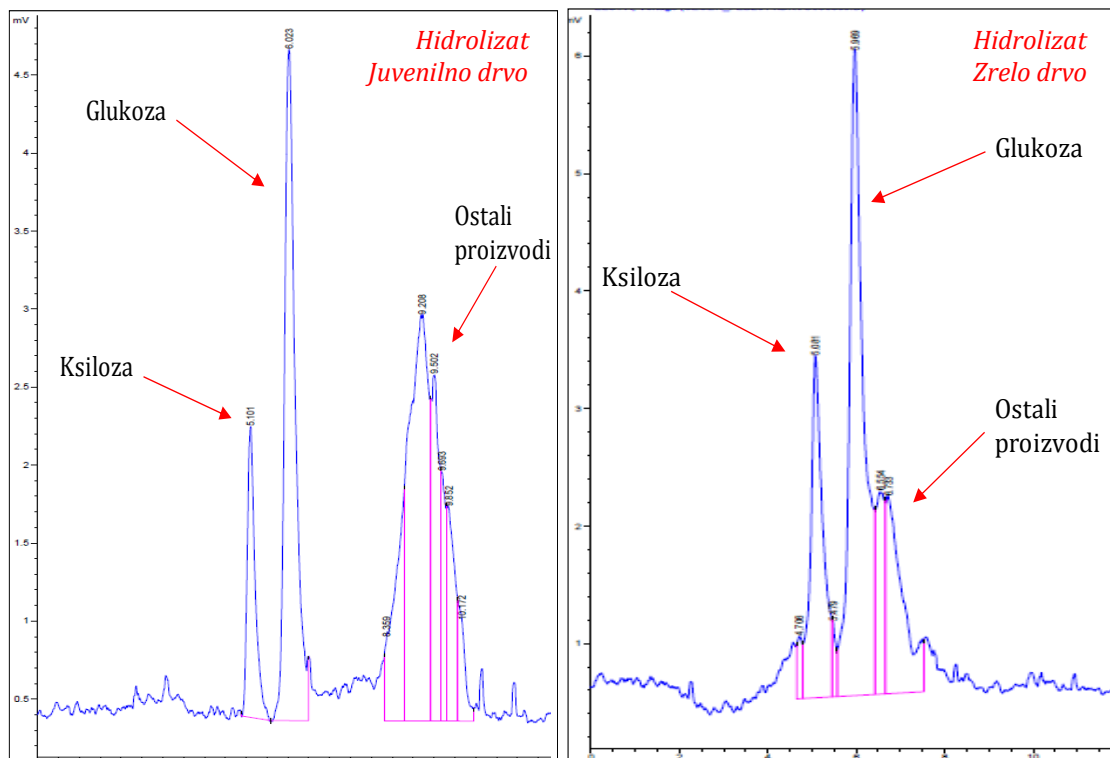
tretiranih uzoraka uglavnom povećano. Ovo je, verovatno, posledica smanjenja pre svega sporednih komponenti drveta, čiji je sadržaj značajno smanjen u tretiranim uzorcima (tabela 5.16), a u manjoj meri i smanjenja udela hemiceluloza. Tretman natrijum karbonatom doveo je do najvećeg povećanja sadržaja celuloze od 7,93 % kod zrelog i 5,19 % kod juvenilnog drveta poljskog jasena. Istovremeno, ovaj tretman je doveo i do najvećeg smanjenja sadržaja ekstraktivnih materija drveta (tabela 5.16).

5.3.3.4. Efekti predtretmana na sadržaj ugljenohidratnih komponenti

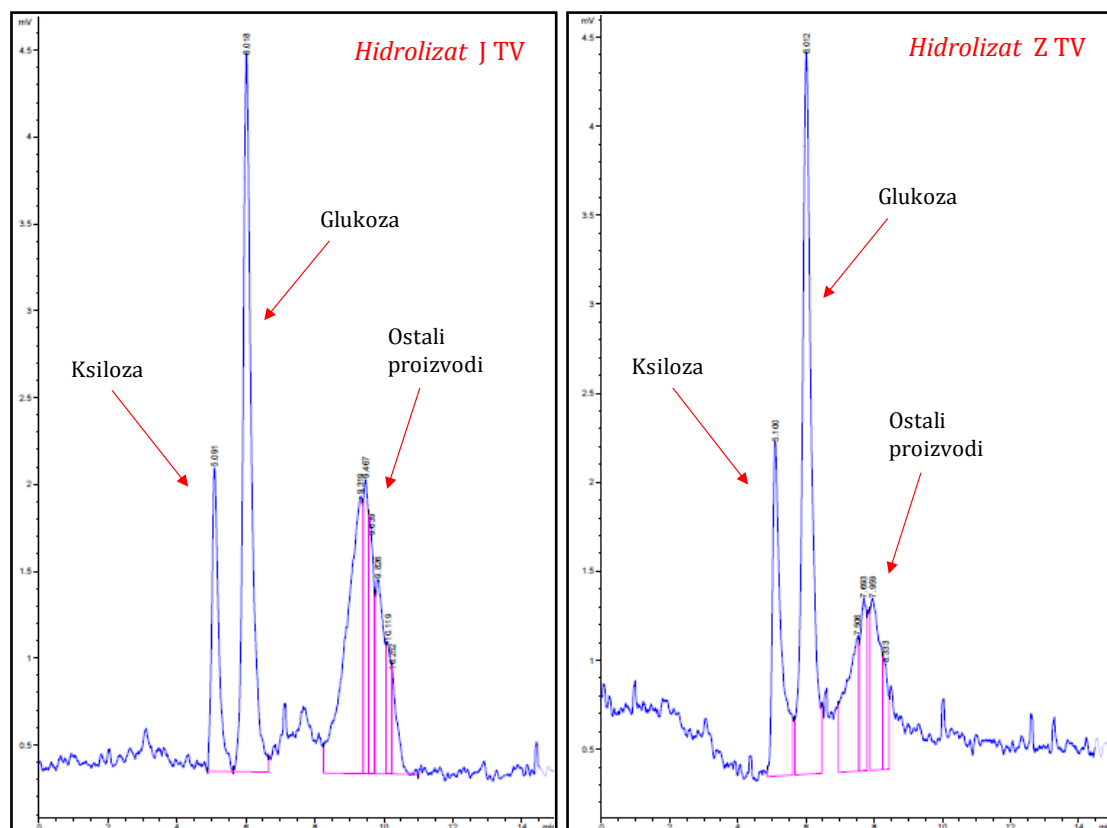
Zbog visokog stepena razgranatosti molekulske i odsustva nadmolekulske strukture, hemicelulozne komponente ćelijskih zidova drveta podložne su hidrolitičkoj razgradnji. Iz tog razloga ne postoji direktna metoda za njihovo izolovanje iz tkiva drveta, već se njihovo određivanje vrši indirektnim metodama.

Imajući u vidu da su tretmani uticali i na celuloznu komponentu, u ovom radu primenjena je HPLC hromatografija određivanja monosaharida u hidrolizatima potpune hidrolize sumpornom kiselinom ugljenohidratne komponente tretiranih i kontrolnih uzoraka poljskog jasena. Na ovaj način, u tretiranim uzorcima pored ksiloze, određen je i sadržaj glukoze. Prilikom određivanja sadržaja monosaharida HPLC hromatografskom metodom kao standardi korišćeni su rastvori ksiloze, glukoze i manoze, kao i standard saharoze.

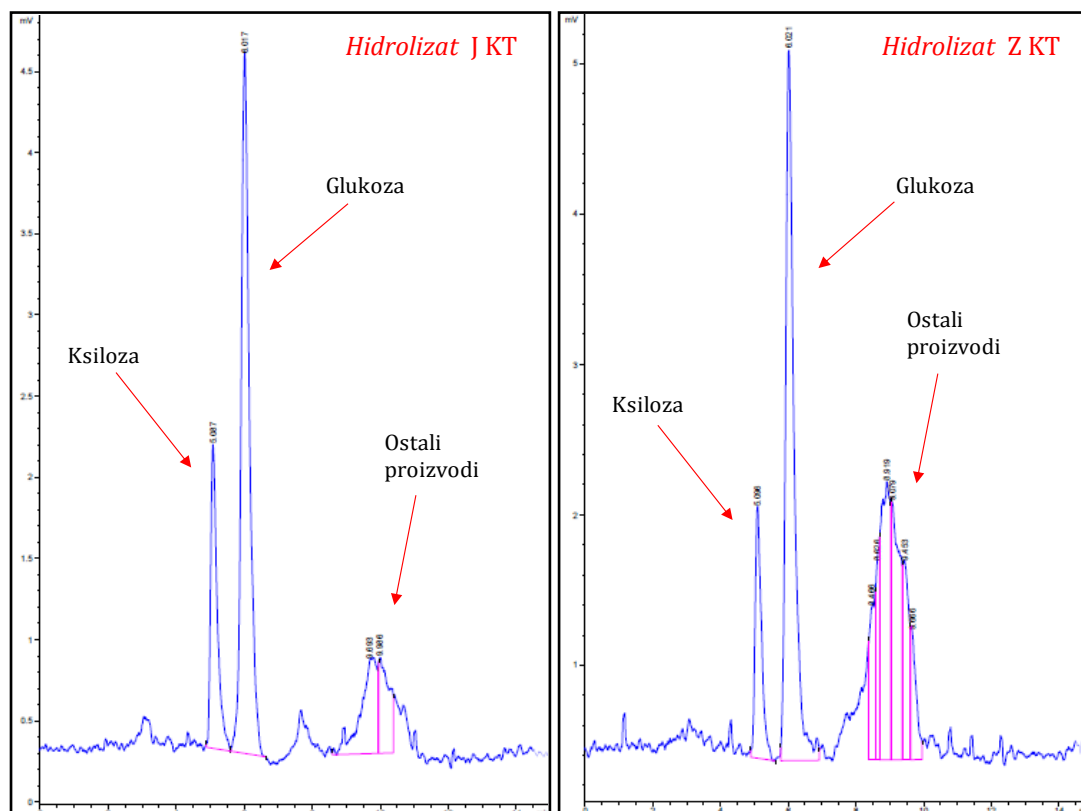
Pored jasno diferenciranih pikova, koja po retencionim vremenima odgovaraju ksilozi i glukozi, na priloženim hromatogramima (slike 5.40 - 5.43) hidrolizata svih ispitivanih uzoraka uočljivo je prisustvo pikova sa većim retencionim vremenima, obeleženih sa "ostali proizvodi". Naime, u hidrolizatima su, pored monosaharida prisutne i ekstraktivne materije, sirćetna kiselina nastala otcepljivanjem acetil grupa ksilana, uronske kiseline, oligosaharidi, proizvodi fragmentacije lignina, kao i dehidratacionih proizvoda ksiloze i glukoze - furfural i HMF, i proizvoda njihove dalje razgradnje, levulinske i mravlje kiseline (Fengel i Wegener, 1984; Stevanović- Janežić, 1993; Dumitriu, 2005). Manozu, koja je takođe prisutna u hidrolizatu, verovatno zbog malog sadržaja i pokrivenosti ostalim komponentama nije diferencirana.



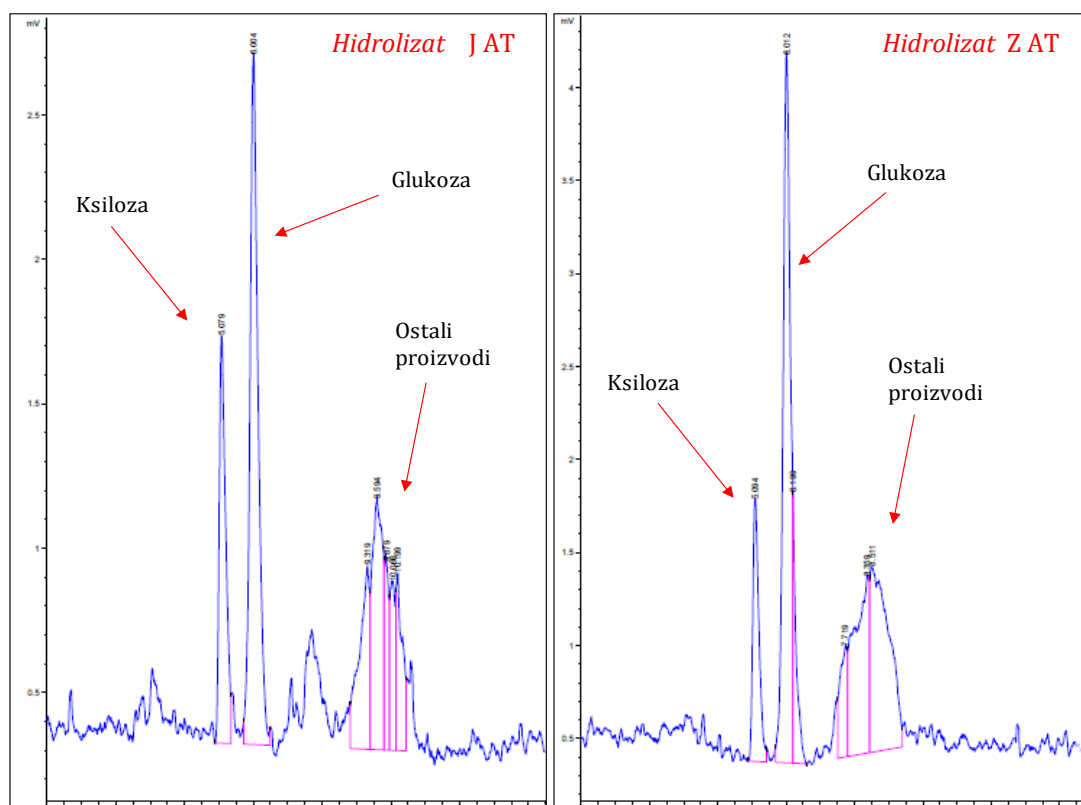
Slika 5.40. Hromatogrami hidrolizata (72 % H_2SO_4) netretiranih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena



Slika 5.41. Hromatogrami hidrolizata (72 % H_2SO_4) juvenilnog (J TV) i zrelog (Z TV) drveta poljskog jasena tretiranih vodom (100 °C)



Slika 5.42. Hromatogrami hidrolizata (72 % H_2SO_4) juvenilnog (J KT) i zrelog (Z KT) drveta poljskog jasena tretiranih siričnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C)



Slika 5.43. Hromatogrami hidrolizata (72 % H_2SO_4) juvenilnog (J AT) i zrelog (Z AT) drveta poljskog jasena tretiranih natrijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C)

Sadržaj ksiloze i glukoze u hidrolizatima tretiranih i netretiranih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena prikazan je u tabeli 5.18.

Tabela 5.18. Sadržaj ugljenohidratnih komponenti kontrolnih i tretiranih uzoraka zrelog i juvenilnog drveta poljskog jasena određena HPLC analizom hidrolizata

Tretman	Zrelo drvo		Juvenilno drvo	
	Ksiloza, %	Glukoza, %	Ksiloza, %	Glukoza, %
Kontr	12,70	38,26	8,64	29,91
TV	13,15	32,84	9,41	29,87
KT	9,87	34,84	8,58	31,20
AT	7,23	25,37	7,96	18,63

TV - tretman vodom (100 °C); KT - tretman sirćetnom kiselinom (0.06 g/g, 100 °C);
AT - tretman natijum karbonatom (0.03 g/g, 100 °C)

Kako je već rečeno, u uslovima kisele sredine i dejstva povišene temperature, koji su prisutni prilikom hidrolitičke razgradnje ugljenohidratne komponente drvnog tkiva sumpornom kiselinom, novostvoreni proizvodi, ksiloza i glukoza podležu reakcijama dehidratacije u furfural i HMF. Iz tog razloga može se očekivati da je sadržaj monosaharida određen iz hidrolizata nešto niži od stvarnog sadržaja u uzorcima. Istovremeno, s obzirom da su procesi hidrolitičke razgradnje ispitivanih uzoraka izvođeni pri istim uslovima, može se smatrati da su se procesi degradacije proizvoda odigrali u istom stepenu u svakom od hidrolizata, čime su zadržani odnosi u sadržaju šećera između različitih uzoraka. Promena sadržaja ksiloze i glukoze u hidrolizatima tretiranih u odnosu na kontrolne uzorke zrelog i juvenilnog drveta poljskog jasena prikazana je u tabeli 5.19.

Tabela 5.19. Promena sadržaja ugljenohidratnih komponenti tretiranih uzoraka zrelog i juvenilnog drveta poljskog jasena u odnosu na kontrolne uzorke

Tretman	Zrelo drvo		Juvenilno drvo	
	Ksiloza, %	Glukoza, %	Ksiloza, %	Glukoza, %
TV	3,54	-14,17	8,91	-0,13
KT	-22,28	-8,94	-0,69	4,31
AT	-43,07	-33,69	-7,87	-37,71

TV - tretman vodom (100 °C); KT - tretman sirćetnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C);
AT - tretman natijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C)

Kako je u tabeli 5.19 prikazano, sadržaj glukoze u gotovo svim tretiranim uzorcima manji je od sadržaja glukoze kontrolnih uzoraka. Glikozidne veze mogu biti hidrolizovane i u kiselim i u alkalnim uslovima (Stevanović-Janežić, 1993). Smanjenje sadržaja glukoze u iznosu od 33,69 % kod zrelog i 37,71 % kod juvenilnog drveta naročito je izraženo kod uzoraka tretiranih natrijum karbonatom. Ovakav rezultat se mogao očekivati s obzirom na piling reakcije u amorfnim oblastima celuloze koje su karakteristične u alkalnoj sredini. Takođe, rastvori alkalija su efikasni agensi ograničenog bubrenja celuloze, i njihovo prodiranje u kristalnu strukturu celuloze čini glikozidne veze unutar kristalnih oblasti pristupačnim za hidrolitičku razgradnju (Stevanović-Janežić, 1993).

Istovremeno, treba imati u vidu da, iako mali, jedan deo glukoze u hidrolizatima netretiranih uzoraka potiče iz glukomanana, koji su prisutni u drvetu lišćarskih vrsta sa učešćem oko 3 %. Rastvorljivost glukomanana je izrazita u alkalnoj sredini (Stevanović-Janežić; 1993; Dumitriu, 2005), te njihovo uklanjanje iz drveta tokom tretmana dodatno utiče na manji sadržaj glukoze u tretiranim uzorcima.

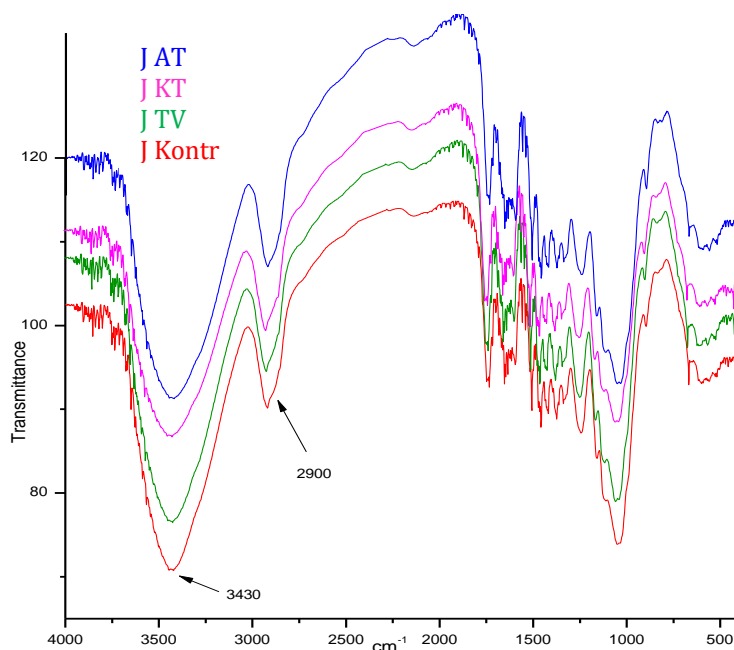
U uzorcima tretiranim natrijum karbonatom takođe su izražene promene u sadržaju ksiloze. Naime, kisela priroda acetil grupa čini ksilane posebno osetljivim i podložnim hidrolitičkoj razgradnji u alkalnoj sredini (Stevanović-Janežić, 1993; Dumitriu, 2005), što je rezultovalo smanjenjem sadržaja ksiloze u uzorcima zrelog drveta tretiranim natrijum karbonatom od 43,07 % u odnosu na polaznu sirovinu.

Ksilani su, takođe rastvorljivi u vodenoj i kiseloj sredini. Međutim, u hidrolizatima uzoraka tretiranih vodom sadržaj ksiloze je povećan. Kako je već rečeno, treba imati u vidu da su svi rezultati analiza hemijskog sastava izraženi u odnosu na 100 g drveta i predstavljaju relativno učešće komponenti u uzorku, te povećanje sadržaja neke komponente može biti rezultat znatno većeg smanjenja ostalih komponenti, na prvom mestu ekstraktivnih materija, koje su se skoro u potpunosti rastvorile tokom svih primenjenih tretmana (tabela 5.16).

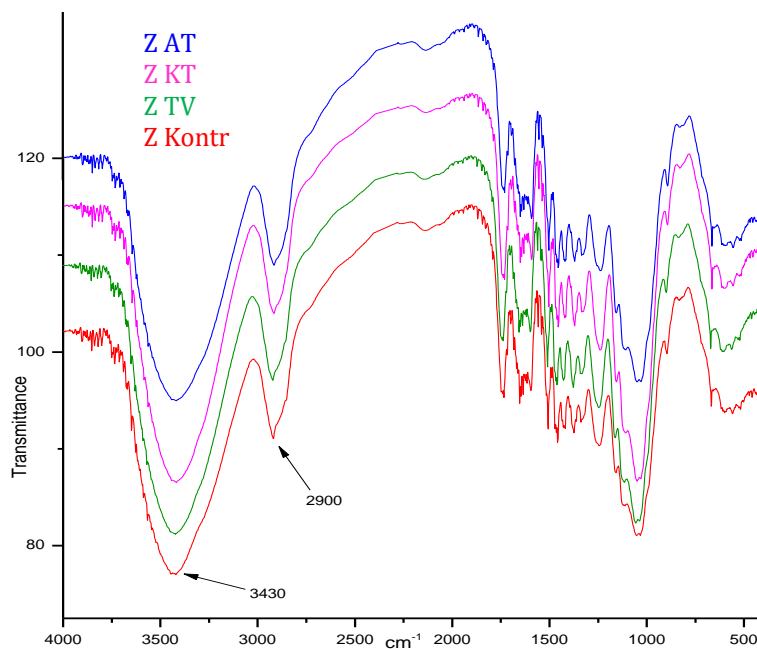
Neočekivani su rezultati analize sadržaja monosaharida u uzorcima juvenilnog drveta, koji pokazuju manji uticaj tretmana na ugljenohidratnu komponentu juvenilnog drveta, iako se, zbog manjeg sadržaja lignina i veće poroznosti ovih uzoraka očekivo suprotan efekat.

5.3.4. EFEKTI PREDTRETMANA NA FUNKCIONALNE GRUPE DRVETA

Slike 5.44 i 5.45 prikazuju FTIR spektre tretiranih i netretiranih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena u oblasti 400 - 4000 cm^{-1} .



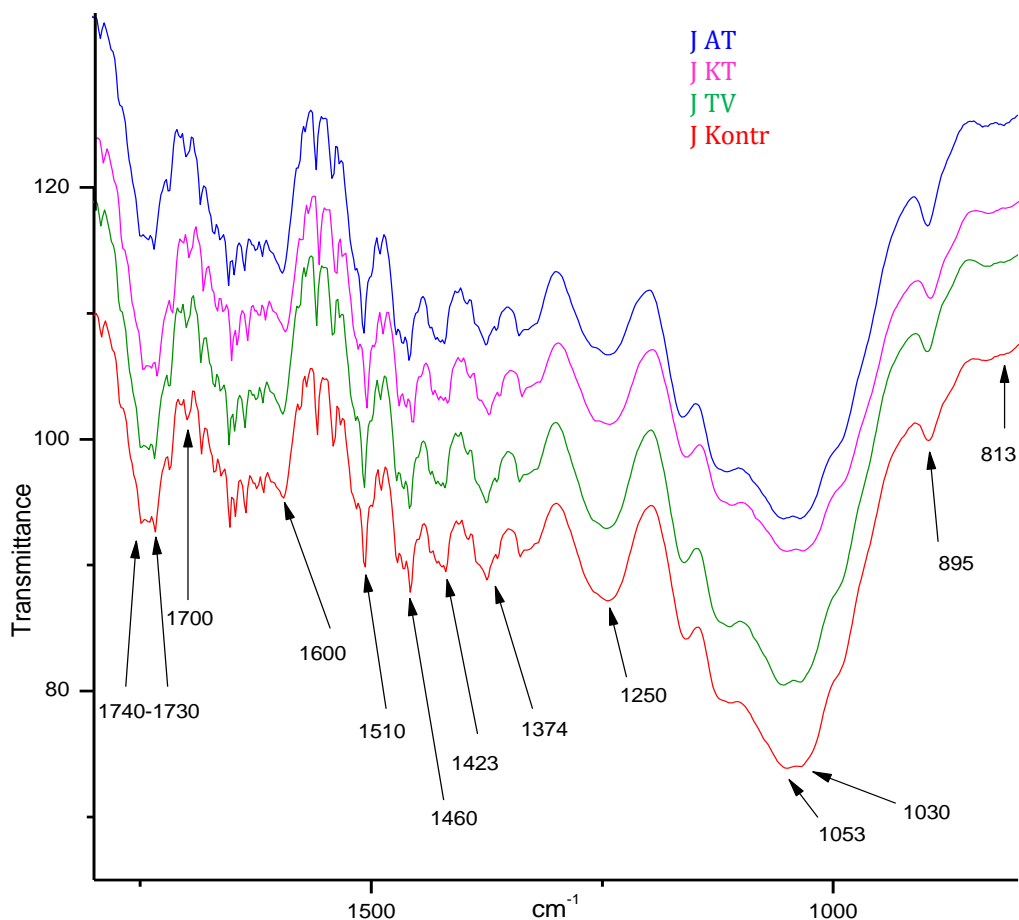
Slika 5.44. FTIR spektri netretiranog (J Kontr) i uzoraka tretiranih vodom (J TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (J KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (J AT) na 100 °C juvenilnog drveta poljskog jasena u oblasti 400 - 4000 cm^{-1}



Slika 5.45. FTIR spektri netretiranog (Z Kontr) i uzoraka tretiranih vodom (Z TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (Z KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (Z AT) na 100 °C zrelog drveta poljskog jasena u oblasti 400 - 4000 cm^{-1}

Sa slika 5.44 i 5.45 vidi se da su u tretiranim uzorcima juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena prisutne iste funkcionalne grupe kao i u netretiranim uzorcima. Nešto manja apsorpcija uzoraka tretiranih natrijum karbonatom u oblasti spektra $3500 - 3400 \text{ cm}^{-1}$ ukazuje na značajno smanjenje broja OH grupa uključenih u formiranje vodoničnih veza.

Na slici 5.46 prikazani su FTIR spektri tretiranih i netretiranih uzoraka juvenilnog drveta poljskog jasena u oblasti $800 - 1800 \text{ cm}^{-1}$.



Slika 5.46. FTIR spektri netretiranog (J Kontr) i uzoraka tretiranih vodom (J TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (J KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (J AT) na $100 \text{ }^\circ\text{C}$ juvenilnog drveta poljskog jasena u oblasti $800 - 1800 \text{ cm}^{-1}$

U oblasti spektra $1740 - 1730 \text{ cm}^{-1}$ apsorpciona traka uzoraka juvenilnog drveta tretiranih vodom i sirćetnom kiselinom nešto je intenzivnija, dok je kod uzoraka tretiranih natrijum karbonatom apsorpcija u ovom delu spektra manja u odnosu na kontrolni uzorak juvenilnog drveta (slika 5.46). Apсорpcija u ovoj oblasti talasnih dužina potiče od vibracija istezanja karbonilne grupe ($\text{C}=\text{O}$) i

karakteristična je za karboksilne kiseline i estre, kao i ksilane. Za ksilane je karakteristična i apsorpcija na $1260 - 1240 \text{ cm}^{-1}$ koja potiče od C-O vibracija istezanja. Ova apsorpciona traka (1250 cm^{-1}) takođe je intenzivnija kod uzoraka tretiranih vodom, a manjeg je intenziteta kod uzoraka tretiranih u kiselim i alkalnim uslovima u poređenju sa netretiranim uzorkom. Intenzitet apsorpcije ove dve trake karakteristične za ksilane, koji ukazuje na povećanje sadržaja ksilana u uzorcima tretiranim vodom, kao i na smanjenje sadržaja ksilana u uzorcima tretiranim natrijum karbonatom, u skladu je sa sadržajem ksiloze u hidrolizatu tretiranih uzoraka određenim HPLC hromatografijom (tabela 5.18 i 5.19).

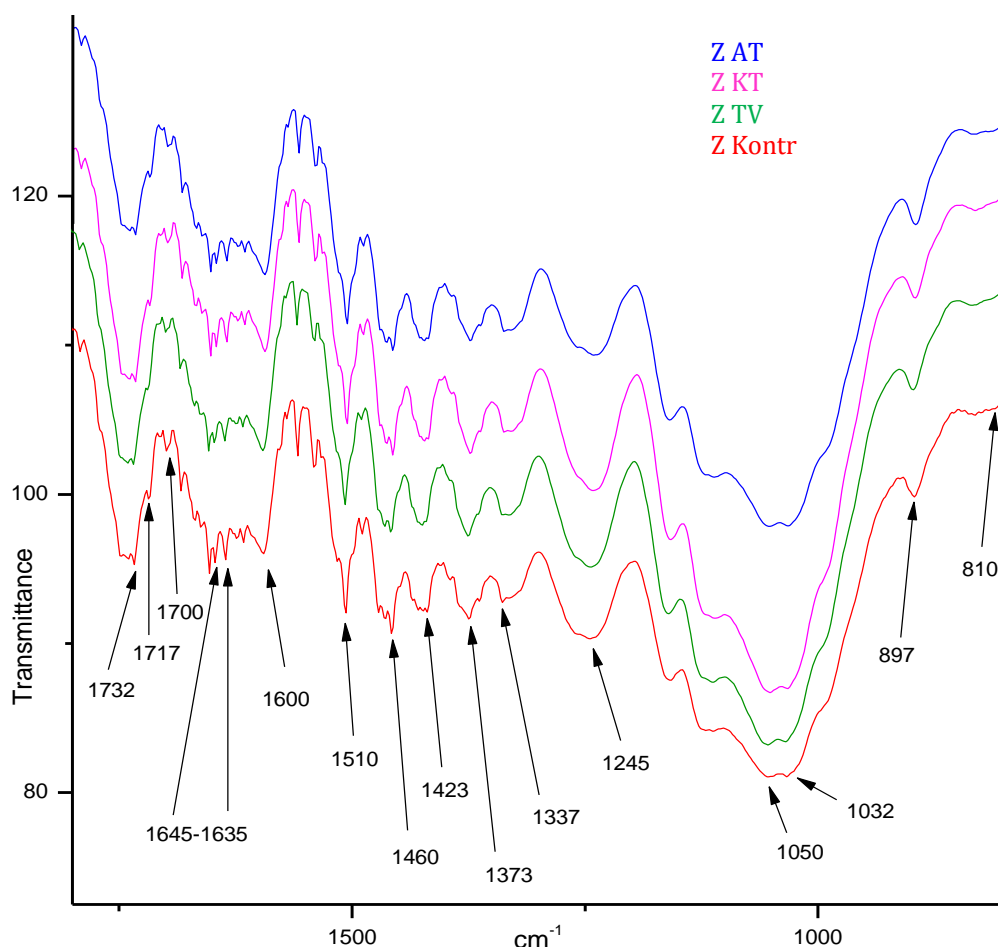
U oblasti $1504 - 1515 \text{ cm}^{-1}$ apsorbuju C=C vibracije aromatičnog skeleta lignina, a na 1600 cm^{-1} metoksi grupe (C-O-CH₃) siringil jedinica lignina (Owen i Thomas, 1989; Pandey i Pitman, 2003; Colom *et al* 2003). Nešto manja apsorpcija na 1510 cm^{-1} i 1600 cm^{-1} uzoraka tretiranih natrijum karbonatom ukazuje na uklanjanje dela lignina. Međutim, ove apsorpcione trake, karakteristične za lignin, povećanog su intenziteta kod uzoraka tretiranih sirćetnom kiselinom i vodom. Slične rezultate dobili su i Lu i saradnici (2003), koji povećanje intenziteta apsorpcije na talasnim dužinama karakterističnim za lignin objašnjavaju povećanjem relativnog udela lignina usled hidrolize hemiceluloza i rastvaranja ekstraktiva tokom tretmana sirćetnom kiselinom.

Smanjen intenzitet apsorpcije na 1460 cm^{-1} uzoraka tretiranih u kiseloj i alkalnoj sredini može biti posledica smanjenja sadržaja lignina, ali može ukazivati i na razgradnju celuloze. Naime, apsorpcija na ovoj talasnoj dužini pripisuje se C-H vibracijama iz celuloze, lignina i hemiceluloza (Hosseinaei *et al.*, 2011 b).

Povećana apsorpcija na 1374 cm^{-1} uzoraka tretiranih vodom i sirćetnom kiselinom ukazuje na relativno povećanje učešća celuloze i/ili hemiceluloza u ovim uzorcima. Apсорpcija uzoraka tretiranih natrijum karbonatom na ovoj talasnoj dužini, koja potiče od C-H deformacionih vibracija savijanja celuloze i hemiceluloza, smanjenog je intenziteta u odnosu na kontrolni uzorak.

Manja apsorpcija na 1030 i 1053 cm^{-1} , karakteristična za piranozni prsten i primarnu alkoholnu grupu ugljenih hidrata, prisutna je kod uzoraka tretiranih alkalnim i kiselim tretmanom i ukazuje na smanjenje udela ugljenih hidrata.

Na slici 5.47 prikazani su FTIR spektri tretiranih i netretiranih uzoraka zrelog drveta poljskog jasena u oblasti 800 - 1800 cm^{-1} .



Slika 5.47. FTIR spektri netretiranog (Z Kontr) i uzoraka tretiranih vodom (Z TV), sirćetnom kiselinom 0,06 g/g (Z KT) i natrijum karbonatom 0,03 g/g (Z AT) na 100 °C zrelog drveta poljskog jasena u oblasti 800 - 1800 cm^{-1}

Na FTIR spektrima uzoraka zrelog drveta jasena (slika 5.47) apsorpciona traka u oblasti spektra 1740 - 1730 cm^{-1} karakteristična za karbonilnu grupu (C=O) karboksilnih kiselina i estara, kao i apsorpciona traka na 1245 cm^{-1} koja potiče od C-O vibracija, koja je karakteristična za ksilane, većeg su intenziteta kod uzoraka tretiranih vodom i sirćetnom kiselinom, dok je kod uzoraka tretiranih natrijum karbonatom intenzitet apsorpcije na ovim talasnim dužinama manji u odnosu na kontrolni uzorak. Ovi rezultati potvrđuju povećanje sadržaja ksiloze u hidrolizatu uzoraka tretiranih vodom, odnosno njeno smanjenje u hidrolizatu uzoraka tretiranih natrijum karbonatom, ali su u suprotnosti sa manjim sadržajem ksiloze u uzorcima koji su tretirani sirćetnom kiselinom (tabela 5.18 i 5.19).

Međutim, analizirajući promene intenziteta karbonilnog pika FTIR spektara uzoraka bukve i bora tokom hidrotermičkog tretmana, Tjeerdsma i Militz (2005) ustanovili su da se tokom tretmana odigravaju reakcija esterifikacije između nastalih kiselina (uglavnom sirćetne), formiranih otcepljivanjem acetil grupa, i hidroksilnih grupa drveta, odnosno lignina. Na osnovu rezultata Tjeerdsma i Militz (2005) može se pretpostaviti da je, u prisustvu sirćetne kiseline u rastvorima za tretmane, došlo do odigravanja reakcija esterifikacije OH grupa lignina uzoraka poljskog jasena tretiranih sirćetnom kiselinom, što objašnjava povećanje intenziteta apsorpcije "karbonilnog" pika (slika 5.46) uz istovremeno smanjenje sadržaja ksiloze u ovim uzorcima (tabela 5.18 i 5.19).

Povećana apsorpcija C-H deformacionih vibracija savijanja na 1374 cm^{-1} uzoraka tretiranih vodom i sirćetnom kiselinom ukazuju na relativno povećanje učešća celuloze i/ili hemiceluloza u ovim uzorcima. Kod svih tretiranih uzoraka intenzivnija je apsorpcija na 1423 cm^{-1} .

Povećana apsorpcija na 1030 i 1053 cm^{-1} , karakteristična za piranozni prsten i primarnu alkoholnu grupu ugljenih hidrata prisutna je kod uzoraka tretiranih vodom i sirćetnom kiselinom, što je u skladu sa povećanjem udela celuloze (tabela 5.17 i slika 5.38) u ovim uzorcima, kao i ksiloze (tabele 5.18 i 5.19) u uzorcima tretiranim vodom.

Povećana apsorpcija na 1600 cm^{-1} tretiranih uzoraka potiče od povećanog udela metoksi grupa (C-O-CH₃) siringil jedinica lignina. Pored toga, blago je povećan intenzitet apsorpcije tretiranih uzoraka na talasnoj dužini od 1336 cm^{-1} koja potiče od fenolnih OH grupa. Lu i saradnici (2003) povećanje intenziteta apsorpcije na talasnim dužinama karakterističnim za lignin objašnjavaju povećanjem relativnog udela lignina usled hidrolize hemiceluloza i rastvaranja ekstraktiva tokom tretmana sirćetnom kiselinom. Za apsorcionu traku 1717 cm^{-1} koja je manjeg intenziteta kod uzoraka tretiranih vodom Bodirlau i saradnici (2007) navode da potiče od polifenola, i može da ukaže na hemijsku modifikaciju lignina tokom formiranja srčevine.

Manji intenzitet apsorpcije u oblasti $1645 - 1635\text{ cm}^{-1}$ uzoraka tretiranih natrijum karbonatom i vodom ukazuje na smanjenje higroskopnosti ovih uzoraka.

5.3.5. EFEKATI PREDTRETMANA NA pH VREDNOST DRVETA

Rezultati merenja pH vrednosti tretiranih i kontrolnih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena prikazani su u tabeli 5.20.

Tabela 5.20. pH vrednost tretiranih i kontrolnih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

<i>Tretman</i>	<i>pH vrednost</i>	
	<i>Zrelo drvo</i>	<i>Juvenilno drvo</i>
<i>Kontr</i>	4,92	5,11
<i>TV</i>	4,82	5,00
<i>KT</i>	4,52	4,75
<i>AT</i>	6,30	6,46

TV - tretman vodom (100 °C); *KT* - tretman sirćetnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C);
AT - tretman natrijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C)

Iz tabele 5.20 vidi se da je pH vrednost zrelog drveta poljskog jasena od 4,92 nešto niža od pH vrednosti juvenilnog drveta koja iznosi 5,11. Na pH vrednost drveta utiče prisustvo kiselih materija rastvorljivih u vodi, kao što su, na prvom mestu, acetil grupe ksilana, zatim uronske kiseline i fenoli. Imajuću u vidu da je, prema rezultatima hromatografske analize sadržaj ksiloze u hidrolizatu netretiranih uzoraka juvenilnog drveta poljskog jasena od 8,64 % niži u odnosu na 12,70 % koliko iznosi kod zrelog drveta (tabela 5.18), razumljiva je veća pH vrednost juvenilnog drveta.

Takođe, iz tabele 5.20 može se uočiti da su svi primenjeni tretmani doveli do promena pH vrednosti kod zrelog i juvenilnog drveta poljskog jasena. Uzorci juvenilnog i zrelog drveta tretirani vodom i sirćetnom kiselinom imaju nešto niže pH vrednosti od pH vrednosti kontrolnih uzoraka, dok je tretman natrijum karbonatom doveo do značajnog povećanja pH vrednosti drveta.

Kako je već rečeno, na pH vrednost drveta utiču acetil grupe prisutne u ksilanima, koje su, zbog kiselog karaktera, posebno osetljive u alkalnoj sredini. U skladu sa tim, kod uzoraka tretiranih u natrijum karbonatom došlo je do značajnog uklanjanja acetil grupa iz ksilana, kao i do uklanjanja dela ksilana, što je potvrđeno nižim sadržajem ksiloze u hidrolizatima ovih uzoraka (tabela 5.18), usled čega je došlo do povećanja pH vrednosti ovih uzoraka.

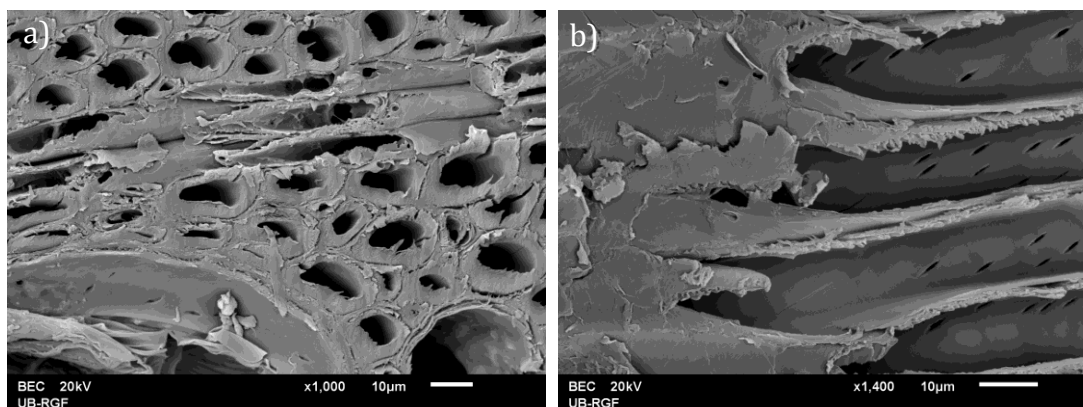
Povećanje učešća ksilana u uzorcima iverja juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena tretiranih vodom, koje je ustanovljeno rezultatima HPLC (tabela 5.18 i 5.19) i FTIR (slike 5.46 i 5.47) analiza, uticalo je na smanjenje pH vrednosti ovih uzoraka u poređenju sa na netretiranim.

Usled smanjenja učešća ksilana u uzorcima tretiranim sirćetnom kiselinom, ustanovljenog HPLC analizom (tabela 5.18), koje je naročito izraženo kod zrelog drveta, očekivano je povećanje pH vrednosti ovih uzoraka. Međutim, suprotno očekivanom, pH vrednosti ovih uzoraka od 4,52 kod zrelog i 4,75 kod juvenilnog drveta niže su u odnosu na pH vrednosti netretiranih uzoraka koje iznose 4,92 i 5,11. Mirzaei i saradnici (2012) takođe su ustanovili da je, posle hidrotermičkog tretmana, pH vrednost tretiranih uzoraka bukve (*Fagus orientalis*) niža u odnosu na netretirane uzorke. Istovremeno, u skladu sa smanjenjem pH vrednosti, rezultati FTIR spektroskopije uzoraka tretiranih kiselinom (slike 5.46 i 5.47) ukazuju na povećanje učešća karbonilne grupe karakteristične za karboksilne kiseline i estre, odnosno ksilane posle tretmana. Povećanje intenziteta estarskog karbonilnog pika na 1740 cm^{-1} kod hidrotermički tretiranih uzoraka bukve i bora, što je u suprotnosti sa reakcijama deacetilovanja hemiceluloza, Tjeerdsma i Militz (2005) objasnili su formiranjem novih estarskih grupa kroz procese esterifikacije koji se odigravaju, pre svega na ligninu, što je ustanovljeno FTIR analizom lignina i holoceluloze ispitivanih uzoraka.

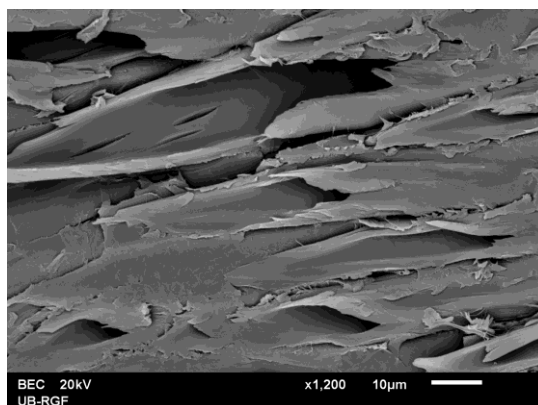
Na osnovu izloženog, opravdano je pretpostaviti da su, prilikom tretmana sirćetnom kiselinom, mesta odigravanja hidrolitičkih reakcija na lancima ksilana (slika 2.20) bila takva da su dovela do promene odnosa acetil grupa i ostataka ksiloze u tretiranim uzorcima, ili da je došlo do supstitucije pristupačnih OH grupa drveta, odnosno lignin, kiselim acetil grupama iz reakcione smeše (Tjeerdsma i Militz, 2005). Usled toga, iako je prilikom tretmana sirćetnom kiselinom došlo do smanjenja sadržaja ksiloze u tretiranim uzorcima, istovremeno je povećano učešće acetil grupa u ovim uzorcima, što je uzrokovalo jaču apsorpciju IR zračenja na talasnim dužinama karakterističnim za deformacione vibracije C=O ($1740\text{-}1730\text{ cm}^{-1}$) i C-O ($1240\text{-}1260\text{ cm}^{-1}$) veza, kao i smanjenje pH vrednosti ovih uzoraka drveta.

5.4. EFEKTI PREDTRETMANA NA MIKRO-ANATOMSKE PROMENE U TKIVU JUVENILNOG I ZRELOG DRVETA POLJSKOG JASENA

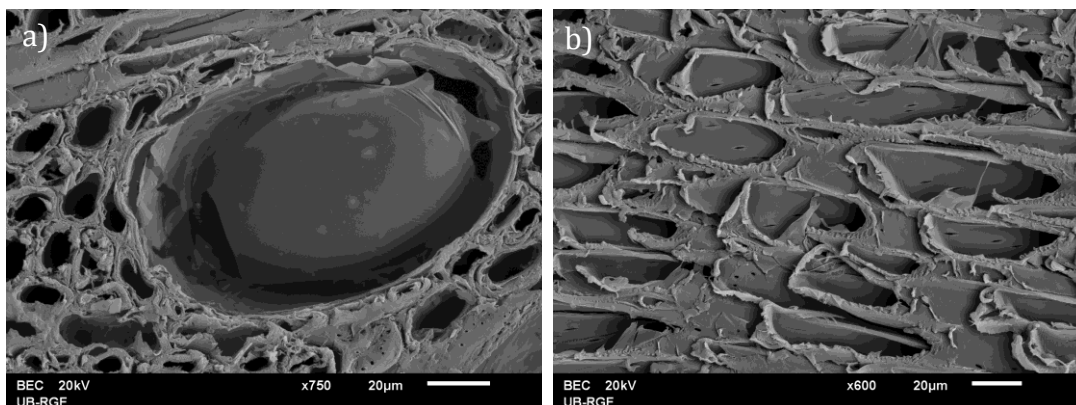
Da bi se ustanovilo dejstvo tretmana na mikro-nivou, primenjena je SEM mikroskopija. Tretirani i kontrolni uzorci poljskog jasena posmatrani su pri uvećanju od 50 do 1000 x, a digitalni zapisi posmatranih delova tkiva prikazani su na slikama 5.48 - 5.55.



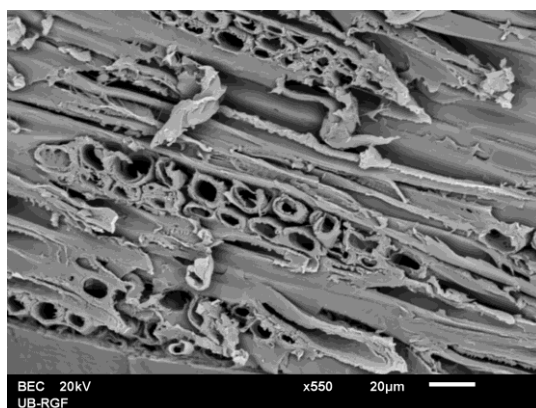
Slika 5.48. Kontrolni uzorci juvenilnog drveta poljskog jasena
a) poprečni presek i b) tangencijalni presek



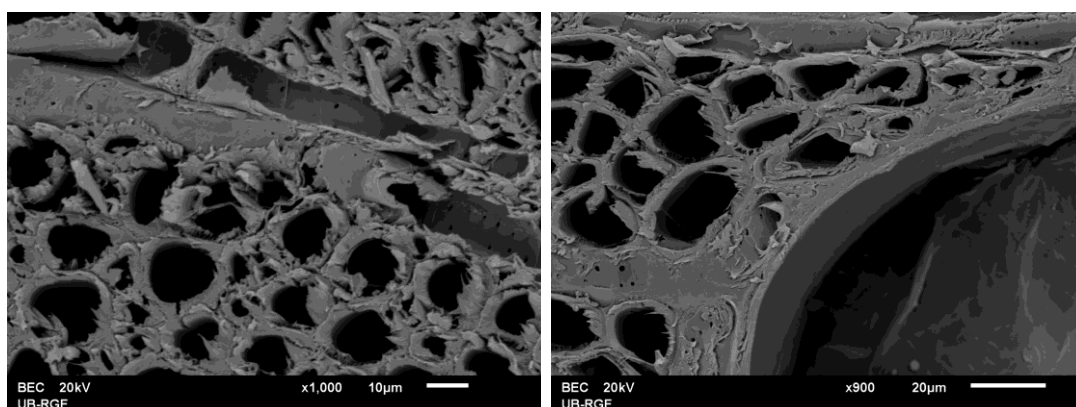
Slika 5.49. Juvenilno drvo poljskog jasena tretirano vodom na 100 °C
- tangencijalni presek



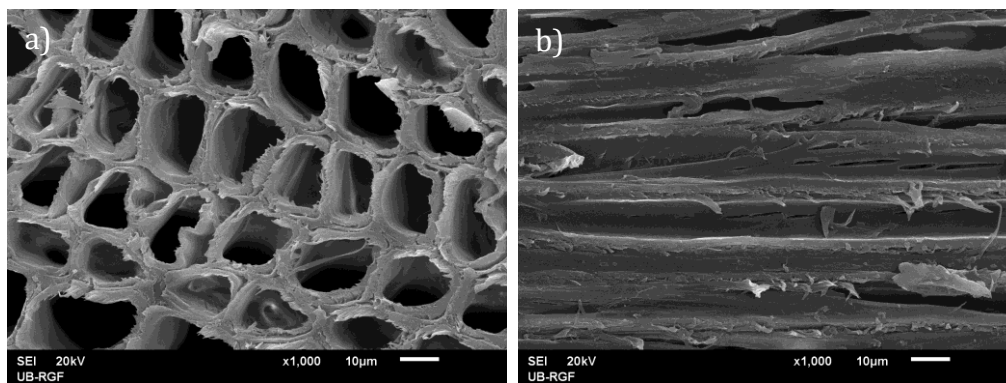
Slika 5.50. Juvenilno drvo poljskog jasena tretirano pri dodatku 0,06 g/g sirćetne kiseline na 100 °C a) poprečni presek i b) tangencijalni presek



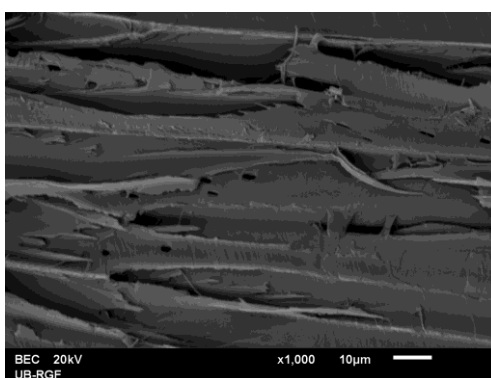
Slika 5.51. Juvenilno drvo poljskog jasena tretirano pri dodatku 0,03 g/g natrijum karbonata na 100 °C - tangencijalni presek



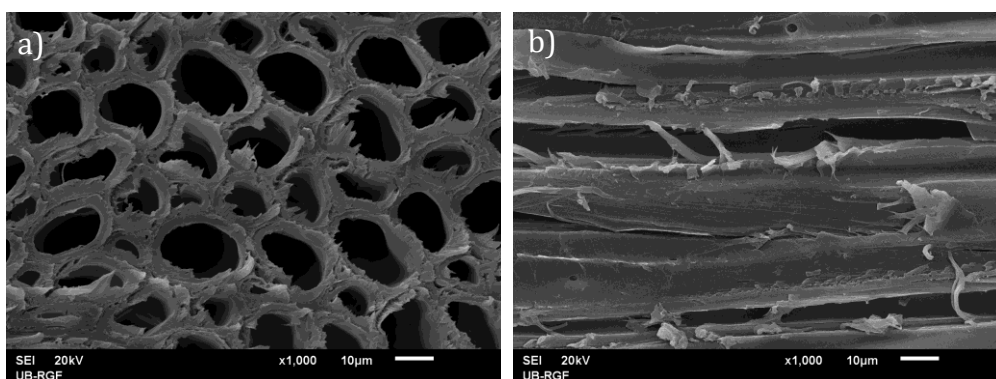
Slika 5.52. Kontrolni uzorci zrelog drveta poljskog jasena - poprečni presek



Slika 5.53. Zrelo drvo poljskog jasena tretirano vodom na 100 °C
a) poprečni presek i b) tangencijalni presek



Slika 5.54. Zrelo drvo poljskog jasena tretirano pri dodatku 0,06 g/g sirćetne kiseline na 100 °C - tangencijalni presek



Slika 5.55. Zrelo drvo poljskog jasena tretirano pri dodatku 0,03 g/g natrijum karbonata na 100 °C a) poprečni presek i b) tangencijalni presek

Iako su svi primenjeni tretmani svojim dejstvom doveli do gubitka mase tkiva zrelog i, u nešto većem stepenu, juvenilnog drveta poljskog jasena (tabela 5.15), posmatranjem uzoraka na SEM mikroskopu nisu uočene promene u strukturi ćelijskog zida tretiranih uzoraka u odnosu na netretirane (slike 5.48 - 5.55). S obzirom na to, može se smatrati da primenjeni tretmani nisu značajno promenili strukturu ćelijskog zida.

5.5. EFEKTI PREDTRETMANA NA IZABRANA SVOJSTVA JUVENILNOG I ZRELOG DRVETA POLJSKOG JASENA

Pored ispitivanja dejstva tretmana na promene u hemijskom sastavu, ispitan je i uticaj primenjenih tretmana na odabrana svojstva juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena, kao što su: sadržaj ravnotežne vlage, upijanje vode, dimenzionalna stabilnost, adhezivna svojstva, pH vrednost i toplotna moć.

5.5.1. EFEKTI PREDTRETMANA NA SADRŽAJ RAVNOTEŽNE VLAGE DRVETA POLJSKOG JASENA TRETIRANOG PRI ODABRANIM PARAMETRIMA

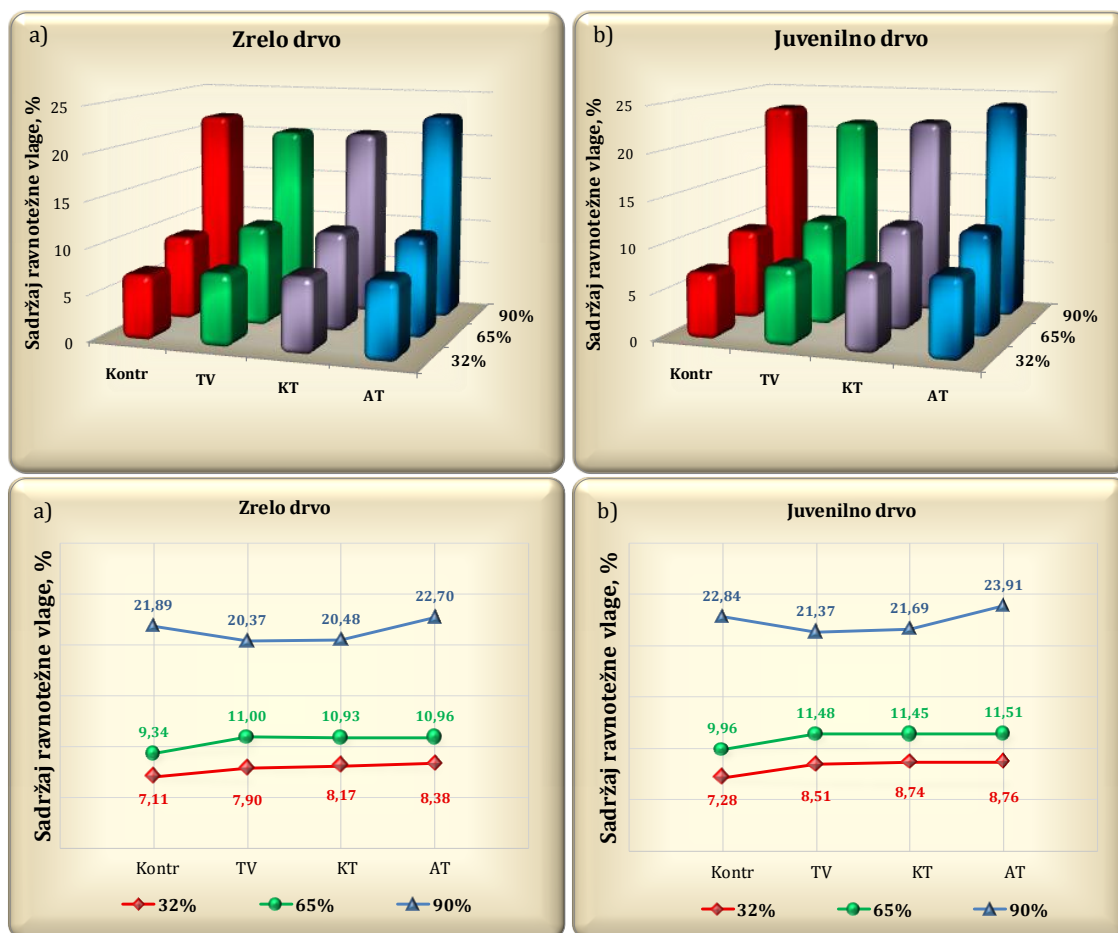
Kontrolnim i tretiranim uzorcima juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena određen je sadržaj ravnotežne vlage posle klimatizacije u uslovima relativne vlažnosti vazduha od 32, 65 i 90 % i temperature od 20 °C. Rezultati određivanja sadržaja ravnotežne vlage prikazani su na slici 5.56. Statistička obrada rezultata određivanja sadržaja ravnotežne vlage prikazana je u *Prilogu VI - 8*.

U skladu sa rezultatima ispitivanja ravnotežne vlage nativnih uzoraka juvenilnog (10,92 %) i zrelog drveta (10,32 %) poljskog jasena prikazanih u tabeli 5.1, i tretirano iverje juvenilnog drveta, za sve primenjene uslove relativne vlažnosti vazduha, postiglo je nešto veće vrednosti sadržaja ravnotežne vlage u odnosu na odgovarajuće uzorke zrelog drveta.

Posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 32 % i 65 % kontrolni uzorci iverja juvenilnog i zrelog drveta uspostavili su ravnotežno stanje pri nižim vrednostima ravnotežne vlage u poređenju sa tretiranim uzorcima. Međutim, treba imati u vidu da drvo karakteriše pojava histerezisa adsorpcije i desorpcije, kao i činjenicu da su, za razliku od kontrolnih uzoraka, tretirani uzorci bili u napojenom stanju tokom tretmana i ispiranja.

Takođe, polazne vrednosti sadržaja vlage tretiranog iverja koje se nalaze u intervalu od 9,82 do 10,42 % veće su od sadržaja vlage kontrolnih uzoraka čije su vrednosti 7,63 i 7,91 % (tabela 5.14). S obzirom da se posle desorpcije može očekivati veći sadržaj ravnotežne vlage uzoraka drveta u odnosu na vrednost koja se postiže posle adsorpcije, ovakvi rezultati nisu iznenađujući. Kollman i Cote

(1984) navode 0,85 kao vrednost odnosa sadržaja vlage prilikom adsorpcije i desorpcije za većinu vrsta drveta, dok je prema Kolinu (2000) histerezis sorpcije izraženiji kod uzoraka manjih dimenzija, što takođe treba imati u vidu, s obzirom da su ispitivanja vršena na iverju drveta dimenzija 0,5 - 1 mm.



Slika 5.56. Sadržaj ravnotežne vlage (%) kontrolnih - Kontr i uzoraka tretiranih vodom ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) -TV; sirćetnom kiselinom ($0,06\text{ g/g}$, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$) - KT i natijum karbonatom ($0,03\text{ g/g}$, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$) - AT juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena posle izlaganja relativnoj vlažnosti od 32, 65 i 90 % ($20 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Posle izlaganja relativnoj vlažnosti od 90 % vrednosti sadržaja ravnotežne vlage iverja kreću se od 20,37 do 22,70 % kod zrelog, odnosno od 21,37 do 23,91 % kod juvenilnog drveta. Visoke vrednosti sadržaja vlage iverja, kao i uslovi izlaganja visokoj relativnoj vlažnosti vazduha ukazuju da je postignuti ravnotežni sadržaj vlage uzoraka blizak tački zasićenja vlakanaca. Istovremeno, vrednosti sadržaja ravnotežne vlage uzoraka zrelog drveta tretiranih vodom od 20,37 %, kao

i uzoraka tretiranih sirćetnom kiselinom od 20,48 % značajno su niže od postignute vrednosti ravnotežne vlage od 21,89 % kontrolnih uzoraka poljskog jasena. Sadržaj ravnotežne vlage uzoraka juvenilnog drveta, sa vrednostima od 21,37 % za uzorke tretirane vodom, i 21,69 % za uzorke tretirane sirćetnom kiselinom prate isti trend. Statistička obrada podataka pokazala je da ne postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između uzoraka tretiranih sirćetnom kiselinom i uzoraka tretiranih vodom.

Imajući u vidu manji sadržaj ravnotežne vlage u odnosu na netretirane uzorke posle izlaganja visokim vrednostima relativne vlažnosti, kao i pojavu histerezisa sorpcije, koja je naročito izražena u oblasti sadržaja vlage drveta od 6 do 18 %, odnosno pri relativnoj vlažnosti vazduha između 20 i 80 %, i kod usitnjenog materijala, može se smatrati da su tretman vodom i tretman sirćetnom kiselinom uticali na smanjenje higroskopskog karaktera juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena. Hosseinaei sa saradnicima (2011 a) takođe je ustanovio smanjenje sadržaja ravnotežne vlage kod uzoraka žutog bora posle ekstrakcije hemiceluloza vrućom vodom.

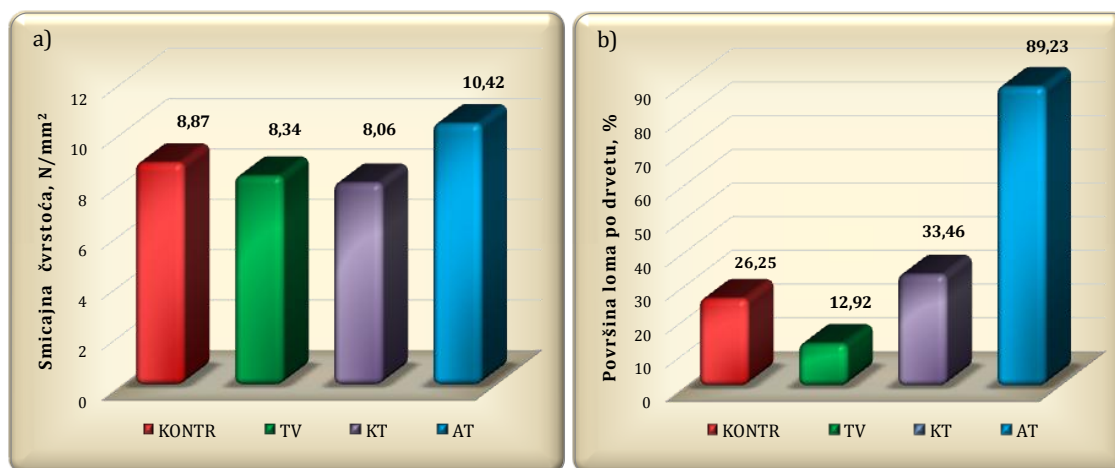
Međutim, sadržaj ravnotežne vlage uzoraka tretiranih natrijum karbonatom od 22,70 % za zrelo, odnosno 23,91 % za juvenilno drvo, posle izlaganja relativnoj vlažnosti od 90 % značajno su većih vrednosti od svih ostalih, pa i kontrolnih grupa uzoraka. Ovo može biti posledica povećanja broja pristupačnih OH grupa na površini mikrofibrila celuloze usled uklanjanja hemiculoza u većoj meri nego kod ostalih posmatranih tretmana (tabele 5.15 i 5.19).

5.5.2. EFEKTI PREDTRETMANA NA ADHEZIVNA SVOJSTVA DRVETA POLJSKOG JASENA TRETIRANOG PRI ODABRANIM PARAMETRIMA

Na slici 5.57 prikazane su vrednosti ispitivanja smicajne čvrstoće u sloju adheziva uzoraka drveta poljskog jasena tretiranih odabranim tretmanima.

Sa slike 5.57 vidi se da su vrednosti smicajne čvrstoće u sloju adheziva uzoraka tretiranih vodom i pri dodatku 0,06 g/g rastvora sirćetne kiseline, od 8,34 i 8,06 N/mm² nešto manje u poređenju sa kontrolnom grupom uzoraka (8,87 N/mm²). Statistička analiza rezultata pokazala je da razlike u vrednostima

smicajne čvrstoće u sloju adheziva ove dve grupe tretiranih uzoraka u poređenju sa kontrolnom grupom uzoraka nisu značajne. Međutim, vrednosti smicajne čvrstoće u sloju adheziva uzoraka tretiranih pri dodatku od 0,03 g/g rastvora natrijum karbonata, sa srednjom vrednošću od 10,42 N/mm², značajno se razlikuju u odnosu na kontrolnu, ali i na ostale dve grupe tretiranih uzoraka (*Prilog VI – 6*).



Slika 5.57. Smicajna čvrstoća kontrolnih - Kontr i uzoraka poljskog jasena tretiranih vodom -TV; sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) - KT i natrijum karbonatom (0,03 g/g) - AT na 100 °C

Na kvalitet ostvarene veze drveta i adheziva prilikom slepljivanja, između ostalog, utiče hemijski sastav drveta, pri čemu OH grupe drveta imaju značajnu ulogu u ostvarivanju njegove veze sa adhezivom (River et al., 1991; Frihart, 2005 b; Frihart, 2006). Iz tog razloga, razumljivo je da promene u hemijskom sastavu usled dejstva tretmana kao posledicu imaju izmenjena adhezivna svojstva tretiranog drveta. Ispitujući svojstva drveta bukve posle hidrotermičkog tretmana Mirzaei i saradnici (2012) ustanovili su smanjenje jačine ostvarene veze drveta bukve i urea-formaldehidnog veziva, što je u skladu sa neznatno manjim vrednostima smicajne čvrstoće uzoraka tretiranih vodom i sirćetnom kiselinom dobijenim u ovom radu (slika 5.57). Smanjenje smicajne čvrstoće u sloju adheziva posle hidrotermičkog tretmana drveta bukve (Mirzaei et al., 2012) Tjeerdsma i Militz (2005) objasnili su smanjenjem broja hidroksilnih grupa, kao potencijalnih mesta za ostvarivanje veze između drveta i adheziva (River et al., 1991).

Veće vrednosti smicajne čvrstoće uzoraka drveta poljskog jasena posle tretmana natrijum karbonatom (slika 5.57) mogu biti posledica povećanja broja

pristupačnih OH grupa na površini mikrofibrila, na koje ukazuje veći sadržaj ravnotežne vlage ovih uzoraka (slika 5.56). Takođe, s obzirom da je upravo prilikom ovog tretmana gubitak mase drveta bio najveći (tabela 5.15), može se pretpostaviti da je povećanje poroznosti i permeabilnosti olakšalo penetraciju adheziva u tkivo drveta, usled čega je povećan udeo mehaničke adhezije u ovim uzorcima. Istovremeno, velika površina loma po drvetu uzoraka tretiranih natrijum karbonatom od 89,23 % ukazuje da je drvo najslabija karika u ovom adhezivnom lancu, što je posledica pada mehaničkih svojstava usled delimične destrukcije drveta prilikom tretmana. Naime, River i saradnici (1991) navode da se površina loma po drvetu smanjuje sa povećanjem gustine, odnosno jačine drveta, dok prema Hillu (2006) usled degradacija hemiceluloza drvo postaje krto i kruto. U skladu sa tim, površina loma po drvetu od 12,92 % najmanja je kod uzoraka sa najmanjim gubitkom mase (TV), a najveća, sa vrednošću od 89,23 %, kod uzoraka koji su imali i najveći gubitak mase (AT) prilikom tretmana (slika 5.57 b, tabela 5.15). Istovremeno, u uzorcima iverja tretiranim vodom povećan je udeo ksiloze, dok je tretman u alkalnim uslovima izazvao najveći gubitak hemiceluloza (tabela 5.19).

5.5.3. EFEKTI PREDTRETMANA NA UPIJANJE VODE DRVETA POLJSKOG JASENA TRETIRANOG ODABRANIM PARAMETRIMA

Gustina (zapreminska masa)

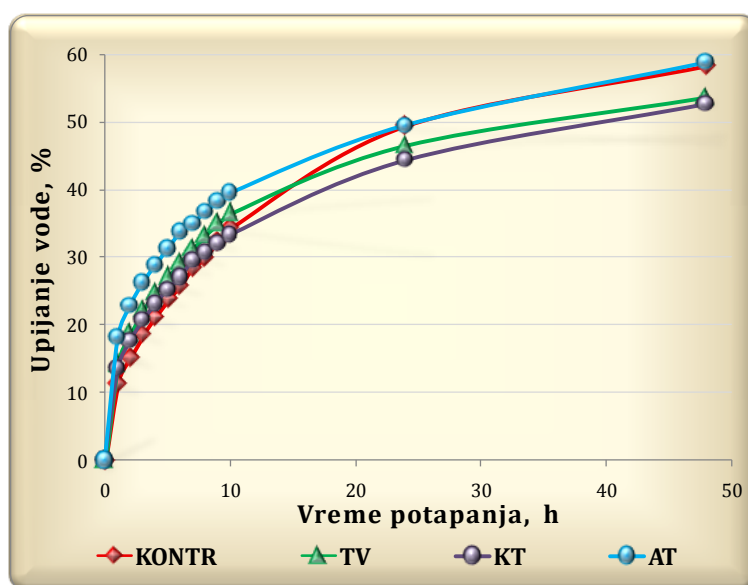
U tabeli 5.21 prikazane su srednje vrednosti gustine kontrolnih (Kontr) i uzoraka tretiranih vodom -TV; sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) - KT i natijum karbonatom (0,03 g/g) - AT tokom 60 min na temperaturi od 100 °C. Statistička analiza rezultata prikazana je u *Prilogu VI - 6*.

Tabela 5.21. *Gustina u apsolutno suvom stanju (ρ_0) kontrolnih (Kontr) i uzoraka tretiranih na 100 °C vodom -TV; sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) - KT i natijum karbonatom (0,03 g/g) - AT*

	<i>Kontr</i>	<i>TV</i>	<i>KT</i>	<i>AT</i>
<i>Gustina (ρ_0), kg/m³</i>	666,96	639,89	637,09	639,99
<i>Standardna devijacija</i>	63,98	55,88	68,98	83,07

S obzirom da je statistička analiza rezultata pokazala da razlike koje postoje u gustini između kontrolne i tretiranih grupa uzoraka nisu značajne, može se isključiti uticaj razlika u gustini na razlike u upijanju vode i zapreminskom bubrenju ovih grupa uzoraka.

Upijanje vode kontrolnih i uzoraka poljskog jasena tretiranih vodom, sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) i natrijum karbonatom (0,03 g/g) na 100 °C prikazano je na slici 5.58. Povećanje upijanja vode tretiranih uzoraka u odnosu na kontrolne navedeno je u tabeli 5.22.



Slika 5.58. Upijanje vode kontrolnih - Kontr i uzoraka poljskog jasena tretiranih vodom -TV; sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) - KT i natrijum karbonatom (0,03 g/g) - AT na 100 °C

Tabela 5.22. Povećanje upijanja vode uzoraka poljskog jasena tretiranih vodom - TV, sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) - KT i natrijum karbonatom (0,03g/g) - AT na 100 °C u odnosu na kontrolne uzorke

Vreme potapanja, h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	24	48	
Povećanje upijanja vode, %	TV	25,51	23,08	19,04	16,62	14,31	13,22	9,89	10,53	8,72	6,58	-5,90	-7,98
	KT	20,11	15,84	11,01	9,23	6,06	5,18	3,93	2,55	-0,54	-2,81	-10,22	-9,64
	AT	60,79	50,07	40,28	36,10	31,34	30,80	23,13	22,18	18,58	14,90	0,04	0,89

Tokom prvih nekoliko sati ispitivanja upijanje vode svih tretiranih uzoraka intenzivnije je u odnosu na kontrolne. Povećano upijanje vode naročito je izraženo kod uzoraka tretiranih natrijum karbonatom, što je u skladu sa činjenicom da je

gubitak mase prilikom ovog tretmana najveći (tabela 5.15). Naime, usled gubitka drvene materije smanjuje se gustina i povećava poroznost drveta, što za posledicu ima intenzivnije upijanje vode. Takođe, usled uklanjanja dela ekstraktivnih materija, čiji je sadržaj smanjen za 57,68 % (T/E ekstraktivi) kod uzoraka zrelog drveta tretiranih vodom, do 84,63 % (ekstraktivi u vrućoj vodi) kod uzoraka juvenilnog drveta tretiranih natrijum karbonatom (tabela 5.15), opravdano je smatrati da je došlo do povećanja permeabilnosti tretiranih uzoraka. Povećanje permeabilnosti uzoraka posle tretmana takođe se odrazilo na intenzivnije upijanje vode.

Povećano upijanje vlage uzoraka bukve (*Fagus orientalis*) posle hidrotermičkog tretmana, od 76,75 i 74,97 % pri temperaturi od 180 °C i trajanju procesa od 4 i 6 h, Mohebbi i Sanaei (2005) objasnili su povećanom poroznošću tretiranih uzoraka posle uklanjanja hemiceluloza.

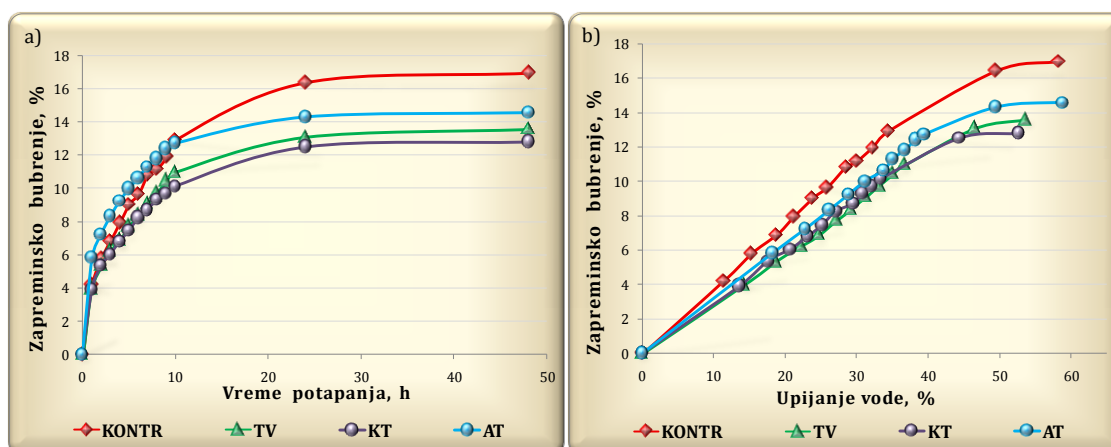
Isto tako, Zhang i saradnici (2011) ustanovili su da strend iverje bora ekstrahovano vrućom vodom sa većim gubicima mase pokazuje povećano upijanje vode, što su autori pripisali nastajanju velikih i mnogobrojnih pora koje pospešuju kapilarno kretanje vode u tretiranim uzorcima, a posledica su oštrih uslova tretmana. Paredes i saradnici (2009) takođe su smatrali da oštri uslovi tretmana dovode do pojave mikropora i povećanja zapremine pora u ćelijskom zidu, dok su Lantican sa saradnicima (1965) kao i Nicholas i Thomas (1968) smatrali da tretmani, pored povećanja poroznosti mogu dovesti i do povećanja permeabilnosti tretiranih uzoraka u odnosu na kontrolne.

Posle početnog perioda intenzivnog upijanja, brzina upijanja vode tretiranih uzoraka se smanjuje, te su posle 48 sati potapanja uzorci tretirani vodom i sirćetnom kiselinom upili manju, a uzorci tretirani natrijum karbonatom istu količinu vode kao kontrolna grupa. Ovo ukazuje da primenjeni tretmani nisu doveli do značajnog narušavanja strukture ćelijskog zida i pojave novih šupljina značajnijih dimenzija, što je u skladu sa rezultatima analize mikro-anatomskih promena u tkivu drveta poljskog jasena navedenih u tački 5.4. Isto tako, može se smatrati da je intenzivno upijanje vode tokom prvih sati potapanja u najvećoj meri posledica povećanja permeabilnosti tretiranih uzoraka.

5.5.4. EFEKTI PREDTRETMANA NA ZAPREMINSKO BUBRENJE DRVETA POLJSKOG JASENA TRETIRANOG PRI ODABRANIM PARAMETRIMA

Na slici 5.59 prikazano je zapreminsko bubrenje kontrolnih i uzoraka poljskog jasena tretiranih vodom, sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) i natrijum karbonatom (0,03 g/g) na 100 °C. Poboljšanje dimenzionalne stabilnosti (smanjenje zapreminskog bubrenja) tretiranih uzoraka u odnosu na kontrolne navedeno je u tabeli 5.23.

Sa slike 5.59 a), koja prikazuje zapreminsko bubrenje tokom 48-časovnog napajanja uzoraka vodom, vidi se da uzorci tretirani vodom (TV) i dodatkom od 0,06 g/g sirćetne kiseline (KT) imaju manje vrednosti bubrenja od kontrolnih, i to tokom celog ispitivanja. Poboljšanje dimenzionalne stabilnosti kreće se od 5,87 % posle prvog sata potapanja uzoraka tretiranih vodom, do 24,55 % posle 48 sati potapanja uzoraka tretiranih sirćetnom kiselinom.



Slika 5.59. Zapreminsko bubrenje kontrolnih - Kontr i uzoraka poljskog jasena tretiranih vodom -TV; sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) - KT i natrijum karbonatom (0,03 g/g) - AT na 100 °C u zavisnosti od a) vremena i b) upijene vode

Tabela 5.23. Poboljšanje dimenzionalne stabilnosti uzoraka poljskog jasena tretiranih vodom - TV, sirćetnom kiselinom (0,06 g/g)- KT i natrijum karbonatom (0,03g/g) - AT na 100 °C u odnosu na kontrolne uzorke

Vreme potapanja, h		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	24	48
Poboljšanje dimenzionalne stabilnosti, %	TV	5,87	3,68	9,12	13,25	14,41	13,17	11,30	12,79	12,33	15,14	20,27	19,91
	KT	6,59	7,42	11,96	14,30	17,43	14,66	19,47	16,56	18,52	21,63	23,72	24,55
	AT	-38,72	-30,22	-21,72	-16,08	-10,61	-10,03	-10,33	-5,81	-3,93	1,62	12,78	14,07

Uzorci poljskog jasena tretirani natrijum karbonatom pokazuju povećano bubrenje tokom prvih 10 sati potapanja u odnosu na ostale tri grupe uzoraka. Posle 10-tog sata intenzitet bubrenja ovih uzoraka naglo opada, i na kraju ispitivanja zapreminsko bubrenje je za 14,07 % manje u odnosu na kontrolnu grupu (tabela 5.23).

Međutim, posmatranjem zavisnosti zapreminskog bubrenja od upijene vode (slika 5.59 b) postaje očigledno da je povećano bubrenje uzoraka tretiranih natrijum karbonatom tokom prvih 10 sati ispitivanja posledica većeg upijanja vode tretiranih uzoraka. Naime, pri istim količinama upijene vode svi tretirani uzorci, pa i uzorci tretirani natrijum karbonatom pokazali su manje zapreminsko bubrenje u poređenju sa kontrolnim uzorcima.

Ovo ukazuje da su tretmani primenjeni u ovom radu uticali na smanjenje hidrofilnosti drveta, odnosno da je iz drvnog tkiva uklonjen deo supstanci koje, ostvarujući vodonične veze sa molekulima vode, izazivaju razmicanje molekula u ćelijskom zidu i bubrenje drveta. U prilog tome, rezultati HPLC analize ukazuju da je prilikom primenjenih tretmana došlo do gubitka ksiloze, kao i glukoze, verovatno iz amorfnih oblasti celuloze (tabela 5.19), čime se može objasniti povećanje dimenzionalne stabilnosti tretiranih uzoraka. Isto tako, značajno manji sadržaj ravnotežne vlage uzoraka tretiranih vodom i sirćetnom kiselinom posle izlaganja relativnoj vlažnosti okoline od 90 % (slika 5.56) ukazuje na smanjenje hidrofilnog karaktera ovih uzoraka, što istovremeno rezultuje povećanjem dimenzionalne stabilnosti. Naime, veličina bubrenja drveta proporcionalna je broju molekula vode apsorbovanih u ćelijski zid, odnosno broju pristupačnih OH grupa u celulozi, hemicelulozama i ligninu, koje su potencijalna mesta za ostvarivanje vodoničnih veza sa apsorbovanim molekulima vode (Walker, 2006; Hill, 2006). U skladu sa tim, povećanje dimenzionalne stabilnosti bukve (*Fagus orientalis*) posle hidrotermičkog tretmana za 10 do 35 %, u zavisnosti od uslova izvođenja procesa, Mohebbi i Sanaei (2005) su pripisali uklanjanju hidrofilnih OH grupa, što potvrđuje rezultate ovog rada. Takođe, primenjujući različite uslove (temperatura i vreme) hidrotermičkog tretmana, do sličnih rezultata došli su i Rezayati i saradnici 2007.

5.5.5. EFEKTI PREDTRETMANA NA TOPLOTNU MOĆ JUVENILNOG I ZRELOG DRVETA POLJSKOG JASENA TRETIRANOG PRI ODABRANIM PARAMETRIMA

Činjenica je da u svakoj drvnjoj industriji ostaje izvesna količina otpadaka, koja se najčešće spaljuje u cilju dobijanja toplotne energije. Na primer, u procesu proizvodnje ploča iverica vrši se separacija čestica neodgovarajućih dimenzija, pri čemu se krupnije čestice dositnjavaju, dok se drvna prašina spaljuje. Prašina iz procesa brušenja gotovih ploča takođe se spaljuje. Imajući to u vidu, tretiranim i netretiranim uzorcima juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena određena gornja toplotna moć. Rezultati merenja gornje toplotne moći prikazani su u tabeli 5.24.

Gornja toplotna moć netretiranih uzoraka zrelog drveta poljskog jasena neznatno je veće vrednosti u odnosu na juvenilno drvo. Ovakav rezultat se mogao očekivati, s obzirom da je u zreloom drvetu ustanovljen veći sadržaj lignina. Lignin, zbog kondenzovane strukture, ima visok odnos C/O, a time i veću toplotnu moć koja, za liščarske vrste u proseku iznosi 25,76 MJ/kg (Stevanović-Janežić et al., 1995). Toplotne moći ugljenohidratnih komponenti drveta sa vrednostima od 16,16 MJ/kg za celulozu (Stevanović-Janežić et al., 1995), odnosno 13,6 MJ/kg za hemiceluloze (Yoon i Heiningen, 2008) znatno su manje.

Tabela 5.24. Toplotna moć (MJ/kg) kontrolnih - *Kontr* i uzoraka tretiranih vodom - *TV*; sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) - *KT* i natijum karbonatom (0,03 g/g) - *AT* na 100 °C juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

<i>Tretman</i>	<i>Toplotna moć, MJ/kg</i>	
	<i>Zrelo drvo</i>	<i>Juvenilno drvo</i>
<i>Kontr</i>	19,662	19,655
<i>TV</i>	19,695	19,073
<i>KT</i>	19,031	19,752
<i>AT</i>	19,717	18,889

Tretmani drveta doveli su do promena u hemijskoj strukturi drvnog tkiva. U zavisnosti od primenjenog tretmana, u manjoj ili većoj meri došlo je do uklanjanja hemiceluloza, celuloze i lignina, čime je posle tretmana promenjen odnos ovih konstituenata u drvnom tkivu. Ove promene odrazile su se na sva svojstva drveta,

pa i na toplotna. U zavisnosti od polaznog sastava uzoraka i dejstva tretmana, tretiranim uzorcima je povećana ili smanjena kalorijska vrednost, mada promene nisu značajne. Na promenu toplotne moći najviše se odrazilo dejstvo tretmana natrijum karbonatom na juvenilno drvo poljskog jasena.

5.5.6. PREGLED EFEKATA PREDTRETMANA NA JUVENILNO I ZRELO DRVO POLJSKOG JASENA TRETIRANOG PRI ODABRANIM PARAMETRIMA

Rezultati dobijeni u ovom radu, na prvom mestu povećan sadržaj celuloze (3,6 - 8 %), koji je praćen maksimalnim povećanjem od samo 2 %, ili smanjenjem (0,45 %) sadržaja lignina u tretiranom drvetu, što olakšava procese delignifikacije i povećava prinos, ukazuju da je primena predtretmana u hemijskim postupcima proizvodnje vlakana opravdana. Istovremeno, uklanjanje najvećeg dela ekstraktivnih materija tokom tretmana, kroz povećanje permeabilnosti, olakšava prodiranje hemikalija u tkivo tretiranog drveta što utiče na brže i potpunije odigravanje hemijskih reakcija i dodatno pospešuje delignifikaciju.

Pored toga, tretmani su doveli do promena fizičkih svojstava ispitivanih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena. Tretman vodom i tretman sirćetnom kiselinom uticali na smanjenje higroskopskog karaktera juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena što se odrazilo na značajno manji sadržaj ravnotežne vlage ovih uzoraka u odnosu na kontrolne posle izlaganja visokim vrednostima vlažnosti (90 %). Tretman natrijum karbonatom značajno je povećao sadržaj ravnotežne vlage.

Upijanje vode u prvim satima potapanja intenzivnije je kod svih tretiranih uzoraka, što je posledica povećanja njihove permeabilnosti i poroznosti. Međutim, dimenzionalna stabilnost tretiranih uzoraka poboljšana je za 14 - 25 % nakon 48 h potapanja.

Adhezivna svojstva uzoraka posle tretmana vodom i sirćetnom kiselinom nisu značajno promenjena, ali su poboljšana tretmanom natrijum karbonatom.

Toplotna moć tretiranih uzoraka, takođe, nije značajno promenjena u poređenju sa kontrolnim uzorcima.

5.6. ANALIZA EKSTRAKATA IZ TRETMANA

Ekstrakti iz tretmana sadrže proizvode reakcija koje se odigravaju tokom dejstva primenjenih reagenasa i temperature na tkivo drveta. Vrsta i koncentracija proizvoda tretmana u dobijenim ekstraktima zavise od vrste primenjenih hemikalija, uslova izvođenja tretmana, ali i od prirode tretiranih uzoraka.

Ekstrakti, kao proizvodi dejstva tretmana vodom, sirćetnom kiselinom i natrijum karbonatom na juvenilno i zrelo drvo poljskog jasena analizirani su primenom HPLC hromatografije i FTIR spektroskopije.

5.6.1. SADRŽAJ SUVE MATERIJE U EKSTRAKTU

Uparavanjem 50 ml ekstrakta iz tretmana, kako je opisano u tački 4.4.3.3 određen je sadržaj suve materije ekstrakta, koji je prikazan u tabeli 5.25.

Rastvorljive materije drveta, kao i proizvodi razlaganja komponenti drvnog tkiva usled dejstva tretmana nalaze se rastvoreni u ekstraktu, kao proizvodu tretmana.

Sadržaj suve materije ekstrakta od 0,3615 g/50 ml najmanji je kod uzoraka tretiranih vodom, a najveći kod uzoraka tretiranih natrijum karbonatom, sa vrednošću od 1,1146 g/50 ml, što je u skladu sa gubitkom mase drveta prilikom tretmana (tabela 5.15).

Nešto veći sadržaj suve materije u ekstraktima iz svih tretmana juvenilnog drveta u odnosu na zrelo drvo, takođe je u skladu sa većim gubicima mase uzoraka juvenilnog drveta prilikom tretmana (tabela 5.15).

Tabela 5.25. Sadržaj suve materije ekstrakta (g/50 ml) iz tretmana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

Tretman	Sadržaj suve materije, g/50 ml	
	Zrelo drvo	Juvenilno drvo
<i>TV</i>	0,3615	0,5558
<i>KT</i>	0,4862	0,6171
<i>AT</i>	0,9293	1,1146

TV - tretman vodom (100 °C); *KT* - tretman sirćetnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C); *AT* - tretman natrijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C)

5.6.2. UTICAJ TRETMANA NA pH VREDNOST EKSTRAKTA

U tabeli 5.26 prikazani su rezultati merenja pH vrednosti rastvora pripremljenih za tretmane, kao i pH vrednosti ekstrakata dobijenih prilikom tretmana.

Tabela 5.26. pH vrednosti rastvora za tretman i ekstrakta iz tretmana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

Tretman	pH vrednost		
	Rastvor za tretman	Ekstrakt	
		Zrelo drvo	Juvenilno drvo
<i>TV</i>	4,55	4,98	5,04
<i>KT</i>	2,67	3,66	3,70
<i>AT</i>	10,98	9,06	8,56

TV - tretman vodom (100 °C); *KT* - tretman sirćetnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C); *AT* - tretman natrijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C)

Kod svih primenjenih tretmana pH vrednost ekstrakta promenjena je u odnosu na pH vrednost rastvora za tretman. Tretman vodom, kao i tretman sirćetnom kiselinom doveli su do povećanja pH-vrednosti, dok je kod tretmana alkalijama pH vrednost ekstrakta niža u odnosu na rastvor za tretman ekstrakta.

Povećanje pH vrednosti ekstrakta kod *TV* i *KT*, odnosno smanjenje u slučaju *AT* u poređenju sa polaznim rastvorom u skladu je sa promenama pH vrednosti drveta tretiranih odgovarajućim tretmanima u odnosu na pH vrednosti netretiranih uzoraka (tabela 5.20).

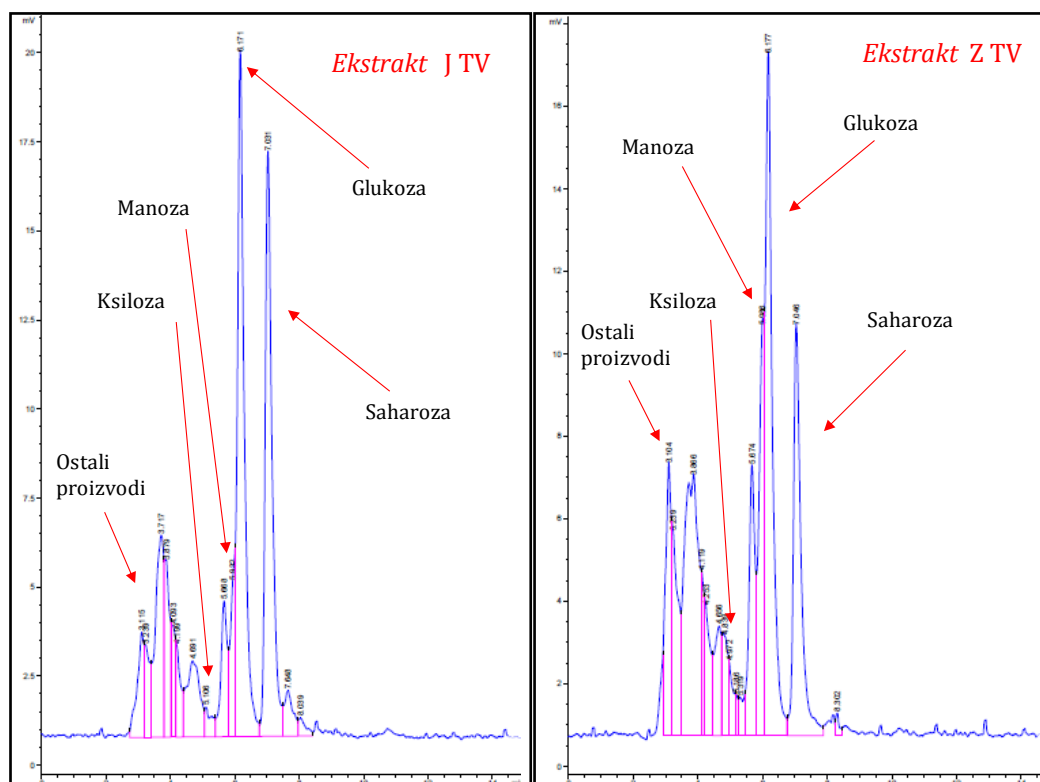
Niže pH vrednosti ekstrakata iz tretmana natrijum karbonatom u odnosu na početni alkalni rastvor posledica su izdvajanja acetil grupa ksilana, koje su, zbog svoje kisele prirode, veoma osetljive i reaktivne u baznoj sredini. pH vrednost ekstrakta iz tretmana natrijum karbonatom juvenilnog drveta nešto je manja u odnosu na pH vrednost ekstrakta zrelog drveta, što je u skladu sa većim gubitkom mase juvenilnog drveta prilikom ovog tretmana (tabela 5.15), kao i većim sadržajem suve materije u ekstraktu (tabela 5.25).

Imajući u vidu moguće reakcije ugljenih hidrata navedene u tački 2.6.6, kao i sadržaj ksiloze u uzorcima tretiranim sirćetnom kiselinom koji je manji u odnosu na netretirane uzorke (tabela 5.18), očekivano je da, usled izdvajanja acetil grupa iz drveta, pH vrednosti ekstrakta budu niže u odnosu na pH vrednosti rastvora

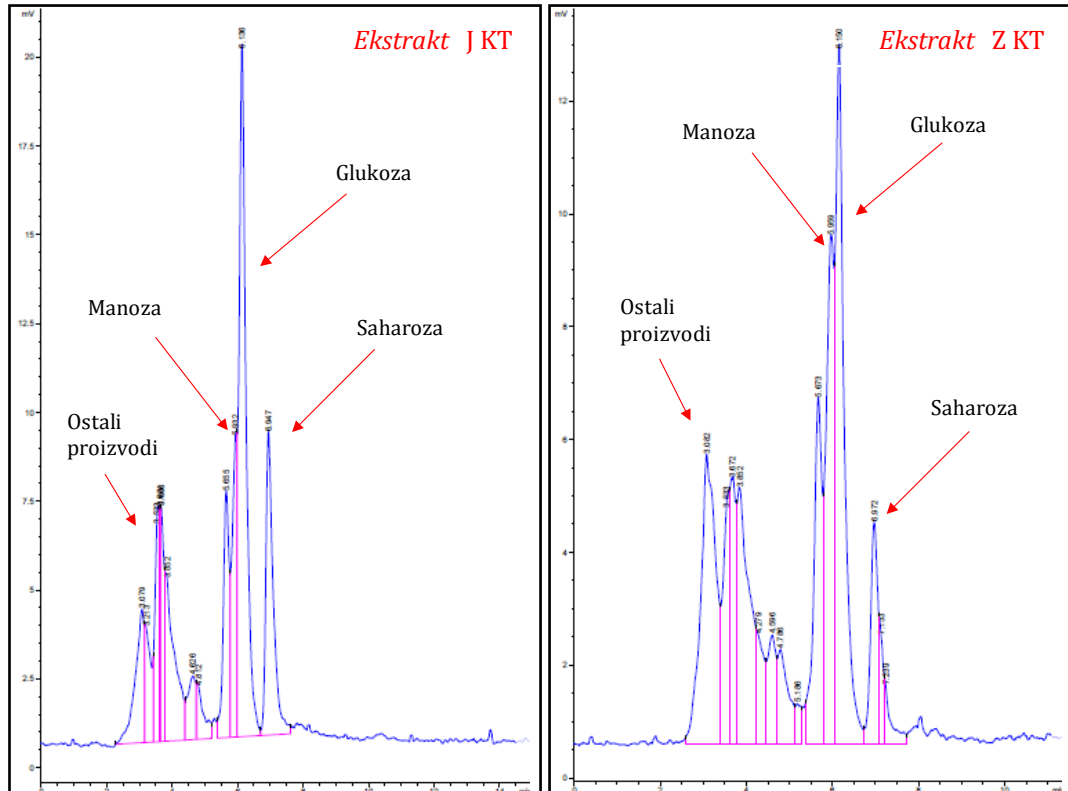
primenjenog za tretman. Suprotno, pH vrednosti ekstrakta je povećana, što može da ukaže na odigravanje reakcija neutralizacije između oslobođenih proizvoda u reakcionoj smeši, ili da je, u skladu sa rezultatima Tjeerdsma i Militz (2005), došlo do esterifikacije drveta acetil grupama, što je verovatnije. Naime, s obzirom da su posle tretmana sirćetnom kiselinom kiselost drveta (tabela 5.20), kao i intenzitet apsorpcije ovih uzoraka drveta u delovima spektra karakterističnim za karbonilnu i karboksilnu grupu povećani (slika 5.46 i 5.47), opravdano je pretpostaviti da su se tokom ovog tretmana odigrale reakcije esterifikacije.

5.6.3. ANALIZA SADRŽAJA ŠEĆERA U EKSTRAKTIMA

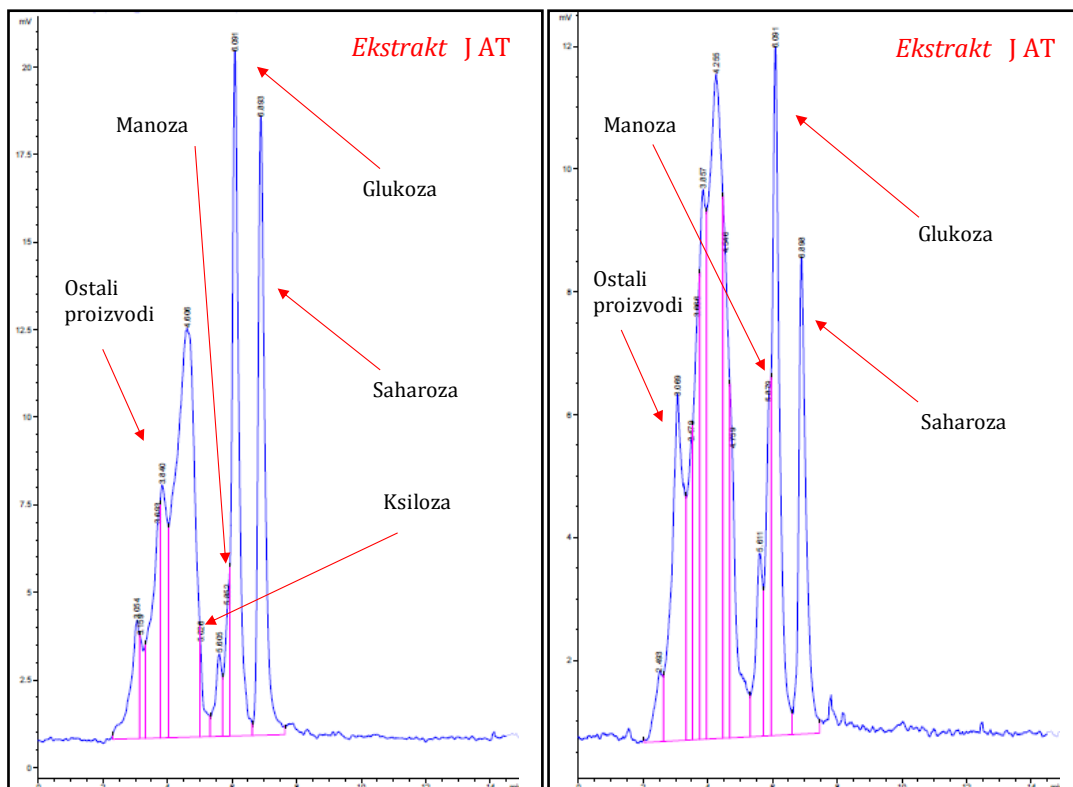
Za određivanje sadržaja monosaharida u ekstraktima iz tretmana u ovom radu primenjena je HPLC hromatografija, a kao standardi korišćeni su rastvori ksiloze, glukoze i manoze, kao i standard saharoze. Na slikama 5.60 - 5.62 prikazani su hromatogrami ekstrakata tretmana vodom, sirćetnom kiselinom i natrijum karbonatom juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena.



Slika 5.60. Hromatogrami ekstrakta iz tretmana vodom na 100 °C juvenilnog (J TV) i zrelog (Z TV) drveta poljskog jasena



Slika 5.61. Hromatogrami ekstrakta iz tretmana pri dodatku 0,06 g/g sirćetne kiseline na 100 °C juvenilnog (J KT) i zrelog (Z KT) drveta poljskog jasena



Slika 5.62. Hromatogrami ekstrakta iz tretmana pri dodatku 0,03 g/g natrijum karbonata na 100 °C juvenilnog (J AT) i zrelog (Z AT) drveta poljskog jasena

U tabeli 5.27 prikazan je sadržaj ksiloze, manoze, glukoze i saharoze u ekstraktima iz tretmana drveta poljskog jasena.

Tabela 5.27. Sadržaj šećera u ekstraktima iz tretmana (mg/ml) određen HPLC hromatografijom

	Zrelo drvo			Juvenilno drvo		
	TV	KT	AT	TV	KT	AT
Ksiloza, mg/ml	0,13	ND	ND	0,10	ND	0,18
Manoza, mg/ml	0,92	0,88	0,49	0,36	0,69	0,34
Glukoza, mg/ml	2,06	1,51	1,46	2,41	2,53	2,40
Saharoza, mg/ml	1,19	0,32	0,91	1,80	1,04	1,97
Ukupno, mg/ml	4,30	2,71	2,86	4,67	4,26	4,89

TV - tretman vodom (100 °C); KT - tretman sirćetnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C);

AT - tretman natijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C)

Prilikom reakcija hidrolitičke razgradnje drveta nastali proizvodi, na prvom mestu monosaharidi, nalaze se rastvoreni u reakcionoj smeši, odnosno ekstraktu iz procesa tretmana. Pored ksiloze, manoze i glukoze, koji su očekivani kao proizvodi hidrolitičke razgradnje ugljenohidratnih komponenti drveta, ustanovljeno je prisustvo disaharida koji je po retencionom vremenu ekvivalentan saharozi. Sa priloženih hromatograma (slike 5.59 – 5.62) vidi se da se u koloni razdvajaju i drugi proizvodi, koji nisu determinisani.

Prilikom tretmana vodom odvijaju se procesi autokatalitičke hidrolize lignoceluloznog materijala, a proizvodi ovih reakcija su monosaharidi rastvoreni u reakcionoj smeši (ekstraktu). Glukoza, kao glavni proizvod tretmana vodom obe vrste uzoraka, delom potiče iz glukomanana, ali i iz amorfnih oblasti celuloze. Veća koncentracija glukoze u ekstraktu juvenilnog drveta, uz istovremeno niži sadržaj manoze, ukazuje na veći stepen hidrolitičke razgradnje celulozne komponente juvenilnog drveta prilikom tretmana u odnosu na zrelo drvo. U prilog tome idu i rezultati određivanja sadržaja celuloze, koji pokazuju da je povećanje učešća celuloze, od 3,64 % u juvenilnom nešto manje u odnosu na povećanje od 3,74 % u zrelom drvetu uzoraka tretiranih vodom (tabela 5.17). Veći stepen hidrolitičke razgradnje celuloze u juvenilnom drvetu verovatno je posledica kombinacije više faktora: većeg udela amorfnih oblasti dostupnih za hidrolitičku razgradnju, manjeg

sadržaja hidrofobnog lignina, kao i veće poroznosti, koja olakšava prodiranje vode u unutrašnjost strukture drveta.

U ekstraktima tretmana vodom ustanovljeno je i prisustvo manoze, i to sa većom koncentracijom u ekstraktu zrelog drveta, što ukazuje na veće učešće glukomanana u zreлом drvetu poljskog jasena.

Uprkos dobroj rastvorljivosti ksilana u vodi, koncentracija ksiloze u ekstraktima tretmana vodom je neočekivano niska. Slične rezultate dobili su i drugi istraživači. Kao glavni proizvod tretmana vodom drveta jasena (*Fraxinus excelsior* L.) na temperaturama 100 - 140 °C detektovana je D-glukoza, dok je koncentracija ksiloze na ovim temperaturama niža, i raste sa porastom temperature i vremenom trajanja tretmana (Laurova, 2009 a). Odnos koncentracija ksiloza/ glukoza u vodenom ekstraktu jasena povećan je sa 0,05, koliko iznosi u ekstraktu iz tretmana na 100 °C, na 0,289 u ekstraktu dobijenom na temperaturi izvođenja procesa od 160 °C. Naime, prisustvo i koncentracija pojedinačnih proizvoda tretmana u hidrolizatu zavise od uslova izvođenja procesa. Laurova i saradnici (2009) takođe navode porast odnosa koncentracija ksiloza/glukoza sa 0,30 u vodenom ekstraktu vrbe pri temperaturi tretmana od 160 °C na 0,63 pri temperaturi procesa od 200 °C, tokom 60 min trajanja tretmana. Povećanje prinosa ksiloze sa povećanjem temperature i/ili trajanja tretmana vodom ustanovljen je i u ekstraktima bora (Yoon i Heiningen, 2008), kao i kod smeše lišćara (Tunc i Heiningen, 2008).

Navedeni rezultati određivanja sadržaja monosaharida u hidrolizatu tretiranih uzoraka drveta, koji pokazuju povećanje udela ksiloze i smanjenje udela glukoze u uzorcima tretiranim vodom, u potpunosti su u skladu sa rezultatima analize vodenog ekstrakta dobijenim u ovom radu.

Slični su i rezultati određivanja sadržaja monosaharida u ekstraktima iz tretmana sirćetnom kiselinom. Izgled hromatograma, kao i sastav ekstrakta iz tretmana uzoraka poljskog jasena sirćetnom kiselinom pokazuju veliku sličnost sa tretmanom vodom, što je u skladu sa sličnim mehanizmom katalitičke razgradnje glikozidne veze.

Međutim, iako je sadržaj ksiloze u hidrolizatu zrelog drveta jasena tretiranog sirćetnom kiselinom za 22,28 % manji u odnosu na netretirene uzorke, ali znatno manji i u odnosu na uzorak tretiran vodom (tabela 5.19), u ekstraktima

ovih tretmana nije detektovano prisustvo ksiloze. Ovo je verovatno posledica dehidratacione transformacije oslobođene ksiloze u furfural u uslovima kisele sredine (pH = 2,67, tabela 5.27) i povišene temperature, ili defragmentacije lanaca ksiloze na fragmenete nižeg stepena polimerizacije rastvorljive u reakcionoj smeši.

Naime, tokom procesa hidrolize istovremeno se odigravaju i reakcije dehidratacije oslobođenih pentoznih i heksoznih šećera, koje dovode do njihove transformacije u furfural, 5-hidroksimetil furfural (HMF), levulinsku i mravlju kiselinu. Obim transformacije i koncentracija proizvoda zavise od uslova izvođenja hidrolize, odnosno primenjene temperature i trajanja procesa (Marković et al., 1975; Hosseinaei et al., 2011 a).

Tretman natrijum karbonatom doveo je do najvećih gubitka mase tretiranih uzoraka drveta (tabela 5.15), a time i do najvećih promena u sastavu hidrolizata ovih uzoraka drveta (tabela 5.18 i 5.19). Međutim, ekstrakti iz ovih tretmana ne pokazuju značajne razlike u pogledu koncentracije određivanih monosaharida u odnosu na ekstrakte iz ostala dva tretmana. Sadržaj glukoze u ekstraktima iz tretmana natrijum karbonatom iznenađujuće je mali, s obzirom na sposobnost alkalnih rastvora da prodru u kristalna područja celuloznih vlakana. Istovremeno, mali sadržaj glukoze u ekstraktima u neskladu je sa sadržajem glukoze u hidrolizatu uzoraka tretiranih natrijum karbonatom, koji je niži za 33,69, odnosno 37,71 % u odnosu na netretirane uzorke. Na osnovu toga, može se pretpostaviti da je, pored piling reakcija kojima se odstranjuju završne grupe celuloznih lanaca, što kao rezultat ima "oslobađanje" glukoze, kao monomerne jedinice celuloze, tretman natrijum karbonatom doveo hidrolize glikozidnih veza celuloze uz odvajanje fragmenata većih molekulskih masa. Ovi proizvodi različitih molarnih masa nisu determinisani HPLC hromatografijom. Sadržaj glukoze nešto je veći u ekstraktu iz tretmana natrijum karbonatom juvenilnog drveta, što je, verovatno posledica povećanog udela amorfnih oblasti izloženih piling reakcijama u ovim uzorcima.

Zbog acetil grupa prisutnih u građi ksilana, ove komponente drvnog tkiva veoma su osetljive u alkalnoj sredini. Međutim, sadržaj ksiloze u ekstraktima iz tretmana juvenilnog drveta natrijum karbonatom je nizak, dok u ekstraktu zrelog drveta ksiloza nije determinisana. Nasuprot tome, analiza sadržaja monosaharida u hidrolizatu uzoraka drveta tretiranih natrijum karbonatom pokazuje znatno niži sadržaj ksiloze u odnosu na netretirane (tabela 5.18). Tretman natrijum

karbonatom doveo je do smanjenja sadržaja ksiloze zrelog drveta od čak 43,07 % (tabela 5.19). Imajući to u vidu, može se smatrati da rezultati ovog rada potvrđuju dobru rastvorljivost, uz istovremenu postojanost ksilana u alkalnim rastvorima (Stevanović-Janežić, 1993), kao i veoma nizak stepen odigravanja piling reakcija.

U skladu sa navedenim, Al Dajani i saradnici (2008) izolovali su frakcije ksilana iz ekstrakata tretmana alkalijama dobijenih na 50 i 90 °C, zatim napravili rastvor pomešavši izolovane frakcije ksilana sa standardima za ksilozu i PEG (polietilen glikol). Hromatografska analiza pokazala je da se frakcije ksilana razdvajaju pri nižim retencionim vremenima u odnosu na PEG ili ksilozu, što potvrđuje njihovu visoku molarnu masu, odnosno stabilnost u alkalnim rastvorima.

Poredeći hromatograme ekstrakata iz tretmana, veoma je upečatljiva razlika u obliku i intenzitetu pikova označenih kao "ostali proizvodi" između hromatograma ekstrakta iz tretmana natrijum karbonatom (slika 5.62) i ostala dva tretmana (slika 5.60 i 5.61). Ovo je naročito izraženo na hromatogramu ekstrakata zrelog drveta, kod kog je konstatovana najveća promena u sadržaju ksiloze, što opravdava da se ovaj pik pripiše ksilanu rastvorenom u alkalnom ekstraktu.

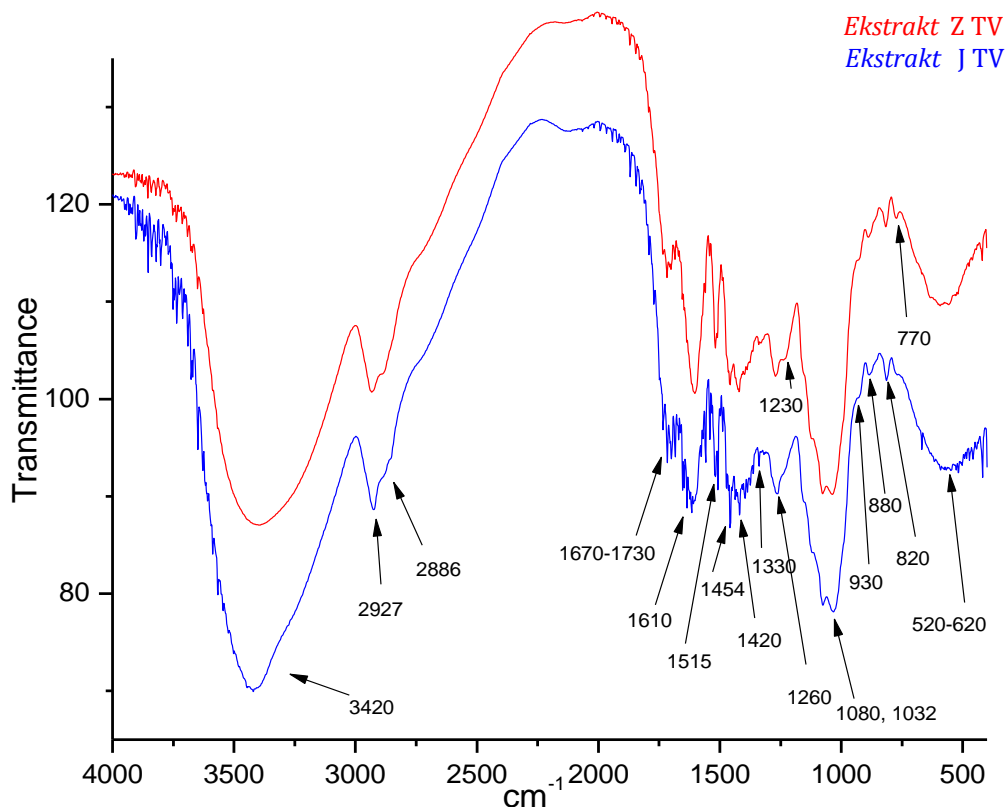
5.6.4. ANALIZA FUNKCIONALNIH GRUPA U EKSTRAKTIMA IZ TRETMANA

Apsorpcioni spektri u IR oblasti ekstrakata dobijenih prilikom tretmana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena vodom, pri dodatku 0,06 g/g sirćetne kiseline i 0,03 g/g natrijum karbonata na 100 °C prikazani su na slikama 5.63-5.65.

Tretman vodom

Sa FTIR spektara ekstrakata iz predtretmana vodom na 100 °C juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena (slika 5.63) može se uočiti da je na 3420 cm⁻¹ prisutna jaka apsorpcija. Takođe, apsorpcija je prisutna na 2927 cm⁻¹, kao i na 2886 cm⁻¹. Apсорpcija na ovim talasnim dužinama, ukazuje na prisustvo jedinjenja sa velikim brojem OH, CH₃ i CH₂ grupa u ovim ekstraktima, koja su verovatno proizvodi hidrolitičke razgradnje ugljenih hidrata, ali i rastvaranja ekstraktivnih jedinjenja tokom tretmana vodom. Intenzivnija apsorpcija na ovim talasnim dužinama kod ekstrakta juvenilnog drveta u skladu je sa većim gubitkom mase

ovih uzoraka prilikom tretmana, kao i nešto većim sadržajem šećera u hidrolizatu (tabela 5.27).



Slika 5.63. FTIR spektri uzoraka ekstrakta iz tretmana vodom ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) juvenilnog (J TV) i zrelog (Z TV) drveta poljskog jasena

Apsorpcija u oblasti $1670\text{-}1730\text{ cm}^{-1}$ koja potiče od vibracija istezanja ("*stretching*") karbonilne grupe ($\text{C}=\text{O}$) karakteristična je za aldehide, ketone, karboksilne kiseline i estre (Hosseinaei et al., 2011 b; Kumar et al., 2014). Na ovim talasnim dužinama apsorbiraju nekonjugovane karbonilne grupe hemiceluloza, tanini i drugi ekstraktivi, dok slaba apsorpciona traka prisutna na $1700\text{-}1690\text{ cm}^{-1}$ potiče od vibracija istezanja ("*stretching*") konjugovanih aromatičnih ketona (Hosseinaei et al., 2011 b; Bodirlau et al., 2012). Ajuong i Breese (1998) navode da dimeri zasićenih alifatičnih kiselina, kao i estri zasićenih masnih kiselina apsorbiraju u oblasti talasnih dužina $1720\text{-}1706\text{ cm}^{-1}$ i $1750\text{-}1735\text{ cm}^{-1}$, dok je 1725 cm^{-1} talasna dužina apsorpcije karbonilne grupa nezasićenih alifatičnih i aril estara.

"Karbonilna" traka u spektru ekstrakta iz tretmana vodom znatno je slabijeg intenziteta u poređenju sa uzorcima drveta posle ovog tretmana (slika 5.47), što

ukazuje na mali stepen izdvajanja jedinjenja sa karbonilnom grupom tokom ovog tretmana. Uprkos izdvajanja karbonilnih jedinjenja tokom tretmana, apsorpcija ovih jedinjenja u tretiranim uzorcima drveta je intenzivnija (slika 5.46 i 5.47). Ovo ide u prilog pretpostavci da je tokom tretmana došlo do esterifikacije OH grupa drveta, što za posledicu ima povećanu apsorpciju na $1730-1740\text{ cm}^{-1}$ i 1245 cm^{-1} koja je konstatovana (slika 5.47), kao i niže pH vrednosti uzoraka drveta posle tretmana (tabela 5.20).

Apsorpcija na $1240-1260\text{ cm}^{-1}$, zabeležena u spektrima ekstrakata iz tretmana vodom juvenilnog i zrelog drveta, koja se pripisuje C-O vibracijama istezanja karakteristična je za ksilane, ali i za lignin (Bjarnestad i Dahlman, 2002; Bodirlau *et al.*, 2008; Hosseinaei *et al.*, 2011 b). U delu spektra $1260-1234\text{ cm}^{-1}$ apsorbuju fenolne OH grupe drveta (Pandey i Pitman, 2003; Colom *et al.*, 2003).

Na prisustvo aromatičnih jedinjenja u proizvodima predtretmana vodom ukazuje i apsorpcija na 1610 cm^{-1} koja potiče od simetričnih vibracija istezanja aromatičnog prstena (Yazaki i Hillis, 1977; Silverstein *et al.*, 1981; Ku i Mun, 2007; Ajuong i Breese, 1998) ili deformacionih istezanja dvostruke C=C veze alkena (Huang i Yan, 2014). Apsorpcije na ovoj talasnoj dužini intenzivnija je kod ekstrakta zrelog drveta.

Za jedinjenja sa aromatičnim prstenom karakteristična je i apsorpcija na 1515 cm^{-1} , kao i na 1452 cm^{-1} i 1423 cm^{-1} , koje su zabeležene na spektrima ekstrakata juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena. Na 1452 cm^{-1} i 1423 cm^{-1} , takođe apsorbuju i CH_2 grupe alkana (Hosseinaei *et al.*, 2011 b; Huang i Yan, 2014). Apsorpcija na talasnoj dužini od 1336 cm^{-1} , usled jake vibracije savijanja u ravni fenolnih OH grupa (Kumar *et al.*, 2014), ukazuje na prisustvo fenolnih jedinjenja u proizvodima predtretmana vodom.

Prisustvo navedenih apsorpcionih traka aromatičnih jedinjenja u ekstraktima iz tretmana može poticati iz lignina, ali i iz ekstraktivnih jedinjenja sa aromatičnim prstenom koja su se rastvorila iz drveta tokom tretmana.

Jaka apsorpcija ekstrakata iz tretmana vodom u oblasti $1032-1084\text{ cm}^{-1}$ može poticati od C-O-C deformacionih vibracija istezanja piranoznog prstena i primarne alkoholne grupe ugljenih hidrata (1054 cm^{-1}) (Kumar *et al.*, 2014), i ukazuje na prisustvo ugljeno-hidratnih komponenti. Ajuong i Breese (1998) smatraju da apsorpcija na 1084 cm^{-1} u sprezi sa 832 cm^{-1} , koja je u spektrima

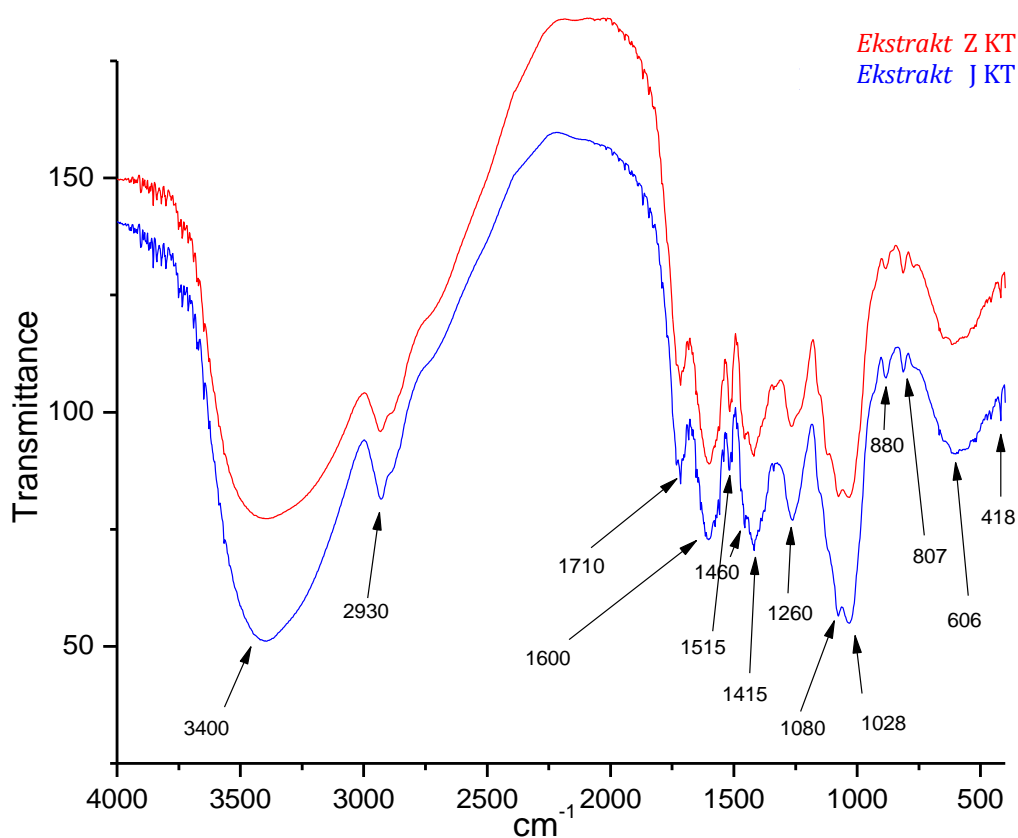
ispitivanih uzoraka pomerena na 820 cm^{-1} , potiče od vibracija savijanja van ravni dva H atoma iz α -prstena. Takođe, u ovoj oblasti nalaze se i C-H deformacije u ravni aromata (1031 cm^{-1}), kao i C-O deformacione vibracije primarnih alkohola gvajacil jedinica lignina (Bodirlau et al., 2007; Hosseinaei et al., 2011 b).

Na 927 cm^{-1} apsorbuju trans-disupstituisani olefini i hidroksilne grupe van ravni prstena (Ajuong i Redington, 2004).

Trake na talasnim dužinama 814 i 872 cm^{-1} specifične su za glukomanane, dok na 870 cm^{-1} apsorbuje manoza (Bjarnestad i Dahlman, 2002). ApSORPCIJA tretiranih uzoraka na 880 cm^{-1} potvrđuje prisustvo manoze u ekstraktima iz tretmana ovih uzoraka, koje je ustanovljeno HPLC hromatografijom (tabela 5.27).

Tretman sirćetnom kiselom

Na slici 5.64 prikazani su apSORPCIONI spektri u IR oblasti ekstrakata dobijenih prilikom tretmana juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena pri dodatku od $0,06\text{ g/g}$ sirćetne kiseline na $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Slika 5.64. FTIR spektri uzoraka ekstrakta iz tretmana sirćetnom kiselinom ($0,03\text{ g/g}$, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$) juvenilnog (J KT) i zrelog (Z KT) drveta poljskog jasena

U poređenju ovih spektara sa IR spektrima ekstrakata iz tretmana vodom (slika 5.63), može se uočiti velika sličnost u smislu apsorpcije zračenja na istim talasnim dužinama, što ukazuje da se u ekstraktima ova dva tretmana nalaze ista jedinjenja. Ovim je potvrđeno odigravanje reakcija po istom mehanizmu tokom ova dva tretmana.

Apsorpcija na 3400 cm^{-1} koja je karakteristična za vodonične veze, kao i na 2930 cm^{-1} koja potiče od CH_3 i CH_2 grupa nešto je slabijeg intenziteta kod ekstrakta zrelog drveta iz tretmana sirćetnom kiselinom u odnosu na apsorpciju ekstrakta juvenilnog drveta iz istog tretmana, ali i u odnosu na oba ekstrakta dobijena prilikom tretmana vodom (slika 5.63). Međutim, imajući u vidu rezultate HPLC analize ekstrakata dobijenih prilikom tretmana, ukupna koncentracija glukoze, ksiloze, manoze i saharoze od $2,71\text{ mg/ml}$ u ekstraktu zrelog drveta iz tretmana kiselinom znatno je manja od sadržaja ovih komponenti ($4,26 - 4,67\text{ mg/ml}$) u ostala tri navedena ekstrakta (tabela 5.27). S obzirom na veliki udeo OH, CH_3 i CH_2 grupa u ugljenim hidratima, ovo može biti razlog manje apsorpcije na talasnim dužinama karakterističnim za navedene funkcionalne grupe.

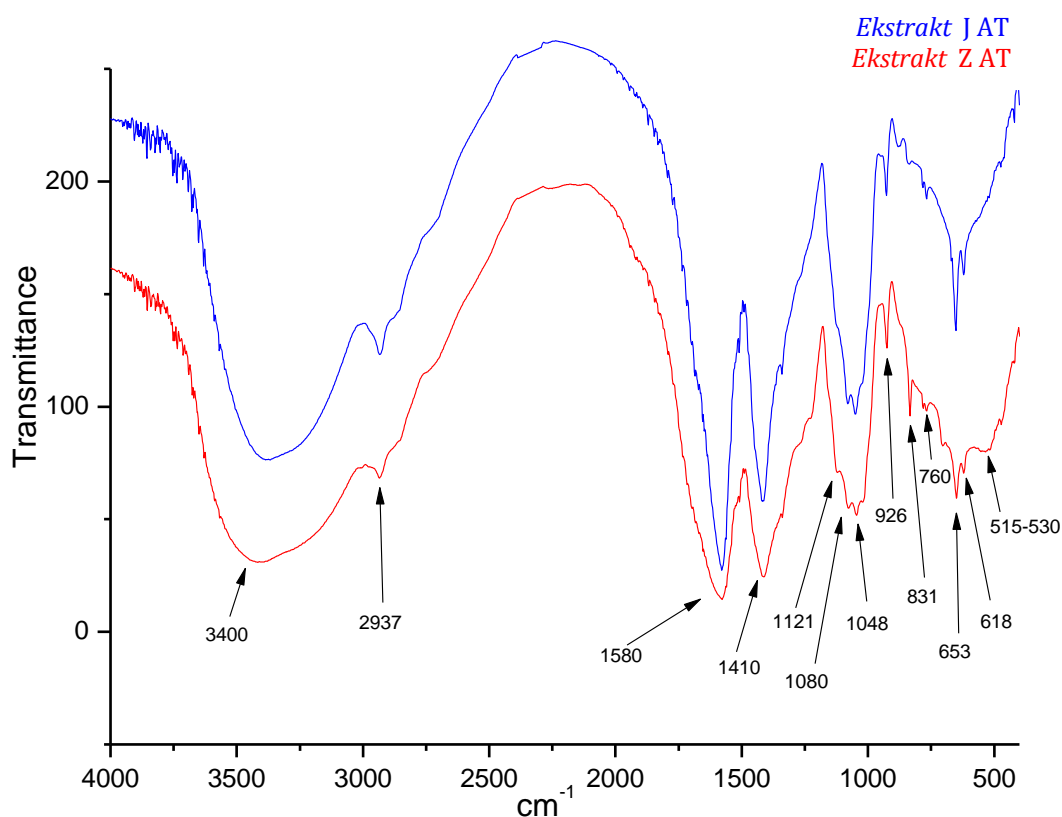
Sa druge strane, u poređenju sa ekstraktima iz tretmana vodom, intenzitet apsorpcije na 1710 cm^{-1} , kao i na 1260 cm^{-1} ekstrakata iz tretmana kiselinom nešto je veći, što je naročito izraženo kod uzorka juvenilnog drveta. Na ovim talasnim dužinama apsorbuju C=O i C-O grupe ksilana i lignina, ali i ekstraktivne materije, kao što su tanini.

Tretman natrijum karbonatom

U skladu sa očekivanjima, jasno je uočljivo da se IR spektri ekstrakata iz tretmana natrijum karbonatom juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena prikazani na slici 5.65 značajno razlikuju u odnosu na spektre ekstrakata dobijene prilikom tretmana vodom i sirćetnom kiselinom (slike 5.63 i 5.64).

Intenzitet apsorpcionih traka karakterističnih za CH_3 i CH_2 grupe, i vodonične veze nešto je slabijeg intenziteta u odnosu na spektre ekstrakta iz tretmana vodom i sirćetnom kiselinom. Manji intenzitet apsorpcije u ovim oblastima spektra naročito je izražen kod ekstrakta zrelog drveta, u kom je HPLC analizom ustanovljen ukupan sadržaj glukoze, ksiloze, manoze i saharoze od

2,86 mg/ml, što je znatno manje u odnosu na koncentraciju ovih šećera od 4,89 mg/ml u ekstraktu juvenilnog drveta (tabela 5.27).



Slika 5.65. FTIR spektri uzoraka ekstrakta iz tretmana natrijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C) juvenilnog (J AT) i zrelog (Z AT) drveta poljskog jasena

Za spektre ekstrakata iz tretmana natrijum karbonatom karakteristično je odsustvo apsorpcije karbolnilne grupe na 1700 cm^{-1} , što može da ukaže da je u alkalnoj sredini došlo do reakcije ove grupe sa natrijum karbonatom i razlaganja stvorenog natrijum acetata na povišenoj temperaturi tokom tretmana i uparavanja ekstrakta.

Apsorpcija na 1580 cm^{-1} veoma je izražena kod ekstrakta iz tretmana juvenilnog drveta natrijum karbonatom. Ova traka može poticati od aromatičnih metoksi grupa (C-O-CH_3) iz siringil jedinica lišćarskih lignina (Owen i Thomas, 1989), za koje je karakteristična apsorpcija na 1600 cm^{-1} . Prisustvo ove apsorpcije u ekstraktu ukazuje na razgradnju lignina tokom ovog tretmana.

Na 1410 cm^{-1} je apsorpciona traka C-C veza iz skeleta prstena (Ajuong i Breese, 1998). Apsorpcija na 1121 cm^{-1} može poticati od vibracija istezanja C-O veza iz aromatičnih estara primarnih alkohola (1114 cm^{-1}) (Ajuong i Breese, 1998),

ali se pripisuje i alifatičnim etrima (1118 cm^{-1}) (Ajuong i Redington, 2004; Ajuong i Breese, 1998).

Za vibracije savijanja dva H atoma u α -prstenu van ravni prstena karakteristična je apsorpcija na 1084 i 832 cm^{-1} (Ajuong i Breese, 1998).

Na 926 cm^{-1} apsorbuju trans-disupstituisani olefini i hidroksilna grupe van ravni prstena (Ajuong i Redington, 2004). Huang i Yan (2014) navode da apsorpcija u oblasti $880\text{-}720\text{ cm}^{-1}$ potiče od C-H vibracija savijanja alkena.

Apsorpcione trake prisutne u spektrima ekstrakata iz tretmana natrijum karbonatom u velikoj meri odgovaraju jedinjenjima koja se rastvaraju iz drveta ekstrakcijom 1 % rastvorom NaOH, kao što su: kondenzovani tanini, polifenolna jedinjenja, deo lignina, zatim ugljeni hidrati nižih molekulskih masa (na prvom mestu hemiceluloze), proteini, alkaloidi (Harkin i Rowe, 1971; Fengel i Wegener, 1984; Hillis, 1987; Kofujita et al., 1999).

5.6.5. PREGLED SASTAVA I MOGUĆNOST PRIMENE EKSTRAKATA IZ TRETMANA

Tokom tretmana, pored hidrolitičkih reakcija, došlo je do rastvaranja najvećeg dela ekstraktivnih materija, što potvrđuju rezultati određivanja sadržaja ekstraktiva u tretiranim uzorcima drveta (slike 5.36 i 5.37 i tabela 5.16). Pored toga, u ekstraktima tretmana prisutni su i proizvodi razgradnje lignina, kao i ugljeni hidrati reda veličine oligomera. Takođe, može se očekivati prisustvo sirćetne i uronskih kiselina poreklom iz ksilana.

U ekstraktima iz tretmana vodom drveta jasena Laurova i Kačik (2009) su ustanovili prisustvo karbonilnih komponenti: furfurala, HMF, acetaldehida, formaldehida, levulinske kiseline, siringaldehida i vanilina, čija se koncentracija povećava sa porastom temperature i trajanja tretmana. U vodenom ekstraktu vrbe prisutne su isparljive komponente metanol, sirćetna i propionska kiselina, čija koncentracija takođe raste sa vremenom i temperaturom tretmana (Laurova et al., 2009). Sva navedena jedinjenja, u manjoj ili većoj meri, mogu se očekivati u ekstraktima dobijenim iz tretmana primenjenih u ovom radu.

Kako je i očekivano, u ekstraktima dobijenim prilikom primenjenih predtretmana ustanovljeno je prisustvo monosaharida (glukoze, ksiloze i manoze),

čiji je sadržaj uglavnom veći u ekstraktu iz tretmana vodom (tabela 5.27). Pored toga, HPLC hromatografijom ustanovljeno je i prisustvo saharoze, a može se očekivati i prisustvo oligosaharida i polisaharida, naročito fragmenata ksilana u ekstraktu iz alkalnog tretmana.

Na osnovu analize funkcionalnih grupa dobijenih ekstrakata i prethodnih istraživanja, može se pretpostaviti da se u ekstraktima iz tretmana vodom i sirćetnom kiselinom nalaze i: tanini i drugi ekstraktivi, aromatični ketoni i druga aromatična jedinjenja koja mogu biti proizvodi razlaganja lignina, ali i rastvaranja ekstraktivnih jedinjenja sa aromatičnim prstenom. Snimljeni FTIR spektri ekstrakata ukazuju da se u sastavu ekstrakata iz alkalnog tretmana mogu očekivati proizvodi razgradnje lignina, kondenzovani tanini, polifenolna jedinjenja, aromatični estari, kao i ugljeni hidrati nižih molekulskih masa.

Mogućnost primene

U skladu sa trendom maksimalnog iskorišćenja drveta koji je sve prisutniji, ekstrakti dobijeni prilikom predtretmana mogu, posle prečišćavanja, poslužiti kao sirovina za dalju preradu, što je predmet brojnih istraživanja. Ksilozna iz ekstrakata može se, na primer, konvertovati u ksilitol (Al-Dajani i Tschirner, 2008; Saha, 2003). Ksilitol (1,2,3,4,5-pentahidroksipentan) je šećerno alkoholni zaslađivač, podjednako sladak kao saharoza, koji se koristi kao prirodna zamena šećera. Dobija se iz lignoceluloznih materijala kao što su kukuruzna svila, otpadaka prerade šećerne trske i drveta breze (Cheng et al., 2009; Rao et al., 2006). Pored ksilitola, razmatra se proizvodnja etanola, 2,3-butandiola (rastvarač, tečno gorivo, precursor za sintezu polimera i smola), mlečne kiseline, ferulne kiseline iz hidrolizata dobijenog razlaganjem hemiceluloza (Al-Dajani i Tschirner, 2008; Saha, 2003).

Proizvodnja kompozitnih materijala na bazi drveta podrazumeva upotrebu adheziva, koji su uglavnom sintetički. Ekstrakti polifenola, odnosno kondenzovanih tanina i lignina dobijeni ekstrakcijom 2,5 % NaOH, 2,5 % NaHCO₃ i 2,5 % Na₂CO₃ primenjeni su kao adhezivno sredstvo za izradu ploča iverica, koje su pokazale dobru zateznu čvrstoću (Ping et al., 2012). U skladu sa tim, može se razmatrati potencijalna primena ekstrakta iz tretmana natrijum karbonatom.

5.7. KARAKTERIZACIJA EKSPERIMENTALNIH PLOČA IVERICA

Prema planu istraživanja, od netretiranog i iverja tretiranog vodom, i rastvorom 0,06 g/g sirćetne kiseline i 0,03 g/g natrijum karbonata pri temperaturi od 100 °C izrađene su jednoslojne eksperimentalne ploče iverice nominalne debljine 12 mm i gustine 600 kg/m³, kako je opisano u tački 4.5.2. Izrađenim pločama ispitana su odabrana fizička i mehanička svojstva. Statistička obrada rezultata ispitivanja laboratorijskih ploča nalazi se u *Prilogu VI - 9*.

5.7.1. FIZIČKA SVOJSTVA

U okviru određivanja fizičkih svojstava eksperimentalnim pločama ivericama određene su debljina i gustina odmah nakon izrade i posle klimatizacije na 65 ± 5 % relativne vlažnosti vazduha i temperaturi od 20 °C, kao i sadržaj ravnotežne vlage i debljinsko bubrenje posle izlaganja različitim nivoima relativne vlažnosti vazduha (32, 65 i 90 %, 20 °C).

Debljina izrađenih ploča iverica

U tabeli 5.28 prikazani su rezultati merenja debljine eksperimentalnih jednoslojnih ploča iverica odmah po vrelom presovanju i nakon klimatizacije na 20°C i 65 ± 5 % relativne vlažnosti vazduha.

Tabela 5.28. *Debljina eksperimentalnih ploča iverica neposredno nakon vrelom presovanja i nakon klimatizacije (65 ± 5 %, 20 °C)*

<i>Svojstvo</i>	<i>TV</i>	<i>KT</i>	<i>AT</i>	<i>Kontr</i>
<i>Nakon izrade</i>	13,29	12,87	14,72	12,11
<i>Standardna devijacija</i>	0,581	0,293	0,836	0,140
<i>Debljina, mm</i>				
<i>Nakon klimatizacije</i>	13,30	13,18	14,86	12,55
<i>Standardna devijacija</i>	0,396	0,130	1,079	0,163

Iako su sve ploče presovane pri istim uslovima, iz tabele 5.28 može se uočiti da su srednje vrednosti debljine svih ploča izrađenih od tretiranog iverja merene nakon otpuštanja pritiska i otvaranja prese značajno veće u odnosu na željenu debljinu od 12 mm zadatu distanc lajsnom, ali i na debljinu kontrolnih ploča.

Povećanje debljine u odnosu na zadatu debljinu od 12 mm od 22,7 % najveće je kod ploča izrađenih od iverja tretiranog natrijum karbonatom (AT), a znatno je manje kod ploča od iverja tretiranog vodom (TV) i sirćetnom kiselinom (KT), sa iznosom od 10,8 i 7,2 %, respektivno. Pojava ekspanzije ploča odmah nakon izrade posledica je zaostale elastičnosti sabijenog drvnog materijala koji, po otpuštanju pritiska presovanja, ima težnju da se vrati u početni položaj. Takođe, ovo početno uvećanje debljine ploče zavisi i od jačine formiranih unutrašnjih veza u ploči tokom vrelog presovanja, odnosno stepena očvršćavanja adheziva (Neusser, 1967; Wang i Winistorfer, 2002).

Prateći isti trend, povećanje debljine klimatizovanih epruveta najveće je kod ploča od iverja tretiranog natrijum karbonatom (23,9 %), dok je kod ploča od iverja tretiranog vodom i rastvorom sirćetne kiseline iznosilo 10,8 i 9,8 %, respektivno.

U oba slučaja kontrolne ploče pokazale su najmanje povećanje debljine, koje je neposredno nakon vrelog presovanja bilo neznatno (0,9 %), a nešto veće posle klimatizacije (4,6 %).

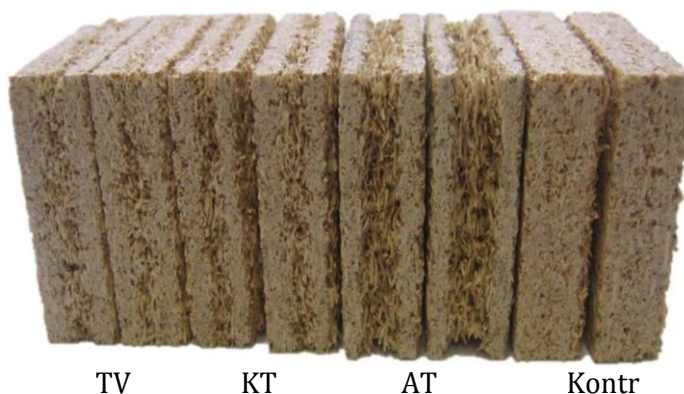
Međutim, u odnosu na debljinu tek ispresovanih ploča, debljina ploča nakon klimatizacije najviše je povećana upravo kod kontrolnih ploča, dok je kod ploča izrađenih od tretiranog iverja uticaj klimatizacije na povećanje debljine bio neznatan. Ovo povećanje debljine ploča uglavnom je posledica povratno-opružnog efekta iverja kao higroskopnog materijala. Naime, usled neujednačene distribucije polazne vlage u ploči, iverje unutar nje bubri tokom uspostavljanja ravnoteže sa vlagom okoline prilikom procesa klimatizacije (Deppe i Ernst, 1965), što dovodi do povećanja debljine ploče.

Uočeno uvećanje debljine kod ploča od tretiranog iverja potiče uglavnom od ekspanzije ploče neposredno nakon presovanja, što prema Wangu i Winistorferu (2002) ukazuje na relativno slabo formirane adhezivne veze, što je naročito izraženo u unutrašnjoj zoni ploča. Imajući u vidu da je režim vrelog presovanja kod svih ploča bio isti, različito uvećanje debljine može se pripisati uticaju primenjenih tretmana. Takođe, može se pretpostaviti da se podešavanjem parametara vrelog presovanja verovatno može umanjiti ekspanzija ploče po otvaranju vrele prese.

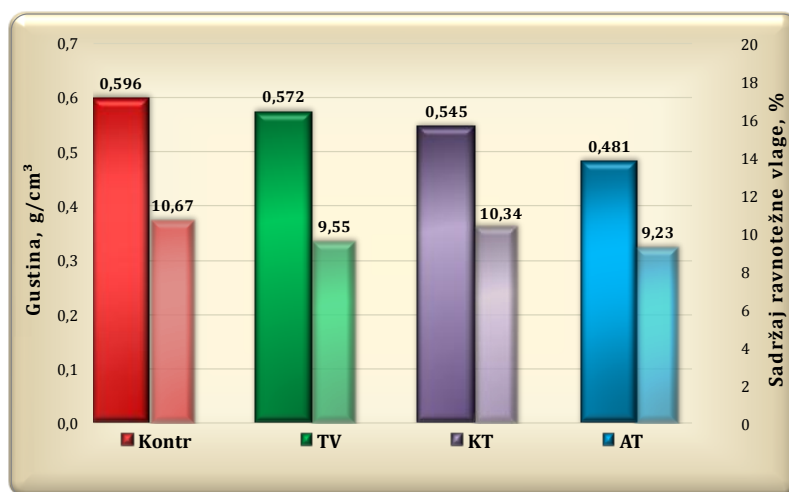
Gustina i sadržaj vlage izrađenih ploča iverica

Značajan stepen uvećanja debljine ploča od tretiranog iverja praćen je očekivanim i srazmernim smanjenjem njihove gustine u odnosu na ciljanu gustinu od $0,600 \text{ g/cm}^3$. Sa srednjom vrednošću od $0,508 \text{ g/cm}^3$ neposredno po izradi, gustina ploča izrađenih od iverja tretiranog natrijum karbonatom bila je najmanja.

Srazmerno debljini, odmah po izradi, ploče od iverja tretiranog vodom i sirćetnom kiselinom imale su nešto veće vrednosti gustine: $0,570$ i $0,584 \text{ g/cm}^3$, respektivno, dok je gustina kontrolnih ploča iznosila $0,628 \text{ g/cm}^3$ (tabela 4.19). Neposredno nakon izrade, pored nižih gustina, i sadržaj vlage ploča od tretiranog iverja, sa vrednostima od 3,75 (AT), 5,08 (KT) i 4,48 % (TV), bio je niži u odnosu na vlagu kontrolnih ploča od 5,58 % (tabela 4.19).



Slika 5.66. Uzorci izrađenih eksperimentalnih ploča iverica

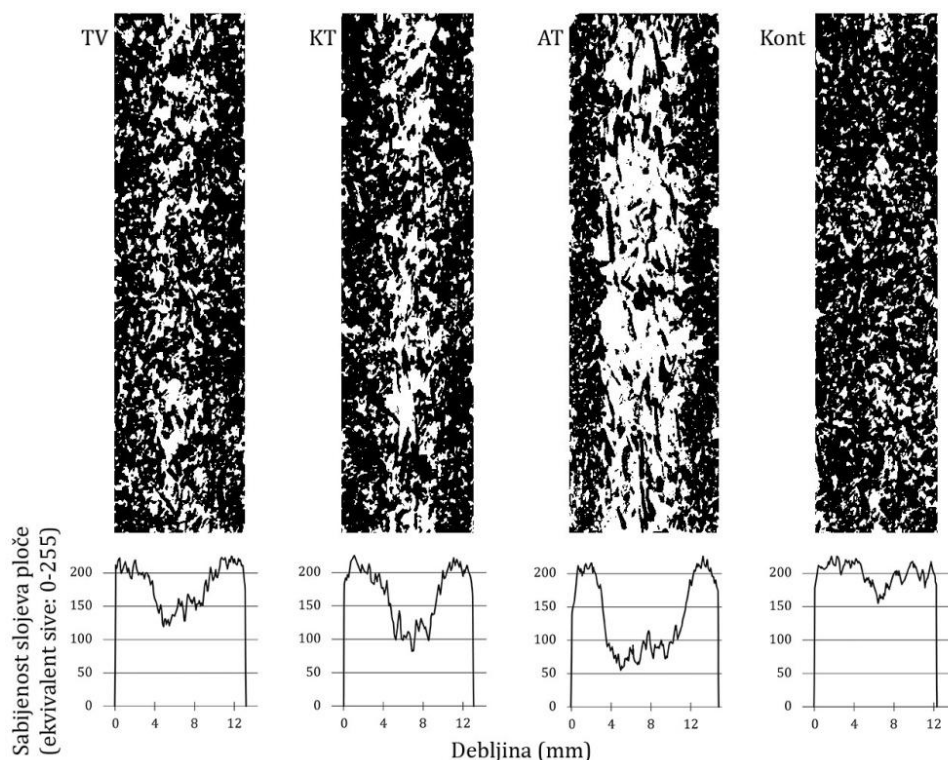


Slika 5.67. Gustina (g/cm^3) i sadržaj vlage (%) ploča iverica izrađenih od netretiranog (Kontr) i iverja tretiranog vodom (TV), $0,06 \text{ g/g}$ sirćetne kiseline (KT) i $0,03 \text{ g/g}$ natrijum karbonata (AT) na $100 \text{ }^\circ\text{C}$ posle klimatizacije ($65 \pm 5 \%$, $20 \text{ }^\circ\text{C}$)

Nakon klimatizacije (65 ± 5 %, 20 °C) srednje vrednosti gustine ploča od tretiranog iverja sa vrednostima od $0,572$ (TV), $0,545$ (KT) i $0,481$ g/cm³ (AT), takođe su bile niže u poređenju sa gustinom kontrolnih ploča od $0,596$ g/cm³ (slika 5.67). Uočene statistički značajne razlike u gustini ploča od tretiranog iverja (*Prilog VI - 9*) prevashodno su posledica uvećanja debljine ploča, usled povratno-opružnog dejstva i bubrenja iverja u ploči tokom klimatizacije, a u manjoj meri prisutne vlage.

Treba naglasiti da se, osim kod ploča od iverja tretiranog natrijum karbonatom, međusobna odstupanja srednjih vrednosti gustina izrađenih ploča nalaze u okviru tolerancije od ± 10 % propisane standardom *SRPS EN 312:2011*.

Na poprečnom preseku ploča od tretiranog iverja (slika 5.66) može se uočiti postojanje gradijenta gustine po debljini ploče, sa većim stepenom sabijenosti spoljnih zona i izraženom poroznošću unutrašnje zone, što je ilustrovano na slici 5.68. Na slici 5.68 takođe su prikazani dijagrami profila gustine koji predstavljaju ekvivalent sabijenosti po debljini ploče izražen kao odnos tamnih i svetlih površina analiziranog poprečnog preseka ploča.



Slika 5.68. Rezultati analize slika za stepen sabijenosti zona ploče iskazan kroz ekvivalent sive boje na poprečnom preseku uzoraka: TV - tretman vodom; KT - tretman sirćetnom kiselinom; AT - tretman natrijum karbonatom i Kont - kontrolni uzorak (korišćen softver: ImageJ 1.48s, Wayne Rasband, National Institute for Health, USA)

Najveća promena gustine po debljini ploče uočena je kod ploča izrađenih od iverja tretiranog natrijum karbonatom, dok je struktura kontrolnih ploča najhomogenija, iako su prilikom izrade osnovni parametri procesa (brzina zatvaranja prese, temperatura vrelih ploča i početni sadržaj vlage iverastog materijala, koji kontrolišu temperaturu i pritisak gasa u presovanom tepihu (Thoemen i Humphrey, 2003), bili isti.

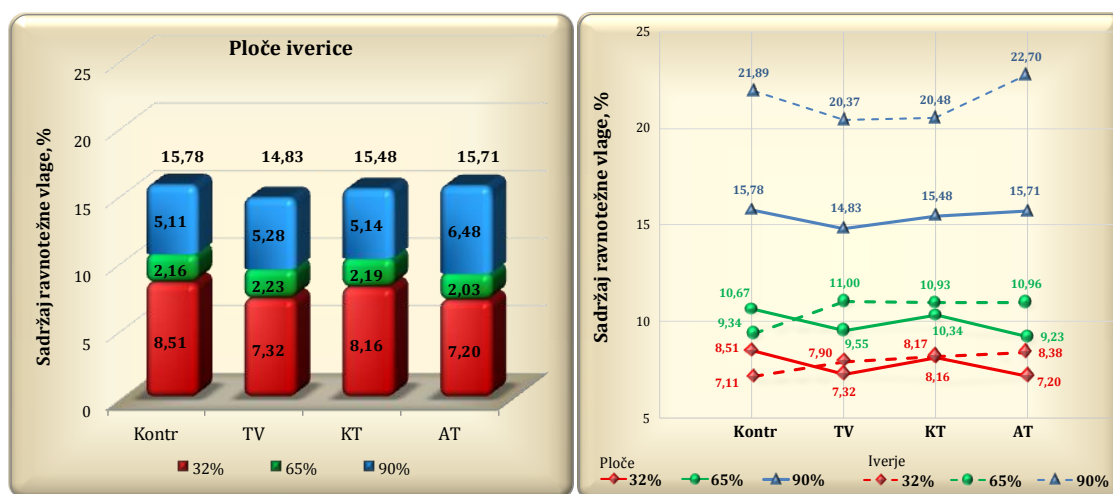
Poroznija struktura srednje zone ploča od tretiranog iverja ukazuje na uticaj tretmana na svojstva iverja upotrebljenog za izradu ovih ploča. Opravdano je pretpostaviti da su tretmani iverja uticali na prenos toplote i vodene pare u datom iverastom tepihu, a time i na stepen rasta pritiska pare u presovanom tepihu. Ovo, prema Wolcott i saradnicima (1990), zajedno sa temperaturom i sadržajem vlage, ima značajan uticaj na viskoelastično ponašanje iverastog materijala u tepihu (plastifikaciju iverja), a time i na formiranje profila gustine po debljini jednoslojne ploče.

Prema Pereiri i saradnicima (2006), usporen prenos toplote po debljini može dovesti do postizanja relativno većeg stepena plastifikacije iverja, a time dovesti do zgušnjavanja spoljne u odnosu na unutrašnju zonu. Ovaj mehanizam se verovatno odigrao prilikom presovanja ploča od tretiranog iverja, a naročito kod ploča od iverja tretiranog natrijum karbonatom, kojem je verovatno, usled velikog gubitka hemiceluloza prilikom tretmana smanjena elastičnost. Istovremeno, prema Carvalho i saradnicima (2010), poroznije tretirano iverje, usled gubitka mase prilikom tretmana (tabela 5.15), u srednjoj zoni ploče može da poveća provodljivost tepiha u horizontalnom pravcu, što ubrzava difuziju i konvekciju vodene pare od centra ka ivicama tepiha. Usled smanjenja pritiska gasa i temperature, iverje u unutrašnjoj zoni tepiha imalo je manji stepen plastifikacije, što je uslovalo i manju gustinu unutrašnje zone, ali i sporije očvršćavanje adheziva. Povećanu horizontalnu propustljivost tepiha od tretiranog iverja potvrđuje manji sadržaj vlage u ovim pločama neposredno nakon vrelog presovanja (tabela 4.17), naročito u slučaju ploča od iverja tretiranog natrijum karbonatom (3,75 %), koje je imalo najveći gubitak mase. Navedeni procesi tokom vrelog presovanja rezultovali su značajno izraženim profilom gustine po debljini ploča od tretiranog iverja (slika 5.68).

Međutim, iako je poroznost srednje zone ploča od tretiranog iverja bila daleko veća, čime je olakšan prodor vlage, gustina, kao i sadržaj ravnotežne vlage svih tretiranih ploča nakon klimatizacije ($65 \pm 5 \%$ i $20 \text{ }^\circ\text{C}$) bile su niže u odnosu na ove vrednosti kod kontrolnih ploča (slika 5.64).

Sadržaj ravnotežne vlage eksperimentalnih ploča iverica posle izlaganja različitim uslovima relativne vlažnosti okoline

Sa slike 5.69, na kojoj su prikazane vrednosti sadržaja ravnotežne vlage eksperimentalnih ploča iverica posle izlaganja uzoraka ploča različitim relativnim vlažnosti okoline (32, 65 i 90 %, $20 \text{ }^\circ\text{C}$), može se primetiti da je, pri svim primenjenim uslovima ispitivanja, srednja vrednost sadržaja vlage kontrolnih ploča, sa vrednostima od 8,51, 10,67 i 15,78 %, bila najveća. Vrednosti sadržaja vlage uzoraka ploča od iverja tretiranog sirćetnom kiselinom, pri svim uslovima ispitivanja, bliske su vrednostima kontrolnih uzoraka.



Slika 5.69. Sadržaj ravnotežne vlage ploča iverica izrađenih od netretiranog (Kontr) i tretiranog (TV, KT i AT) iverja i iverja (Kontr, TV, KT i AT) posle izlaganja različitim uslovima relativne vlažnosti okoline (32, 65 i 90 %, $20 \text{ }^\circ\text{C}$)

Posle izlaganja relativnoj vlažnosti od 32 i 65 % epruvete iz ploča od iverja tretiranog vodom i natrijum karbonatom imale su statistički značajno manje vrednosti sadržaja vlage u odnosu na kontrolne uzorke (Prilog VI - 9). Međutim, pri visokim vrednostima vlažnosti okoline (90 %) nema značajnih razlika u sadržaju

vlage između epruveta kontrolnih i ostalih ploča, čak ni kod ploča izrađenih od iverja tretiranog vodom, koje su upile najmanje vlage (14,83 %).

Poredeći vrednosti sadržaja ravnotežne vlage ploča izrađenih od netretiranog i tretiranog iverja prikazane na slici 5.69 sa vrednostima sadržaja vlage odgovarajućeg iverja (slika 5.56 i 5.69), može se uočiti postojanje kontradiktornosti. Naime, posle izlaganja relativnoj vlažnosti okoline od 32 i 65 % uzorci ploča izrađeni od netretiranog iverja imali su veći sadržaj ravnotežne vlage (8,51 i 10,67 %) od samog iverja (7,11 i 9,34 %). Istovremeno, za razliku od tretiranog iverja, čiji je sadržaj vlage pri ovim uslovima ispitivanja bio veći u odnosu na sadržaj vlage netretiranog iverja, uzorci ploča izrađeni od odgovarajućeg tretiranog iverja, pri istim uslovima ispitivanja, imali su niži sadržaj vlage od kontrolnih. Ovo je verovatno posledica pojave histerezisa sorpcije koji nije bio prisutan kod netretiranog iverja, ali se javlja u pločama izrađenim od ovog iverja, kao posledica uslova izrade (sušenja do 3 % vlage, zatim povećanja vlažnosti prilikom oblepljivanja, kao i procesa difuzije vodene pare tokom vrelog presovanja i ponovnog smanjenja vlažnosti).

Takođe, posle izlaganja uslovima relativne vlažnosti okoline od 90 %, sadržaj ravnotežne vlage izrađenih ploča od 14,83 – 15,78 % bio je znatno manji u odnosu na ravnotežnu vlagu odgovarajućeg iverja (20,37 – 22,70 %). Pored toga, iverje tretirano natrijum karbonatom imalo je značajno veći sadržaj ravnotežne vlage u odnosu na netretirano, ali i iverje tretirano vodom i sirćetnom kiselinom. Međutim, sadržaj ravnotežne vlage od 15,71 % ploča izrađenih od iverja tretiranog natrijum karbonatom ne razlikuje se značajno u odnosu na vrednosti vlage od 15,78 i 15,48 % ploča od netretiranog i iverja tretiranog sirćetnom kiselinom.

Ovakvo ponašanje ispitivanih uzoraka posle izlaganja visokim vrednostima vlažnosti okoline ukazuje da je broj OH grupa pristupačnih za ostvarivanje veza sa molekulima vode u izrađenim pločama smanjen u odnosu na odgovarajuće iverje, verovatno usled uspostavljanja veze sa adhezivom, ali i oblaganja i ispunjavanja iverja adhezivom. Imajući u vidu da je iverje tretirano natrijum karbonatom imalo najveće vrednosti ravnotežne vlage, blokiranje pristupačnih OH grupa adhezivom naročito je izraženo kod ploča izrađenih od ovog iverja.

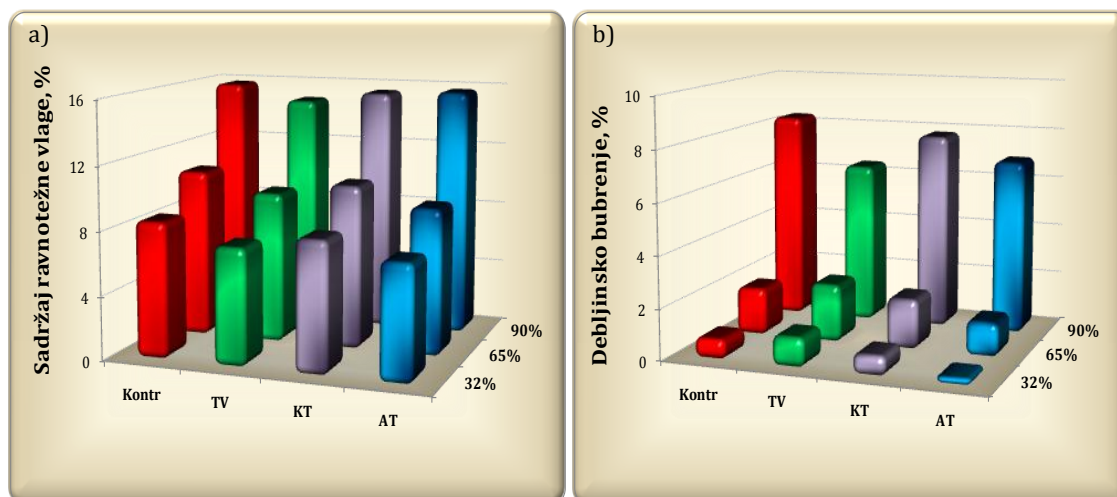
Takođe, treba naglasiti da su ploče od iverja tretiranog vodom u svim uslovima vlažnosti okoline postigle niže vredosti ravnotežne vlage od ostalih ispitivanih ploča. Ovaj efekat može biti posledica smanjenja higroskopskog karaktera iverja usled dejstva tretmana. Ispitujući dejstvo tretmana vrućom vodom Pelaez-Samaniego i saradnici (2014) ustanovili su da je pri relativnoj vlažnosti vazduha od 90 % sadržaj ravnotežne vlage ploča od iverja bora i javora ekstrahovanog vrelom vodom (160 °C) za oko 30 i 23 %, respektivno, manji u poređenju sa kontrolnim pločama. Niži sadržaj ravnotežne vlage od 6,2 % OSB ploča izrađenih od stend-iverja ekstrahovanog toplom vodom, u odnosu na vlagu kontrolnih ploča od 10,2 %, Parades i saradnici (2008) objasnili su uklanjanjem dela amorfnih polisaharida tokom ekstrakcije.

Dimenzionalne promene

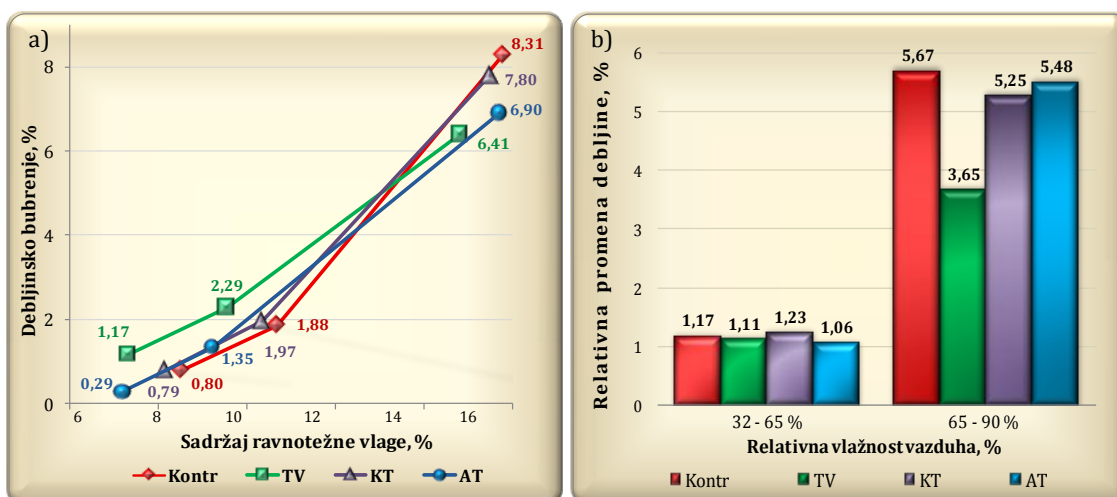
Na slici 5.70 prikazane su vrednosti debljinskog bubrenja ploča iverica izrađenih od netretiranog (Kontr) i iverja tretiranog vodom (TV), rastvorima 0,06 g/g sirćetne kiseline (KT) i 0,03 g/g natrijum karbonata (AT) na 100 °C posle izlaganja uslovima relativne vlažnosti okoline od 32, 65 i 90 % na 20 °C.

Na slici 5.70 može se uočiti da debljinsko bubrenje svih izrađenih ploča iverica raste sa porastom vlažnosti okoline od 32 do 90 %, što je i očekivano, imajući u vidu higroskopski karakter i dimenzionalnu nestabilnost drveta. U oblasti 32 – 65 % relativne vlažnosti okoline, bubrenje svih ploča praktično se odvija istom brzinom (slika 5.71).

U području vlažnosti 65 – 90 % bubrenje grupa uzoraka ploča: Kontr, KT i AT odvija se sličnim intenzitetom, dok ploče izrađene od iverja tretiranog vodom bubre manjom brzinom, što rezultuje smanjenjem njihovog debljinskog bubrenja za oko 23 % u odnosu na kontrolne ploče na kraju cikusa izlaganja. Smanjenje debljinskog bubrenja za oko 51 - 53 % kod ploča od iverja bora i javora tretiranog vrućom vodom (160 °C) u odnosu na kontrolne ploče, pri promeni relativne vlažnosti vazduha od 50 % do 90 %, ustanovio je i Pelaez-Samaniego sa saradnicima (2014).



Slika 5.70. Sadržaj ravnotežne vlage (a) i debljinsko bubrenje (b) ploča iverica izrađenih od netretiranog (Kontr) i tretiranog (TV, KT i AT) iverja posle izlaganja različitim uslovima relativne vlažnosti okoline (32, 65 i 90 %, 20 °C)



Slika 5.71. Debljinsko bubrenje u zavisnosti od upijene vlage (a) i relativna promena debljine (b) ploča iverica izrađenih od netretiranog (Kontr) i tretiranog (TV, KT i AT) iverja pri promeni relativne vlažnosti okoline (32 - 65 % i 65 - 90 %, 20 °C)

Posle izlaganja uslovima relativne vlažnosti okoline od 32 i 65 %, debljinsko bubrenje ploča iverica izrađenih od iverja tretiranog natrijum karbonatom, sa vrednostima od 0,29 i 1,35 %, manje je od bubrenja ostalih, pa i kontrolnih ploča (slika 5.70). Ovo je u skladu sa manjim sadržajem ravnotežne vlage uzoraka ovih ploča pri odgovarajućim uslovima, kao i najmanjom gustinom ovih ploča (slika 5.64). Takođe, usled izražene poroznosti srednje zone kod ovih ploča, opravdano je pretpostaviti da je iverje bubrilo popunjavjući, pre svega, šupljine u poroznoj strukturi ploče, ne povećavajući pri tom značajno njenu debljinu. U slučaju

izlaganja vlažnosti od 90 % ovakav scenarijo još je verovatiji, budući da je ova ploča upila praktično istu količinu vlage kao i kontrolna, a pri tom pokazala značajno manje debljinsko bubrenje.

Međutim, prilikom razmatranja rezultata ispitivanja debljinskog bubrenja ploča iverica treba imati u vidu da, za razliku od drveta, ne mora postojati stroga korelacija između upijene vode i bubrenja. Isto tako, važno je naglasiti da iverje u sabijenom stanju unutar ploče održavaju jake veze sa adhezivom koje se formiraju tokom vrelog presovanja. Iz navedenih razloga, bubrenje ploča iverica daleko je složeniji proces u odnosu na bubrenje samog drveta, kao sirovine za njihovu izradu. Naime, pored bubrenja samog drveta, na promenu debljine ploča iverica u velikoj meri uticaj ima i jačina adhezivnih veza ostvarenih tokom vrelog presovanja, kao i njihova postojanost.

U skladu sa navedenim, iako je posle izlaganja uslovima vlažnosti okoline od 32 i 65 % (20 °C) sadržaj ravnotežne vlage kontrolnih ploča najveći (slika 5.69), debljinsko bubrenje ovih ploča manje je nego kod ploča izrađenih od iverja tretiranog vodom i sirćetnom kiselinom (slika 5.70 b). Ovo se može pripisati jakim adhezivnim vezama unutar kontrolnih ploča koje drže iverje u ploči u sabijenom stanju, ne dozvoljavajući dimenzionalne promene, usled čega je i ekspanzije debljine po vađenju iz prese ovih ploča bila neznatna (0,9 %). Da su adhezivne veze unutar kontrolnih ploča jake potvrđuju i rezultati ispitivanja čvrstoće na zatezanje (slika 5.73). U prilog tome, posle izlaganja vlažnosti okoline od 90 %, bubrenje uzoraka kontrolnih ploča od 8,31 % bilo je najveće. Naime, hemijske veze drveta i urea-formaldehidnog adheziva nisu vodootporne, pa prilikom upijanja vode dolazi do njihovog razlaganja i bubrenja ploče, uz oslobađanje nagrađenih napona.

Kod ploča izrađenih od iverja tretiranog vodom i sirćetnom kiselinom, posle izlaganja relativnoj vlažnosti od 32 i 65 %, vrednosti debljinskog bubrenja takođe nisu srazmerne postignutom sadržaju vlage u ravnotežnom stanju. Na osnovu izloženog može se smatrati da pri relativnoj vlažnosti okoline od 32 i 65 % presudan uticaj na debljinsko bubrenje ploča iverica ima jačina ostvarenih adhezivnih veza, dok uticaj prisutne vlage prevladava tek pri njenom visokom sadržaju.

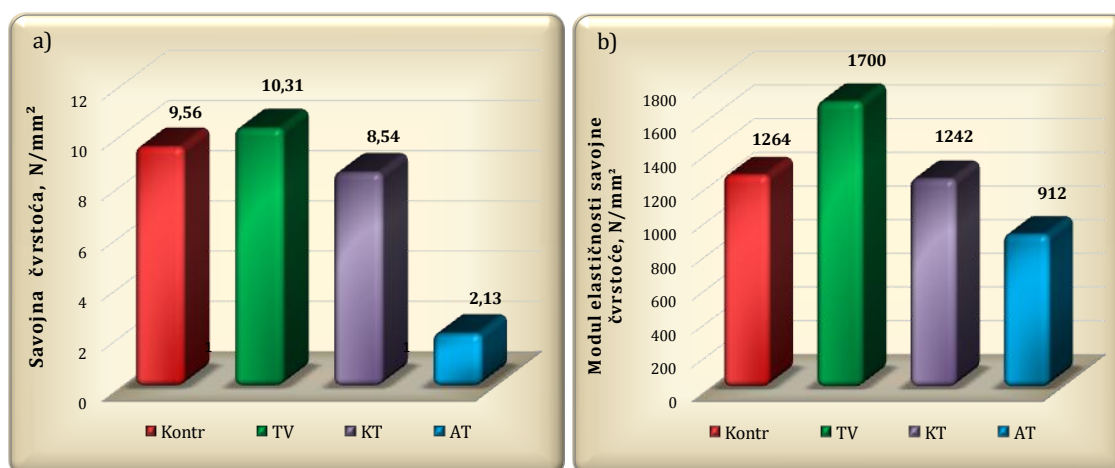
Poređenjem rezultata ispitivanja ravnotežne vlage iverja (slika 5.56) i zapreminskog bubrenja daščica (slika 5.59) sa vrednostima sadržaja ravnotežne

vlage (slika 5.69) i debljinskog bubrenja (slici 5.70 b) ploča iverica, može se zaključiti da je uticaj primenjenih tretmana na sadržaj ravnotežne vlage i debljinsko bubrenje izrađenih laboratorijskih ploča iverica maskiran ostvarivanjem veze između drveta i adheziva.

5.7.2. MEHANIČKA SVOJSTVA

Savojna čvrstoća i modul elastičnosti savojne čvrstoće

Na slici 5.72 prikazane su srednje vrednosti savojne čvrstoće i modula elastičnosti savojne čvrstoće, a na slici 5.73 srednje vrednosti zatezne čvrstoće (raslojavanja) ploča iverica izrađenih od netretiranog i iverja tretiranog vodom, sirćetnom kiselinom (0,06 g/g) i natrijum karbonatom (0,03 g/g) na 100 °C.



Slika 5.72. Savojna čvrstoća (a) i modul elastičnosti savojne čvrstoće (b) ploča iverica izrađenih od netretiranog (Kontr) i tretiranog (TV, KT i AT) iverja

Najveća srednja vrednost savojne čvrstoće od 10,31 N/mm² zabeležena je kod ploča od iverja tretiranog vodom. Iako je savojna čvrstoća ovih ploča bila za približno 8 % veća u odnosu na vrednost od 9,56 N/mm² kod kontrolnih ploča, ova razlika nije statistički značajna (*Prilog VI - 9*). Ispitujući uticaj tretmana vrućom vodom Pelaez-Samaniego sa saradnicima (2014) takođe su uočili povećanje vrednosti savojne čvrstoće i modula elastičnosti pri savijanju kod ploča od tretiranog iverja. Sa druge strane, Paredes i saradnici (2008) ustanovili su da tretman nije imao značajan uticaj na savojnu čvrstoću i modula elastičnosti OSB ploča od orijentisanog strend iverja bora tretiranog vrućom vodom.

U odnosu na kontrolne ploče, ploče izrađene od iverja tretiranog sirćetnom kiselinom imale su neznatno nižu vrednost savojne čvrstoće od 8,54 N/mm², dok je vrednost čvrstoće na savijanje ploča od iverja tretiranog natrijum karbonatom od svega 2,13 N/mm² bila značajno manja (*Prilog VI - 9*).

Vrednosti modula elastičnosti ispitivanih uzoraka u potpunosti su pratile kretanje vrednosti čvrstoće pri savijanju (slika 5.72 b). Shodno tome, modul elastičnosti kod ploča od iverja tretiranog vodom bio je veći za čak 34,6 % u odnosu na kontrolne uzorke, dok su ostale ploče imale niže vrednosti modula elastičnosti. Značajno povećanje modula elastičnosti savojne čvrstoće ploča izrađenih od iverja tretiranog vodom u skladu je sa relativnim povećanjem udela hemiceluloza u ovim uzorcima posle tretmana (tabela 5.19), koje su značajne za viskoelastična svojstva drveta (Hill, 2006). Prema Hillu (2006) usled degradacija hemiceluloza drvo postaje krto i kruto, što može biti razlog manjeg modula elastičnosti ostalih ploča izrađenih od tretiranog iverja.

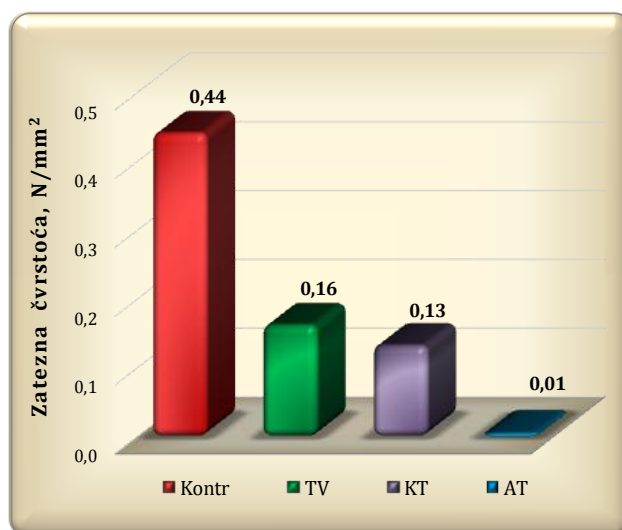
Statistička analiza rezultata (*Prilog VI - 9*) potvrdila je postojanje značajnih razlika u vrednostima savojne čvrstoće između ploča od tretiranog iverja, što ukazuje na uticaj primenjenih tretmana na ovo svojstvo.

Međutim, prema vrednostima savojne čvrstoće, kao najznačajnijeg mehaničkog svojstva iverice sa aspekta praktične primene, koje, čak i kod jednoslojnih ploča, pruža sliku o kvalitetu spoljnjih zona, nijedna od izrađenih ploča iverica, uključujući i kontrolne, ne zadovoljava zahteve standarda EN 312:2011, koji propisuju minimalnu graničnu vrednost od 11 N/mm² (*tip P2 – ploče za unutrašnju upotrebu u suvim uslovima*).

Čvrstoća na zatezanje upravno na ploču

Na slici 5.73 može se videti da su svojstva ploča po pitanju čvrstoće na zatezanje upravno na ploču imale nešto drugačiji karakter u odnosu na savojnu čvrstoću i modul elastičnosti pri savijanju, kao i da su primenjeni tretmani imali značajan uticaj na ovo svojstvo eksperimentalnih ploča iverica. Naime, srednje vrednosti čvrstoće na zatezanje ploča od tretiranog iverja imale su višestruko niže vrednosti raslojavanja u odnosu na uzorke kontrolnih ploča, što je verovatno posledica slabe unutrašnje zone u pločama od tretiranog iverja (slika 5.73). Višestruko smanjenje čvrstoće na raslojavanje ploča od orijentisanog strend iverja

(OSB), proizvedenih od drveta bora tretiranog vrućom vodom ustanovio je i Paredes sa saradnicima (2008).



Slika 5.73. Zatezna čvrstoća ploča iverica izrađenih od netretiranog (Kontr) i tretiranog (TV, KT i AT) iverja

Izuzetno niska srednja vrednost raslojavanja od 0,01 N/mm² zabeležena je kod ploča izrađenih od iverja tretiranog natrijum karbonatom, kod kojih je utvrđeno i najveće povećanje debljine odmah nakon izrade ploče od 22,7 %. Sve ovo, kao i izražen profil gustina po debljini, ukazuje na loše formiranje adhezivnih veza između iverja tokom vrelog presovanja, koje su tek tolike da održavaju iverje u formi ploče.

Vrednosti raslojavanja kod ploča od iverja tretiranog vodom i sirćetnom kiselinom, koje su iznosile 0,15 i 0,13 N/mm², respektivno, takođe su niske. Nasuprot tome, ploče izrađene od netretiranog iverja, sa vrednošću raslojavanja od 0,44 N/mm², jedine zadovoljavaju zahteve standarda SRPS EN 312:2011 po pitanju ovog svojstva (*tip P2 – ploče za unutrašnju upotrebu u suvim uslovima*).

Mogući razlozi formiranja slabe središnje zone u pločama od tretiranog iverja su brojni. Već je izložena pretpostavka o uticaju tretmana na prenos toplote i vodene pare u iverastom tepihu, što tokom vrelog presovanja može izazvati sporiji rast temperature, koja je nedovoljna za potpuno očvršćavanje adheziva u središnjoj zoni, usled čega je formirana adhezija između iverja slaba. Pored toga, dejstvo tretmana dovelo je do promena hemijske strukture, a time i adhezivnih svojstava, ali i do povećanja poroznosti i permeabilnosti tretiranog drveta.

Međutim, rezultati ispitivanja smicajne čvrstoće u sloju adheziva prikazani na slici 5.57 ukazuju da tretmani vodom i sirćetnom kiselinom nisu prouzrokovali značajno smanjenje adhezivnih svojstava drveta (*Prilog VI - 6*), dok je jačina ostvarene veze sa adhezivom uzoraka tretiranih natrijum karbonatom značajno povećana u odnosu na kontrolnu grupu. Ovi rezultati upućuju da tretmanom izmenjena adhezivna svojstva drveta verovatno nisu razlog slabog međusobnog lepljenja tretiranog iverja u središnjoj zoni izrađenih ploča iverica. Sa druge strane, treba imati u vidu da je dodatak adheziva od 11 % (w/w) u odnosu na specifičnu (aktivnu) površinu iverja znatno niži u poređenju sa nanosom adheziva od 200 g/m² prilikom ispitivanja smicajne čvrstoće u sloju adheziva.

Stoga, imajući u vidu povećanje poroznosti i permeabilnosti usled dejstva tretmana, koje je uzrokovalo povećan intenzitet upijanja vode tretiranih uzoraka (slika 5.58), opravdano je pretpostaviti da je prilikom oblepljivanja došlo do prekomerne penetracije UF adheziva u unutrašnjost tretiranog iverja, posebno u slučaju iverja tretiranog natrijum karbonatom. Smanjenje viskoziteta adheziva usled povišene temperature tokom vrelog presovanja takođe je pospešilo penetraciju adheziva u unutrašnjost iverja, naročito u iverje tretirano natrijum karbonatom. Sve ovo dovelo je do smanjenja količine adheziva na površini oblepljenog iverja (liniji lepljenja), što po Frihartu (2005) dovodi do pojave takozvane "gladne" linije lepljenja i nedovoljne adhezije između iverja. Ovo mogu biti razlozi slabije formiranih unutrašnjih veza u pločama od tretiranog iverja.

U prilog tome, rezultati ispitivanja dejstva tretmana na svojstva drveta poljskog jasena pokazali su da je upijanje vode i gubitak mase najveći kod uzoraka tretiranih natrijum karbonatom, a najmanji kod uzoraka tretiranih vodom (slika 5.58 i tabela 5.15). Vrednosti čvrstoće na zatezanje izuzetno su niske upravo kod ploča izrađenih od iverja tretiranog natrijum karbonatom, a imaju najveću vrednost kod ploča izrađenih od iverja tretiranog vodom, posmatrajući ploče izrađene od tretiranog iverja.

Osim toga, može se pretpostaviti da je, pored navedenih efekata, i povećana pH vrednost iverja tretiranog natrijum karbonatom (tabela 5.22) uticala na usporavanje reakcija polikondenzacije UF adheziva tokom vrelog presovanja, što je dodatno uticalo na formiranje slabijih adhezivnih veza u središnjoj zoni ploča izrađenih od ovog iverja.

Sve ovo istovremeno je uticalo i na već opisane pojave ekspanzije ploča po otvaranju prese i povratno opružni efekat, koji su doveli do značajno većih vrednosti debljine ispresovanih ploča, koje je praćeno smanjenjem gustine i izraženom poroznošću srednišnje zone ploča od tretiranog iverja.

Imajući u vidu već pomenute rezultate ispitivanja smicajne čvrstoće u sloju adheziva (slika 5.57), koji ukazuju da primenjeni tretmani nisu doveli do značajnog smanjenja adhezivnih svojstava drveta poljskog jasena, može se pretpostaviti da bi se, podešavanjem recepture, kao i parametara vrelog presovanja mogle poboljšati karakteristike ploča od tretiranog iverja.

Procena mogućnosti primene predtretmana u proizvodnji ploča iverica

Posmatrajući u celini sva ispitana svojstva ploča izrađenih od tretiranog iverja, najbolje karakteristike pokazale su ploče od iverja tretiranog vodom. U odnosu na ostale ploče izrađene od tretiranog iverja, ove ploče imale su relativno malo povećanje debljine neposredno nakon izrade, najveću gustinu, kao i najmanju poroznost središnje zone. Uzorci ovih ploča imali su najmanji sadržaj ravnotežne vlage, uz istovremeno najnižu vrednost debljinskog bubrenja posle izlaganja visokim vrednostima vlažnosti okoline (90 %). U pogledu mehaničkih svojstava, savojna čvrstoća ploča od iverja tretiranog vodom neznatno je manja u odnosu na kontrolne ploče, dok je modul elastičnosti nešto veći. Međutim, vrednosti zatezne čvrstoće upravno na površinu ploče (raslojavanje) ovih uzoraka, znatno su niže u odnosu na ploče od netretiranog iverja.

Pored toga, imajući u vidu da toplotna moć iverja posle tretmana vodom nije značajno promenjena (tabela 5.24), kao i činjenicu da se, u procesu proizvodnje iverica, drvena prašina spaljuje (Miljković, 1991), ne postoji prepreka za primenu ovog tretmana.

Takođe, iako je sadržaj suve materije u ekstraktima iz ovog tretmana manji (tabela 5.25), ukupna količina monosaharida je uglavnom veća u poređenju sa ekstraktima iz ostalih tretmana (tabela 5.27), što ide u prilog mogućoj primeni tretmana vodom u industriji.

Pored prethodno navedenog, ne treba zanemariti ekološku i ekonomsku prihvatljivost tretmana vodom.

6. ZAKLJUČCI

Na osnovu analize rezultata dobijenih u ovom radu, a u skladu sa postavljenim ciljevima rada, izvedeni su zaključci koji su izloženi u daljem tekstu.

U pogledu varijabilnosti anatomskih i hemijskih svojstava juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon) sa područja Morovića, na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti:

1. Gustina zrelog drveta poljskog jasena od 700 kg/m^3 nešto je veća, dok je sadržaj ravnotežne vlage od 10,32 % manji u odnosu na juvenilno drvo.
2. Postoji varijabilnost dimenzija anatomskih elemenata u zavisnosti od **starosti stabla** koja se ispoljava:
 - Manjim prečnikom lumena traheja, zatim manjom dužinom i debljinom ćelijskog zida i većim prečnikom lumena mehaničkih vlakana juvenilnog u odnosu na zrelo drvo poljskog jasena, na svim posmatranim položajima na stablu - kako u radijalnom pravcu (na visini od 1,3 m), tako i na različitim položajima po visini na stablu.
3. Uočena je varijabilnost dimenzija anatomskih elemenata u zavisnosti od **položaja na stablu** jer:
 - u radijalnom pravcu, idući od srži ka kori, na visini stabla od 1,3 m, prečnik lumena traheja i debljina ćelijskog zida mehaničkih vlakana rastu, a prečnik vlakana opada i kod zrelog i kod juvenilnog drveta. Dužina mehaničkih vlakana takođe raste od srži ka kori, dostižući maksimalne vrednosti u središnjem delu od 1,20 mm kod zrelog, i 0,97 mm kod juvenilnog drveta.

- u zavisnosti od položaja po visini na stablu, idući od visine 1,3 m ka vrhu stabla, dužina i debljina ćelijskog zida mehaničkih vlakana opadaju, dok prečnik lumena raste i kod zrelog i kod juvenilnog drveta poljskog jasena.
4. U zavisnosti od **starosti stabala** ustanovljena je sledeća varijabilnost hemijskog sastava:
- sadržaj lignina, celuloze i ekstraktivnih materija rastvorenih smešom toluol/etanol veći su u zreloom, dok su sadržaj mineralnih materija i ekstraktiva rastvorljivih u vreloj vodi veći u juvenilnom drvetu.
 - Sadržaj glukoze i ksiloze veći su u zreloom drvetu poljskog jasena.
5. U zavisnosti od **položaja po visini na stablu** ustanovljeno je da postoji varijabilnost u hemijskom sastavu koja se, i kod juvenilnog i kod zrelog drveta poljskog jasena ispoljava na isti način, i to:
- Sadržaj celuloze opada od podnožja ka vrhu stabla.
 - Sadržaj lignina ne menja se značajno sa visinom na stablu.
 - Sadržaj mineralnih materija raste od podnožja ka vrhu stabla.
 - Sadržaj ekstraktivnih materija rastvorljivih u vreloj vodi najveći je u donjim delovima stabla, a najmanji na 1/2 visine stabla.
 - Sadržaj ekstraktivnih materija u smeši toluol/etanol ne menja se značajno kod zrelog, dok kod juvenilnog drveta poljskog jasena značajno opada od podnožja ka vrhu stabla.

Na osnovu analize rezultata ispitivanja dejstva predtretmana vodom, rastvorima 0,06 g/g sirćetne kiseline i 0,03 g/g natrijum karbonata na temperaturi od 100 °C tokom 1 h na hemijski sastav juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon) može se zaključiti sledeće:

6. Svi primenjeni predtretmani doveli su do gubitka drvne materije, i to u većem obimu kod juvenilnog drveta. Tretman vodom izazvao je najmanji, dok je tretman natrijum karbonatom doveo do najvećeg gubitka mase.

7. Svi primenjeni predtretmani doveli su do sledećih promena u sadržaju komponenti hemijske građe:
- Smanjenja sadržaja mineralnih materija za 16 - 80 %, pri čemu je tretman natrijum karbonatom imao najblaže dejstvo.
 - Smanjenja sadržaja ekstraktivnih materija rastvorljivih u vreloj vodi za 76 - 85 %, što je prilično ujednačeno kod svih tretmana.
 - Smanjenja sadržaja ekstraktivnih materija rastvorljivih u smeši toluol/etanol za 58 - 78 %, sa najvećom promenom kod zrelog drveta tretiranog natrijum karbonatom.
 - Povećanja sadržaja celuloze za 4 - 8 % kod zrelog, odnosno 3,6 - 5,2 % kod juvenilnog drveta.
 - Povećanja sadržaja ksiloze za oko 3,5 % i 9 % kod uzoraka zrelog i juvenilnog drveta tretiranih vodom, respektivno. Sadržaj ksiloze smanjen je za oko 22 % kod zrelog i 0,7 % kod juvenilnog drveta u uzorcima tretiranim sirćetnom kiselinom, odnosno za oko 43 % kod zrelog i 8 % kod juvenilnog drveta u uzorcima tretiranim natrijum karbonatom.
 - Sadržaj lignina nije značajno izmenjen.

Analizom rezultata ispitivanja dejstva predtretmana vodom, rastvorima 0,06 g/g sirćetne kiseline i 0,03 g/g natrijum karbonata na temperaturi od 100 °C tokom 1 h na svojstva juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon) ustanovljeno je:

8. Svi primenjeni predtretmani doveli su do promene pH vrednosti juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena, i to:
- Smanjenja pH vrednosti posle tretmana vodom i sirćetnom kiselinom.
 - Povećanja pH vrednosti posle tretmana natrijum karbonatom.
9. Primljeni predtretmani doveli su do promena u sadržaju ravnotežne vlage svih tretiranih uzoraka (iverje 0,5 - 1 mm) juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena koji je, u odnosu na netretirane uzorke:
- povećan kod svih tretiranih uzoraka posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 32 i 65 % (20 ± 2 °C), što je verovatno posledica pojave histerezisa sorpcije kod tretiranih uzoraka;

- smanjen kod uzoraka tretiranih vodom i sirćetnom kiselinom, a znatno povećan kod uzoraka tretiranih natrijum karbonatom posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 90 % (20 ± 2 °C), što ukazuje na smanjenje broja slobodnih OH grupa kod uzoraka tretiranih vodom i sirćetnom kiselinom, odnosno povećanje njihovog broja kod uzoraka tretiranih natrijum karbonatom.
10. Rezultati ispitivanja smicajne čvrstoće u sloju adheziva ukazuju da su adhezivna svojstva drveta značajno poboljšana posle predtretmana natrijum karbonatom, dok su tretman vodom i sirćetnom kiselinom uglavnom nisu značajno promenili adhezivne sposobnosti drveta.
11. Svi primenjeni predtretmani poboljšali su dimenzionalnu stabilnost drveta poljskog jasena. Posle 48 sati potapanja zapreminsko bubrenje manje je za 24,6 % kod uzoraka tretiranih sirćetnom kiselinom, odnosno za 20 i 14 %, kod tretmana vodom i natrijum karbonatom, respektivno, u poređenju sa netretiranom grupom uzoraka.
12. Povećan intenzitet upijanja vode svih tretiranih uzoraka tokom prvih sati potapanja, koji je naročito izražen kod uzoraka tretiranih natrijum karbonatom, ukazuje da su predtretmani doveli do povećanja permeabilnosti drveta poljskog jasena.
13. Primenjeni predtretmani nisu značajno promenili toplotnu moć tretiranih uzoraka juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena, što nije očekivano.

Rezultati ispitivanja ekstrakata iz tretmana vodom, rastvorima 0,06 g/g sirćetne kiseline i 0,03 g/g natrijum karbonata na temperaturi od 100 °C tokom 1 h juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena (Fraxinus angustifolia Vahl. ssp. Pannonica Soó & Simon) navode na sledeće zaključke:

14. Sadržaj suve materije ekstrakata u skladu je sa gubitkom mase drveta prilikom odgovarajućeg tretmana, i manji je u ekstraktima zrelog u odnosu na juvenilno

drvo. Ekstrakt iz tretmana natrijum karbonatom sa najvećim sadržajem suve materije od 0,93 g/50 ml kod zrelog i 1,11 g/50 ml kod juvenilnog drveta, može se smatrati najpodesnijom sirovinom za dalju preradu.

15. Svojim dejstvom, tretmani su uticali i na količinu već i na sastav materija izdvojenih iz drveta i rastvorenih u ekstraktu. Ksiloz, glukoza, manoz i saharoz sa različitim udelima prisutni su u ekstraktima iz tretmana, pri čemu je učešće glukoze najveće. Ukupna koncentracija ovih šećera od 4,3 – 4,7 mg/ml najveća je u ekstraktu iz tretmana vodom.

Analiza rezultata ispitivanja ploča iverica izrađenih od netretiranog iverja drveta poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon) i iverja tretiranog vodom, rastvorima 0,03 g/g sirćetne kiseline i 0,06 g/g natrijum karbonata na 100 °C tokom 1 h upućuje na sledeće zaključke:

16. Primenjeni tretmani su, usled povećanja poroznosti i promena u hemijskom sastavu iverja, u većoj ili manjoj meri, uticali na procese penertacije adheziva u tretirano iverje, prenos vlage i toplote tokom vrelog presovanja, kao i pojačano povratno-opružno dejstvo iverja nakon vađenja iz prese, što se odrazilo na:
- početno povećanje debljine ploča izrađenih od tretiranog iverja,
 - smanjenje njihove gustine i
 - pojavu izraženog profila gustine po debljini jednoslojnih ploča.
17. Primenjeni predtretmani uglavnom su doveli do poboljšanja vlagootpornosti ploča iverica izrađenih od tretiranog iverja, koje su posle izlaganja relativnim vlažnostima vazduha od 32, 65 i 90 % (20 °C) imale niže vrednosti sadržaja ravnotežne vlage u odnosu na kontrolne ploče. Sa ovog aspekta kao najefikasniji pokazao se tretman vodom, jer su ploče izrađene od ovog iverja u svim uslovima ispitivanja postigle niže vrednosti ravnotežne vlage od svih ostalih ploča.

18. U pogledu poboljšanja dimenzionalne stabilnosti ploča, kao najefikasniji pokazao se tretman vodom sa najmanjim debljinskim bubrenjem ploča izrađenih od ovog iverja od 6,4 % pri visokoj vlažnosti okoline od 90 % (20 °C).
19. Mehanička svojstva ploča iverica izrađenih od tretiranog iverja poljskog jasena izmenjena su u zavisnosti od vrste primenjenog tretmana, što je posledica promena u hemijskom sastavu tretiranog iverja, kao i već navedenih efekata tokom oblepljivanja i vrelog presovanja, na sledeći način:
- Predtretman vodom doveo je do poboljšanja modula elastičnosti pri savijanju ploča izrađenih od ovog iverja za čak 35 % u odnosu na kontrolne ploče. Savojna čvrstoća ploča od iverja tretiranog vodom nešto je veća, dok je čvrstoća na zatezanje upravno na površinu ovih ploča (raslojavanje) višestruko manja od čvrstoće kontrolnih ploča.
 - Predtretman natrijum karbonatom doveo je do značajnog pogoršanja svih mehaničkih svojstava ploča, a naročito čvrstoće na zatezanje upravno na površinu ovih ploča, čija je vrednost od 0,01 N/mm² izuzetno niska zbog loše formiranih unutrašnjih veza u ovim pločama tokom vrelog presovanja.
 - Predtretman sirćetnom kiselinom nije značajno uticao na čvrstoću i modul elastičnosti pri savijanju ploča od ovog iverja, dok je, kao i ostali tretmani, značajno pogoršao raslojavanje.

Geneći rezultate dobijene u ovom radu treba istaći da, sa tehnološkog stanovišta, drvo poljskog jasena, svojim hemijsko-anatomskim karakteristikama, ne zaostaje po kvalitetu za bukvom, koja predstavlja sirovinsku bazu Srbije.

Rezultati karakterizacije drveta poljskog jasena ukazuju da je, po svojoj većoj zapreminkoj masi i anatomsko-hemijskim karakteristikama, juvenilno drvo jasena vrednije u odnosu na topole, koje su u Srbiji popularne kao brzorastuće vrste i uobičajeno korišćene kao sirovina za proizvodnju papira.

Sa stanovišta hemijske prerade, primena predtretmana u hemijskim postupcima proizvodnje vlakana je prihvatljiva, jer je, usled povećanja

permeabilnosti olakšano prodiranje hemikalija u tkivo tretiranog drveta, i brže i potpunije odigravanje hemijskih reakcija delignifikacije.

Procenjujući efekte primenjenih tretmana, kao i ekološku i ekonomsku podobnost, predtretman iverja vodom na 100 °C u trajanju od 1 h ima velike izgleda za primenu u proizvodnji ploča iverica poboljšane vlagootpornosti.

6.1 PLANIRANA DALJA ISTRAŽIVANJA

U ovom radu ispitan je uticaj tretmana vodom i rastvorima 0,06 g/g sirćetne kiseline i 0,03 g/g natrijum karbonata na temperaturi od 100 °C u trajanju od 1 h na hemijski sastav, kao i na neka fizička svojstva drveta poljskog jasena. U cilju ispitivanja mogućnosti primene tretmana u proizvodnji ploča iverica poboljšane hidrofobnosti i dimenzionalne stabilnosti, izrađene su i ispitane eksperimentalne ploče iverice.

Sagledavanjem rezultata ispitivanja hemijskih i fizičkih svojstava tretiranog drveta, kao i fizičkih i mehaničkih svojstava izrađenih ploča iverica, otvorile su se nove mogućnosti i nametnule smernice za dalja istraživanja.

Da bi se dobila kompletnija slika uticaja primenjenih tretmana na svojstva drveta poljskog jasena, a imajuću u vidu evidentne promene u hemijskom sastavu tretiranih uzoraka, bilo bi neophodno ispitati dejstvo primenjenih tretmana na mehanička svojstva drveta. Takođe, s obzirom na veliki uticaj primenjenih tretmana na promene u sadržaju hemiceluloznih komponenti, kao i ekstraktivnih materija, koje, između ostalog, imaju ulogu zaštite drveta, bilo bi zanimljivo ispitati otpornost tretiranog drveta na gljivice.

Rezultati ispitivanja uticaja tretmana na promene u tkivu drveta poljskog jasena sprovedena u ovom radu pokazuju da je tretman vodom na 100 °C u trajanju od 1 h rezultovao najmanjim gubitkom mase drvnog tkiva, pri čemu su sadržaj ravnotežne vlage, zapreminsko bubrenje i upijanje vode posle 48 sati potapanja bili manji u odnosu na kontrolne ali i ostale tretirane uzorke drveta. Istovremeno, ploče izrađene od ovog iverja imale su nešto veće vrednosti savojne

čvrstoće, i značajno veći modul elastičnosti u odnosu na ploče od netretiranog iverja. Imajući to u vidu, kao i ekonomski i ekološki aspekt, dalja istraživanja predtretmana drveta trebalo bi fokusirati upravo na tretmane vodom. U tom smislu, bilo bi zanimljivo ispitati kako bi promena parametara tretmana vodom (temperatura, vreme i hidromodul) uticala na hemijski sastav, kao i na svojstva drveta i laboratorijskih ploča.

Imajući u vidu rezultate ispitivanja svojstava izrađenih eksperimentalnih ploča kao i povećanje intenziteta upijanja vode tretiranih uzoraka drveta, bi bilo interesantno istražiti kako su tretmani uticali na kvašenje vodom i UF adhezivom ovih uzoraka. U daljim istraživanjima takođe bi trebalo ispitati kako bi promena parametara presovanja i/ili recepture uticala na svojstva ploča od tretiranog iverja.

S obzirom da je HPLC analizom u ekstraktima iz tretmana, pored ksiloze, glukoze, manoze i saharoze ustanovljeno prisustvo i drugih proizvoda tretmana, za koje se pretpostavlja da mogu biti proizvodi transformacije izdvojenih monosaharida, fragmenti lignina, ali i oligosaharidi ili rastvoreni polisaharidi, naročito u ekstraktu iz tretmana natrijum karbonatom, nametnula se potreba za detaljnijim ispitivanjem sastava ekstrakata iz tretmana.

7. LITERATURA

- Adler, E. (1977) Lignin chemistry-past, present and future. *Wood Sci. Technol.*, 11, 169-218.
- Ajuong, E.M.A., Breese, M.C. (1998) Fourier Transform Infrared characterization of Pai wood (*Afzelia africana* Smith) extractives, *Journal Holz als Roh und Werkstoff*, Volume 56, Issue 2 , 139-142.
- Ajuong, E.M.A., Redington, M. (2004) Fourier transform infrared analyses of bog and modern oak wood (*Quercus petraea*) extractives. *Wood Science and Technology*, Vol: 38(3), 181-190.
- Akhtar, M., Kenealy, W.R., Horn, E.G., Swaney, R.E., Winandy, J. (2008) Method of making medium density fiberboard. US Patent No: US 2008/0264588 A1.
- Albano, C., Ichazo, M., González J., Delgado M., Poleo R. (2001) Effects of Filler Treatments on the Mechanical and Morphological Behavior of PP+Wood Flour and PP+Sisal Fiber, *Materials Research Innovations*, 4, 5-6, 284-293.
- Alen, R. (2000) Basic chemistry of wood delignification. Chapter 2 In: *Paper making science and technology*, Published in cooperation with the Finnish Paper Engineers Association and TAPPI., 58-104.
- Allen, S.G., Schulman, D., Lichwa, J., Antal, M.J., Lynd, L.R. (2001) A comparison between hot liquid water and steam fractionation of corn fiber, *Ind. & eng. chem. res.* 40, 13, 2934-2941.
- Al-Dajani, W.W., Tschirner, U.W. (2008) Pre-extraction of hemicelluloses and subsequent kraft pulping. Part I: Alkaline extraction, *Tappi Journal* 7(6), 3-8

- Alma, M.H., Acemioglu, B. (2004) A kinetic study of sulfuric acid-catalyzed liquefaction of wood into phenol, *Chem. Eng. Comm.* 191(7), 968-980.
- Amidon, T.E., Bolton, T.S., Francis, R.C., Gratien, K. (2006) Effect of Hot Water Pre-Extraction on Alkaline Pulping of Hardwoods. Session 57, TAPPI Environ. Pulping and Engineering Conference, Atlanta, November 5-8, 2006.
- Argyropoulos D.S., Menachem S.B. (1997) Lignin. In: Eriksson K.E.L. (ed.) *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. Springer-Verlag, Germany, 127-158.
- Bakhsi, R.M., Kiaei, Veylaki, S. (2011) The effect of climate on fiber properties of maple wood (*Acer velutinum* Boiss). *Middle-East Journal of scientific Research*, 8(4), 739-746.
- Banković, S., Medarević, M., Pantić, D., Petrović, N. (2008) Nacionalna inventura šuma Republike Srbije, *Šumarstvo*, 3 (jul-septembar 2008), Beograd.
- Bernabei, M., Negri, M., Pol, C. (2000) Juvenilno drvo četinjača, *Šumarski list* br. 9-10, CXXIV(2000), 601-602.
- Bjarnestad, S., Dahlman, O. (2002) Chemical compositions of hardwood and softwood pulps employing photoacoustic Fourier transform infrared spectroscopy in combination with partial least-squares analysis. *Analytical Chemistry* 2002 Nov; 74(22), 5851-5858.
- Blackwell, J., Kolpak, F.J., Gardner, K.H. (1977) Structures of native and regenerated cellulose. U: *Cellulose Chemistry and Tehnology*, J. CV. Artur, Jr., ed. ACS Symposium Series 48, Washington, ACS, 42-45.
- Blankenhorn, P.R., Labosky, P., Stover, Jr. L.R, Nicholls, D. (1989) Selected chemical modifications of red oak and hard maple flakes for flakeboard manufacturing. *Wood Fiber Sci.* 21(2), 169-176.
- Blanch H.W., Wilke, C.R. (1982) Sugars and chemicals from cellulose, *Rev.in Chem. Engineer.* vol. I, no. 1, 71 - 119.
- Bodirlau, R., Spiridon, I., Teacă, C.A. (2007) Chemical investigation of wood tree species in temperate forest in east-northern Romania, *BioResources* 2(1), 41-45.

- Bodîrlău, R., Teacă, C.A. (2009) Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Thermal Analysis Of Lignocellulose Fillers Treated With Organic Anhydrides, *Rom. Journ. Phys.*, Vol. 54, Nos. 1–2, P. 93–104, Bucharest, 2009.
- Bodîrlău, R., Teacă, C.A., Resmeriță A.M., Spiridon I. (2012) Investigation Of Structural And Thermal Properties Of Different Wood Species Treated With Toluene-2,4-Diisocyanate, *Cellulose Chem. Technol.*, 46 (5-6), 381-387.
- Brändström, J. (2002) Morphology of Norway Spruce Tracheids with Emphasis on Cell Wall Organisation, Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Browning, B.L. (1967 a) *Methods of Wood Chemistry*, Intersci. Publ. New York, London, Vol. 1.
- Browning, B.L. (1967 b) *Methods of Wood Chemistry*, Intersci. Publ. New York, London, Vol. 2.
- Burns, D.S., Ooshima, H., Converse, A.O., (1989) Surface area of pretreated lignocellulosics as a function of the extent of enzymatic hydrolysis, *Appl. Biochem. Biotechnol.* 20–21, 79–94.
- Cao, Y., Lu, J., Huang, R., Zhao, Y., Wu, Y. (2011) Evaluation of decay resistance for steam-heat-treated wood, *BioResources* 6(4), 4696-4704.
- Carrillo F., Lisa M.J., Colom X., López-Mesas M., Valldeperas J. (2005) Effect of alkali pretreatment on cellulase hydrolysis of wheat straw: Kinetic study. *Process Biochem.* 40(10), 3360-3364.
- Carvalho, L., Martins, J., Costa, C. (2010) *Transport Phenomena*. U izdanju: Thoemen, H., Irle, M., Sernek, M. *Wood-Based Panels - An Introduction for Specialists*. London, England: Brunel University Press.
- Chang, V.S., Burr, B., Holtzapple, M.T., (1997) Lime pretreatment of switchgrass, *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 63–65, 3–19.
- Chang, V.S., Holtzapple M.T. (2000) Fundamental Factors Affecting Biomass Enzymatic Reactivity, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, Vol. 84-86, 5-37.

- Cheng, K.K., Zhang, J.A., Ling, H.Z., Ping, W.X., Huang, W., Ge, J.P., Xu, J.M. (2009) Optimization of pH and acetic acid concentration for bioconversion of hemicellulose from corncobs to xylitol by *Candida tropicalis*, *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 43, Iss. 2, 203–207.
- Chamberlain, C.J. (1932) *Methods in plant histology*, The University of Chicago press Chicago, Illinois, Fifth Revised Edition.
- Chow, S.Z. (1972) Hydroxyl accessibility, moisture content, and biochemical activity in cell walls of Douglas-fir trees. *Tappi*, 55(4), 539–544.
- Ciolacu D., Ciolacu F., Popa V.I. (2011) Amorphous Cellulose – Structure and Characterization, *Cellulose Chemistry and Technology, Cellulose Chem. Technol.*, 45 (1-2), 13-21.
- Cote, W.A. (1977) *Wood Ultrastructure in Relation to Chemical Composition, u: The structure, Biosynthesis and Degradation of Wood. Recent Advances in Phytochemistry*, Vol. 11. F. A. Loewus and V. C. Runeckles, eds., Plenum Press, New York and London, 1-44.
- Colom, X., Carrillo, F., Nogues, F., Garriga, P., (2003) Structural analysis of photodegraded wood by means of FTIR spectroscopy. *Polymer Degradation and Stability* 80(3), 543-549.
- Čakar M., Popović G. (2004) *Opšta hemija I. Farmaceutski fakultet, Beograd*
- Dale, B.E. (1986) Method for increasing the reactivity and digestibility of cellulose with ammonia, US Patent 4.600.590.
- Dale, B.E., Leong, C.K., Pham, T.K., Esquivel, V.M., Rios, I., Latimer, V.M. (1996) Hydrolysis of lignocellulosics at low enzyme levels: application of the AFEX process, *Bioresource Technology*, 56 (1), 111–116.
- Damisa, D, Ameh, J, Umoh, V.J. (2008) Effect of chemical pretreatment of some lignocellulosic wastes on the recovery of cellulase from *Aspergillus niger* AH3 mutant. *Afr. J. Biotechnol.* 7 (14), 2444-2450.
- Dekker, R.F.H. (1985) “Biodegradation of hemicelluloses” in *Biosynthesis and Biodegradation of wood components*, T. Higuchi, ed. Orlando, FL: Academic Press, Inc., 505-533.

- Del Campo, I., Alegría, I., Zazpe, M., Echeverría M., Echeverría I. (2006) Diluted acid hydrolysis pretreatment of agri-food wastes for bioethanol production. *Industrial Crops Products* 24(3), 214-221.
- Dence, C.W. (1992) The Determination of Lignin. U: S. Y., Lin, C. W. Dence, eds., *Methods in Lignin chemistry*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 33-61
- Dipa, R., Sarkar, B.K., Rana, A.K., Bose, N.R. (2001) Effect of alkali treated jute fibres on composite properties, *Bulletin of Materials Science*, 24(2), 129-135.
- Dobrică, I., Bugheanu, P., Stănculescu, I., Ponta, C. (2008) FTIR Spectral Data of Wood Used in Romanian Traditional Village Constructions, *Anale le Universităţii din Bucureşti-Chimie, Anul XVII (serie nouă), Vol. I*, 33-37.
- Donohoe, B.S., Decker, S.R., Tucker, M.P., Himmel, M.E., Vinzant, T.B., (2008) Visualizing lignin coalescence and migration through maize cell wall following thermochemical pretreatment. *Biotechnology Bioengineering* 101, 913-925.
- Deppe, H.J., Ernst, K. (1965) Problems of Pressing-time Reduction in Particleboard Manufacture. *Holz als Roh- Und Werkstoff*, 23(11) pp. 441-445.
- Dumitriu, S. (2005) *Polysaccharides: Structural Diversity and Functional Versatility*, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Elmas, G.M. (2011) Comparison of various pulping characteristic of *Fraxinus angustifolia* Vahl. wood, *African Journal of Biotechnology*, Vol. 10(48), 9812-9816.
- Đorđević, B., Valent, V., Šerbanović, S. (1990) *Termodinamika i termotehnika, Građevinska knjiga, Beograd*.
- Fan, M. (2003) Evaluation of producing fuel and chemicals from corn stover pretreated with flue gas. *Int. J. Environ. Technol. Manag.* 3 (3- 4): 290-294.
- Fengel, D., Wegener, G. (1984) *Wood: Chemistry, Ultrastruktura, Reaktionen*. Walter de Gruyter, Berlin, 97-100.
- Fernandez-Bolanos, J., Felizon, B., Heredia, A., Jimenez, A., (1999) Characterization of the lignin obtained by alkaline delignification and of the cellulose residue from steam-exploded olive stones. *Biores. Technol.* 68, 121-132.

- Flora SR Srbije (1973), Srpska akademija nauka i umetnosti, Odeljenje prirodno-matematičkih nauka, Beograd.
- Foster, B.L., Dale, B.E., Doran-Peterson, J.B. (2001) Enzymatic hydrolysis of ammonia-treated sugar beet pulp, *Appl. Biochem. Biotechnol.* 91 (3), 269–282.
- Frihart, C.R. (2005 a) Adhesive Bonding and Performance Testing of Bonded Wood Products. *Journal of ASTM International*, 2(7), 1-12.
- Frihart, C.R. (2005 b) Wood Adhesion and Adhesives, In Roger M. Rowell 2005 *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, CRC PRESS, chap. 9
- Frihart, R.C. (2006) Wood Structure and Adhesive Bond Strength, in Stokke D.D., Groom L.H. *Characterization of the Cellulosic Cell Wall*, Blackwell Publishing, 241-253.
- Frihart, R.C. (2007) Model For Understanding The Durability Performance of Wood Adhesives, *Proceedings 30th Annual Meeting of The Adhesion Society, Inc.*, February 18-21, 2007, Tampa Bay, FL., 222-224.
- Garrote, G., Dominguez, H., Parajo, J.C. (1999) Hydrothermal processing of lignocellulosic materials. *Holz Als Roh-und Werkst.* 57, 191-202.
- Garrote, G., Dominguez, H., Parajó J.C., (2002) Autohydrolysis of corncob: study of non-isothermal operation for xylooligosaccharide production, *J. Food Eng.* 52, 211–218.
- Gavrilović-Grmuša, I. (2010) Penetracija urea-formaldehidnih adheziva različitih molarnih masa u tkivo nekih domaćih vrsta drveta, *Doktorska disertacija*, Šumarski fakultet, Beograd.
- Gaspar, M., Kalman, G., Reczey, K. (2007) Corn fiber as a raw material for hemicellulose and ethanol production. *Process Biochem.* 42, 1135-1139.
- Gassan J., Bledzki A.K. (1999) Alkali Treatment of Jute Fibers: Relationship Between structure and Mechanical Properties, *Journal of Applied Polymer science*, 71, 623-629.

- Gorišek Ž., Straže A. (2005) Utjecaj građe drva na savijanje smrekovine (*Picea abies* Karst.) u procesu sušenja, Sedmo međunarodno znanstveno savetovanje Drvo u graditeljstvu, Zbornik radova, Zagreb.
- Greuter, W., Burdet H.M., Long G. (1989) Med-checklist 4. Vile de Geneve i Berlin – Dahlem.
- Güler, C., Şahin, H.I., Şen, S. (2009) Morphological and Impregnability Properties of Narrow-Leaved Ash (*Fraxinus angustifoliae* Vahl.) Wood Taken From Plantations with Different Spacings, The International Reaserch Group on Wood Protection.
- Gündüz, G., Aydemir, D., Karakas, G. (2009) The effect of thermal treatment on the mechanical properties of wild pear (*Pyrus elaeagnifolia*) wood and changes in physical properties. *Mater Des* 30, 4391–4395.
- Gupta, R. (2008) Alkaline pretreatment of biomass for ethanol production and understanding the factors influencing the cellulose hydrolysis, A Dissertation, Graduate Faculty of Auburn University, Auburn, Alabama.
- Handbook of Chemistry and Physics, The Chemical Rubber Co, 54-th Edition 1973-1974, New York.
- Harada, H., Cote, W.A. Jr. (1985) Structure of wood. In: Biosynthesis and biodegradation of wood components (ed. T. Higuchi): 1-42. Acad. Press, Orlando, FL.
- Harkin, J.M., Rowel, J.W. (1971) Bark and its possible uses. Res note FPL-091. USDA For Serv Forest Prod Lab, Madison, WI.
- Hassan, E.M., Shukry, N. (2008) Polyhydric alcohol liquefaction of some lignocellulosic agricultural residues. *Ind. Crops Products*.
- Hendriks, A.T.W.M., Zeeman, G. (2009) Pretreatments to enhance the digestibility of lignocelluloses biomass. *Bioresour. Technol.* 100(1),10-18.
- Herrera, A., Téllez-Luis, S.J., González-Cabriales, J.J., Ramírez, J.A., Vázquez, M. (2004) Effect of the hydrochloric acid concentration on the hydrolysis of sorghum straw at atmospheric pressure. *J. Food Eng.*
- Hill, C.A.S., Papadopoulos, A.N. (2001) A review of methods used to determine the size of the cell wall microvoids of wood. *J Inst Wood Sci* 15, 337-345.

- Hill, C.A.S. (2006) Wood modification: chemical, thermal and other processes, John Wiley & Sons, New York.
- Hillis, W.E. (1987) Heartwood and tree exudates. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Hosseinaei, O., Wang, S., Rials, G. T., Xing, C., Taylor, A.M., Kelley, S. (2011 a) Effect of hemicellulose extraction on physical/mechanical properties and mold susceptibility of flakeboard, *Forest Products Journal* 61(1), 31–37.
- Hosseinaei, O., Wang, S., Rials, T.G., Hing, Y., Zhang, Y. (2011 b): Effects of decreasing carbohydrate content on properties of wood strands, *Cellulose* 18, 841-850.
- Huang, Z., Yan, N. (2014) Characterization of Major Components in Barks from Five Canadian Tree Species, *Wood And Fiber Science*, April 2014, V. 46(2), 167 – 174.
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Fraxinus>
- Iranmahboo, J, Nadim, F, Monemi, S (2002) Optimizing acid-hydrolysis: a critical step for production of ethanol from mixed wood chips. *Biomass Bioenergy* 22(5), 401-404.
- Irle, M., Barbu, M.C. (2010) Wood-Based Panel Technology. U izdanju: Thoemen, H., Irle, M., Sernek, M. *Wood-Based Panels - An Introduction for Specialists*. London, England: Brunel University Press.
- Iyer, P.V., Wu, Z.W., Kim, S.B., Lee, Y.Y. (1996) Ammonia recycled percolation process for pretreatment of herbaceous biomass, *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 57/58, 121–132.
- Jacobsen, S., Wyman, C.E., (2000) Cellulose and Hemicellulose Hydrolysis Models for Application to Current and Novel Pretreatment Process, *Appl. Biochem. Biotechnol.* 84–86, 81–96.
- Jahan, M., S., Saeed, A., He, Z., Ni, Y. (2011) Jute as raw material for the preparation of microcrystalline cellulose. *Cellulose*, 18, 451–459.
- Jara, R., Paredes J.J., van Heiningen, A., Shaler, S. (2006) Influence of hemicellulose extraction on suitability for oriented strand board (OSB) production-extraction study. Presented at the First Conf. on Biorefineries, Univ. de Concepcion, Concepcion, Chile.

- Johar, N., Ahmad, I., Dufresne, A. (2012) Extraction, preparation and characterization of cellulose fibres and nanocrystals from rice husk. *Industrial Crops and Products*, 37, 93–99.
- Karimi, K., Kheradmandinia, S., Taherzadeh, M.J. (2006) Conversion of rice straw to sugars by dilute-acid hydrolysis. *Biomass Bioenergy* 30(3), 247-253.
- Kellog, R.M., Ifju, G. (1962) Influence of specific gravity and certain other factors on the tensile properties of wood. *Forest Prod. J.* 12(10), 463-470.
- Kenealy, W., Horn, E., Houtman, C. (2007) Vapor-phase diethyl oxalate pretreatment of wood chips. Part 1: Energy savings and improved pulping. *Holzforschung* 61, 223–229.
- Kiaei, M. (2012) The Influence of Cambial Age on Fiber Dimension in Maple Wood, *Middle-East Journal of Scientific Research* 11 (8), 1009-1012.
- Kim, S.B., Lee, Y.Y. (1996) Fractionation of herbaceous biomass by ammonia-hydrogen peroxide percolation treatment, *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 57/58, 147–156.
- Klauditz, W. (1941) The cellulose in the cell walls of hardwoods, *Papierfabrikant* 39, 225 – 228.
- Kobayashi, M, Asano, T, Kajiyama, M, Tomita, B (2004) Analysis on residue formation during wood liquefaction with polyhydric alcohol. *J. Wood Sci.* 50(5), 407-414.
- Kocaefe, D., Poncsak, S., Boluk, Y., (2008 a) Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen, *BioResources* 3(2), 517-537.
- Kocaefe, D., Poncsák, S., Doré, G., Younsi, R., (2008 b) Effect of heat treatment on the wettability of white ash and softmaple by water, *Holz als Roh- und Werkstoff* 66(5), 355–361.
- Kocaefe, D., Poncsak, S., Tang, J., Bouazara, M. (2010) Effect of heat treatment on the mechanical properties of north American Jack pine: thermogravimetric study. *J Mater Sci* 45, 681–687.
- Kofujita, H., Ettyu, K., Ota, M. (1999) Characterization of the major components in bark from five Japanese tree species for chemical utilization. *Wood Sci Technol* 33, 223-228.

- Kolin, B. (2000) Hidrotermička obrada drveta, Jugoslavija publik, Beograd.
- Kollmann, F.F.P., Cote, A.W. (1984) Principles of Wood Science and Technology I. Solid Wood. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Koshijima, T., Watanabe, T. (2003) Association between lignin and carbohydrates in wood and other plant tissues, T. Watanabe and T.Koshijima (eds.) Springer -Verlag , Heidelberg.
- Kostova, I., Iossifova, T. (2007) Chemical components of *Fraxinus* species, Fitoterapia, 78, 85-106.
- Ku, C.S., Mun, S.P. (2007) Characterization of proanthocyanidin in hot water extract isolated from *Pinus radiata* bark. Wood Sci Technol 41(3), 235-247.
- Kúdela, J. (2005) Vlhkostné a tepelné namáhanie bukového dreva. Zvolen: Technical University in Zvolen.
- Kúdela, J. (2009) Permanent changes to structure and properties of beech and ash wood after hydrothermal plasticization. Part I. Changes in selected properties. In Folia Forestalia Polonica Series B, Issue 40, 3-14.
- Kumar, P., Barrett, D.M., Delwiche, M.J., Stroeve, P. (2009) Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production, Ind. Eng. Chem. Res., 48, 3713–3729.
- Kumar, A., Negi, Y.S., Choudhary, V., Bhardwaj, N.K. (2014) Characterization of Cellulose Nanocrystals Produced by Acid-Hydrolysis from Sugarcane Bagasse as Agro-Waste. Journal of Materials Physics and Chemistry, 2(1), 1-8.
- Lai, Y.Z., (2001) Chemical degradation. Chapter 10 In: Wood and cellulosic chemistry (David N.-S. Hon and Nobuo Shiraishi), Marcel Dekker Inc., New York- Basel, 443-512.
- Lantican, D.M., Cote, W.A., Skaar, C. (1965) Effect of ozone treatment on the hygroscopicity, permeability, and ultrastructure of western red cedar, Ind. Eng. Chem. Prod. Res., Dev 4, 66-70.
- Laurová, M., Kačík, F. (2009) Permanent Changes To Structure And Properties Of Beech And Ash Wood After Its Hydrothermal Plasticization Part II. Chemical Changes, Folia Forestalia Polonica, Series B, Issue 40, 15-22.

- Laurová, M., Kačík, F., Sivák, J. (2009) Water Prehydrolysis Of Willow Wood (*Salix alba* L.), Acta Facultatis Xylogologiae, 51(1), 19–26.
- Laurová, M. (2011 a) Partial hydrolysis of ash wood by hot-water pretreatment, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology No 75, 44-48.
- Laurová, M. (2011 b) Hot-water prehydrolysis of willow wood, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology No 75, 2011, 49-53.
- Lewark, S. (1986) Anatomical and physical differences between juvenile and adult wood. Proc. 18 th IUFRO World Congress. Div.5. Ljubljana 7-21 Sept., 272-281.
- Li, B., Li, H., Zha, Q., Bandekar, R., Alsagaf, A., Ni, Y. (2011) Review: Effects of wood quality and refining process on TMP pulp and paper quality, BioResources 6 (3), 3569-3584.
- Liang, C.Y., Marchessault, R.H. (1959) Infrared spectra of crystalline polysaccharides / Hydrogen Bonds in native celluloses, J. Polym. Sci., 37, 385-395.
- Liese, W. (1965) The warty layer. In: Cellular ultrastructure of woody plant (ed. W.A. Core, Jr.): 251-269. Syracuse Univ. Press, New York.
- Liu, S., Amidon, T.E. (2007) Essential components of a wood based biorefinery. Technical article, O. Papel, 84–105.
- Lu, B.-W., Du, G.-H, Matsui, T. Matsushita, Y.-I (2003) Treatment of sugi (*Cryptomeria japonica* D.) sapwood with aqueous solution of acetic acid, Journal of Forestry Research Volume 14, Issue 2, 159-161.
- Marković, N. (1960) Hemija drveta (skripta), Naučna knjiga, Beograd.
- Marković, N., Teržan, N., Pjević, V. (1975) Promene hemijskog sastava bukove rezane građe pri hidrotermičkoj obradi, Glasnik šumarskog fakulteta, No. 48/1975, 47-50.
- Marra, A. (1992) Technology of wood bonding principles in practice, Van Nostrand Reinhold, New York.

- McConnell, T., Shi, E., Sheldon, Q. (2011) Partially hydrolyzing southern hardwoods: possibilities for biofuels and wood composite manufacturing, *Forest Products Journal*, 61(3), 235-239.
- Mihulja, G., Bogner, A. (2007) Čvrstoća i trajnost slijepljenog drva: Dio II: Ispitivanje čvrstoće lijepljenja drva (Strength and durability of glued wood Part two: Glue joint strength testing methods), *Drvna industrija* 58(2), 89-96.
- Miljković, J., Crnogorac, O. (1998) Praktikum za vežbe iz vlaknatica i oplemenjivanja ploča, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Institut za preradu drveta, Beograd.
- Miljković, J. (1991) Kompozitni materijali od usitnjenog drveta - Iverice, Naučna knjiga, Beograd.
- Miller, S., Hester, R., Mississippi, H., (2007) Concentrated acid conversion of pine sawdust to sugars. Part II: High-temperature batch reactor kinetics of pretreated pine sawdust *Chem. Eng. Communications*, 194(1), 103-116.
- Mirahmadi, K., Kabir, M.M., Jeihanipour, A., Karimi, K., Taherzadeh, M.J. (2010) Alkaline Pretreatment of Spruce and Birch to Improve Bioethanol and Biogas Production, *BioResources*, 5(2), 928-938.
- Mirković, D. (1972) Dendometrija, treće dop. izdanje, Zavod za izdavanje udžbenika Srbije, Beograd, 1972.
- Mirzaei, G., Mohebbi, B., Tasooji, M. (2012) The effect of hydrothermal treatment on bond shear strength of beech wood *European Journal of Wood and Wood Volume* 70, Issue 5, 705-709.
- Mittal, A. (2006) Kinetics of Hemicellulose Extraction during Autohydrolysis of Sugar Maple Wood. PhD Thesis, SUNY-ESF.
- Mohebbi, B., Sanaei, I. (2005) Influence of hydrothermal treatment on physical properties of beech wood. The International Research Group on Wood Preservation IRG Document No IRG/WP 05- 40303.
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y.Y., Holtzapfle, M., Ladisch, M. (2005) Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technol.* 96(6), 673-686.

- Mwaikambo, L.Y., Tucker, N., Clark, A.J. (2007) Mechanical properties of hemp fibre reinforced euphorbia composites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 292(9), 993-1000.
- Nacos, M., Katapodis, P., Pappas, C., Daferera, D., Tarantilis, P.A., Christakopoulos, P., Olission, M. (2006) Kenaf xylan– A source of biologically active acidic oligosaccharides, *Carbohydr. Polym.*: Vol. 66, 126-134.
- Neusser, H. (1967) Practical Testing of Urea Resin Glues for Particleboard, with Regard to Shortening of Pressing Time. *Holzforschung und Holzverwertung*, 19(3), 37-40.
- Nicholas, D.D., Thomas, R. J. (1968) The influence of enzymes on the structure and permeability of loblolly pine, *Proc. Am. Wood Preserv. Assoc.* 64:70-76.
- Nicholls, D.L., Blankenhorn, P.R., Labosky, P. Jr. (1991) The Effects of Mild Chemical Extractions on the Dimensional Stability of UF And PF Bonded Red Oak Flakeboard. *Wood and Fiber Science*, 23(2), 143-152.
- Nikitin, N. I. (1955) *Die Chemik des Holzes*, Berlin.
- Nikolić, S.M. (1988) *Furniri i slojevite ploče*. Građevinska knjiga, Beograd.
- Nimz, H.H., Casten, R., (1986) Chemical processing of lignocellulosics. *Holz Roh Werkst.* 44, 207–212.
- Nimz, H. (1988) *Grundlagen der Holzchemie*, Bundes forschung sanstalt fur Forst- und Holzwirtschaft., 73-112.
- Nishimura, H., Okano, T., Asano, I. (1981) Fine structure of Wood Sugar Assay Using HPLC. A Comparison with Paper Chromatography. *J. Chromatog. Sci.* 22, 478-484.
- Okafoagu, C.U., Nzelibe, H.C. (2006) Effect of acid hydrolysis of *Garcinia kola* (bitter kola) pulp waste on the production of CM-cellulase and - glucosidase using *Aspergillus Niger*. *Afr. J. Biotechnol.* 5 (10), 819-822.
- Oliveira, F.V., Vital, B.R., Silva, J.C., Carneiro, A.C.O, Pimenta, A.S. (2010) Effect of Particle Acetylation of *Eucalyptus Grandis* Wood and the Inclusion of Particles of Polyethylene and Cardboard Packaging of Properties in Crowded Plates. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 34(5), 937-946.

- Onilude, M. A. (2001) Variation in the relationship of fibre length with age of plantation-grown *Teraninalia superba* Eng. And Diels) *Journal of Tropical Forest Resources* Vol. 17(1).
- Owen N.L., Thomas D.W. (1989) Infrared studies of “hard” and “soft” woods, *Appl. Spectroscopy* 43, 451–455.
- Pan, Z., Zheng, Y., Zhang, R., Jenkins, B.M. (2007) Physical Properties of Thin Particleboard Made from Saline Eucalyptus. *Industrial Crops and Products*, 26, 185–194.
- Panshin, A.J., de Zeeuw, C. (1980) *Textbook of wood technology*. 4th Ed, McGraw-Hill. New York.
- Pandey, K.K., Pitman, A.J. (2003) FTIR studies of the changes in wood following decay by brown-rot and white-rot fungi. *International Biodeterioration and Biodegradation* 52, 151–160.
- Papadopoulos, A.N., Gkaraveli, A. (2003) Dimensional Stabilization and Strength of Particleboard by Chemical Modification with Propionic Anhydride. *Holz als Roh- und Werkstoff* 61(2), 142–144.
- Parham, R. A., Gray R. L. (1984) Formation and structure of wood. In: *The Chemistry of Solid Wood*. R. M. Rowell (Ed.). American Chemical Society, Washington, D.C., 43-45.
- Pereira, C., Carvalho, L.H., Costa, C.A.V. (2006) Modeling the Continuous Hot-pressing of MDF. *Wood Science and Technology*, 40, 308-326.
- Perry, H.J. (1969) *Chemical Engineers Handbook*, McGraw – Hill Book Comp., New York – London – Toronto.
- Pelaez-Samaniego, M.R., Yadama, V., Garcia-Perez, T., Lowell, E., Amidon, T. (2014) Effect of hot water extracted hardwood and softwood chips on particleboard properties, *Holzforschung* 68(7), 807-815.
- Paredes, J.J., Jara, R., Van Heiningen, A., Shaler, S. (2008) Influence of hemicellulose extraction on physical and mechanical behavior of OSB. *Forest Product Journal* Vol. 58(12), 56-62.
- Paredes, J.J., Mills, R., Shaler, S.M., Gardner, D.J., and Van Heiningen, A. (2009) Surface characterization of Red Maple strands after hot water extraction, *Wood Fiber Science* 41(1), 38-50.

- Piccolo, M., Cavallo, E., Macchioni, N., Pignatelli, O., Pizzo, B., Santoni, I. (2011) Spectral Characterisation Of Ancient Wooden Artefacts With The Use Of Traditional IR Techniques And Atr Device: A Methodological Approach, e-PS, 8, 23-28.
- Ping, L., Gambier, F., Pizzi, A., Guo, Z.D., Brosse, N. (2012) Wood adhesives from agricultural by-products: lignins and tannins for the elaboration of particleboards Cellulose Chem. Technol., 46 (7-8), 457-462.
- Popović, J., Điporović-Momčilović, M. (2012) Uticaj hemijskih tretmana na dimenzionalnu stabilnost drveta poljskog jasena - prvi deo: tangencijalno bubrenje, Glasnik Šumarskog fakulteta, Beograd, br. 106, 151-168.
- Posebna osnova gazdovanja šumama za G.J. "Neprečava-Varoš-Lazarica" (2005-2014), Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2005.
- Rahman, S.H.A., Choudhury, J.P., Ahmad, A.L., Kamaruddin, A.H. (2007) Optimization studies on acid hydrolysis of oil palm empty fruit bunch fiber for production of xylose. Bioreasour. Technol. 98(3), 554-559.
- Ramos, L.P. (2003) The Chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials, Quim. Nova, Vol. 26, No. 6, 863 – 871.
- Rao, R.S., Jyothi, Ch.P., Prakasham, R.S., Sarma, P.N., Rao, L.V. (2006) Xylitol production from corn fiber and sugarcane bagasse hydrolysates by *Candida tropicalis*, Bioresource Technology, Vol. 97, Iss. 15, 1974–1978.
- Rezayati, Charani, P., Mohammadi Rovshandeh J., Mohebbi B., Ramezani O. (2007) Influence of hydrothermal treatment on the dimensional stability of beech wood, Caspian J. Env. Sci. 2007, Vol. 5, No.2, 125-131.
- Richmond, P.A. (1991) Occurrence and functions of native cellulose, Chapter 1 In: Biosynthesis and Biodegradation of cellulose, by Cadence Haigler H. and aul J. Weimer, Marcel Dekker, Inc., New York-Basel-Hong Kong, 5-23.
- River, B.H., Vick, C.B., Gillespie, R.H. (1991) Wood as an adherend. In: Minford, J.D. (Ed.), Treatise on Adhesion and Adhesives. Vol. 7. Marcel Dekker, New York.

- Rodríguez-Chonga, A., Ramírez, J.A., Garrote, G., Vázquez, M. (2004) Hydrolysis of sugar cane bagasse using nitric acid: a kinetic assessment. *J. Food Eng.* 61(2), 143-152.
- Rojo, E., Alonso, M.V., Domínguez, J.C., Del Saz-Orozco, B., Oliet, M., Rodriguez, F. (2013) Alkali treatment of viscose cellulosic fibers from eucalyptus wood: Structural, morphological, and thermal analysis, *Journal of Applied Polymer Science* Volume 130, Issue 3, 2198–2204.
- Rosa, S.M.L., Rehman, N., De Miranda, M.I.G., Nachtigall, S.M.B., Bica, C.I.D. (2012) Chlorine-free extraction of cellulose from rice husk and whisker isolation. *Carbohydrate Polymers*, 87, 1131–1138.
- Rowell, R. (1984) *The Chemistry of Solid Wood*, American Chemical Society, Washington, D. C.
- Rowell, R. M., Tillman, A.M., Zhengtian, L. (1986) Dimensional Stabilization of Flakeboard by Chemical Modification. *Wood Science and Technology*, 20(1), 83-95.
- Rulliaty, S., America, W.A. (1995) Natural variations in wood quality indicators of Indonesia big leaf Mahogany (*Swietenia macrophylla*) King XX IUFRO World more than other models. *Congress Proceeding, Tempere, Finland*, 205.
- Saha, B.C. (2003) Hemicellulose bioconversion, *J Ind Microbiol Biotechnol* 30, 279-291.
- Saka, S. (2001) Chemical composition and distribution, chapter 2 In: “Wood and cellulose chemistry “ by David N.-S. Hon and Nobuo Shiraishi, Marcel Dekker, Inc., New York-Basel, 51-81.
- Sánchez, O.J., Cardona, C.A. (2008) Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresour. Technol.* 99(13), 5270-5295.
- Sattler, C., Labbe, N., Harper, D., Elder, T., Rials, T. (2008) Effects of Hot Water Extraction on Physical and Chemical Characteristics of Oriented Strand Board (OSB) Wood Flakes. *Clean Soil Air Water*, Volume 36(36), 674-681.

- Satyamurthy, P., Jain, P., Balasubramanya, R. H., Vigneshwaran, N. (2011) Preparation and characterization of cellulose nanowhiskers from cotton fibres by controlled microbial hydrolysis. *Carbohydrate Polymers*, 83, 122–129.
- Schwald, W., Brownell, H.H., Saddler, J.N. (1988) Enzymatic hydrolysis of steampretreated aspen wood: Influence of partial hemicellulose and lignin removal prior to pretreatment, *J. Wood Chem. Tech.* 8, 4, 543–560.
- Sepall, O., Mason, S.G. (1961) Hydrogen exchange between cellulose and water. I. Measurement of accessibility. *Canadian Journal of Chemistry*, 39, 1934–1943.
- Sernek, M., Boonstra, M., Pizzi, A., Despres, A., Gerardin, P. (2008) Bonding performance of heat treated wood with structural adhesives. *Holz Roh Werkst* 66:173–180.
- Siau, J.F. (1984) *Transport Processes in Wood*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo.
- Sisojević, D. (1982) *Anatomija drveta*, Institut za preradu drveta, Šumarski fakultet, Beograd.
- Silverstein, R.M., Bassler, G C, Morrill, T.C. (1981) *Spectrometric identification of organic compounds*. John Wiley and Sons, New York, NY., 442.
- Sivers, M., von Zacchi, G. (1995) A techno-economical comparison of three processes for the production of ethanol from wood. *Bioresour Technol* 51, 43–52.
- Sivers, M., von Zacchi, G. (1996) Ethanol from lignocellulosics: a review of the economy. *Bioresour Technol* 56, 131–140.
- Sjöström, E., (1981) The structure of wood, Chapter 1 In: *Wood chemistry: Fundamental and applications*, Academic press, New York, 1-20
- Skaar, C. (1988) *Wood-Water Relations*, Berlin Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo.
- Spiridon, I., Teaca, C.A., Bodirlau, R. (2010) Pretreatment with ionic liquids, *BioResources* 6(1), 400-413.

- Stamm, A.J. (1964) Microscopic structure of wood, Chapter 1 In: Wood and cellulose science, The Ronald press company, New York, 1-33.
- Stevanović-Janežić, T., Teržan, N., Pjević, V., Bujanović, B. (1988) Uporedna analiza hemijskog sastava drveta bukve (*Fagus moesiaca*)- juvenilno i zrelo drvo, Šumarstvo, br. 5-6, 3-8.
- Stevanović-Janežić, T. (1993) Hemija drveta sa hemijskom preradom - Prvi deo: Hemija drveta Jugoslavija publik, Beograd.
- Stevanović-Janežić, T., Bujanović B. (1998) Praktikum - Hemija drveta sa hemijskom preradom Prvi deo: Hemija drveta. Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd.
- Stevanović-Janežić T., Kolin, B., Jaić, M., Danon, G. (1995) Unapređenje tehnologija drveta u korelaciji sa svojstvima hemijskih konstituenata drveta, monografija, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd.
- Stewart, J.J., Akiyama, T., Chapple, C., Ralph, J., Mansfield, S.D. (2009) The effects on lignin structure of overexpression of ferulate 5-hydroxylase in hybrid poplar. *Plant Physiol* 150, 621–635.
- Sun, Y., Cheng, J. (2002) Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. *Bioresour. Technol.* 83(1), 1-11.
- Sumi, Y., Hale, R.D., Meyer, J.A., Leopold, B., Ranby, B.G. (1964) Accessibility of wood and wood carbohydrates measured with tritiated water. *Tappi*, 47(10), 621–624.
- Šoškić B., Popović Z. (2002) Svojstva drveta, Šumarski fakultet, Beograd.
- Švab, M.G. (1964): Udžbenik fizičke hemije u elementarnom prikazu. II izdanje. Naučna knjiga, Beograd.
- Taherzadeh, J.M., Karimi, K. (2007) Acid- Based Hydrolysis Processes For Ethanol From Lignocellulosic Materials: A Review, *BioResources* 2(3), 472-499.
- Taherzadeh, M.J., Karimi, K. (2008) Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review *International Journal of Molecular Sciences*, 2008, 9, 1621-1651.
- Tarkow, H., Feist, W. C. (1969) A Mechanism for Improving the Digestibility of Lignocellulosic Materials with Dilute Alkali and Liquid NH₃, American Chemical Society, Washington DC.

- Thomsen, M.C., Belinda, A. (2007) Wet oxidation pretreatment of lignocellulosic residues of sugarcane, rice, cassava and peanuts for ethanol production. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 82(2), 174-181.
- Thoemen, H. Humphrey, P.E. (2003) Modeling the Continuous Pressing Process for Wood-Based Composites. *Wood and Fiber Science*, 35(3), 456-468.
- Timell, T.E., (1967) Recent progress in the chemistry of wood hemicelluloses. *Wood Sci. Technol.* 1, 1, 45-70.
- Tjeerdsma, B.F., Militz, H. (2005) Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. *Holz Roh- Werkst* 63(2), 102-111.
- Torre, P., Aliakbarian, B., Rivas, B., Domínguez, J.M., Converte, A. (2008) Release of ferulic acid from corn cobs by alkaline hydrolysis. *Biochem. Engng J.* 40(3), 500-506.
- Torres, M.L., Lloréns, M.C.E. (2008) Effect of alkaline pretreatment on anaerobic digestion of solid wastes. *Waste Manag.* 28(11), 2229- 2234.
- Troedec, M. Sedan, D. Peyratout, C. Bonnet, J. Smith, A. Guinebretiere, R. Gloaguen, V., Krausz, P. (2008) Influence of various chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres compos. Part A: Vol. 39, 514-522.
- Tunc, M.S., van Heiningen, A.R.P., (2008) Hydrothermal dissolution of mixed southern hardwoods, *Holzforschung*, 62(5), 539-545
- Ugrenović, A (1950): Tehnologija drveta, Zagreb.
- Vasiljević, S. (1967) Anatomija šumskog drveća. Univerzitetski udžbenik. Beograd.
- Vázquez, M.J., Alonso, J.L., Dominguez, H., Parajó, J.C., (2001) Production of xylose-containing fermentation media by enzymatic post-hydrolysis of oligomers produced by corn cob autohydrolysis, *W. J. Microb. Biotechnol.* 17, 817-822.
- Vikstrom, B., Nelson, P. (1980) Mechanical properties of chemically treated wood and chemimechanical pulps. *Tappi* 63(3), 87-91.
- Vilotić, D. (2000) Uporedna anatomija drveta. Univerzitetski udžbenik. Beograd.
- Walker, J. C. F. (2006) Primary Wood Processing, Principles and Practice, 2nd edition, Springer.

- Wang, S., Winistorfer, P.M. (2002) Monitoring In-situ Density Change for In-process Measurement and Control of Hot-Pressing. *Forest Products Journal*, 52(7/8), 77-82.
- Wang, B., Panigrahi, S., Tabil, L., Crerar, W. (2007) Pretreatment of flax fibres for use in rotationally molded biocomposites. *Reinforced Plastics and Composites*, 26(5), 447-463.
- Watanabe, F., Tadaki, S. Takaoka, M. Ishino, M. Morimoto, I. (1989) Killing activities of the volatiles emitted from essential oils for *Dermatophagoides pteronyssinus*, *Dermatophagoides farinae* and *Tyrophagus putrescentiae*. *Shoyakugaku Zasshi* 43, 163-168.
- Winandy, J.E., Stark, N.M., Horn, E. (2008) Wood-plastic composites using thermomechanical pulp made from oxalic acid pretreated red pine chip. The 7th global WPC and natural fiber composites congress and exhibition, Kassel, Germany.
- Wolcott, M.P., Kamke, F.A., Dillard, D.A. (1990) Fundamentals of Flakeboard Manufacture: Viscoelastic Behavior of the Wood Component. *Wood and Fibre Science*, 22(4), 345-361.
- Wyman, C.E. (1996) Handbook on bioethanol: production and utilization; Taylor & Francis: Washington DC, USA.
- Xiao, C., Bolton, R., Pan, W.L. (2007) Lignin from rice straw kraft pulping: Effects on soil aggregation and chemical properties. *Bioresour. Technol.* 98(7), 1482-1488.
- Xue, L., Lope, G.T., Satyanarayan, P. (2007) Chemical treatment of natural fibre for use in natural fibre-reinforced composites: A review. *Polymer Environment*, 15(1), 25-33.
- Yan L, Shuya, T. (2006) Ethanol fermentation from biomass resources: Current state and prospects. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 69(6): 627- 642.
- Yazaki, Y., Hillis, W.E. (1977) Polyphenolic extractives of *Pinus radiata* bark. *Holzforschung* 31(1), 20-25.
- Yoon, S.H., van Heiningen, A.R.P. (2008) Kraft pulping and papermaking properties of hot-water pre-extracted loblolly pine in an integrated forest products biorefinery, *Tappi J.* 7(7), 22-27.

- Youngquist, J.A., Krzysik, A., Rowell, R.M. (1986 a) Dimensional Stability of Acetylated Aspen Flakeboard. *Wood and Fiber Science*, 18(1), 90-98.
- Youngquist, J.A., Rowell, R.M., Krzysik, A. (1986 b) Mechanical Properties and Dimensional Stability of Acetylated Aspen Flakeboards. *Holz als Roh- und Werkstoff* 44, 453–457.
- Zhang, Y.H.P., Lynd, L.R., (2004) Towards an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: Noncomplexed cellulase systems. *Biotechnology and Bioengineering*, 88, 797-824.
- Zhang, Y., Hosseinaei, O., Wang, S., Zhou, Z. (2011) Influence of hemicelluloses extraction on water uptake behavior of wood strands, *Wood and Fiber Science*, 43(3), 244-250.
- Zhang, S.Y., Wang, C.G., Fei, B.H, Yu Y., Cheng, H.T., Tian, G.L. (2013) Mechanical Function of Lignin and Hemicelluloses in Wood Cell Wall Revealed with Microtension of Single Wood Fiber, *BioResources* 8(2), 2376-2385.
- Zhao, Y., Wang, Y., Zhu, J.Y., Ragauskas, A., Deng, Y. (2008) Enhanced enzymatic hydrolysis of spruce by alkaline pretreatment at low temperature. *Biotechnol. Bioeng.* 99(6), 1320-1328.
- Zobel, B.J., van Buijtenen, J.P. (1989) *Wood variation its causes and control*. Springer-Verlag. New York.

8. PRILOZI

PRILOG I Uzorkovanje i priprema materijala za ispitivanja

PRILOG I-1. Uzorkovanje drveta poljskog jasena



Slika I-1. Sertifikat šuma J.P. Vojvodinašume



Slika I-2. Uzorci zrelog drveta poljskog jasena



Slika I-3. Uzorci juvenilnog drveta poljskog jasena

PRILOG I-2. Priprema uzoraka drveta i rastvora za ispitivanje uticaja parametara tretmana na svojstva drveta

Tabela I-1. Proračun potrebnih masa hemikalija i vode za svaki autoklav

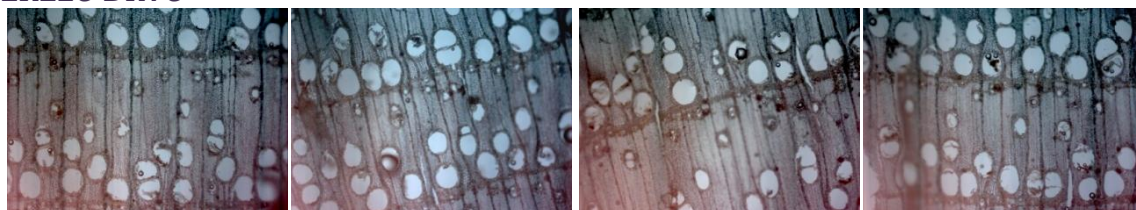
Vrsta tretmana	Oznaka tretmana	Koncentracija rastvora za tretman*	Potrebne mase	Oznaka autoklava					
				4263	4264	4265	4266	4267	4268
Tretman vodom (TV)	TV 1	/	Suva masa drveta, g	119,21	119,22	119,21	119,24	119,23	119,22
			Masa hemikalija, g	/	/	/	/	/	/
			Masa vode, g	584,26	584,30	584,26	584,39	584,36	584,30
	TV 2	/	Suva masa drveta, g	119,24	119,21	119,24	119,23	119,22	119,23
			Masa hemikalija, g	/	/	/	/	/	/
			Masa vode, g	584,39	584,26	584,39	584,35	584,30	584,35
Blago kiseli tretman (KT)	KT 1	0,03 g/g	Suva masa drveta, g	119,23	119,24	119,25	119,26	119,22	119,24
			Masa hemikalija, g	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60
			Masa vode, g	580,75	580,80	580,84	580,89	580,71	580,80
	KT 2	0,06 g/g	Suva masa drveta, g	119,24	119,24	119,23	119,22	119,25	119,24
			Masa hemikalija, g	7,19	7,19	7,19	7,19	7,19	7,19
			Masa vode, g	577,20	577,20	577,16	577,07	577,25	577,20
	KT 3	0,09 g/g	Suva masa drveta, g	119,25	119,22	119,26	119,25	119,22	119,21
			Masa hemikalija, g	10,79	10,78	10,79	10,79	10,78	10,78
			Masa vode, g	573,65	573,52	573,70	573,65	573,52	573,48
	KT 4	0,03 g/g	Suva masa drveta, g	119,21	119,23	119,22	119,21	119,24	119,26
			Masa hemikalija, g	3,60	3,60	3,60	3,59	3,60	3,60
			Masa vode, g	580,67	580,75	580,71	580,67	580,80	580,89
	KT 5	0,06 g/g	Suva masa drveta, g	119,22	119,25	119,24	119,24	119,23	119,25
			Masa hemikalija, g	7,19	7,19	7,19	7,19	7,19	7,19
			Masa vode, g	577,12	577,25	577,20	577,20	577,16	577,25
	KT 6	0,09 g/g	Suva masa drveta, g	119,21	119,22	119,25	119,21	119,27	119,22
			Masa hemikalija, g	10,78	10,78	10,79	10,78	10,79	10,78
			Masa vode, g	573,48	573,52	573,65	573,48	573,74	573,52
Blago alkalni tretman (AT)	AT 1	0,03 g/g	Suva masa drveta, g	119,23	119,24	119,24	119,24	119,21	119,25
			Masa hemikalija, g	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58
			Masa vode, g	584,35	584,39	584,39	584,39	580,68	580,86
	AT 2	0,06 g/g	Suva masa drveta, g	119,25	119,22	119,22	119,23	119,25	119,24
			Masa hemikalija, g	7,16	7,16	7,16	7,16	7,16	7,16
			Masa vode, g	577,28	577,14	577,14	577,19	577,28	584,39
	AT 3	0,09 g/g	Suva masa drveta, g	119,25	119,29	119,28	119,27	119,32	119,25
			Masa hemikalija, g	10,74	10,75	10,75	10,75	10,75	10,74
			Masa vode, g	573,70	573,91	573,87	573,83	574,05	573,70
	AT 4	0,03 g/g	Suva masa drveta, g	119,24	119,25	119,25	119,21	119,23	119,24
			Masa hemikalija, g	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58
			Masa vode, g	580,81	580,81	580,86	580,68	584,35	580,81
	AT 5	0,06 g/g	Suva masa drveta, g	119,24	119,23	119,22	119,23	119,24	119,24
			Masa hemikalija, g	7,16	7,16	7,16	7,16	7,16	7,16
			Masa vode, g	584,39	584,35	577,14	584,35	584,39	584,39
	AT 6	0,09 g/g	Suva masa drveta, g	119,30	119,32	119,29	119,25	119,27	119,28
			Masa hemikalija, g	10,75	10,75	10,75	10,74	10,75	10,75
			Masa vode, g	573,96	574,05	573,91	573,70	573,83	573,87

*koncentracija je računata u odnosu na suhu masu drveta

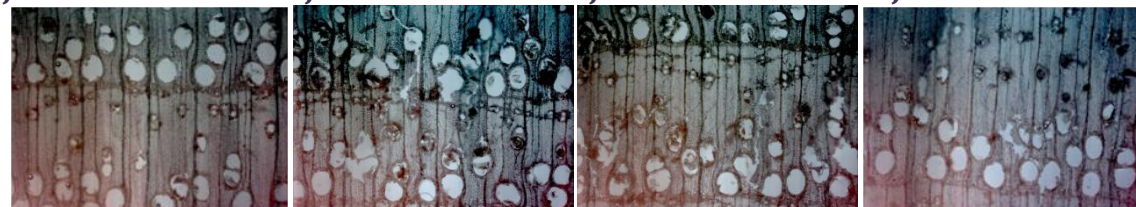
PRILOG II Digitalne fotografije preparata za merenje anatomskih svojstava

PRILOG II - 1. Fotografije preparata poprečnog preseka zrelog i juvenilnog drveta poljskog jasena snimljene za merenje prečnika traheja

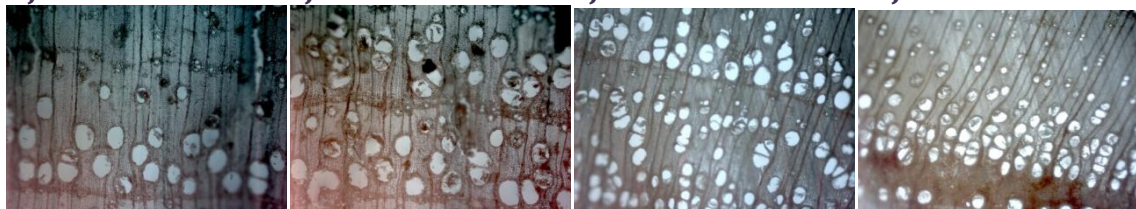
ZRELO DRVO



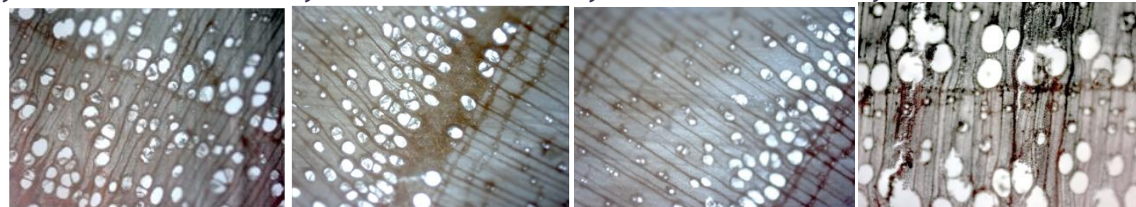
jasen 5x Z 1.1.a 1 jasen 5x Z 1.1.a.2 jasen 5x Z 1.1.a.3 jasen 5x Z 1.1.a 4



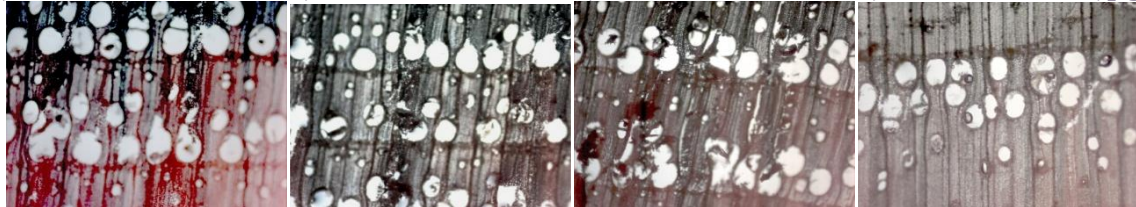
Z jasen 5x 1.1.a 5 jasen 5x 1.1.b 1 jasen 5x 1.1.b 2 jasen 5x Z 1.1.b 3



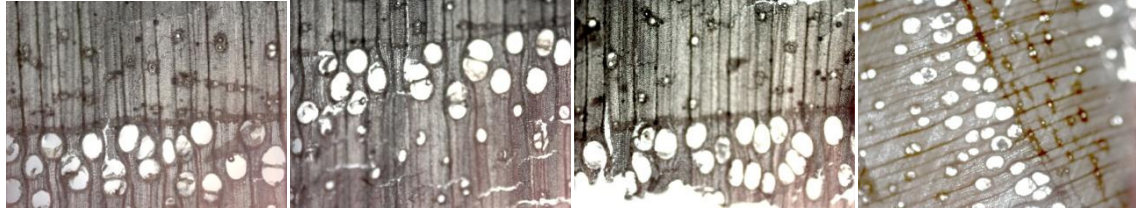
jasen 5x 1.1.b 4 jasen 5x 1.1.b 5 jasen 5x Z 1.1.c 1 jasen 5x Z 1.1.c 2



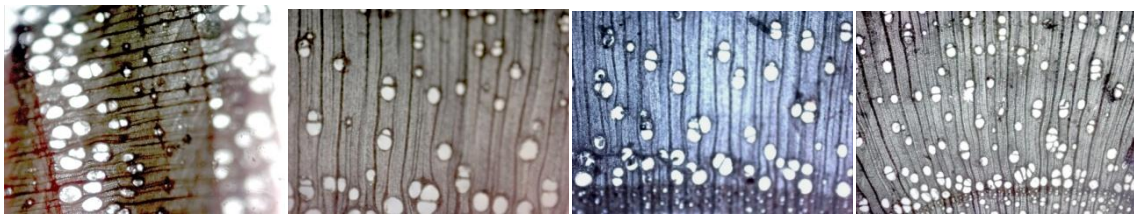
jasen 5x Z 1.1.c 3 jasen 5x Z 1.1.c 4 jasen 5x Z 1.1.c 5 jasen 5x 2.1.a.1.jpg



jasen 5x 2.1.a.2 jasen 5x Z 2.1.a.3 jasen 5x 2.1.a.4 jpg jasen 5x Z 2.1.b.1



jasen 5x Z 2.1.b.2 jasen 5x 2.1.b.3 jasen 5x 2.1.b.4 jasen 5x 2.1.c.1

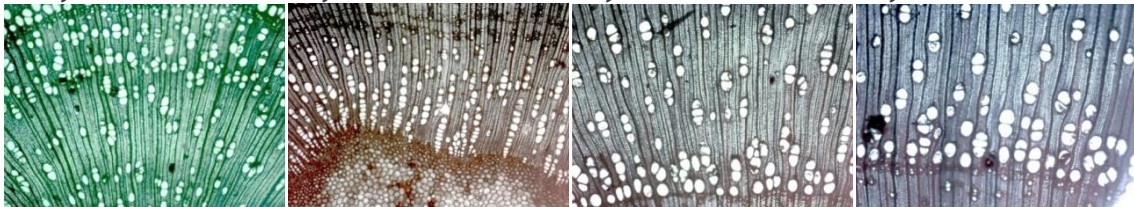


jasen 5x 2.1.c.2

jasen 5x Z 2.2. 1

jasen 5x Z 2.2. 2

jasen 5x Z 2.2. 3



jasen 5x Z 2.2. 4

jasen 5x Z 2.3. 1

jasen 5x Z 2.3. 2

jasen 5x Z 2.3. 4

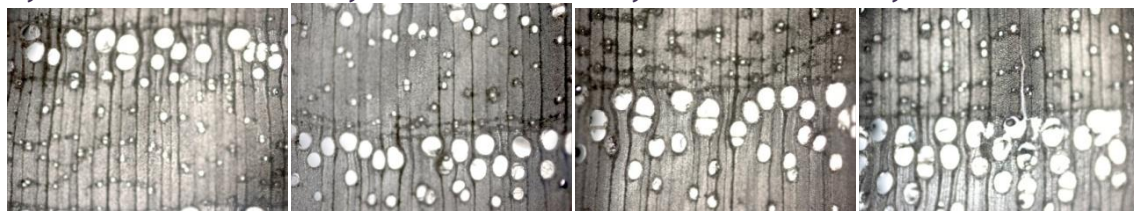


jasen 5x Z 3.1a. 1

jasen 5x 3.1a. 2

jasen 5x Z 3.1a. 3

jasen 5x 3.1a. 4

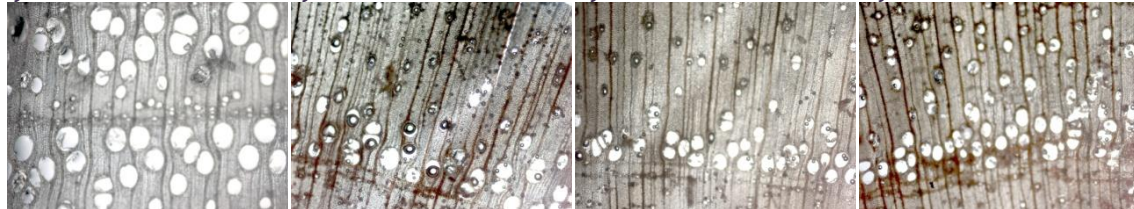


jasen 5x Z 3.1 b 1

jasen 5x 3.1b. 2

jasen 5x Z 3.1 b 3

jasen 5x Z 3.1b. 4



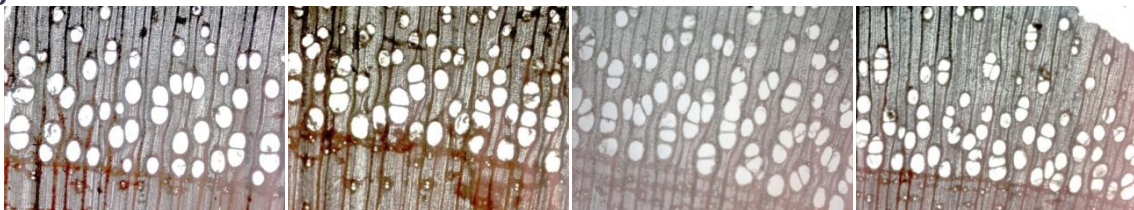
jasen 5x 3.1b. 5

jasen 5x Z 3.1 c 1

jasen 5x 3.1c. 2

jasen 5x 3.1c. 3

JUVENILNO DRVO

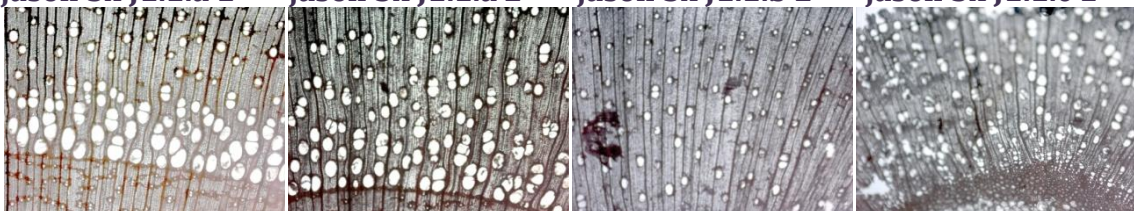


jasen 5x J1.1.a 1

jasen 5x J1.1.a 2

jasen 5x J1.1.b 2

jasen 5x J1.1.c 1

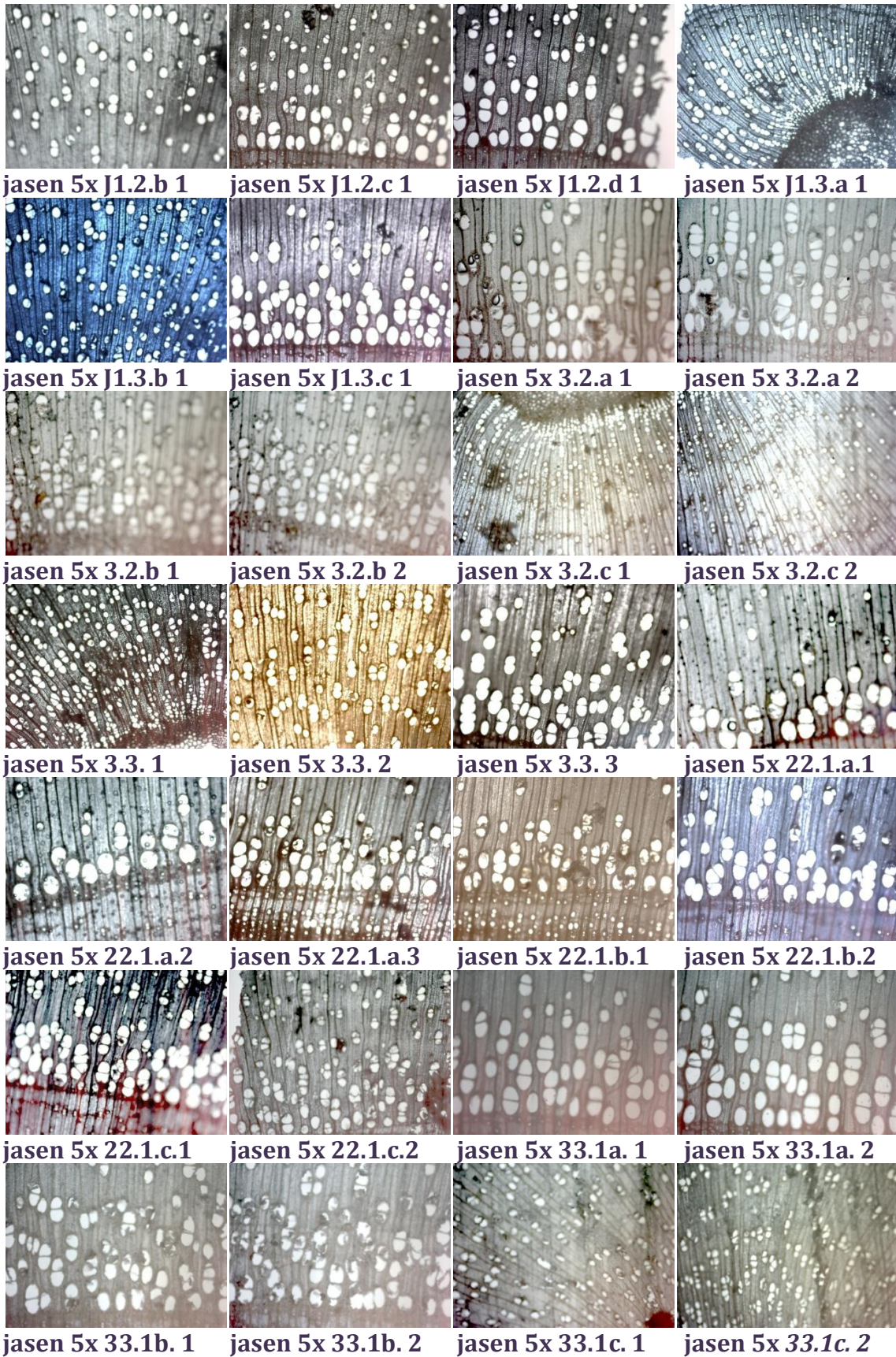


jasen 5x J1.1.c 2

jasen 5x J1.1.c 3

jasen 5x J1.1.c 4

jasen 5x J1.2.a 1



PRILOG II - 2. Fotografije macerata zrelog i juvenilnog drveta poljskog jasena snimljene za merenje dimenzija vlakana

ZRELO DRVO (uvećanje 5x)



z 1.1. 5x e

5x Z 1-2 b

5x Z 1-2 d

5x Z 1-2 f



5x Z 1-2 g

5x Z 1-2 h

5x Z 1-3 a

5x Z 2-2 c



5x Z 2-2 d

5x Z 2-2 g

5x Z 2-3 a

5x Z 2-3 b

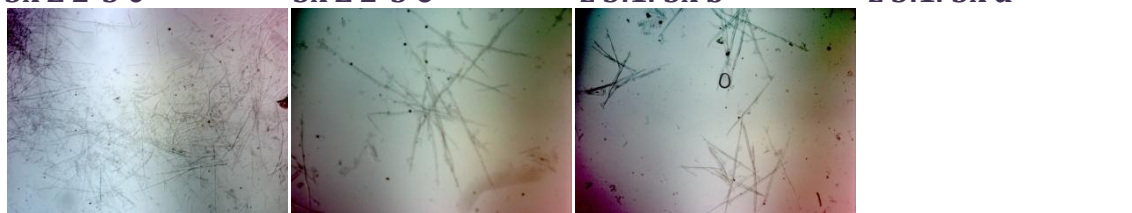


5x Z 2-3 c

5x Z 2-3 e

z 3.1. 5x b

z 3.1. 5x d



z 3.2. 5x b

5x Z 3-3 a

5x Z 3-3 d

ZRELO DRVO (uvećanje 20x)



z 1.1. 20x c

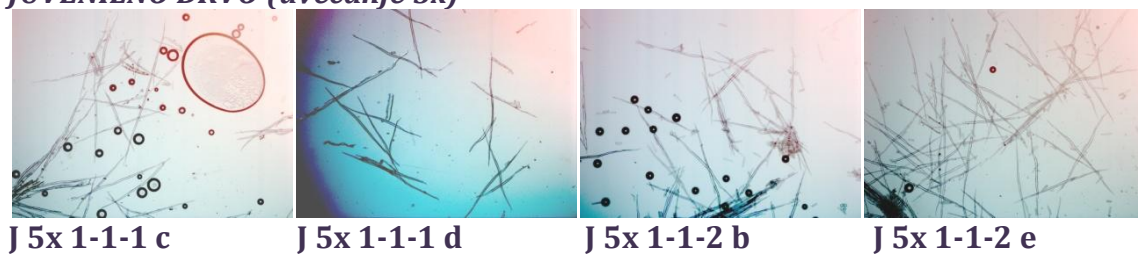
20x Z 1-2 g

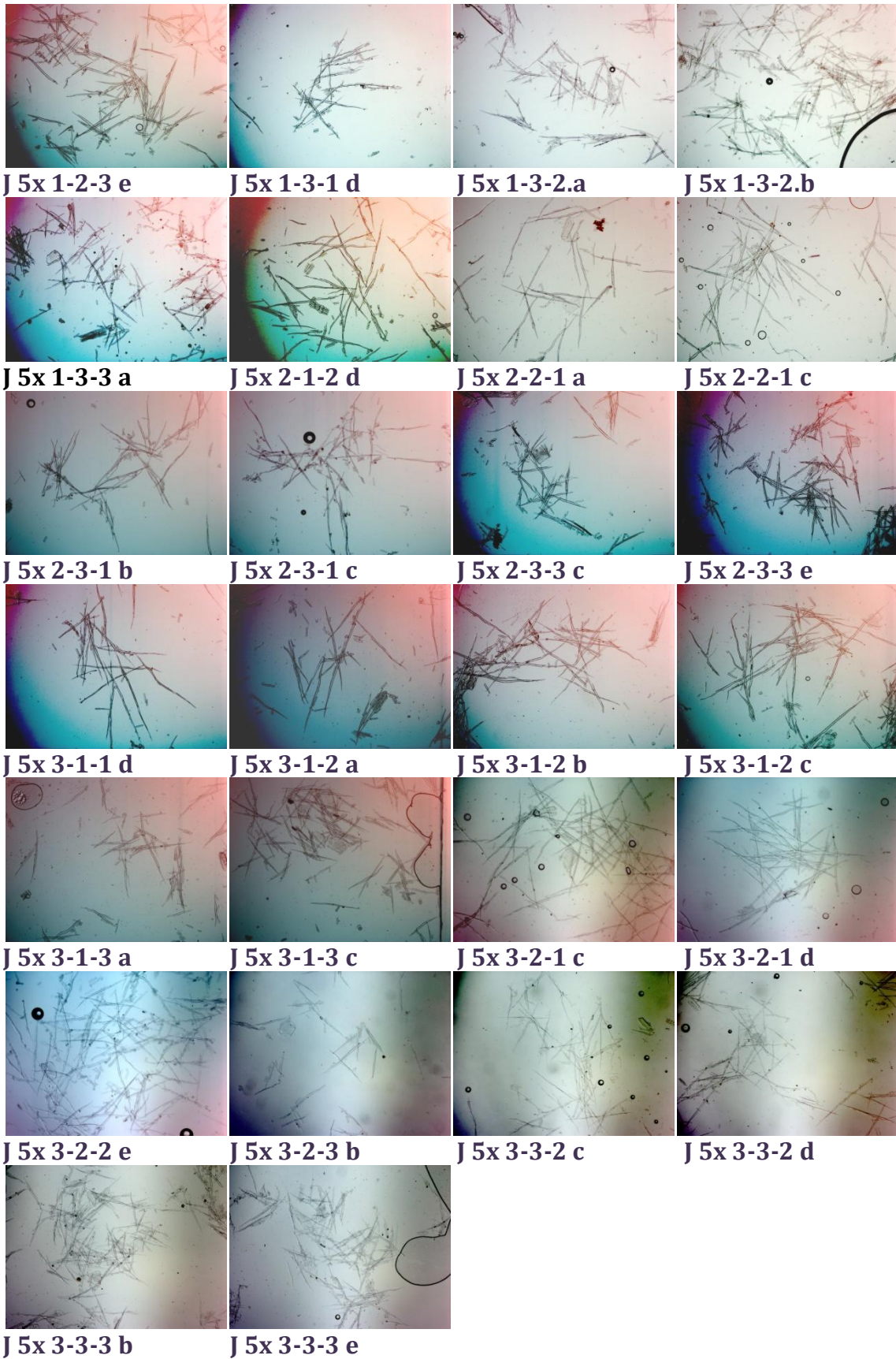
20x Z 1-2 a

20x Z 1-2 d

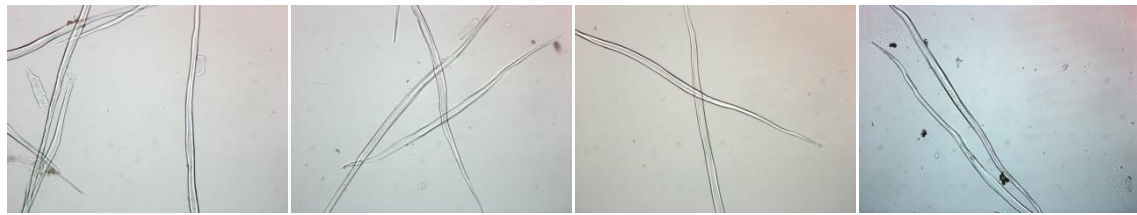


JUVENILNO DRVO (uvećanje 5x)





JUVENILNO DRVO (uvećanje 20x)

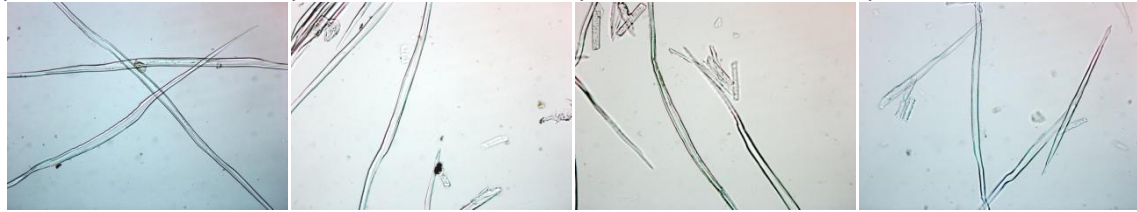


J 20x 1-1-1 a

J 20x 1-1-1 b

J 20x 1-1-1 c

J 20x 1-1-1 e

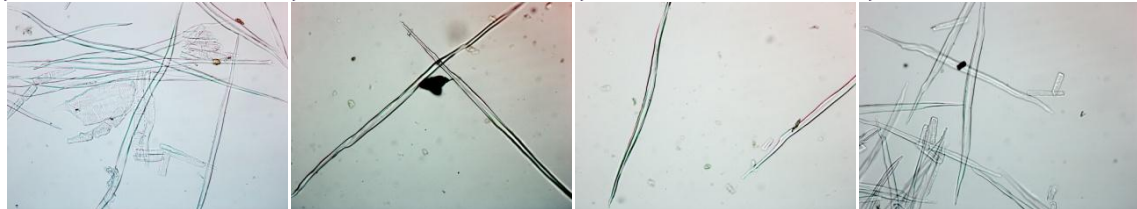


J 20x 1-1-1 f

J 20x 1-1-2 a

J 20x 1-1-2 b

J 20x 1-1-3 b

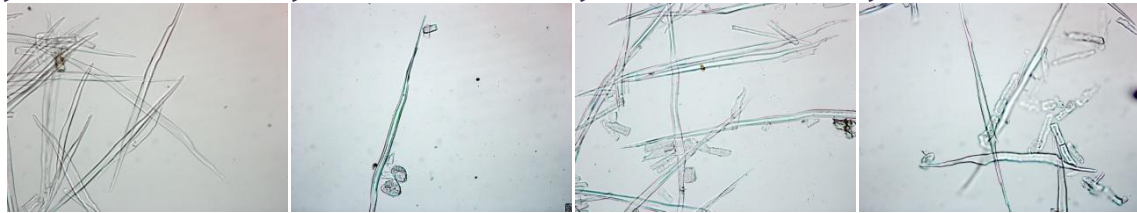


J 20x 1-1-3 e

J 20x 1-2-1 b

J 20x 1-2-1 e

J 20x 1-2-3 c

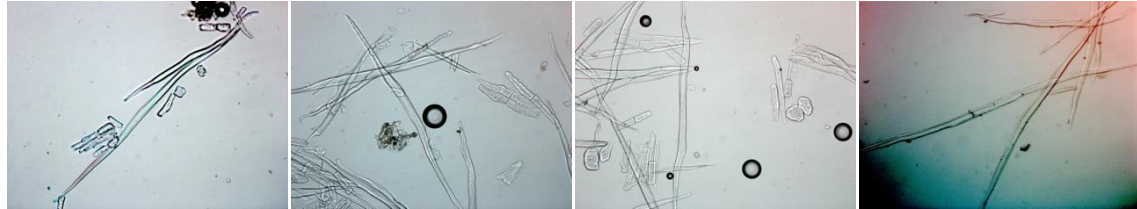


J 20x 1-2-3 e

J 20x 1-3-1 b

J 20x 1-3-1 c

J 20x 1-3-2 a

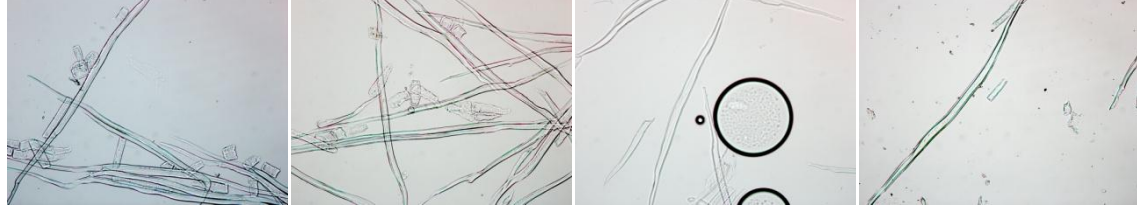


J 20x 1-3-2 b

J 20x 1-3-3 b

J 20x 1-3-3 e

J 20x 2-1-1 b

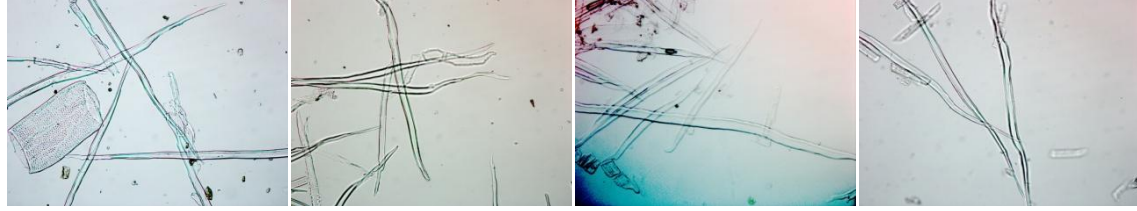


J 20x 2-1-2 b

J 20x 2-1-2 c

J 20x 2-1-3 a

J 20x 2-2-1 a

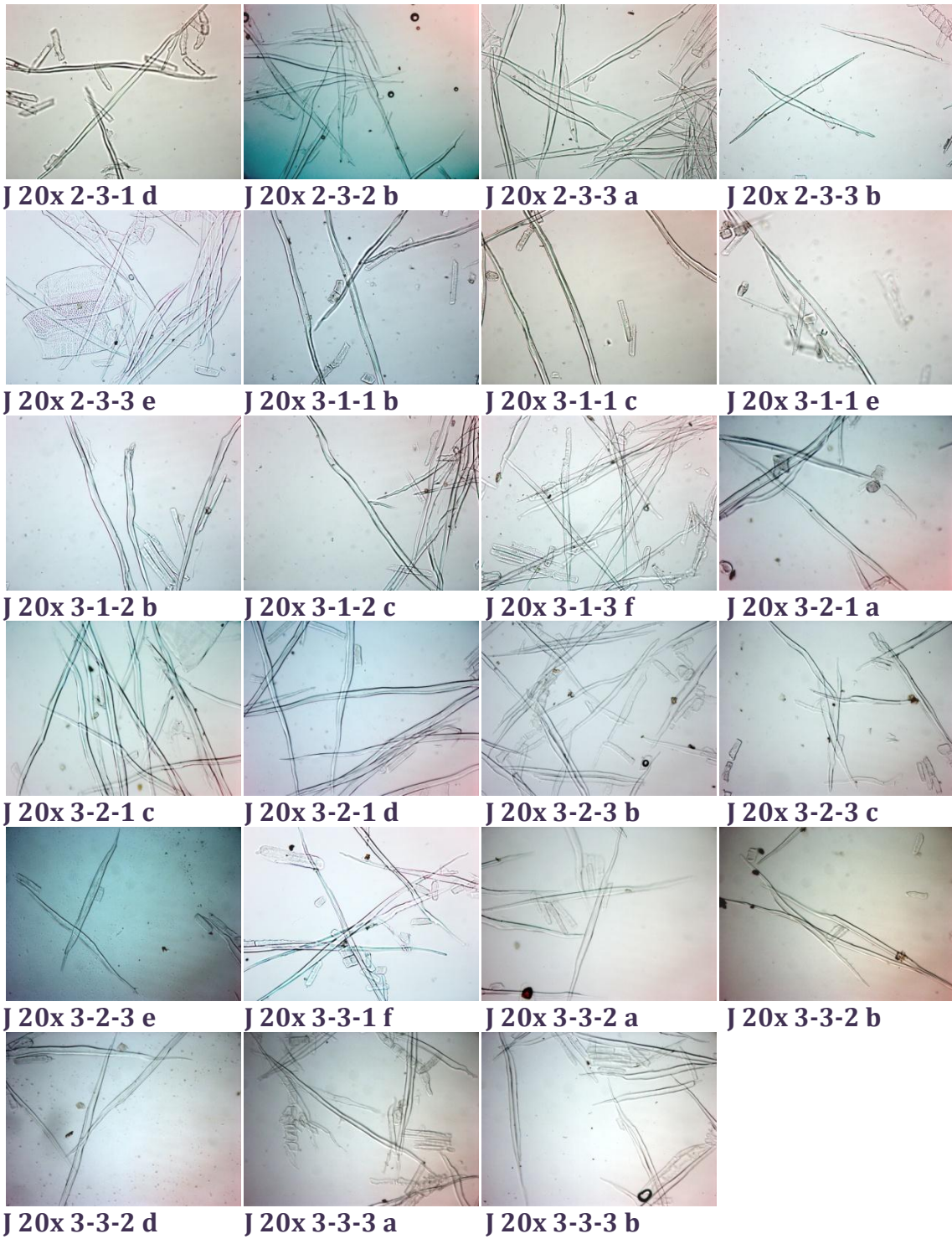


J 20x 2-2-1 b

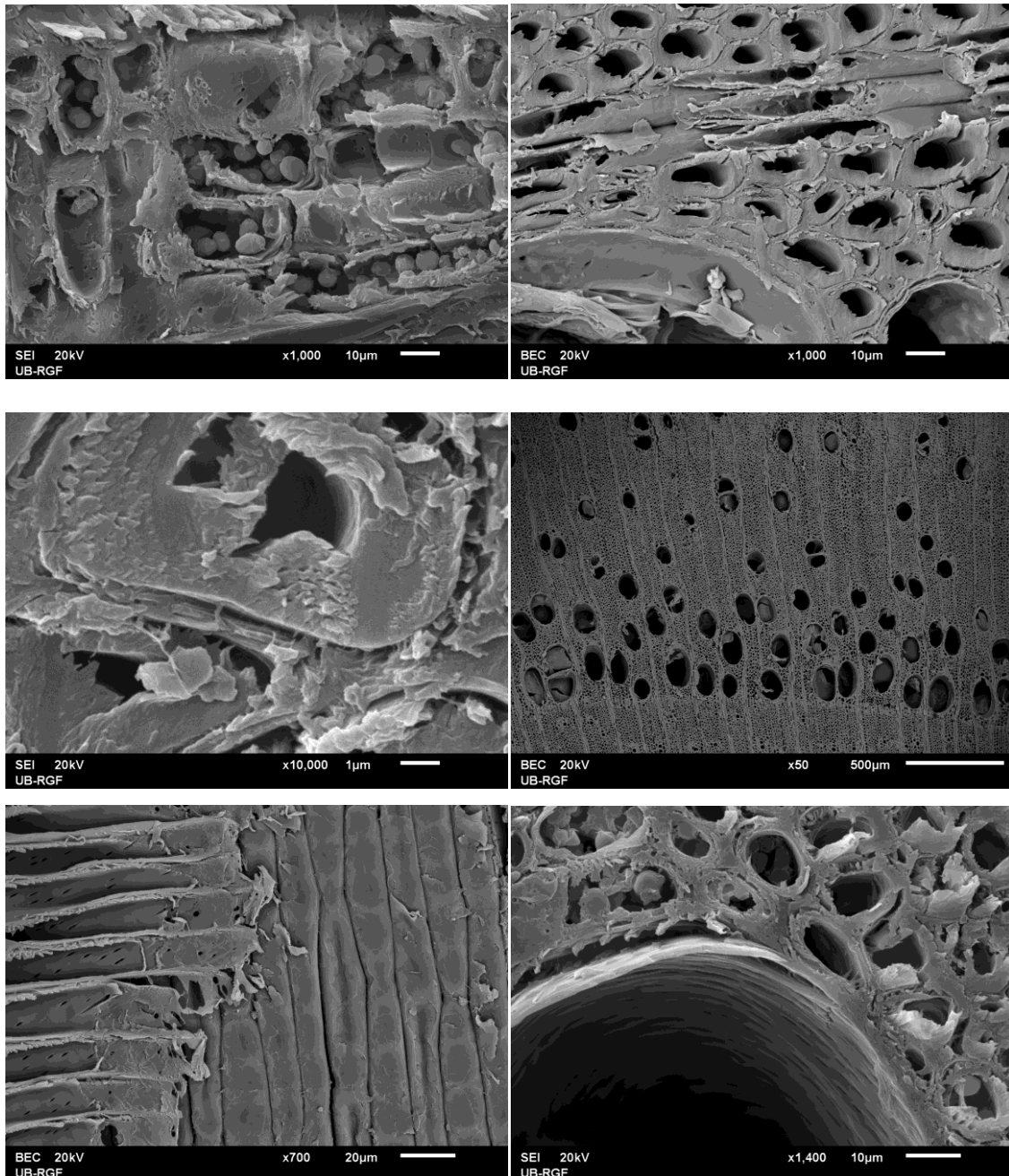
J 20x 2-2-2 b

J 20x 2-2-3 b

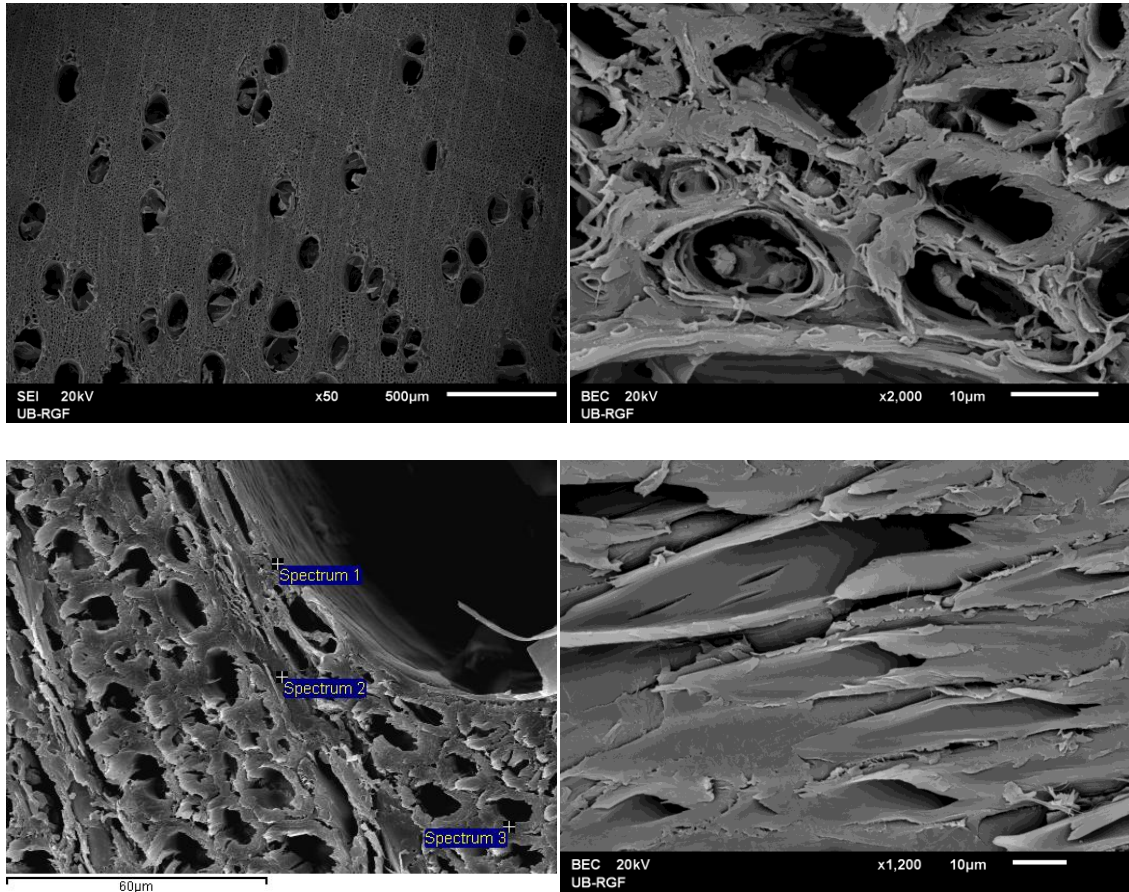
J 20x 2-3-1 a



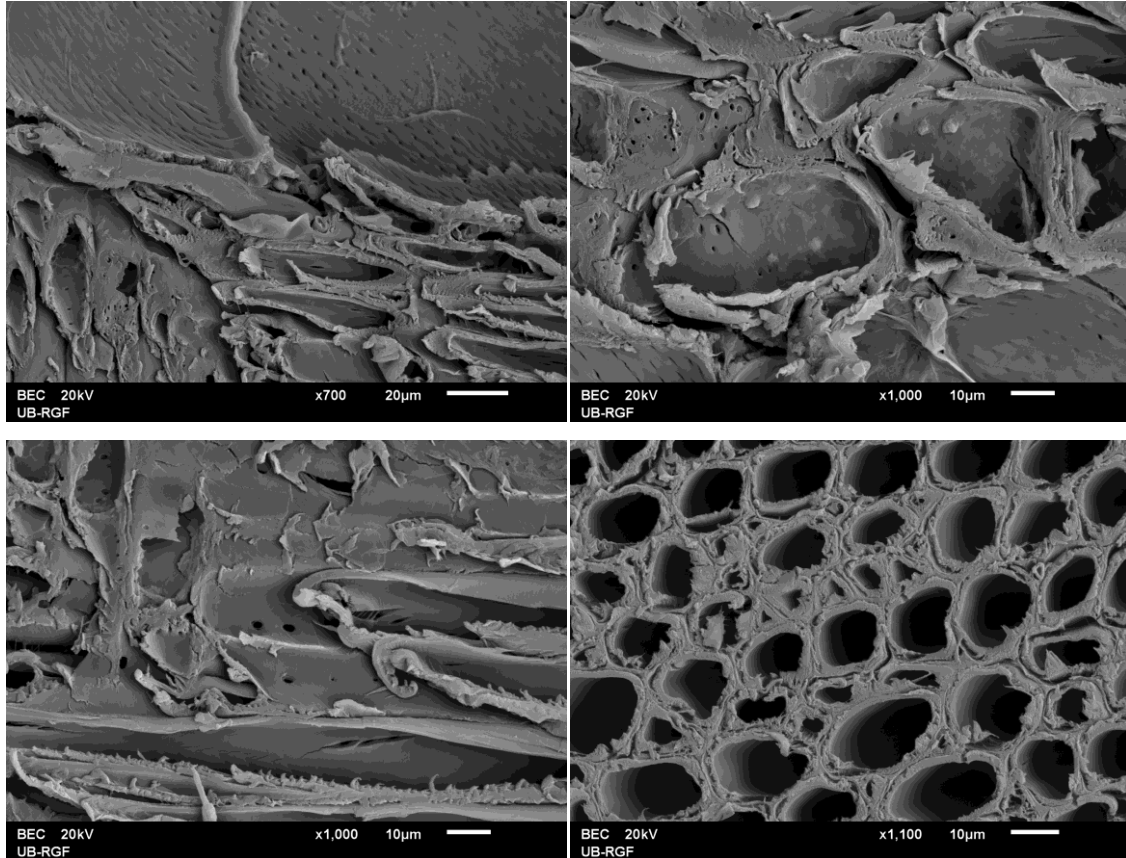
**Prilog III Fotografije juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena
snimljene SEM mikroskopom**



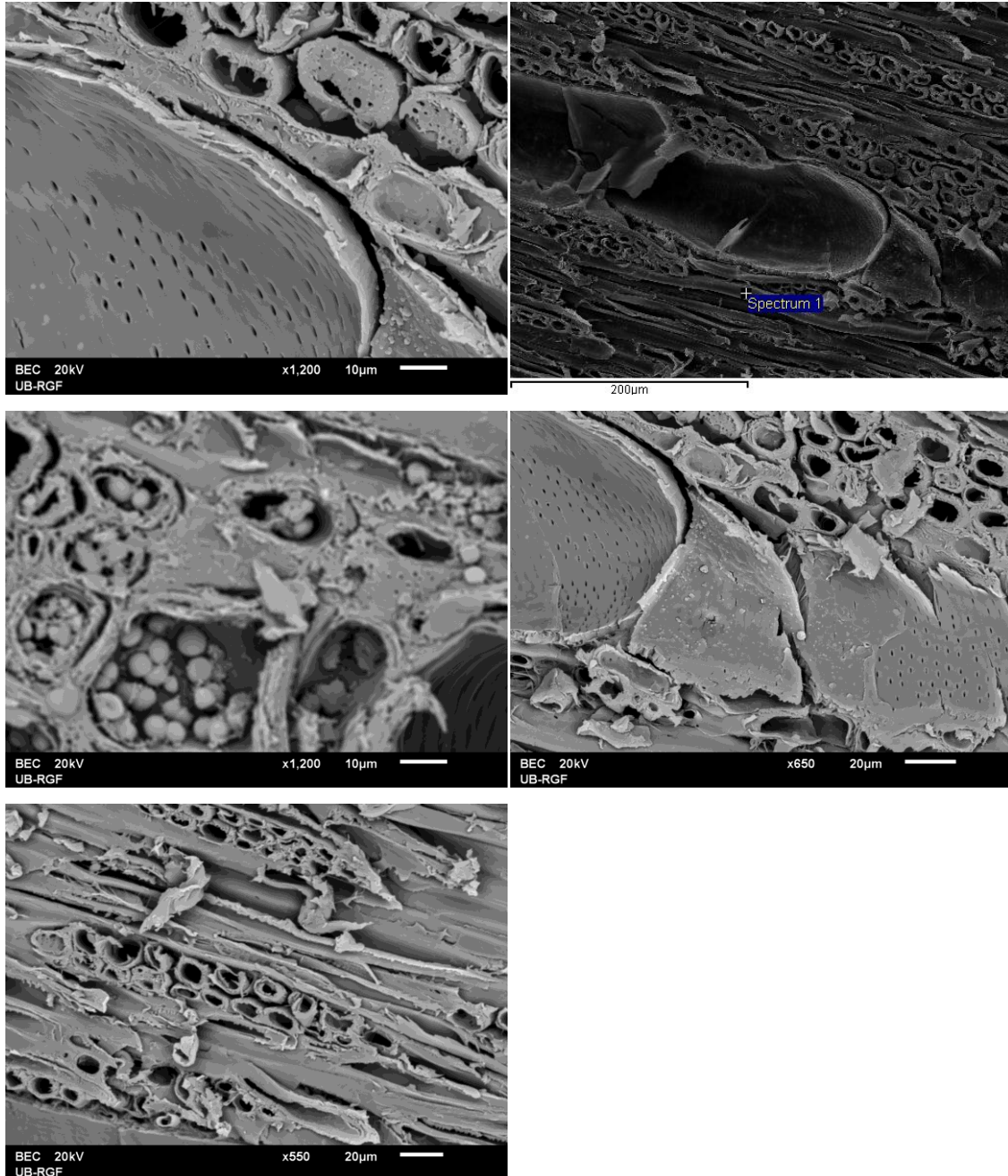
Slika III-1. Fotografije kontrolnih (netretiranih) uzoraka juvenilnog drveta poljskog jasena snimljene SEM mikroskopom



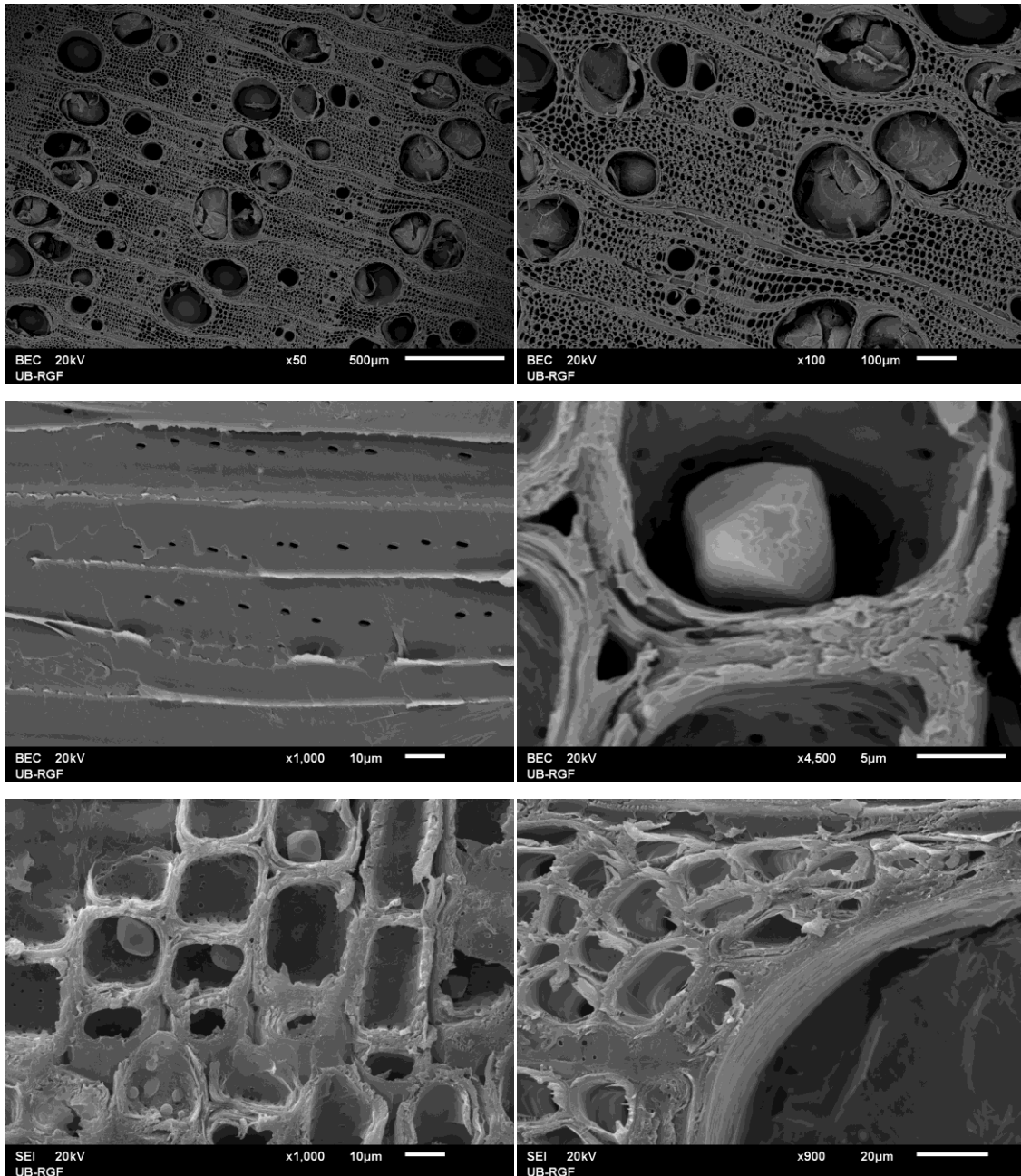
Slika III-2. *Fotografije uzoraka juvenilnog drveta poljskog jasena tretiranog vodom (100 °C) snimljene SEM mikroskopom*



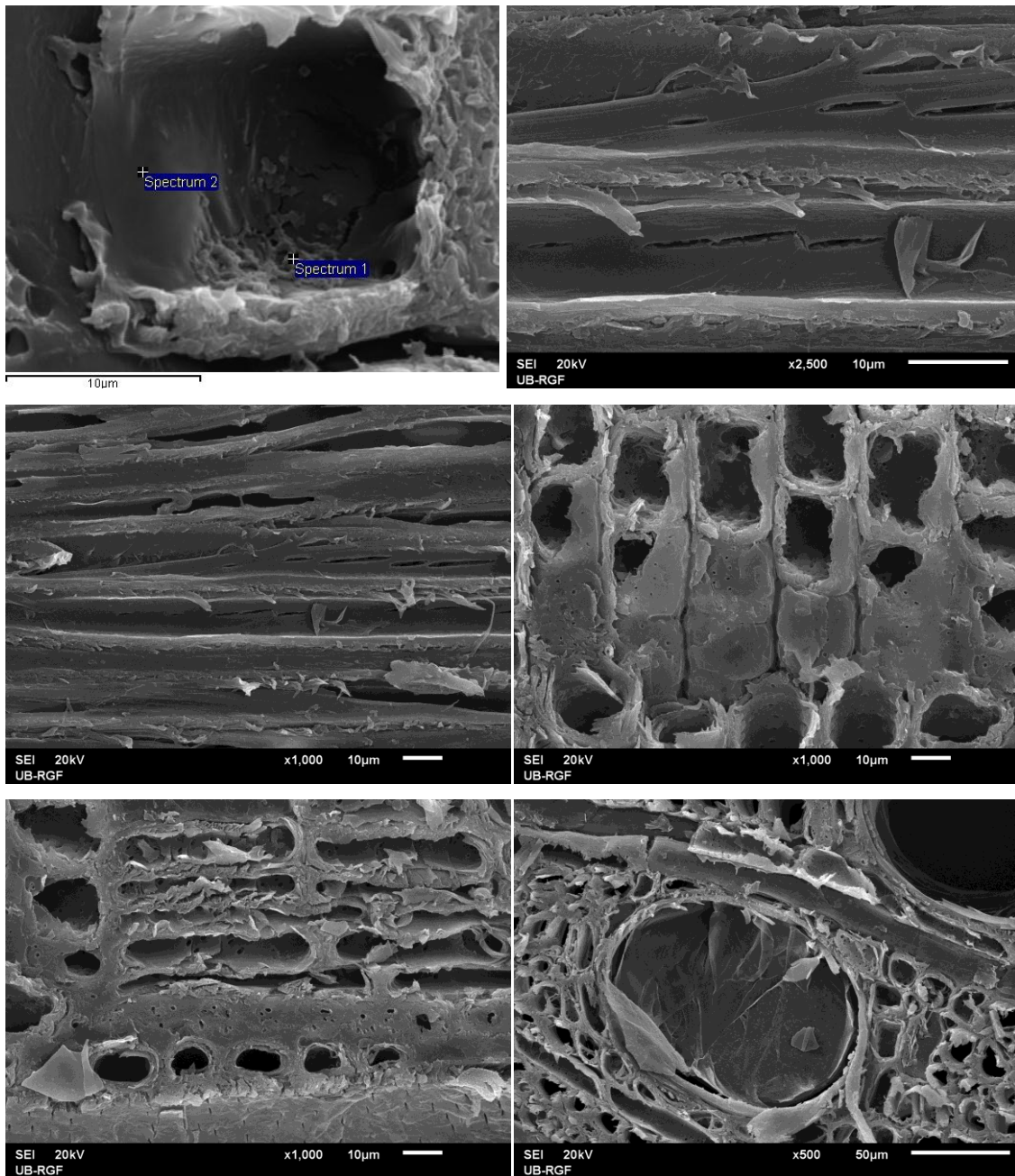
Slika III-3. Fotografije uzoraka juvenilnog drveta poljskog jasena tretiranog sirćetnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C) snimljene SEM mikroskopom



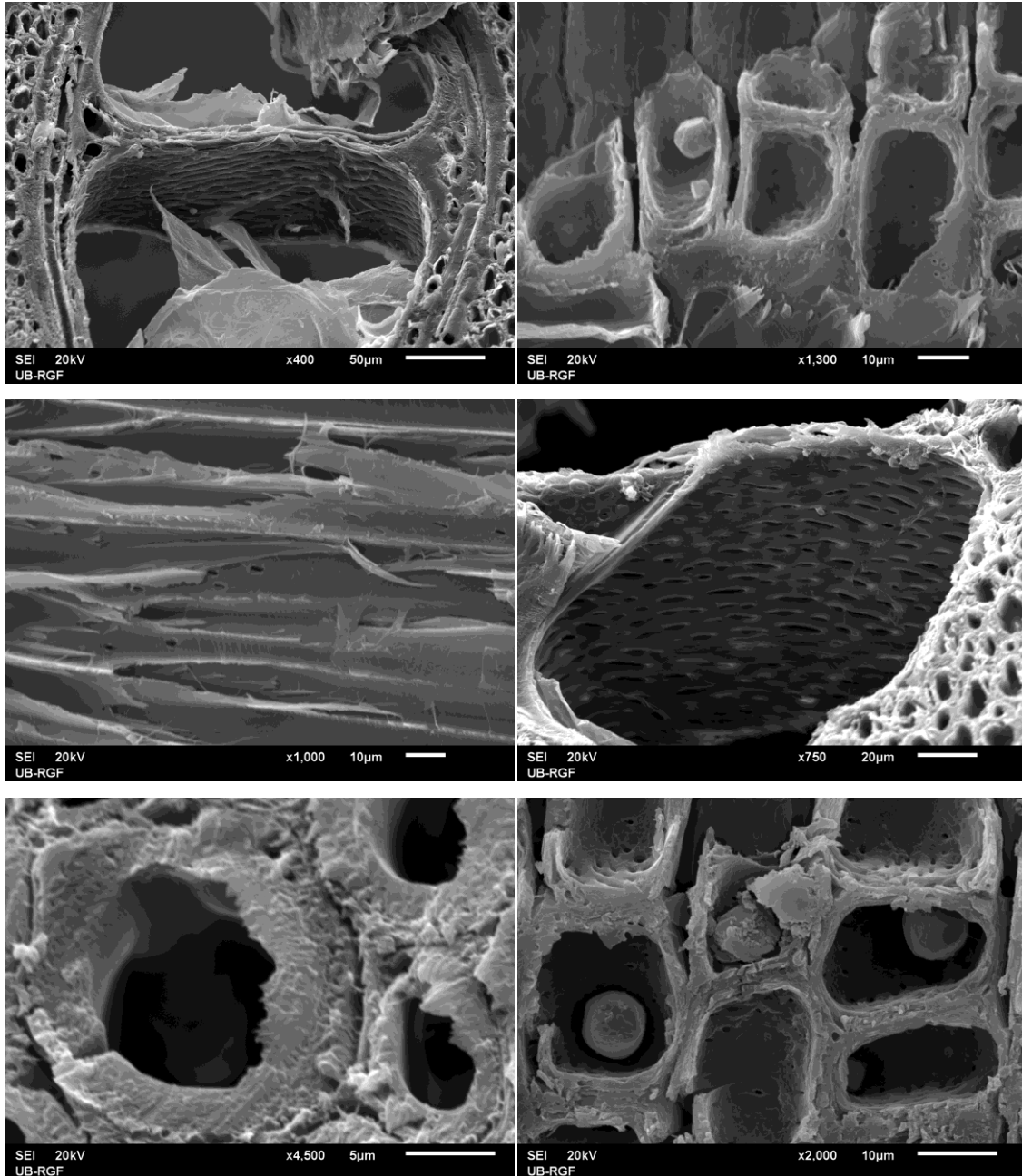
Slika III-4. Fotografije uzoraka juvenilnog drveta poljskog jasena tretiranog natrijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C) snimljene SEM mikroskopom



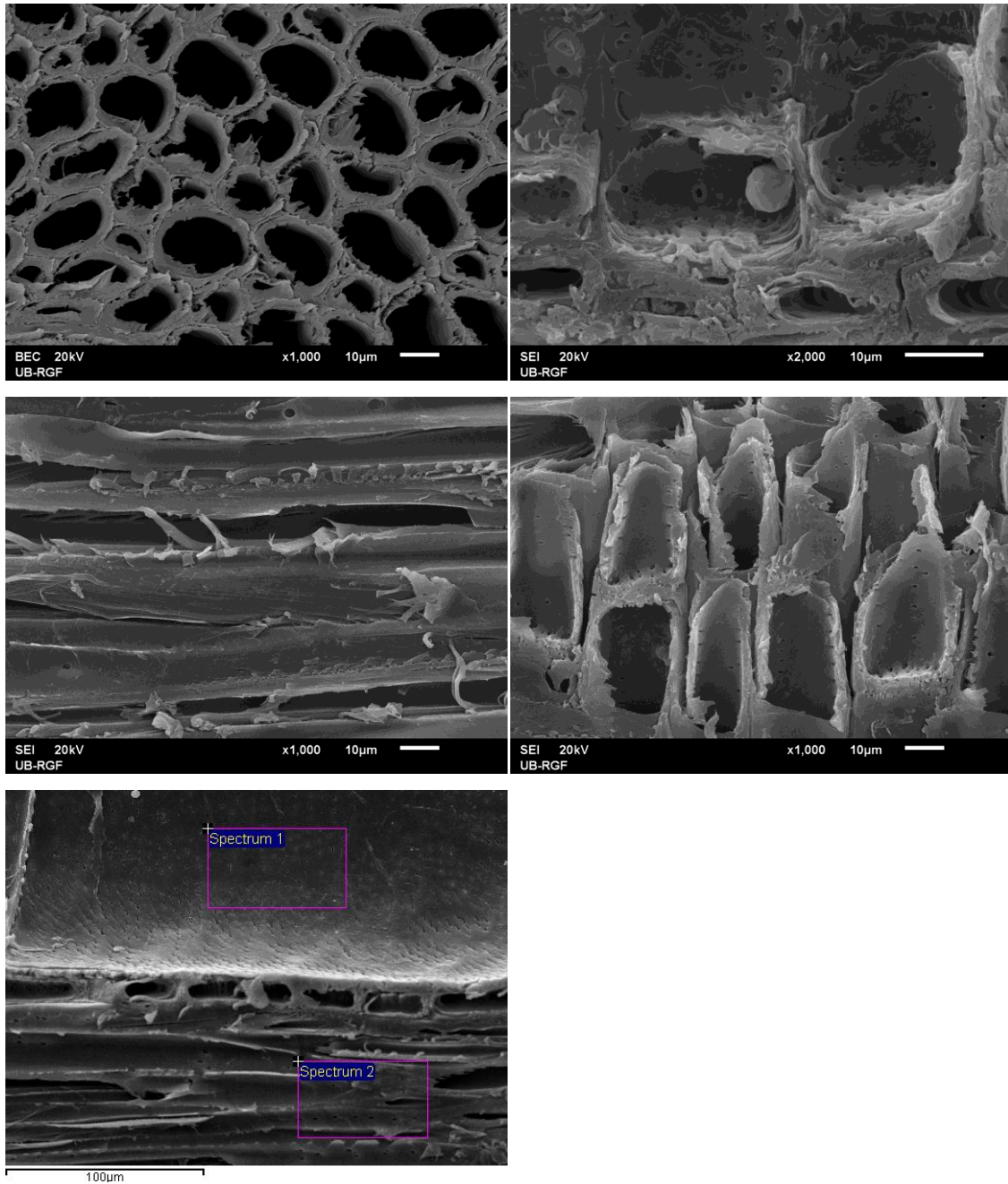
Slika III-5. Fotografije kontrolnih (netretiranih) uzoraka zrelog drveta poljskog jasena snimljene SEM mikroskopom



Slika III-6. Fotografije uzoraka zrelog drveta poljskog jasena tretiranog vodom (100 °C) snimljene SEM mikroskopom

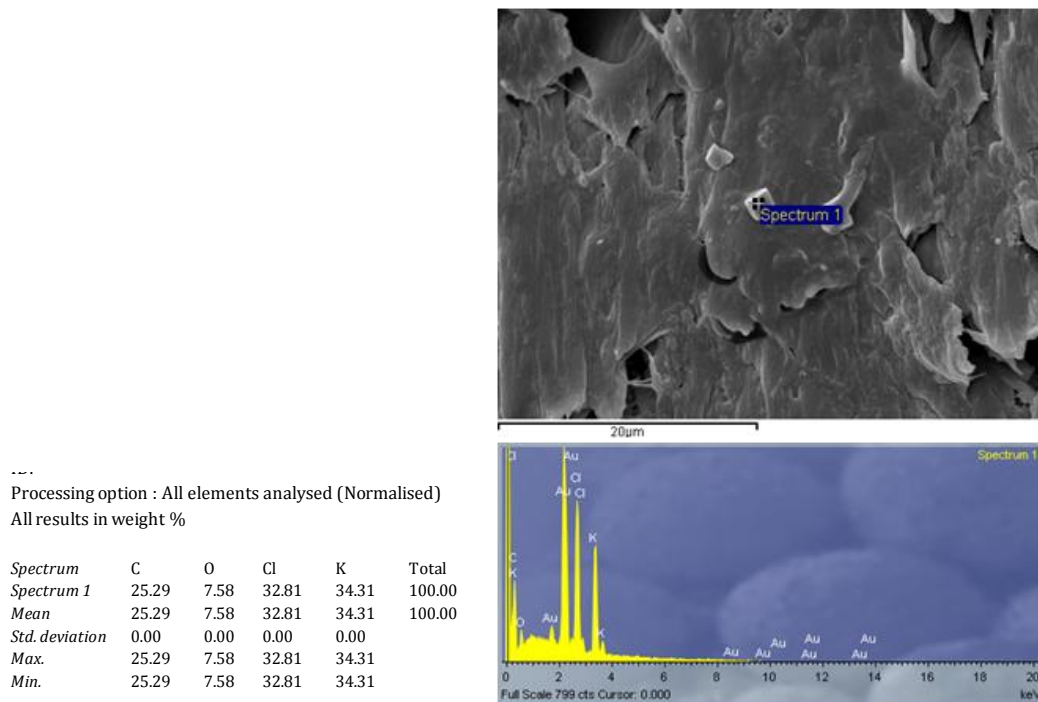


Slika III-7. Fotografije uzoraka zrelog drveta poljskog jasena tretiranog sirćetnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C) snimljene SEM mikroskopom

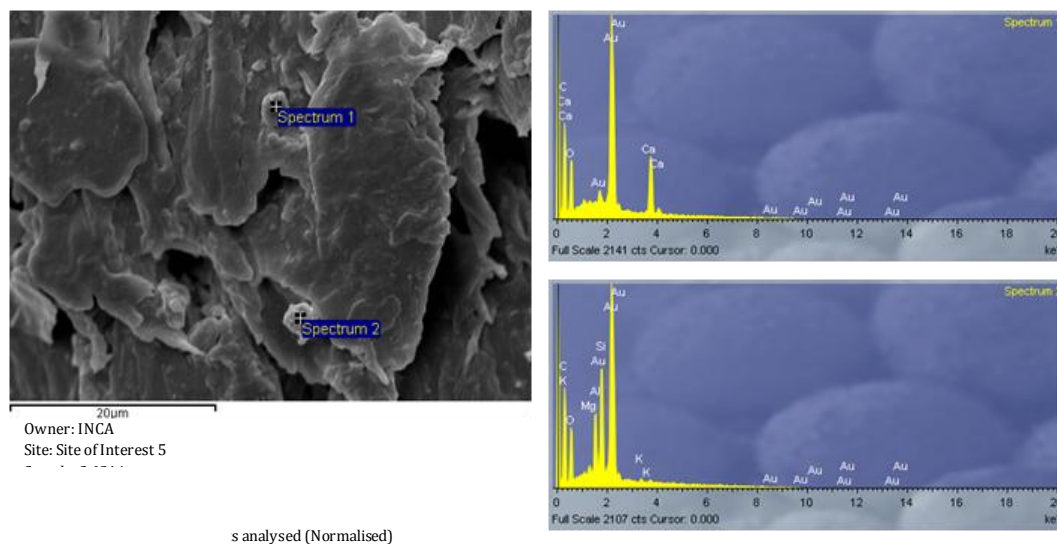


Slika III-4. Fotografije uzoraka zrelog drveta poljskog jasena tretiranog natrijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C) snimljene SEM mikroskopom

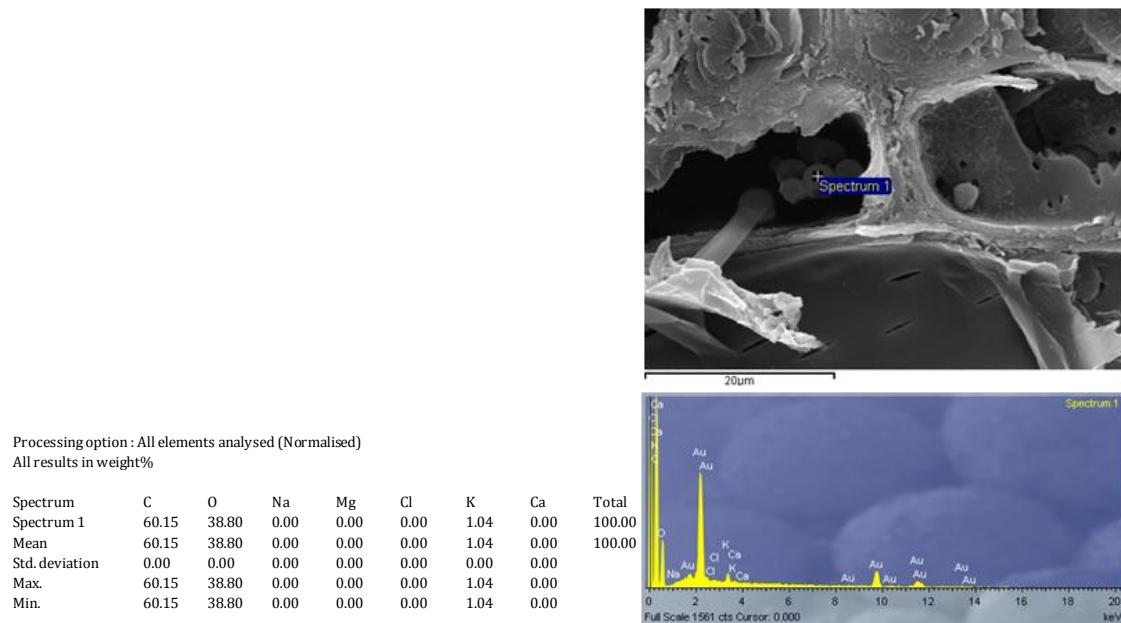
Prilog IV SEM-EDS analiza elementarnog sastava drveta



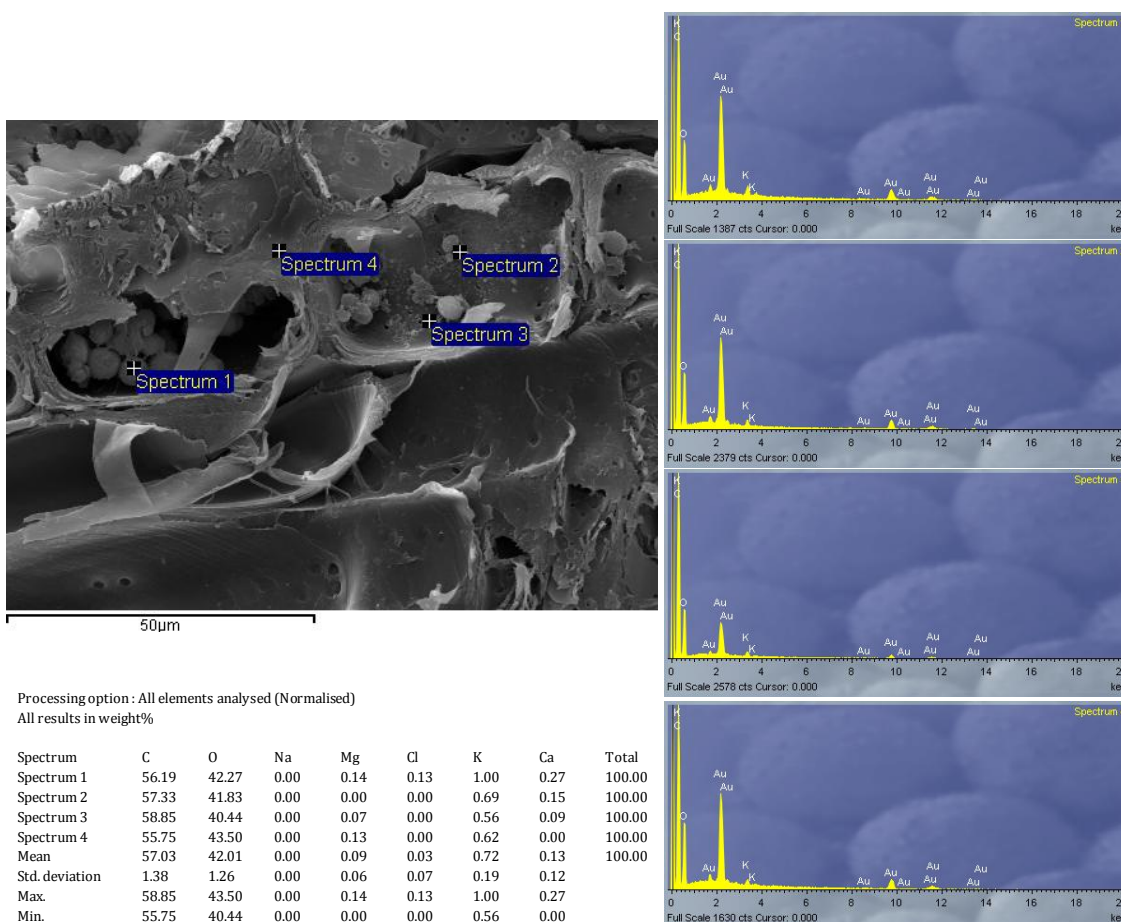
Slika IV-1. SEM-EDS analiza elementarnog sastava netretiranog uzorka juvenilnog drveta



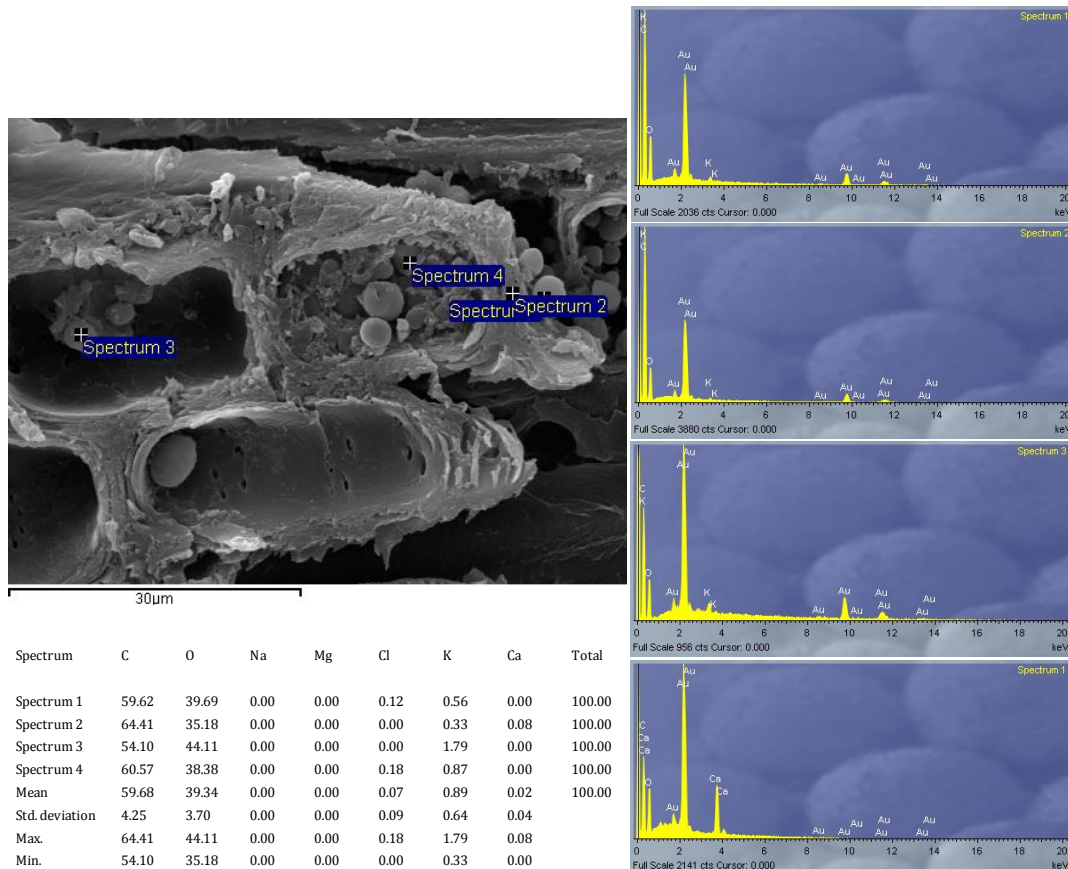
Slika IV-2. SEM-EDS analiza elementarnog sastava netretiranog uzorka juvenilnog drveta



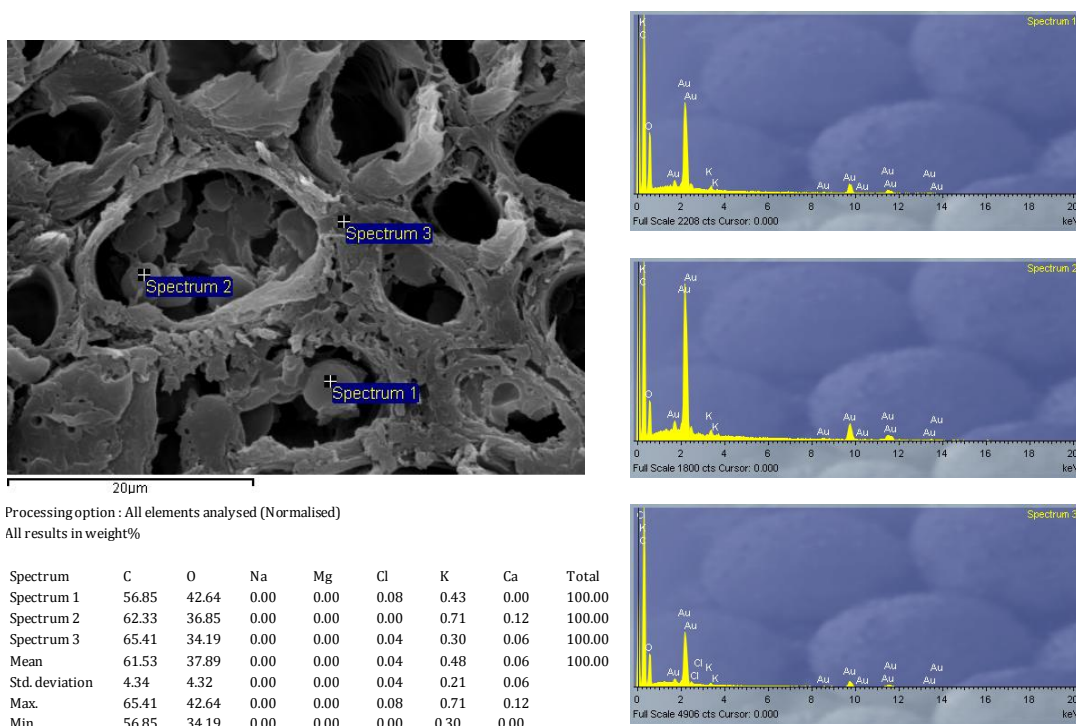
Slika IV-3. SEM-EDS analiza elementarnog sastava netretiranog uzorka juvenilnog drveta



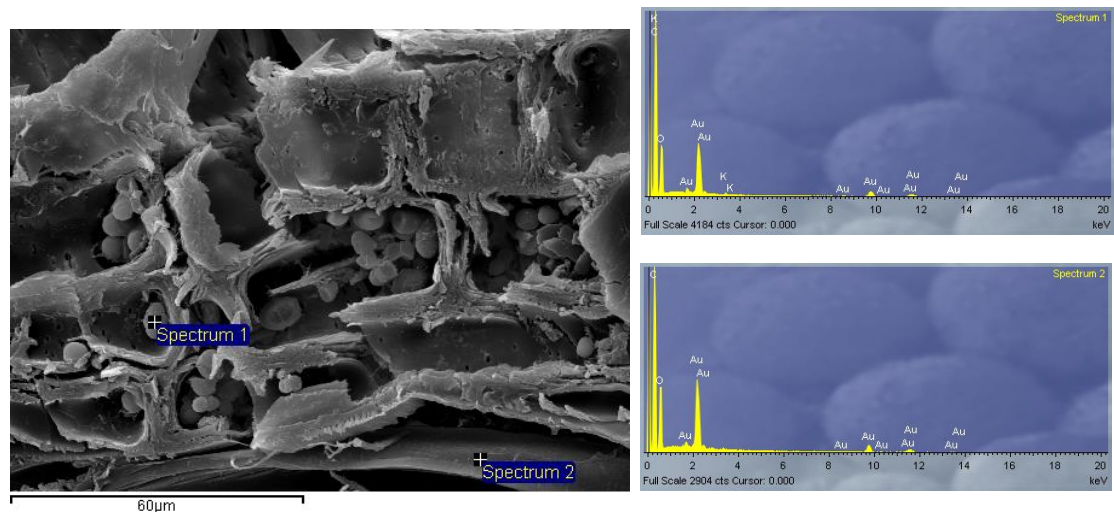
Slika IV-4. SEM-EDS analiza elementarnog sastava netretiranog uzorka juvenilnog drveta



Slika IV-5. SEM-EDS analiza elementarnog sastava netretiranog uzorka juvenilnog drveta poljskog jasena



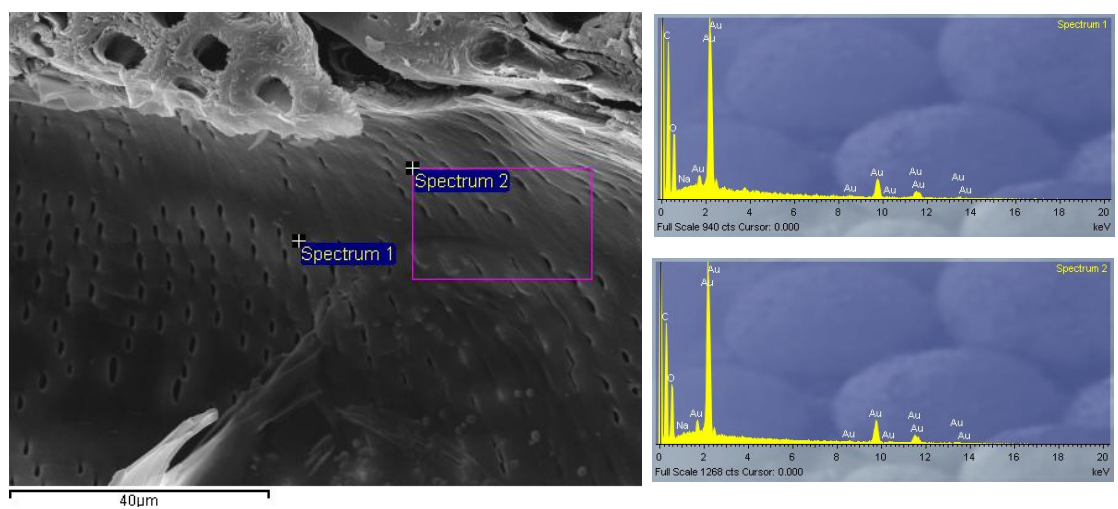
Slika IV-6. SEM-EDS analiza elementarnog sastava netretiranog uzorka juvenilnog drveta poljskog jasena



Processing option : All elements analysed (Normalised)
All results in weight%

Spectrum	C	O	Na	Mg	Cl	K	Ca	Total
Spectrum 1	56.85	42.64	0.00	0.00	0.08	0.43	0.00	100.00
Spectrum 2	62.33	36.85	0.00	0.00	0.00	0.71	0.12	100.00
Spectrum 3	65.41	34.19	0.00	0.00	0.04	0.30	0.06	100.00
Mean	61.53	37.89	0.00	0.00	0.04	0.48	0.06	100.00
Std. deviation	4.34	4.32	0.00	0.00	0.04	0.21	0.06	
Max.	65.41	42.64	0.00	0.00	0.08	0.71	0.12	
Min.	56.85	34.19	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	

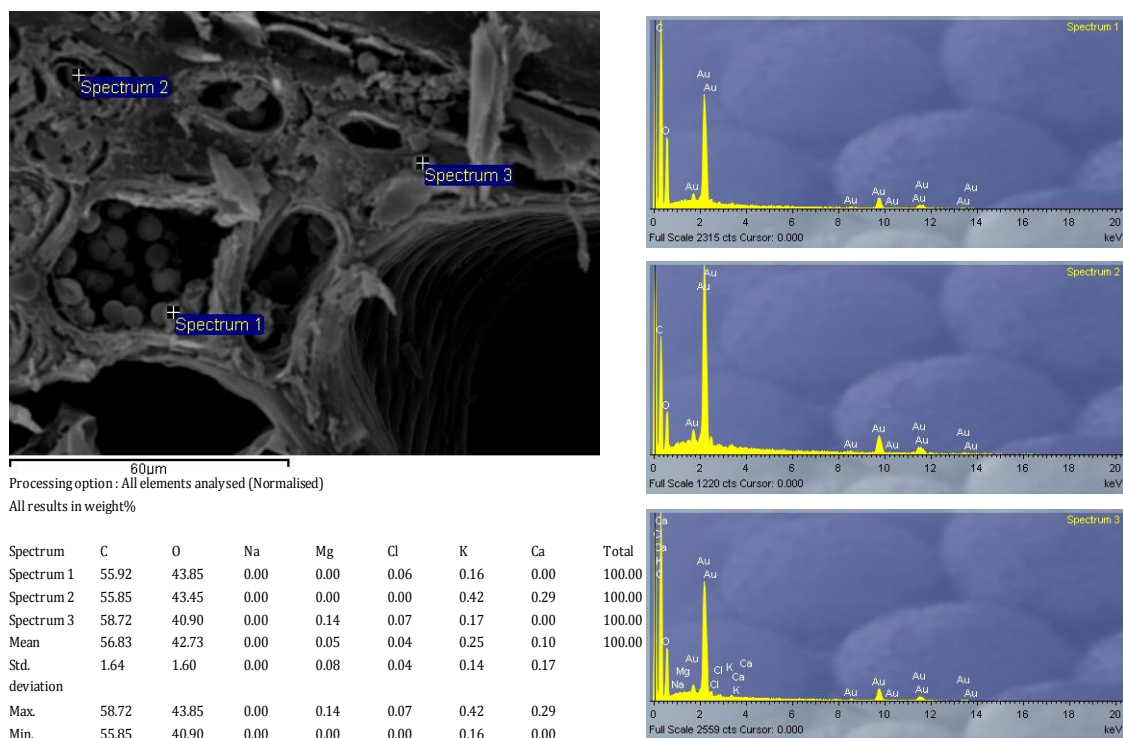
Slika IV-7. SEM-EDS analiza elementarnog sastava netretiranog uzorka juvenilnog drveta poljskog jasena



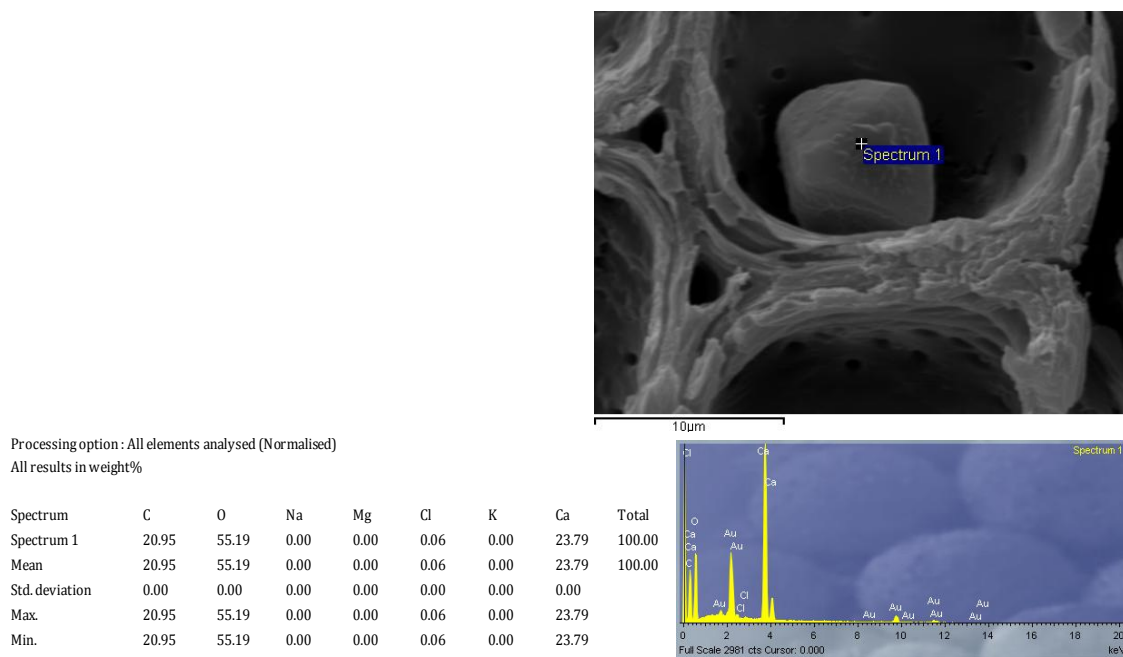
Processing option : All elements analysed (Normalised)
All results in weight%

Spectrum	C	O	Na	Mg	Cl	K	Ca	Total
Spectrum 1	53.11	45.97	0.00	0.00	0.16	0.22	0.54	100.00
Spectrum 2	52.28	46.86	0.29	0.00	0.21	0.00	0.36	100.00
Mean	52.70	46.41	0.14	0.00	0.19	0.11	0.45	100.00
Std. deviation	0.58	0.63	0.20	0.00	0.03	0.16	0.12	
Max.	53.11	46.86	0.29	0.00	0.21	0.22	0.54	
Min.	52.28	45.97	0.00	0.00	0.16	0.00	0.36	

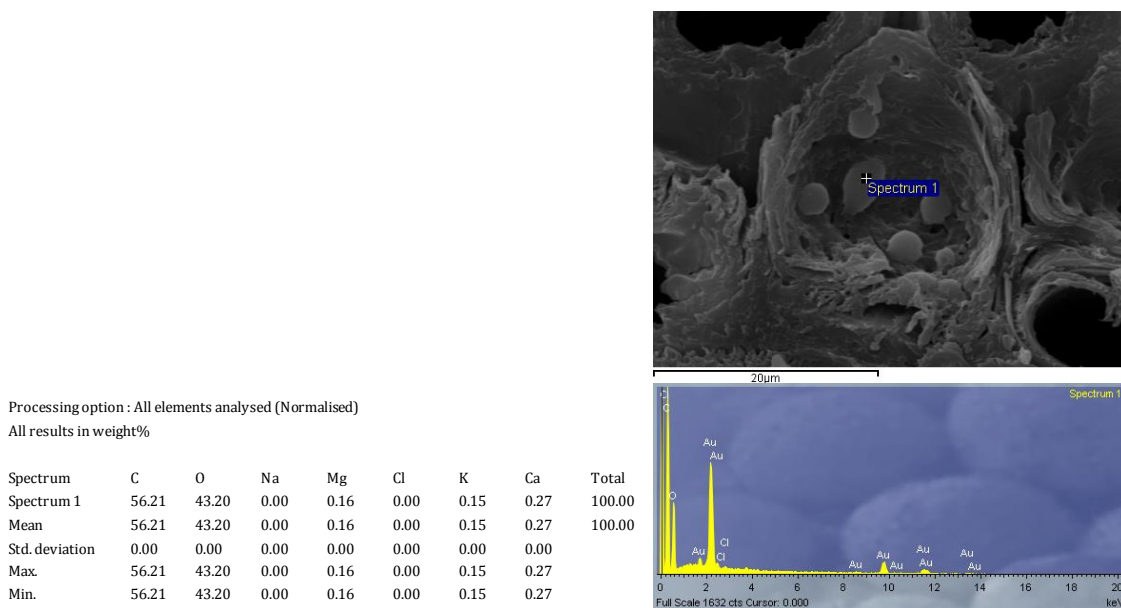
Slika IV-8. SEM-EDS analiza elementarnog sastava uzorka juvenilnog drveta poljskog jasena posle tretmana natrijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C)



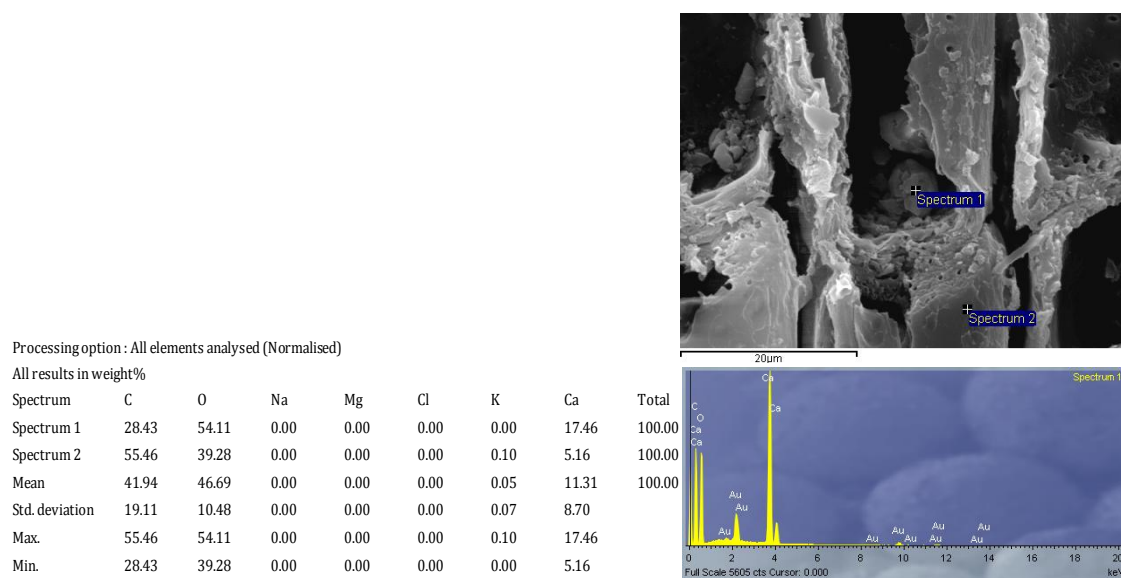
Slika IV-9. SEM-EDS analiza elementarnog sastava uzorka juvenilnog drveta poljskog jasena posle tretmana natrijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C)



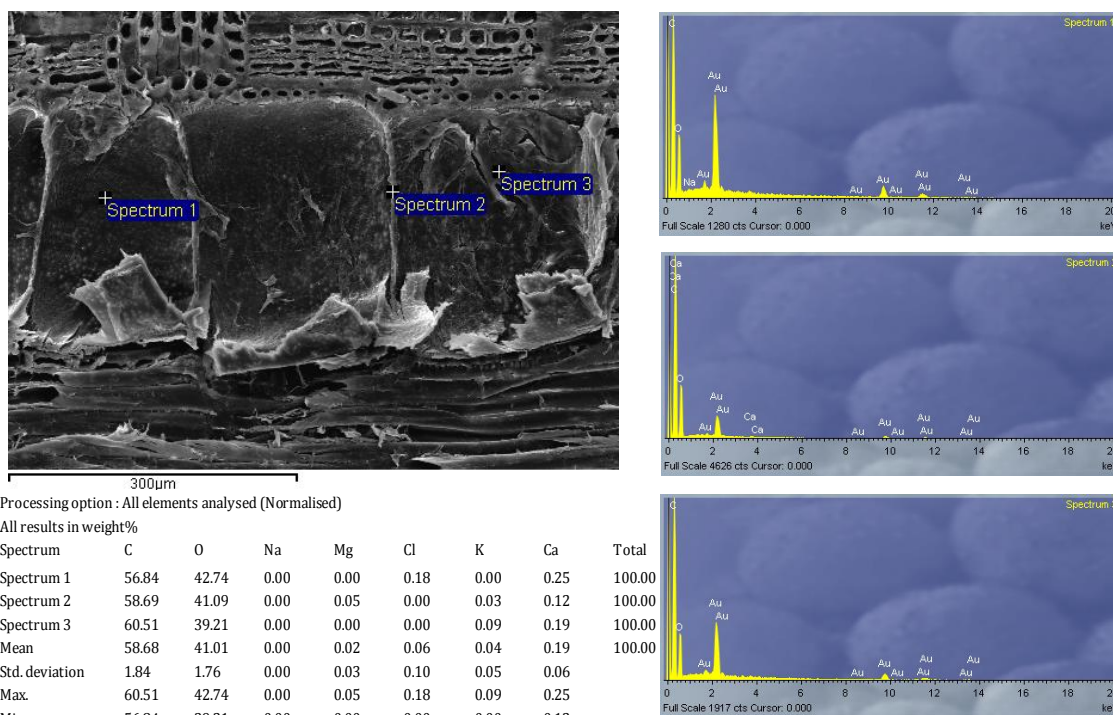
Slika IV-10. SEM-EDS analiza elementarnog sastava netretiranog uzorka zrelog drveta poljskog jasena



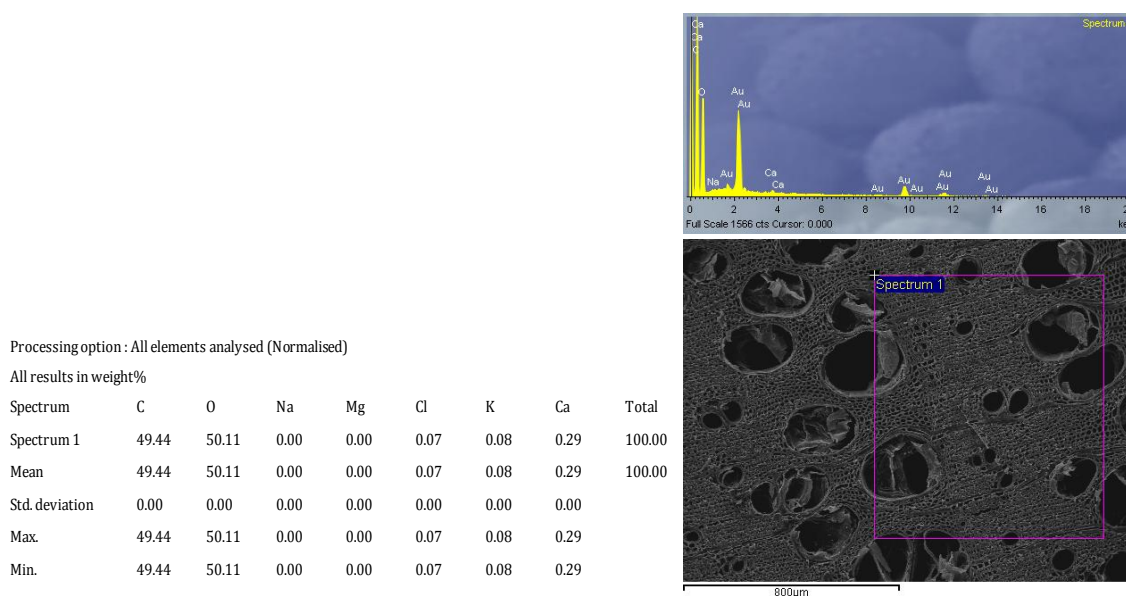
Slika IV-11. SEM-EDS analiza elementarnog sastava netretiranog uzorka zrelog drveta poljskog jasena



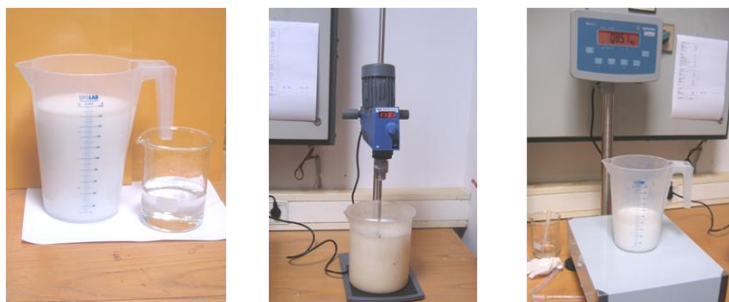
Slika IV-12. SEM-EDS analiza elementarnog sastava zrelog drveta poljskog jasena tretiranog sirćetnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C)



Slika IV-13. SEM-EDS analiza elementarnog sastava zrelog drveta poljskog jasena tretiranog sirćetnom kiselinom (0,06 g/g, 100 °C)



Slika IV-14. SEM-EDS analiza elementarnog sastava zrelog drveta poljskog jasena tretiranog natrijum karbonatom (0,03 g/g, 100 °C)

PRILOG V Faze izrade laboratorijskih ploča iverica**V-1. Priprema iverja****Slika V-1. Sušenje tretiranog iverja do sadržaja vlage 3%****Slika V-2. Odmeravanje iverja****V-2. Priprema adheziva****Slika V-3. Priprema rastvora katalizatora****Slika V-4. Odmeravanje adheziva****Slika V-5. Mešanje adheziva i rastvora katalizatora****V-3. Oblepljivanje iverja**



Slika V-6. Punjenje menzure uređaja za oblepljivanja adhezivom



Slika V-7. Sipanje iverja u oblepljivačicu



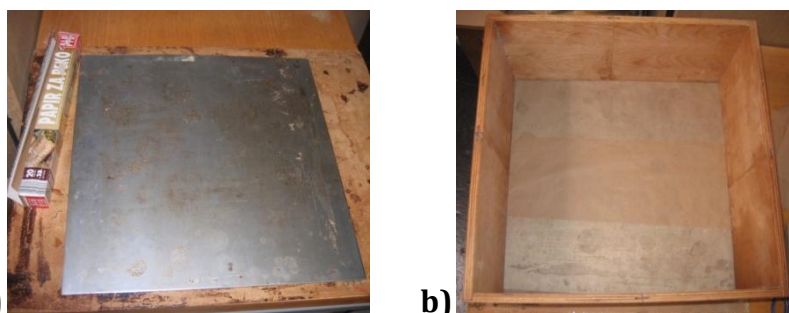
Slika V-8. Oblepljivanje iverje

Slika V-9. Ispuštanje oblepljenog iverja

Slika V-10. Oblepljeno iverje

iz oblepljivačice

V-4. Priprema tepiha



a)

b)

Slika V-11. Priprema kalupa: a) Podložna ploča; b) Kalup za formatiranje



Slika V-12. Natresanje tepiha



Slika V-13. Poravnavanje tepiha



Slika V-14. Predpresovanje

Slika V-15. Pripremljen tepih iverja



Slika V-16. Postavljanje papira za pečenje

V-5. Vrelo presovanje



Slika V-17. Ulaganje tepiha u presu



Slika V-18. Postavljanje distancera



Slika V-19. Zatvaranje prese



Slika V-20. Vrelo presovanja



Slika V-21. Otvaranje prese i vađenje ploče iz prese



Slika V-22. Ispresovana ploča



Slika V-23. Merenje mase gotove ploče

Prilog VI Statistička obrada rezultata

Prilog VI - 1. Statistička obrada rezultata ispitivanja fizičkih svojstava juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

VI - 1.1. Deskriptivna statistika

Juvenilno drvo - Zapreminska masa

Juvenilno	Gustina pri 65% vlažnosti	Gustina pri 0% vlažnosti
Srednja vrednost	0,712012	0,675759
Standardna greška	0,007151	0,007021
Standardna devijacija	0,029483	0,028085
Varijansa	0,000869	0,000789
Minimum	0,665857	0,630691
Maksimum	0,781371	0,737226
Broj uzoraka	17	16

Juvenilno drvo - Poroznost i ravnotežna vlaga

	Poroznost, juvenilno	Ravnotežna vlaga, juvenilno
Srednja vrednost	54,94938	10,91758
Standardna greška	0,468082	0,094822
Standardna devijacija	1,87233	0,379287
Varijansa	3,505619	0,143858
Minimum	50,8516	10,56604
Maksimum	57,95394	12,07028
Broj uzoraka	16	16

Zrelo drvo - Zapreminska masa

Zrelo	Gustina pri 65% vlažnosti	Gustina pri 0% vlažnosti
Srednja vrednost	0,729627	0,699669
Standardna greška	0,005744	0,005667
Standardna devijacija	0,044493	0,0439
Varijansa	0,00198	0,001927
Minimum	0,643284	0,61609
Maksimum	0,803876	0,776706
Broj uzoraka	60	60

Zrelo drvo - Poroznost i ravnotežna vlaga

	Poroznost, zrelo	Ravnotežna vlaga, zrelo
Srednja vrednost	53,35537	10,31666
Standardna greška	0,37783	0,035171
Standardna devijacija	2,92666	0,272433
Varijansa	8,56534	0,07422
Minimum	48,21961	9,722222
Maksimum	58,92733	10,86037
Broj uzoraka	60	60

VI - 1.2. Komparativna statistička analiza

Zapreminska masa

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z Gustina pri 65% vl.	55	40,18978	0,730723	0,002037
J Gustina pri 65% vl.	17	12,1042	0,712012	0,000869

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,004547	1	0,004547	2,568433	0,113519	3,977779
Within Groups	0,123914	70	0,00177			
Total	0,128461	71				

Ne postoje značajne razlike u gustini pri ravnotežnoj vlažnosti između juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z Gustina pri 0% vl.	60	41,98017	0,699669	0,001927
J Gustina pri 0% vl.	16	10,81215	0,675759	0,000789

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,007221	1	0,007221	4,256832	0,042601	3,970229
Within Groups	0,125536	74	0,001696			
Total	0,132758	75				

Postoje značajne razlike u gustini u apsolutno suvom stanju između juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena.

Poroznost

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z poroznost pri 0% vl.	60	3201,322	53,35537	8,56534
J poroznost pri 0% vl.	16	879,1901	54,94938	3,505619

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	32,09533	1	32,09533	4,256832	0,042601	3,970229
Within Groups	557,9394	74	7,539721			
Total	590,0347	75				

Razlike u poroznosti između juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena su značajne.

Ravnatežna vlaga

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z ravnotežna vlaga	60	618,9998	10,31666	0,07422
J ravnotežna vlaga	16	174,6812	10,91758	0,143858

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4,561243	1	4,561243	51,63534	4,42E-10	3,970229
Within Groups	6,536841	74	0,088336			
Total	11,09808	75				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena.

Prilog VI - 2. Statistička analiza merenja dimenzija anatomskih elemenata
juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

VI - 2.1. Tangencijalni prečnik lumena traheja

VI - 2.1.1. Deskriptivna statistika

Zrelo drvo

Visina 1.3 m	Z PLT do kore	Z PLT sredina	Z PLT do srži
Srednja vrednost	202,28	192,32	133,51
Standardna greška	2,2000	2,0861	1,6089
Standardna devijacija	31,0351	28,6038	21,7653
Varijansa	963,1804	818,1749	473,7293
Minimum	116,48	120,164	93,66
Maksimum	293,14	264,13	192,15
Broj uzoraka	199	188	183

Juvenilno drvo

Visina 1.3 m	Z PLT do kore	Z PLT sredina	Z PLT do srži
Srednja vrednost	176,39	160,90	113,20
Standardna greška	2,3689	2,1742	2,2037
Standardna devijacija	28,22904	20,1631	26,89898
Varijansa	796,8785	406,5505	723,55513
Minimum	116,09	101,56	67,71
Maksimum	233,71	197,75	173,58
Broj uzoraka	142	86	149

VI - 2.1.2. Komparativna statistička analiza

Zrelo drvo

Anova: Single Factor visina 1.3 m

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z PLT do kore	199	40252,9	202,2759	963,1804
Z PLT sredina	188	36155,37	192,3158	818,1749
Z PLT do srži	183	24433,07	133,514	473,7293

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	517288,9	2	258644,5	341,1076	5,55E-98	3,011616
Within Groups	429927,2	567	758,249			
Total	947216,1	569				

Anova: Single Factor visina 1.3 m

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z PLT do srži	183	24433,07	133,514	473,7293
Z PLT do kore	199	40252,9	202,2759	963,1804

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	450750	1	450750	618,5171	9,92E-82	3,866046
Within Groups	276928,5	380	728,7591			
Total	727678,5	381				

Anova: Single Factor visina 1.3 m

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z PLT do kore	199	40252,9	202,2759	963,1804
Z PLT sredina	188	36155,37	192,3158	818,1749

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	9590,188	1	9590,188	10,74231	0,001142	3,865725
Within Groups	343708,4	385	892,7492			
Total	353298,6	386				

Anova: Single Factor		visina 1.3 m				
SUMMARY						
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance		
Z PLT sredina	188	36155,37	192,3158	818,1749		
Z PLT do srži	183	24433,07	133,514	473,7293		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	320638,3	1	320638,3	494,594	4,03E-70	3,866782
Within Groups	239217,5	369	648,2858			
Total	559855,7	370				

Postoje značajne razlike u srednjim vrednostima tangencijalnog prečnika traheja zrelog drveta poljskog jasena na sva tri položaja po prečniku na visini stabla od 1.3 m.

Juvenilno drvo

Anova: Single Factor		visina 1.3 m				
SUMMARY						
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance		
J PLT do kore	142	25047,44	176,3904	796,8785		
J PLT sredina	86	13837,02	160,8956	406,5505		
J PLT do srži	149	16866,21	113,196	723,5551		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	309236,3	2	154618,2	227,664	2,11E-65	3,019857
Within Groups	254002,8	374	679,1519			
Total	563239,1	376				

Anova: Single Factor		visina 1.3 m				
SUMMARY						
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance		
Z PLT do kore	142	25047,44	176,3904	796,8785		
Z PLT sredina	86	13837,02	160,8956	406,5505		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	12859,56	1	12859,56	19,7817	1,36E-05	3,88293
Within Groups	146916,7	226	650,0737			
Total	159776,2	227				

Anova: Single Factor		visina 1.3 m				
SUMMARY						
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance		
Z PLT sredina	86	13837,02	160,8956	406,5505		
Z PLT do srži	149	16866,21	113,196	723,5551		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	124063,9	1	124063,9	204,0827	1,13E-33	3,88168
Within Groups	141643	233	607,9097			
Total	265706,8	234				

Anova: Single Factor		visina 1.3 m				
SUMMARY						
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance		
Z PLT do srži	149	16866,21	113,196	723,555		
Z PLT do kore	142	25047,44	176,3904	796,879		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	290361,2	1	290361,2	382,392	7,83E-55	3,87384
Within Groups	219446	289	759,3288			
Total	509807,2	290				

Postoje značajne razlike u srednjim vrednostima tangencijalnog prečnika traheja juvenilnog drveta poljskog jasena na sva tri položaja po prečniku na visini stabla od 1.3 m.

VI - 2.2. Dužina vlakana

VI - 2.2.1. Deskriptivna statistika

Zrelo drvo - visina 1.3 m

Dužina vlakana, μm	Do srži	Sredina	Do kore
Srednja vrednost	764,5389	1202,629	1155,463
Standardna greška	14,96841	39,8699642	27,25278
Standardna devijacija	156,99	281,92322	205,754
Varijansa	24645,86	79480,7021	42334,7
Minimum	448,38	616,53	681,54
Maksimum	1272,91	1723,59	1794,91
Broj uzoraka	110	50	57

Juvenilno drvo - visina 1.3 m

Dužina vlakana, μm	Do srži	Sredina	Do kore
Srednja vrednost	627,9579	959,3852	996,2264
Standardna greška	9,538654	9,820653	14,58613
Standardna devijacija	111,6471	147,9631	148,033
Varijansa	12465,07	21893,07	21913,77
Minimum	425,24	594,99	615
Maksimum	900	1318,07	1410
Broj uzoraka	137	227	103

Zrelo drvo - po visini na stablu

Dužina vlakana, μm	Visina 1.3m	Visina 1/2 h	Visina 3/4 h
Srednja vrednost	1202,629	1091,42659	971,7970629
Standardna greška	39,86996416	14,7556478	15,51660056
Standardna devijacija	281,9232203	197,417112	185,5515554
Varijansa	79480,70212	38973,5162	34429,3797
Minimum	616,53	548,26	500,17
Maksimum	1723,59	1578,62	1470,68
Broj uzoraka	50	179	143

Juvenilno drvo - po visini na stablu

Dužina vlakana, μm	Visina 1.3m	Visina 1/2 h	Visina 3/4 h
Srednja vrednost	972,0234	814,775189	658,1046
Standardna greška	9,261268	11,3821819	7,868776
Standardna devijacija	136,741	117,186735	111,8363
Varijansa	18698,1	13732,7309	12507,36
Minimum	706,21	512,77	435,7
Maksimum	1318,07	1177,34	1073,12
Broj uzoraka	218	106	202

VI - 2.2.2. Komparativna statistička analiza

Zrelo drvo - visina 1.3 m

Anova: Single Factor

Visina 1.3m

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do srži	110	84099,28	764,5389	24645,86
Sredina	50	60131,45	1202,629	79480,7
Do kore	57	65861,411	1155,463	42334,7

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	9309261	2	4654631	111,274	7,43E-34	3,038063
Within Groups	8951697	214	41830,36			
Total	18260958	216				

Velika razlika varijansi pokazuje da postoje razlike između ove tri grupe uzoraka.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do srži	110	84099,28	764,5389	24645,86
Sredina	50	60131,45	1202,629	79480,7

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	6597351	1	6597351	158,3937	1,33E-25	3,900989
Within Groups	6580954	158	41651,6			
Total	13178304	159				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Sredina	50	60131,45	1202,629	79480,7
Do kore	57	65861,411	1155,463	42334,7

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	59253,32	1	59253,32	0,993025	0,321295	3,931556
Within Groups	6265298	105	59669,5			
Total	6324551	106				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do kore	57	65861,411	1155,463	42334,7
Do srži	110	84099,28	764,5389	24645,86

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	5737685	1	5737685	187,2042	5,75E-29	3,898435
Within Groups	5057142	165	30649,35			
Total	10794828	166				

Razlike postoje između dužina vlakana zrelog drveta poljskog jasena u delu do srži i ostale dve grupe uzoraka na visini na stablu od 1.3 m.

Nema značajne razlike u vrednostima dužine vlakana zrelog drveta poljskog jasena u delovima do kore i sredine na visini stabla od 1.3 m.

Juvenilno drvo - visina 1.3 m

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do srži	137	86030,23	627,9578832	12465,0706
Sredina	218	211901,1	972,0233945	18698,0958
Do kore	103	102611,3	996,2264078	21913,7694

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	11926813	2	5963406,49	339,680777	5,516E-91	3,015543
Within Groups	7987941	455	4			
Total	19914754	457				

Velika razlika varijansi pokazuje da postoje razlike između ove tri grupe uzoraka.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do srži	137	86030,23	627,95788	12465,07
Sredina	218	211901,1	972,023394	18698,10

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	9959350	1	9959349,91	611,13	5,1122E-79	3,86794
Within Groups	5752736	353	16296,704			
Total	157121	354				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do kore	103	102611,3	996,2264078	21913,769
Do srži	137	86030,23	627,9578832	12465,070

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	7973991	1	7973991,233	482,8475	3,3777E-59	3,880827
Within Groups	3930454	238	16514,51293			
Total	11904445	239				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Sredina	218	211901,1	972,0233945	18698,0958
Do kore	103	102611,3	996,2264078	21913,7694

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	40975,81	1	40975,81155	2,07721678	0,15049346	3,870774
Within Groups	6292691	319	19726,3049			
Total	6333667	320				

Razlike postoje između dužina vlakana juvenilnog drveta poljskog jasena u delu do srži i ostale dve grupe uzoraka na visini na stablu od 1.3 m.

Nema značajne razlike u vrednostima dužine vlakana juvenilnog drveta poljskog jasena u delovima do kore i sredine na visini na stablu od 1.3 m.

Zrelo drvo- po visini na stablu

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3m	50	60131,45	1202,629	79480,7
Visina 1/2 h	179	195365,36	1091,426592	38973,52
Visina 3/4 h	143	138966,98	971,7970629	34429,38

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2306387,31	2	1153193,653	27,06784	1,07E-11	3,020185
Within Groups	15720812,2	369	42603,82712			
Total	18027199,5	371				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3m	50	60131,45	1202,629	79480,7
Visina 1/2 h	179	195365,36	1091,426592	38973,52

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	483299,043	1	483299,0427	10,12837	0,001664	3,88275
Within Groups	10831840,3	227	47717,35811			
Total	11315139,3	228				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1/2 h	179	195365,36	1091,426592	38973,52
Visina 3/4 h	143	138966,98	971,7970629	34429,38

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1137653,44	1	1137653,44	30,78312	6,06E-08	3,870682
Within Groups	11826257,8	320	36957,05564			
Total	12963911,2	321				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 3/4 h	143	138966,98	971,7971	34429,4
Visina 1.3m	50	60131,45	1202,629	79480,7

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1973969,89	1	1973969,89	42,9245	5,15E-10	3,8906
Within Groups	8783526,32	191	45987,0488			
Total	10757496,2	192				

Razlike u srednjoj vrednosti dužine vlakana zrelog drveta poljskog jasena na sve tri posmatrane visine su značajne.

Juvenilno drvo - po visini na stablu

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3m	218	211901,1	972,0234	18698,1
Visina 1/2 h	106	86366,17	814,7752	13732,73
Visina 3/4 h	202	132937,1	658,1046	12507,36

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	10335535	2	5167767	337,2777	8,2E-95	3,012957
Within Groups	8013403	523	15321,99			
Total	18348938	525				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3m	218	211901,1	972,0234	18698,1
Visina 1/2 h	106	86366,17	814,7752	13732,73

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1763554	1	1763554	103,2589	3,18E-21	3,8705
Within Groups	5499424	322	17078,96			
Total	7262977	323				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1/2 h	106	86366,17	814,7752	13732,73
Visina 3/4 h	202	132937,1	658,1046	12507,36

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1706402	1	1706402	131,9945	1,22E-25	3,872027
Within Groups	3955917	306	12927,83			
Total	5662319	307				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 3/4 h	202	132937,1	658,1046	12507,36
Visina 1.3m	218	211901,1	972,0234	18698,1

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	10332209	1	10332209	657,2146	8,72E-88	3,863801
Within Groups	6571467	418	15721,21			
Total	16903676	419				

Razlike u srednjoj vrednosti dužine vlakana juvenilnog drveta poljskog jasena na sve tri posmatrane visine su statistički značajne.

VI - 2.3. Debljina ćelijskog zida vlakana

VI - 2.3.1. Deskriptivna statistika

Zrelo drvo - visina 1.3 m

	<i>Do srži</i>	<i>Sredina</i>	<i>Do kore</i>
Srednja vrednost	4,34	4,98	5,34
Standardna greška	0,1540	0,0933	0,1800
Standardna devijacija	1,7359	0,9785	2,0598
Varijansa	3,0135	0,9575	4,2428
Minimum	2,1	3,59	3,15
Maksimum	9,25	7,3	13,96
Broj uzoraka	127	110	131

Zrelo drvo - po visini na stablu

	<i>Visina 1.3m</i>	<i>Visina 1/2 h</i>	<i>Visina 3/4 h</i>
Srednja vrednost	4,98	4,81	4,44
Standardna greška	0,0933	0,0594	0,0530
Standardna devijacija	0,9785	0,6422	0,5610
Varijansa	0,9575	0,4124	0,3147
Minimum	3,59	3,41	3,32
Maksimum	7,3	6,44	5,8
Broj uzoraka	110	117	112

Juvenilno drvo - visina 1.3 m

	<i>Do srži</i>	<i>Sredina</i>	<i>Do kore</i>
Srednja vrednost	3,29	3,93	4,71
Standardna greška	0,0513	0,0451	0,0574
Standardna devijacija	0,5868	0,4875	0,7873
Varijansa	0,3444	0,2376	0,6199
Minimum	1,79	2,97	3,27
Maksimum	4,69	5,06	7,12
Broj uzoraka	131	117	188

Juvenilno drvo - po visini na stablu

	<i>Visina 1.3m</i>	<i>Visina 1/2 h</i>	<i>Visina 3/4 h</i>
Srednja vrednost	3,93	3,82	3,75
Standardna greška	0,0451	0,0614	0,0423
Standardna devijacija	0,4875	0,7261	0,5039
Varijansa	0,2376	0,5272	0,2539
Minimum	2,97	2,32	2,39
Maksimum	5,06	5,93	5,19
Broj uzoraka	117	140	142

VI - 2.3.2. Komparativna statistička analiza

Zrelo drvo - visina 1.3 m

Anova: Single Factor

SUMMARY

<i>Groups</i>	<i>Broj uzoraka</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
<i>Do srži</i>	127	551,34	4,34126	3,013476
<i>Sredina</i>	110	547,66	4,978727	0,957519
<i>Do kore</i>	131	700,18	5,344885	4,242799

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	66,21399	2	33,107	11,66829	1,22E-05	3,020455
Within Groups	1035,631	365	2,837347			
Total	1101,845	367				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do srži	127	551,34	4,34126	3,013476
Sredina	110	547,66	4,978727	0,957519

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	23,95323	1	23,95323	11,62856	0,000764	3,881333
Within Groups	484,0676	235	2,059862			
Total	508,0208	236				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do kore	131	700,18	5,344885	4,242799
Do srži	127	551,34	4,34126	3,013476

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	64,95294	1	64,95294	17,85529	3,32E-05	3,878039
Within Groups	931,2619	256	3,637742			
Total	996,2148	257				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Sredina	110	547,66	4,978727	0,957519
Do kore	131	700,18	5,344885	4,242799

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	8,016495	1	8,016495	2,92094	0,088735	3,880661
Within Groups	655,9335	239	2,744492			
Total	663,95	240				

Razlike postoje između u vrednostima debljine zida vlakana zrelog drveta u delu do srži i ostale dve grupe uzoraka na visini od 1.3 m.

Nema značajne razlike u vrednostima debljine zida vlakana zrelog drveta u delovima do kore i sredine

Zrelo drvo - po visini na stablu

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3m	110	547,66	4,978727	0,957519
Visina 1/2 h	117	563,26	4,814188	0,412419
Visina 3/4 h	112	497	4,4375	0,314668

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	17,15832	2	8,579158	15,40356	3,98E-07	3,022601
Within Groups	187,1384	336	0,556959			
Total	204,2967	338				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3m	110	547,66	4,978727	0,957519
Visina 1/2 h	117	563,26	4,814188	0,412419

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,534941	1	1,534941	2,268978	0,13339	3,88312
Within Groups	152,2103	225	0,67649			
Total	153,7452	226				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 3/4 h	112	497	4,4375	0,314668
Visina 1.3m	110	547,66	4,978727	0,957519

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	16,25613	1	16,25613	25,67413	8,56E-07	3,884074
Within Groups	139,2977	220	0,633171			
Total	155,5538	221				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1/2 h	117	563,26	4,814188	0,412419
Visina 3/4 h	112	497	4,4375	0,314668

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	8,119552	1	8,119552	22,26853	4,15E-06	3,88275
Within Groups	82,76875	227	0,36462			
Total	90,8883	228				

Nema značajne razlike u vrednostima debljine zida vlakana zrelog drveta na visini od 1.3 m i 1/2 visine stabla.

Razlike u vrednostima debljine zida vlakana zrelog drveta postoje između ostalih grupa uzoraka.

Juvenilno drvo - visina 1.3 m

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do kore	188	885,68	4,711064	0,619896
Do srži	131	430,41	3,285573	0,344379
Sredina	117	459,37	3,926239	0,237627

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	160,2848	2	80,1424	184,3337	1,22E-58	3,016554
Within Groups	188,2546	433	0,434768			
Total	348,5394	435				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do kore	188	885,68	4,711064	0,619896

<i>Do srži</i>	131	430,41	3,285573	0,344379
----------------	-----	--------	----------	----------

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	156,88	1	156,88	309,4842	8,14E-49	3,87096
Within Groups	160,6898	317	0,506908			
Total	317,5698	318				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
<i>Sredina</i>	117	459,37	3,926239	0,237627
<i>Do kore</i>	188	885,68	4,711064	0,619896

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	44,42107	1	44,42107	93,80459	1,67E-19	3,872331
Within Groups	143,4853	303	0,473549			
Total	187,9064	304				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
<i>Do srži</i>	131	430,41	3,285573	0,344379
<i>Sredina</i>	117	459,37	3,926239	0,237627

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	25,36705	1	25,36705	86,2706	8,62E-18	3,879537
Within Groups	72,33398	246	0,294041			
Total	97,70102	247				

Razlike u srednjoj vrednosti debljine zida vlakana juvenilnog drveta poljskog jasena na sva tri posmatrana položaja na visini na stablu od 1.3 m su značajne.

Juvenilno drvo - po visini na stablu

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
<i>Visina 1.3m</i>	117	459,37	3,926239	0,237627
<i>Visina 1/2 h</i>	140	535,15	3,8225	0,527156
<i>Visina 3/4 h</i>	142	531,851	3,74543	0,253879

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,099025	2	1,049512	3,041701	0,048871	3,01851
Within Groups	136,6363	396	0,345041			
Total	138,7354	398				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
<i>Visina 1.3m</i>	117	459,37	3,926239	0,237627
<i>Visina 1/2 h</i>	140	535,15	3,8225	0,527156

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
---------------------	----	----	----	---	---------	--------

Between Groups	0,685911	1	0,685911	1,734513	0,189018	3,878184
Within Groups	100,8394	255	0,395449			
Total	101,5253	256				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1/2 h	140	535,15	3,8225	0,527156
Visina 3/4 h	142	531,851	3,74543	0,253879

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,418738	1	0,418738	1,074952	0,300724	3,874884
Within Groups	109,0716	280	0,389541			
Total	109,4903	281				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 3/4 h	142	531,851	3,74543	0,253879
Visina 1.3m	117	459,37	3,926239	0,237627

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,097095	1	2,097095	8,505978	0,003853	3,877896
Within Groups	63,36172	257	0,246544			
Total	65,45881	258				

Razlike u srednjoj vrednosti debljine zida vlakana juvenilnog drveta poljskog jasena značajne su samo između grupa uzoraka za visine 1.3 m i 3/4h stabla. Razlike u srednjoj vrednosti debljine zida vlakana juvenilnog drveta između grupa uzoraka za visine 1.3 m i 1/2h i 1/2h i 3/4h stabla nisu značajne.

VI - 2.4. Prečnik lumena vlakana

VI - 2.4.1. Deskriptivna statistika

Visina 1.3 m

Zrelo drvo -

Visina 1.3 m	Do srži	Sredina	Do kore
Srednja vrednost	10,04	9,66	8,67
Standardna greška	0,2091	0,2415	0,3144
Standardna devijacija	2,4473	2,5098	3,0643
Varijansa	5,9891	6,2991	9,3901
Minimum	5,4	0,66	2,39
Maksimum	18,42	13,24	13,6
Broj uzoraka	137	108	95

Juvenilno drvo -

Visina 1.3 m	Do srži	Sredina	Do kore
Srednja vrednost	12,70	10,24	9,16
Standardna greška	0,1922	0,2429	0,1700
Standardna devijacija	2,8245	2,8844	2,3314
Varijansa	7,9775	8,3199	5,4353
Minimum	6,51	3,41	3,52
Maksimum	21,02	16,58	14,72

Broj uzoraka	216	141	188
--------------	-----	-----	-----

VI - 2.4.2. Komparativna statistička analiza

Zrelo drvo

Visina 1.3 m

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do srži	137	1375,98	10,04365	5,989075
Sredina	108	1043,34	9,660556	6,29905
Do kore	95	823,7	8,670526	9,390141

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	108,139	2	54,0695	7,68452	0,00054	3,02252
Within Groups	2371,186	337	7,03616			
Total	2479,325	339				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do srži	137	1375,98	10,04365	5,989075
Sredina	108	1043,34	9,660556	6,29905

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	8,863171	1	8,863171	1,44691	0,23019	3,88001
Within Groups	1488,513	243	6,125566			
Total	1497,376	244				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Sredina	108	1043,34	9,660556	6,29905
Do kore	95	823,7	8,670526	9,390141

ANOVA

Source of Variation	SS	$\frac{d}{f}$	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	49,53901	1	49,53901	6,39656	0,01220	3,8881
Within Groups	1556,672	201	7,744635			
Total	1606,211	202				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do kore	95	823,7	8,670526	9,390141
Do srži	137	1375,98	10,04365	5,989075

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	105,7731	1	105,7731	14,33419	0,000195	3,88221
Within Groups	1697,187	230	7,379076			
Total	1802,961	231				

Razlike u srednjoj vrednosti prečnika lumena vlakana zrelog drveta do srži i sredine nisu statistički značajne na visini stabla od 1.3 m.

Razlike u srednjoj vrednosti prečnika lumena vlakana zrelog drveta između ostalih grupa uzoraka su značajne na visini stabla od 1.3 m.

Zrelo drvo - po visini na stablu

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3m	108	1043,34	9,660556	6,29905
Visina 1/2 h	224	2274,7	10,15491	6,395209
Visina 3/4 h	191	2110,7	11,05079	26,86922

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	153,1909	2	76,59543	5,527837	0,004212	3,013057
Within Groups	7205,281	520	13,85631			
Total	7358,472	522				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3m	108	1043,34	9,660556	6,29905
Visina 1/2 h	224	2274,7	10,15491	6,395209

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	17,80786	1	17,80786	2,798205	0,095318	3,869792
Within Groups	2100,13	330	6,36403			
Total	2117,938	331				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1/2 h	224	2274,7	10,15491	6,395209
Visina 3/4 h	191	2110,7	11,05079	26,86922

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	82,74233	1	82,74233	5,23214	0,022678	3,864073
Within Groups	6531,283	413	15,81424			
Total	6614,025	414				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 3/4 h	191	2110,7	11,05079	26,86922
Visina 1.3m	108	1043,34	9,660556	6,29905

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	133,3396	1	133,3396	6,852541	0,009305	3,872959
Within Groups	5779,149	297	19,45842			
Total	5912,489	298				

Razlike u srednjoj vrednosti prečnika lumena vlakana zrelog drveta na visini od 1.3m i 1/2 visine stabla nisu statistički značajne.

Razlike u srednjoj vrednosti prečnika lumena vlakana zrelog drveta između ostalih grupa uzoraka su značajne.

Juvenilno drvo - visina 1.3 m

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do srži	216	2743,03	12,69921	7,977522
Sredina	141	1443,321	10,23632	8,319949
Do kore	195	1783,54	9,146359	5,256859

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1357,023	2	678,5117	95,5187	2,53E-36	3,012139
Within Groups	3899,791	549	7,103444			
Total	5256,814	551				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do srži	216	2743,03	12,69921	7,977522
Sredina	141	1443,321	10,23632	8,319949

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	517,4829	1	517,4829	63,78784	1,95E-14	3,867786
Within Groups	2879,96	355	8,112563			
Total	3397,443	356				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do kore	195	1783,54	9,146359	5,256859
Do srži	216	2743,03	12,69921	7,977522

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1293,604	1	1293,604	193,4495	2,78E-36	3,864295
Within Groups	2734,998	409	6,687036			
Total	4028,602	410				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Sredina	141	1443,321	10,23632	8,319949
Do kore	195	1783,54	9,146359	5,256859

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	97,21554	1	97,21554	14,86297	0,000139	3,869451
Within Groups	2184,624	334	6,540789			
Total	2281,839	335				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Do kore	188	1721,31	9,155904	5,435331
Do srži	188	2334,59	12,41803	7,649765

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1000,299	1	1000,299	152,8913	1,11E-29	3,866442
Within Groups	2446,913	374	6,542548			
Total	3447,212	375				

Razlike u srednjoj vrednosti prečnika lumena vlakana juvenilnog drveta na sve tri posmatrana položaja su značajne.

Juvenilno drvo - po visini na stablu

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3m	141	1443,321	10,23632	8,319949
Visina 1/2 h	144	1556,37	10,80813	9,749778
Visina 3/4 h	145	1649,65	11,3769	12,84589

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	93,00135	2	46,50068	4,503653	0,011599	3,016848
Within Groups	4408,819	427	10,3251			
Total	4501,82	429				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3m	141	1443,321	10,23632	8,319949
Visina 1/2 h	144	1556,37	10,80813	9,749778

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	23,29346	1	23,29346	2,576014	0,10961	3,874527
Within Groups	2559,011	283	9,042442			
Total	2582,304	284				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1/2 h	144	1556,37	10,80813	9,749778
Visina 3/4 h	145	1649,65	11,3769	12,84589

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	23,37267	1	23,37267	2,067788	0,151529	3,874063
Within Groups	3244,026	287	11,30323			
Total	3267,399	288				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 3/4 h	145	1649,65	11,3769	12,84589
Visina 1.3m	141	1443,321	10,23632	8,319949

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	92,99736	1	92,99736	8,761111	0,003337	3,87441
Within Groups	3014,601	284	10,61479			
Total	3107,598	285				

Razlike u srednjoj vrednosti prečnika lumena vlakana juvenilnog drveta statistički su značajne samo između grupa uzoraka sa visine 1.3m i 3/4 visine stabla.

Prilog VI - 3. Statistička analiza ispitivanja hemijskog sastava na istim položajima po visini uzorkovanih stabala zrelog i juvenilnog drveta poljskog jasena

VI - 3.1. Sadržaj apsolutne vlage

VI - 3.1.1. Deskriptivna statistika - Sadržaj apsolutne vlage

Zrelo drvo

<i>Visina 1.3 m</i>	<i>Stablo 1</i>	<i>Stablo 2</i>	<i>Stablo 3</i>
Srednja vrednost	7,07	7,12	7,42
Standardna greška	0,0322	0,0414	0,0252
Standardna devijacija	0,0558	0,0717	0,0437
Varijansa	0,0031	0,0051	0,0019
Minimum	7,01	7,05	7,38
Maksimum	7,12	7,19	7,47
Broj uzoraka	3	3	3

<i>Visina 1/2 h</i>	<i>Stablo 1</i>	<i>Stablo 2</i>	<i>Stablo 3</i>
Srednja vrednost	7,26	7,49	7,95
Standardna greška	0,0184	0,0133	0,0089
Standardna devijacija	0,0318	0,0230	0,0153
Varijansa	0,0010	0,0005	0,0002
Minimum	7,23	7,47	7,93
Maksimum	7,29	7,52	7,96
Broj uzoraka	3	3	3

<i>Visina 3/4 h</i>	<i>Stablo 1</i>	<i>Stablo 2</i>	<i>Stablo 3</i>
Srednja vrednost	7,24	7,48	7,74
Standardna greška	0,0253	0,0411	0,0136
Standardna devijacija	0,0438	0,0712	0,0235
Varijansa	0,0019	0,0051	0,0006
Minimum	7,20	7,40	7,72
Maksimum	7,28	7,54	7,76
Broj uzoraka	3	3	3

Juvenilno drvo

<i>Visina 1.3 m</i>	<i>Stablo 1</i>	<i>Stablo 2</i>	<i>Stablo 3</i>
Srednja vrednost	10,28	9,54	9,88
Standardna greška	0,0623	0,2468	0,0419
Standardna devijacija	0,1079	0,4275	0,0726
Varijansa	0,0116	0,1828	0,0053
Minimum	10,15	9,04	9,81
Maksimum	10,34	9,79	9,95
Broj uzoraka	3	3	3

<i>Visina 1/2 h</i>	<i>Stablo 1</i>	<i>Stablo 2</i>	<i>Stablo 3</i>
Srednja vrednost	10,00	10,09	9,33
Standardna greška	0,0304	0,0343	0,0428
Standardna devijacija	0,0527	0,0594	0,0742
Varijansa	0,0028	0,0035	0,0055
Minimum	9,97	10,03	9,27
Maksimum	10,06	10,15	9,41
Broj uzoraka	3	3	3

<i>Visina 3/4 h</i>	<i>Stablo 1</i>	<i>Stablo 2</i>	<i>Stablo 3</i>
Srednja vrednost	9,70	9,61	10,02
Standardna greška	0,0513	0,0119	0,0242
Standardna devijacija	0,0888	0,0207	0,0419
Varijansa	0,0079	0,0004	0,0018
Minimum	9,63	9,59	9,98
Maksimum	9,80	9,63	10,05
Broj uzoraka	3	3	3

VI - 3.2. Sadržaj celuloze

VI - 3.2.1. Deskriptivna statistika - Sadržaj celuloze

Zrelo drvo

Visina 1.3 m	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	46,86003	47,19105	46,45167
Standardna greška	0,1747	0,1674	0,2425
Standardna devijacija	0,4278	0,4099	0,5940
Varijansa	0,1830	0,1680	0,3528
Minimum	46,08	46,78	45,43
Maksimum	47,28	47,89	47,07
Broj uzoraka	6	6	6

Visina 1/2 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	46,53135	46,05596	45,83469
Standardna greška	0,1575	0,2533	0,1752
Standardna devijacija	0,3859	0,6204	0,4292
Varijansa	0,1489	0,3849	0,1842
Minimum	45,80	45,36	45,47
Maksimum	46,89	46,80	46,67
Broj uzoraka	6	6	6

Visina 3/4 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	44,7121	45,233771	44,60933
Standardna greška	0,1627	0,1899	0,2046
Standardna devijacija	0,3985	0,4650	0,5011
Varijansa	0,1588	0,2163	0,2512
Minimum	44,20	44,84	44,02
Maksimum	45,25	46,07	45,39
Broj uzoraka	6	6	6

Juvenilno drvo

Visina 1.3 m	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	46,04	45,25	45,10
Standardna greška	0,0725	0,2657	0,8630
Standardna devijacija	0,1255	0,4602	1,4947
Varijansa	0,0158	0,2118	2,2342
Minimum	45,97	44,92	43,41
Maksimum	46,18	45,78	46,26
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 1/2 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	44,83	44,64	44,36
Standardna greška	0,4469	0,6814	0,6700
Standardna devijacija	0,7741	1,1803	1,1605
Varijansa	0,5992	1,3931	1,3469
Minimum	44,33	43,28	43,22
Maksimum	45,72	45,42	45,54
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 3/4 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	43,96	44,12	43,88
Standardna greška	0,4078	0,4276	0,4747
Standardna devijacija	0,7063	0,7406	0,8222
Varijansa	0,4989	0,5485	0,6759
Minimum	43,33	43,28	43,12
Maksimum	44,72	44,69	44,75
Broj uzoraka	3	3	3

VI - 3.2.2. Komparativna statistička analiza- Sadržaj celuloze

Zrelo drvo

Anova: Single Factor		Visina 1.3 m				
SUMMARY						
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance		
Stablo 1	6	281,1602	46,86003	0,183041		
Stablo 2	6	283,1463	47,19105	0,168038		
Stablo 3	6	278,71	46,45167	0,352817		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,646041	2	0,82302	3,507709	0,056264	3,68232
Within Groups	3,519478	15	0,234632			
Total	5,165519	17				

Anova: Single Factor		Visina 1/2 h				
SUMMARY						
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance		
Stablo 1	6	279,1881	46,53135	0,148916		
Stablo 2	6	276,3357	46,05596	0,384925		
Stablo 3	6	275,0082	45,83469	0,184186		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,520557	2	0,760279	3,176535	0,070751	3,68232
Within Groups	3,590131	15	0,239342			
Total	5,110688	17				

Anova: Single Factor		Visina 3/4 h				
SUMMARY						
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance		
Stablo 1	6	268,2726	44,7121	0,158801		
Stablo 2	6	271,4026	45,23377	0,216262		
Stablo 3	6	267,656	44,60933	0,251151		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,3452502	2	0,672625	3,22234	0,068515	3,68232
Within Groups	3,1310708	15	0,208738			
Total	4,4763209	17				

Ne postoje statistički značajne razlike u sadržaju celuloze na istoj visini tri ispitivana stabla zrelog drveta poljskog jasena.

Juvenilno drvo

Anova: Single Factor		Visina 1.3 m				
SUMMARY						
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance		
Stablo 1	3	138,1198	46,03994	0,015751		
Stablo 2	3	135,7628	45,25425	0,211774		
Stablo 3	3	135,2961	45,09869	2,234198		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,527434	2	0,763717	0,930711	0,444581	5,143253
Within Groups	4,923446	6	0,820574			
Total	6,45088	8				

Anova: Single Factor		Visina 1/2 h				
SUMMARY						
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance		
Stablo 1	3	134,4945	44,83149	0,599208		
Stablo 2	3	133,9114	44,63715	1,393056		
Stablo 3	3	133,0745	44,35816	1,346851		

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,339635	2	0,169817	0,152571	0,861726	5,143253
Within Groups	6,67823	6	1,113038			
Total	7,017865	8				

Anova: Single Factor *Visina 3/4 h*

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	131,8856	43,96187	0,498904
Stablo 2	3	132,352	44,11735	0,548466
Stablo 3	3	131,6543	43,88476	0,675945

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,084216	2	0,042108	0,073303	0,930139	5,143253
Within Groups	3,446631	6	0,574438			
Total	3,530846	8				

Ne postoje statistički značajne razlike u sadržaju celuloze na istoj visini tri ispitivana stabla juvenilnog drveta poljskog jasena.

VI - 3.3. Sadržaj lignina (Klasonov+kiselo-rastvorni)

VI - 3.3.1. Deskriptivna statistika - Sadržaj lignina

Zrelo drvo

Visina 1.3 m	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	24,2934	24,47	25,33
Standardna greška	0,4541	0,4956	0,3050
Standardna devijacija	0,7865	0,8584	0,5282
Varijansa	0,6186	0,7369	0,2790
Minimum	23,41	23,67	24,75
Maksimum	24,92	25,38	25,79
Broj uzoraka	3,0000	3,0000	3,0000

Visina 1/2 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	22,92	24,11	24,49
Standardna greška	0,8387	0,2686	0,3698
Standardna devijacija	1,4526	0,4652	0,6405
Varijansa	2,1100	0,2164	0,4102
Minimum	21,32	23,64	23,81
Maksimum	24,16	24,57	25,08
Broj uzoraka	3,0000	3,0000	3,0000

Visina 3/4 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	26,18	23,78	24,68
Standardna greška	0,5574	0,1431	0,4512
Standardna devijacija	0,9655	0,2479	0,7816
Varijansa	0,9322	0,0614	0,6108
Minimum	25,23	23,56	23,85
Maksimum	27,16	24,05	25,40
Broj uzoraka	3,0000	3,0000	3,0000

Juvenilno drvo

Visina 1.3 m	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	46,04	45,25	45,10
Standardna greška	0,0725	0,2657	0,8630
Standardna devijacija	0,1255	0,4602	1,4947
Varijansa	0,0158	0,2118	2,2342
Minimum	45,97	44,92	43,41
Maksimum	46,18	45,78	46,26
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 1/2 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	44,83	44,64	44,36
Standardna greška	0,4469	0,6814	0,6700
Standardna devijacija	0,7741	1,1803	1,1605
Varijansa	0,5992	1,3931	1,3469
Minimum	44,33	43,28	43,22
Maksimum	45,72	45,42	45,54
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 3/4 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	43,96	44,12	43,88
Standardna greška	0,4078	0,4276	0,4747
Standardna devijacija	0,7063	0,7406	0,8222
Varijansa	0,4989	0,5485	0,6759
Minimum	43,33	43,28	43,12
Maksimum	44,72	44,69	44,75
Broj uzoraka	3	3	3

VI - 3.3.2. Komparativna statistička analiza - Sadržaj lignina

Zrelo drvo

Anova: Single Factor
SUMMARY

Visina 1.3m

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	72,88018	24,29339	0,618589
Stablo 2	3	73,41088	24,47029	0,736853
Stablo 3	3	75,98496	25,32832	0,278994

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,838568	2	0,919284	1,687341	0,262171	5,143253
Within Groups	3,268873	6	0,544812			
Total	5,107442	8				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Visina 1/2 h

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	68,75	22,91667	2,110033
Stablo 2	3	72,34	24,11333	0,216433
Stablo 3	3	73,48	24,49333	0,410233

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4,062289	2	2,031144	2,226562	0,18911	5,143253
Within Groups	5,4734	6	0,912233			
Total	9,535689	8				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Visina 3/4 h

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	76,29	25,43	1,0231
Stablo 2	3	71,10835	23,70278	0,134174
Stablo 3	3	74,05	24,68333	0,610833

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4,502262	2	2,251131	3,819561	0,085132	5,143253
Within Groups	3,5362143	6	0,589369			
Total	8,0384764	8				

Ne postoje statistički značajne razlike u sadržaju ukupnog lignina na istoj visini tri ispitivana stabla zrelog drveta poljskog jasena.

Juvenilno drvo

Anova: Single Factor

Visina 1.3 m

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	62,90019	20,96673	10,06013
Stablo 2	3	58,927	19,64233	17,62235
Stablo 3	3	64,29162	21,43054	6,218856

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	5,16683	2	2,583415	0,228612	0,802262	5,143253
Within Groups	67,80267	6	11,30045			
Total	72,9695	8				

Anova: Single Factor

Visina 1/2 h

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	68,85412	22,95137	3,080697
Stablo 2	3	57,77039	19,2568	0,798342
Stablo 3	3	65,84814	21,94938	5,795363

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	21,90388	2	10,95194	3,39616	0,103182	5,143253
Within Groups	19,3488	6	3,224801			
Total	41,25268	8				

Anova: Single Factor

Visina 3/4 h

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	67,85412	22,61804	3,029944
Stablo 2	3	58,06675	19,35558	0,940408
Stablo 3	3	63,97848	21,32616	1,104836

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	16,19575	2	8,097873	4,786743	0,057187	5,143253
Within Groups	10,15038	6	1,691729			
Total	26,34612	8				

Ne postoje statistički značajne razlike u sadržaju ukupnog lignina na istoj visini tri ispitivana stabla juvenilnog drveta poljskog jasena.

VI - 3.4. Sadržaj ekstraktiva rastvornih u organskim rastvaračima (T/E)**VI - 3.4.1. Deskriptivna statistika- Sadržaj ekstraktiva (T/E)****Zrelo drvo**

Visina 1.3 m	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	4,39	4,47	4,32
Standardna greška	0,3428	0,2849	0,3065
Standardna devijacija	0,5937	0,4935	0,5309
Varijansa	0,3525	0,2435	0,2818
Minimum	3,86	3,98	3,79
Maksimum	5,029772	4,97	4,85
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 1/2 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	4,34	4,04	4,03
Standardna greška	0,3413	0,5045	0,2347
Standardna devijacija	0,5911	0,8738	0,4065
Varijansa	0,3494	0,7635	0,1652
Minimum	3,65	3,12	3,62
Maksimum	4,69	4,86	4,43
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 3/4 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	4,73	4,22	4,04
Standardna greška	0,1534	0,2407	0,0706
Standardna devijacija	0,2656	0,4170	0,1222
Varijansa	0,0706	0,1738	0,0149
Minimum	4,48	3,93	3,92
Maksimum	5,01	4,70	4,16
Broj uzoraka	3	3	3

Juvenilno drvo

Visina 1.3 m	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	3,27	3,81	4,05
Standardna greška	0,2184	0,3210	0,3091
Standardna devijacija	0,3782	0,5561	0,5353
Varijansa	0,1431	0,3092	0,2865
Minimum	3,05	3,24	3,68
Maksimum	3,71	4,35	4,66
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 1/2 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	2,72	2,53	3,12
Standardna greška	0,1802	0,1506	0,0925
Standardna devijacija	0,3121	0,2609	0,1601
Varijansa	0,0974	0,0681	0,0256
Minimum	2,50	2,32	2,97
Maksimum	3,07	2,82	3,29
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 3/4 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	2,32	1,93	2,07
Standardna greška	0,0345	0,0694	0,1800
Standardna devijacija	0,0597	0,1203	0,3117
Varijansa	0,0036	0,0145	0,0972
Minimum	2,27	1,79	1,84
Maksimum	2,39	2,01	2,42
Broj uzoraka	3	3	3

VI - 3.4.2. Komparativna statistička analiza - Sadržaj ekstrakta (T/E)

Zrelo drvo

Anova: Single Factor
SUMMARY

Visina 1.3 m

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	13,1582	4,386066	0,352471
Stablo 2	3	13,40582	4,468607	0,24351
Stablo 3	3	12,95931	4,319771	0,281808

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,03336	2	0,01668	0,057007	0,945092	5,143253
Within Groups	1,755577	6	0,292596			
Total	1,788938	8				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Visina 1/2 h

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	13,00732	4,335773	0,349409
Stablo 2	3	12,11242	4,037474	0,763499
Stablo 3	3	12,1008	4,033602	0,165206

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,180305	2	0,090153	0,211607	0,815073	5,143253
Within Groups	2,556227	6	0,426038			
Total	2,736532	8				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Visina 3/4 h

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	14,180068	4,726689	0,070559
Stablo 2	3	12,651799	4,217266	0,17385
Stablo 3	3	12,122949	4,040983	0,014943

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,760781	2	0,38039	4,400092	0,066627	5,143253
Within Groups	0,518703	6	0,086451			
Total	1,279484	8				

Ne postoje statistički značajne razlike u sadržaju ekstrakta rastvornih u organskim rastvaračima (T/E) na istoj visini tri ispitivana stabla zrelog drveta poljskog jasena.

Juvenilno drvo

Anova: Single Factor
SUMMARY

Visina 1.3 m

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	9,821783	3,273928	0,143065
Stablo 2	3	11,44382	3,814607	0,3092
Stablo 3	3	12,1363	4,045432	0,286539

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,940834	2	0,470417	1,910184	0,228071	5,143253
Within Groups	1,477607	6	0,246268			
Total	2,41844	8				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Visina 1/2 h

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	8,150476	2,716825	0,097413
Stablo 2	3	7,598326	2,532775	0,068057
Stablo 3	3	9,349522	3,116507	0,025646

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,534363	2	0,267182	4,194023	0,072518	5,143253
Within Groups	0,382232	6	0,063705			
Total	0,916595	8				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Visina 3/4 h

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	6,974444	2,324815	0,003565
Stablo 2	3	5,791465	1,930488	0,014468
Stablo 3	3	6,202589	2,06753	0,09717

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,240469	2	0,120235	3,131016	0,117157	5,143253
Within Groups	0,230407	6	0,038401			
Total	0,470876	8				

Ne postoje statistički značajne razlike u sadržaju ekstrakta rastvornih u organskim rastvaračima (T/E) na istoj visini tri ispitivana stabla juvenilnog drveta poljskog jasena.

VI - 3.5. Sadržaj ekstraktivnih materija u vreloj vodi

VI - 3.5.1. Deskriptivna statistika - Sadržaj ekstraktiva u vreloj vodi

Zrelo drvo - Deskriptivna statistika

VISINA 1.3 m	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	6,19992	5,601538	4,95951
Standardna greška	0,09145	0,16405	0,101493
Standardna devijacija	0,158397	0,284142	0,175792
Varijansa	0,02509	0,080737	0,030903
Minimum	6,032631	5,301434	4,831604
Maksimum	6,347598	5,866437	5,159965
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 1/2 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	4,85	4,46	4,01
Standardna greška	0,0734	0,0291	0,0955
Standardna devijacija	0,1271	0,0504	0,1653
Varijansa	0,0161	0,0025	0,0273
Minimum	4,74	4,41	3,82
Maksimum	4,99	4,50	4,13
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 3/4 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	5,84	5,18	4,22
Standardna greška	0,0398	0,1005	0,1243
Standardna devijacija	0,0689	0,1741	0,2153
Varijansa	0,0047	0,0303	0,0464
Minimum	5,78	5,01	4,07
Maksimum	5,92	5,36	4,47
Broj uzoraka	3	3	3

Juvenilno drvo - Deskriptivna statistika

Visina 1.3 m	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	6,21	6,54	6,48
Standardna greška	0,1090	0,1110	0,1260
Standardna devijacija	0,1888	0,1922	0,2183
Varijansa	0,0356	0,0369	0,0476
Minimum	6,05	6,33	6,29
Maksimum	6,42	6,71	6,72
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 1/2 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	3,80	4,82	4,64
Standardna greška	0,2772	0,2497	0,2022
Standardna devijacija	0,4801	0,4325	0,3503
Varijansa	0,2305	0,1870	0,1227
Minimum	3,33	4,32	4,33
Maksimum	4,29	5,11	5,02
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 3/4 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	5,83	5,68	6,19
Standardna greška	0,3316	0,1579	0,4375
Standardna devijacija	0,5743	0,2735	0,7578
Varijansa	0,3298	0,0748	0,5743
Minimum	5,18	5,39	5,32
Maksimum	6,26	5,94	6,72
Broj uzoraka	3	3	3

VI - 3.5.2. Komparativna statistička analiza - Sadržaj ekstrakтива u vreloj vodi

Zrelo drvo

Anova: Single Factor

Visina 1.3 m

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	17,72216	5,907387	0,022839
Stablo 2	3	16,80461	5,601538	0,080737
Stablo 3	3	15,77693	5,258975	0,185031

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,63133	2	0,315665	3,281271	0,108948	5,143253
Within Groups	0,577213	6	0,096202			
Total	1,208543	8				

Anova: Single Factor

Visina 1/2 h

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	14,03772	4,679241	0,153138
Stablo 2	3	13,89078	4,630259	0,104586
Stablo 3	3	12,03433	4,011442	0,02734

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,83129	2	0,415645	4,374231	0,067331	5,143253
Within Groups	0,570128	6	0,095021			
Total	1,401418	8				

Anova: Single Factor

Visina 3/4 h

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	17,03188	5,6772937	0,120234
Stablo 2	3	15,30597	5,1019888	0,165289
Stablo 3	3	13,38612	4,4620397	0,41268

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,217353	2	1,1086764	4,763701	0,057698	5,143253
Within Groups	1,396406	6	0,2327343			
Total	3,613758	8				

Ne postoje statistički značajne razlike u sadržaju ekstraktivnih materija rastvornih u vreloj vodi na istoj visini tri ispitivana stabla zrelog drveta poljskog jasena.

Jvenilno drvo

Anova: Single Factor

Visina 1.3 m

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	18,64	6,213333	0,035633
Stablo 2	3	19,61	6,536667	0,036933
Stablo 3	3	19,45	6,483333	0,047633

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,180289	2	0,090144	2,249861	0,186604	5,143253
Within Groups	0,2404	6	0,040067			
Total	0,420689	8				

Anova: Single Factor

Visina 1/2 h

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	11,41	3,803333	0,230533
Stablo 2	3	14,45	4,816667	0,187033
Stablo 3	3	13,92	4,64	0,1227

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,758067	2	0,879033	4,881108	0,055157	5,143253
Within Groups	1,080533	6	0,180089			
Total	2,8386	8				

Anova: Single Factor Visina 3/4 h

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	17,48856	5,829521	0,329801
Stablo 2	3	17,02834	5,676113	0,074819
Stablo 3	3	18,56093	6,186978	0,574256

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,412292	2	0,206146	0,631784	0,563642	5,143253
Within Groups	1,957752	6	0,326292			
Total	2,370044	8				

Ne postoje statistički značajne razlike u sadržaju ekstraktivnih materija rastvornih u vreloj vodi na istoj visini tri ispitivana stabla juvenilnog drveta poljskog jasena.

VI - 3.6. Sadržaj pepela

VI - 3.6.1. Deskriptivna statistika - Sadržaj pepela

Zrelo drvo

Visina 1.3 m	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	0,419267	0,347526	0,316244
Standardna greška	0,005163	0,042575	0,040589
Standardna devijacija	0,008943	0,073742	0,070302
Varijansa	8E-05	0,005438	0,004942
Minimum	0,411448	0,272579	0,25
Maksimum	0,429018	0,42	0,39
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 1/2 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	0,356774	0,36839	0,275268
Standardna greška	0,013615	0,031975	0,022451
Standardna devijacija	0,023582	0,055382	0,038886
Varijansa	0,000556	0,003067	0,001512
Minimum	0,33976	0,307649	0,234583
Maksimum	0,383693	0,416081	0,312063
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 3/4 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	0,567903	0,583566	0,512606
Standardna greška	0,013211	0,010664	0,028913
Standardna devijacija	0,022882	0,018471	0,050079
Varijansa	0,000524	0,000341	0,002508
Minimum	0,543813	0,563575	0,477797
Maksimum	0,589347	0,6	0,57
Broj uzoraka	3	3	3

Juvenilno drvo

Visina 1.3 m	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	0,47	0,34	0,59
Standardna greška	0,0493	0,0504	0,0606
Standardna devijacija	0,0854	0,0874	0,1050
Varijansa	0,0073	0,0076	0,0110
Minimum	0,38	0,27	0,48
Maksimum	0,55	0,44	0,69
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 1/2 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	0,60	0,48	0,75
Standardna greška	0,0433	0,0678	0,0688
Standardna devijacija	0,0750	0,1175	0,1192
Varijansa	0,0056	0,0138	0,0142
Minimum	0,52	0,35	0,65
Maksimum	0,67	0,58	0,88
Broj uzoraka	3	3	3

Visina 3/4 h	Stablo 1	Stablo 2	Stablo 3
Srednja vrednost	0,65	0,60	0,92
Standardna greška	0,0283	0,0851	0,0926
Standardna devijacija	0,0490	0,1474	0,1605
Varijansa	0,0024	0,0217	0,0257
Minimum	0,60	0,49	0,78
Maksimum	0,70	0,77	1,09
Broj uzoraka	3	3	3

VI - 3.6.2. Komparativna statistička analiza - Sadržaj pepela

Zrelo drvo

Anova: Single Factor Visina 1.3 m

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	1,2578	0,419267	8E-05
Stablo 2	3	1,042579	0,347526	0,005438
Stablo 3	3	0,948731	0,316244	0,004942

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,016739	2	0,00837	2,400409	0,171429	5,143253
Within Groups	0,02092	6	0,003487			
Total	0,037659	8				

Anova: Single Factor Visina 1/2 h

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	1,070322	0,356774	0,000556
Stablo 2	3	1,105171	0,36839	0,003067
Stablo 3	3	0,825805	0,275268	0,001512

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,01545	2	0,007725	4,512733	0,063675	5,143253
Within Groups	0,010271	6	0,001712			
Total	0,025721	8				

Anova: Single Factor Visina 3/4 h

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	1,70371	0,567903	0,000524
Stablo 2	3	1,750697	0,583566	0,000341
Stablo 3	3	1,537818	0,512606	0,002508

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,008338	2	0,004169	3,708487	0,089431	5,143253
Within Groups	0,006745	6	0,001124			
Total	0,015084	8				

Ne postoje statistički značajne razlike u sadržaju pepela na istoj visini tri ispitivana stabla zrelog drveta poljskog jasena.

Juvenilno drvo

Anova: Single Factor
SUMMARY

Visina 1.3 m

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	1,41	0,47	0,0073
Stablo 2	3	1,03	0,343333	0,007633
Stablo 3	3	1,76	0,586667	0,011033

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,088867	2	0,044433	5,133504	0,05018	5,143253
Within Groups	0,051933	6	0,008656			
Total	0,1408	8				

Juvenilno drvo Visina 1/2 h

Anova: Single Factor
SUMMARY

Visina 1/2 h

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	1,786544	0,595515	0,005626
Stablo 2	3	1,436881	0,47896	0,01381
Stablo 3	3	2,240979	0,746993	0,014198

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,108372	2	0,054186	4,833261	0,056174	5,143253
Within Groups	0,067266	6	0,011211			
Total	0,175639	8				

Juvenilno drvo Visina 3/4 h

Anova: Single Factor
SUMMARY

Visina 3/4 h

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Stablo 1	3	1,9561	0,652033	0,002401
Stablo 2	3	1,806666	0,602222	0,021733
Stablo 3	3	2,758503	0,919501	0,02575

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,174686	2	0,087343	5,252789	0,048035	5,143253
Within Groups	0,099768	6	0,016628			
Total	0,274453	8				

Ne postoje statistički značajne razlike u sadržaju pepela na istoj visini tri ispitivana stabla juvenilnog drveteta poljskog jasena.

Prilog VI - 4. Statistička analiza ispitivanja hemijskog sastava zrelog i juvenilnog drveta poljskog jasena na različitim položajima po visini na stablu

VI - 4.1. Sadržaj celuloze

VI - 4.1.1. Deskriptivna statistika - Sadržaj celuloze

Zrelo drvo

Zrelo	Visina 1.3 m	Visina 1/2 h	Visina 3/4 h
Srednja vrednost	46,83	46,14	44,85
Standardna greška	0,1299	0,1292	0,1209
Standardna devijacija	0,5512	0,5483	0,5131
Varijansa	0,3039	0,3006	0,2633
Minimum	45,43	45,36	44,02
Maksimum	47,89	46,89	46,07
Broj uzoraka	18	18	18

Juvenilno drvo

Juvenilno	Visina 1.3 m	Visina 1/2 h	Visina 3/4 h
Srednja vrednost	45,46	44,61	43,99
Standardna greška	0,2993	0,3122	0,2214
Standardna devijacija	0,8980	0,9366	0,6643
Varijansa	0,8064	0,8772	0,4414
Minimum	43,41	43,22	43,12
Maksimum	46,26	45,72	44,75
Broj uzoraka	9	9	9

VI - 4.1.2. Komparativna statistička analiza - Sadržaj celuloze

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	18	843,0165	46,83425	0,303854
Visina 1/2 h	18	830,532	46,14067	0,300629
Visina 3/4 h	18	807,3312	44,85174	0,263313

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	36,43653	2	18,21826	62,98117	1,67E-14	3,178799
Within Groups	14,75253	51	0,289265			
Total	51,18906	53				

Testiranje rezultata određivanja sadržaja celuloze na tri položaja po visini stabla statističkom tehnikom ANOVA pokazalo je da postoje značajne razlike u sadržaju celuloze na različitim visinama stabla zrelog drveta poljskog jasena.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	18	843,0165	46,83425	0,303854
Visina 1/2 h	18	830,532	46,14067	0,300629

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4,329506	1	4,329506	14,32466	0,000597	4,130018
Within Groups	10,27621	34	0,302241			
Total	14,60571	35				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1/2 h	18	830,532	46,14067	0,300629
Visina 3/4 h	18	807,3312	44,85174	0,263313

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	14,95208	1	14,95208	53,02703	1,97E-08	4,130018
Within Groups	9,587009	34	0,281971			
Total	24,53909	35				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 3/4 h	18	807,3312	44,85174	0,263313
Visina 1.3 m	18	843,0165	46,83425	0,303854

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	35,373209	1	35,37321	124,7365	6,39E-13	4,130018
Within Groups	9,64184	34	0,283584			
Total	45,015049	35				

Statistička analiza rezultata sa po dve različite visine stabla pokazala je da su razlike u sadržaju celuloze uzoraka sa različitih visina stabala zrelog drveta značajne.

Juvenilno drvo

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	9	409,1787	45,46429	0,80636
Visina 1/2 h	9	401,4804	44,60893	0,877233
Visina 3/4 h	9	395,8919	43,98799	0,441356

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	9,890046	2	4,945023	6,981377	0,004076	3,402826
Within Groups	16,99959	24	0,708316			
Total	26,88964	26				

Testiranje rezultata određivanja sadržaja celuloze na tri položaja po visini na stablu juvenilnog drveta statističkom tehnikom ANOVA pokazalo je da postoje značajne razlike u sadržaju celuloze na različitim visinama stabla poljskog jasena.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	9	409,1787	45,46429	0,80636
Visina 1/2 h	9	401,4804	44,60893	0,877233

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,292407	1	3,292407	3,911167	0,065455	4,493998
Within Groups	13,46874	16	0,841797			
Total	16,76115	17				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1/2 h	9	401,4804	44,60893	0,877233
Visina 3/4 h	9	395,8919	43,98799	0,441356

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,735047	1	1,735047	2,631673	0,124288	4,493998
Within Groups	10,54871	16	0,659294			
Total	12,28376	17				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 3/4 h	9	395,8919	43,98799	0,441356
Visina 1.3 m	9	409,1787	45,46429	0,80636

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	9,807615	1	9,807615	15,72091	0,001111	4,493998
Within Groups	9,981726	16	0,623858			
Total	19,78934	17				

Kod juvenilnog drveta poljskog jasena razlike u sadržaju celuloze značajne su samo između uzoraka sa visine od 1.3m i uzorka sa 3/4 visine stabala.

VI - 4.2. Sadržaj lignina (Klasonov +kiselorastvorni)

VI - 4.2.1. Deskriptivna statistika - Sadržaj lignina

Zrelo drvo

Zrelo	Visina 1.3 m	Visina 1/2 h	Visina 3/4 h
Srednja vrednost	24,69734	23,84111	24,60537
Standardna greška	0,266339	0,363923	0,334134
Standardna devijacija	0,799018	1,09177	1,002402
Varijansa	0,63843	1,191961	1,00481
Minimum	23,41232	21,32	23,32
Maksimum	25,78506	25,08	26,32
Broj uzoraka	9	9	9

Juvenilno drvo

Juvenilno	Visina 1.3 m	Visina 1/2 h	Visina 3/4 h
Srednja vrednost	20,68	21,39	21,10
Standardna greška	1,0067	0,7569	0,6049
Standardna devijacija	3,0201	2,2708	1,8147
Varijansa	9,1212	5,1566	3,2933
Minimum	15,36	18,56	18,53
Maksimum	24,33	24,63	24,48
Broj uzoraka	9	9	9

VI - 4.2.2. Komparativna statistička analiza - Sadržaj lignina

Zrelo drvo

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	9	222,276	24,69734	0,63843
Visina 1/2 h	9	214,57	23,84111	1,191961
Visina 3/4 h	9	221,4484	24,60537	1,00481

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,977023	2	1,988511	2,104096	0,14389	3,402826
Within Groups	22,68161	24	0,945067			
Total	26,65863	26				

Analiza rezultata određivanja sadržaja lignina u uzorcima sa tri položaja po visini stabala zrelog drveta poljskog jasena primenom metode ANOVA pokazala je da nema značajne razlike u sadržaju lignina između analiziranih grupa.

*Juvenilno drvo*Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	9	186,1188	20,67987	9,121188
Visina 1/2 h	9	192,4727	21,38585	5,156586
Visina 3/4 h	9	189,8994	21,09993	3,293265

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,26984	2	1,13492	0,193771	0,825123	3,402826
Within Groups	140,5683	24	5,857013			
Total	142,8381	26				

Analiza rezultata određivanja sadržaja lignina u uzorcima sa tri položaja po visini stabala juvenilnog drveta poljskog jasena primenom metode ANOVA pokazala je da nema značajne razlike u sadržaju lignina između analiziranih grupa.

*VI - 4.3. Sadržaj ekstraktiva rastvornih u organskim rastvaračima (T/E)**VI - 4.3.1. Deskriptivna statistika - Sadržaj ekstraktiva (T/E)**Zrelo drvo*

Zrelo drvo	Visina 1.3 m	Visina 1/2 h	Visina 3/4 h
Srednja vrednost	4,391	4,136	4,328
Standardna greška	0,1576	0,1950	0,1333
Standardna devijacija	0,4729	0,5849	0,3999
Varijansa	0,2236	0,3421	0,1599
Minimum	3,79	3,12	3,92
Maksimum	5,03	4,86	5,01
Broj uzoraka	9	9	9

Juvenilno drvo

Juvenilno drvo	Visina 1.3 m	Visina 1/2 h	Visina 3/4 h
Srednja vrednost	3,71	2,79	2,11
Standardna greška	0,1833	0,1128	0,0809
Standardna devijacija	0,5498	0,3385	0,2426
Varijansa	0,3023	0,1146	0,0589
Minimum	3,05	2,32	1,79
Maksimum	4,66	3,29	2,42
Broj uzoraka	9	9	9

*VI - 4.3.2. Komparativna statistička analiza - Sadržaj ekstraktiva (T/E)**Zrelo drvo*

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	9	39,52333	4,391481	0,223617
Visina 1/2 h	9	37,22055	4,135616	0,342066
Visina 3/4 h	9	38,95482	4,328313	0,159936

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,319767	2	0,159884	0,661022	0,525472	3,402826
Within Groups	5,804954	24	0,241873			
Total	6,124721	26				

Komparativnom statističkom metodom ANOVA ustanovljeno je da nema statistički značajnih razlika u sadržaju ekstraktivnih materija rastvornih u organskim rastvaračima (T/E) na različitim položajima po visini stabala zrelog drveta poljskog jasena.

Juvenilno drvo

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	9	33,4019	3,711322	0,302305
Visina 1/2 h	9	25,09832	2,788703	0,114574
Visina 3/4 h	9	18,9685	2,107611	0,05886

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	11,66101	2	5,830505	36,76704	4,93E-08	3,402826
Within Groups	3,805912	24	0,15858			
Total	15,46692	26				

Komparativnom statističkom metodom ANOVA ustanovljeno je da postoje statistički značajne razlike u sadržaju ekstraktivnih materija rastvornih u organskim rastvaračima (T/E) na različitim položajima po visini stabala juvenilnog drveta poljskog jasena.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	9	33,4019	3,711322	0,302305
Visina 1/2 h	9	25,09832	2,788703	0,114574

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,830521	1	3,830521	18,37712	0,000566	4,493998
Within Groups	3,335035	16	0,20844			
Total	7,165557	17				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1/2 h	9	25,09832	2,788703	0,114574
Visina 3/4 h	9	18,9685	2,107611	0,05886

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,087487	1	2,087487	24,07242	0,000158	4,493998
Within Groups	1,387472	16	0,086717			
Total	3,474959	17				

Daljim testiranjem ustanovljeno je da su razlike u sadržaju ekstraktivnih materija rastvornih u organskim rastvaračima (T/E) statistički značajne između svih testiranih grupa uzoraka juvenilnog drveta.

VI - 4.4. Sadržaj ekstraktiva rastvornih u vreloj vodi

VI - 4.4.1. Deskriptivna statistika - Sadržaj ekstraktiva rastvornih u vreloj vodi

Zrelo drvo

Zrelo drvo	Visina 1.3 m	Visina 1/2 h	Visina 3/4 h
Srednja vrednost	5,59	4,44	5,08
Standardna greška	0,1296	0,1395	0,2240
Standardna devijacija	0,3887	0,4185	0,6721
Varijansa	0,1511	0,1752	0,4517
Minimum	4,89	3,82	3,79
Maksimum	6,03	5,00	5,92
Broj uzoraka	9	9	9

Juvenilno drvo

Juvenilno	Visina 1.3 m	Visina 1/2 h	Visina 3/4 h
Srednja vrednost	6,411111	4,42	5,897538
Standardna greška	0,076439	0,198557	0,181431
Standardna devijacija	0,229317	0,595672	0,544294
Varijansa	0,052586	0,354825	0,296255
Minimum	6,05	3,33	5,177843
Maksimum	6,72	5,11	6,723023
Broj uzoraka	9	9	9

VI - 4.4.2. Komparativna statistička analiza - Sadržaj ekstraktiva rastvornih u vreloj vodi

Zrelo drvo

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	9	50,3037	5,5893	0,151068
Visina 1/2 h	9	39,96283	4,440314	0,175177
Visina 3/4 h	9	45,72397	5,080441	0,45172

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	5,966609	2	2,983305	11,50426	0,000314	3,402826
Within Groups	6,223719	24	0,259322			
Total	12,19033	26				

Komparativnom statističkom metodom ANOVA ustanovljeno je da postoje statistički značajne razlike u sadržaju ekstraktivnih materija rastvornih u vreloj vodi na različitim položajima po visini stabala zrelog drveta poljskog jasena.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	9	50,3037	5,5893	0,151068
Visina 1/2 h	9	39,96283	4,440314	0,175177

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	5,940762	1	5,940762	36,41901	1,73E-05	4,493998
Within Groups	2,609961	16	0,163123			
Total	8,550723	17				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1/2 h	9	39,96283	4,440314	0,175177
Visina 3/4 h	9	45,72397	5,080441	0,45172

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,84393	1	1,84393	5,882721	0,02749	4,493998
Within Groups	5,015176	16	0,313448			
Total	6,859106	17				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 3/4 h	9	45,72397	5,0804407	0,45172
Visina 1.3 m	9	50,3037	5,5893003	0,151068

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,165221	1	1,1652212	3,866108	0,066867	4,493998
Within Groups	4,822302	16	0,3013939			
Total	5,987523	17				

Daljim testiranjem ustanovljeno je da su razlike u sadržaju ekstraktivnih materija rastvornih u vreloj vodi statistički značajne između položaja na 1/2 visine stabla, a nisu značajne između položaja 1.3 m i 1/2 h stabla testiranih grupa uzoraka zrelog drveta poljskog jasena.

Juvenilno drvo

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	9	57,7	6,411111	0,052586
Visina 1/2 h	9	39,78	4,42	0,354825
Visina 3/4 h	9	53,07784	5,897538	0,296255

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	19,2342	2	9,617098	41,00137	1,81E-08	3,402826
Within Groups	5,629333	24	0,234556			
Total	24,86353	26				

Komparativnom statističkom metodom ANOVA ustanovljeno je da postoje statistički značajne razlike u sadržaju ekstraktivnih materija rastvornih u vreloj vodi na različitim položajima po visini stabala juvenilnog drveta poljskog jasena.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	9	57,7	6,411111	0,052586
Visina 1/2 h	9	39,78	4,42	0,354825

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	17,84036	1	17,84036	87,57913	6,85E-08	4,493998
Within Groups	3,259289	16	0,203706			
Total	21,09964	17				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1/2 h	9	39,78	4,42	0,354825
Visina 3/4 h	9	53,07784	5,897538	0,296255

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	9,824029	1	9,824029	30,17762	4,91E-05	4,493998
Within Groups	5,208644	16	0,32554			
Total	15,03267	17				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 3/4 h	9	53,07784	5,897538	0,296255
Visina 1.3 m	9	57,7	6,411111	0,052586

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,186909	1	1,186909	6,804862	0,019005	4,493998
Within Groups	2,790733	16	0,174421			
Total	3,977642	17				

Daljim testiranjem ustanovljeno je da su razlike u sadržaju ekstraktivnih materija rastvornih u vreloj vodi statistički značajne između svih testiranih grupa uzoraka juvenilnog drveta.

VI - 4.5. Sadržaj pepela

VI - 4.5.1. Deskriptivna statistika - Sadržaj pepela

Zrelo drvo

Zrelo drvo	Visina 1.3 m	Visina 1/2 h	Visina 3/4 h
Srednja vrednost	0,361012	0,333478	0,554692
Standardna greška	0,02287	0,018901	0,014474
Standardna devijacija	0,068611	0,056702	0,043422
Varijansa	0,004707	0,003215	0,001885
Minimum	0,25	0,234583	0,477797
Maksimum	0,429018	0,416081	0,6
Broj uzoraka	9	9	9

Juvenilno drvo

Juvenilno	Visina 1.3 m	Visina 1/2 h	Visina 3/4 h
Srednja vrednost	0,47	0,61	0,72
Standardna greška	0,04	0,05	0,06
Standardna devijacija	0,1327	0,1482	0,1852
Varijansa	0,0176	0,0220	0,0343
Minimum	0,27	0,35	0,49
Maksimum	0,69	0,88	1,09
Broj uzoraka	9	9	9

VI - 4.5.2. Komparativna statistička analiza - Sadržaj pepela

Zrelo drvo

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	9	3,24911	0,361012	0,004707
Visina 1/2 h	9	3,001298	0,333478	0,003215
Visina 3/4 h	9	4,992225	0,554692	0,001885

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,261617	2	0,130808	40,01093	2,28E-08	3,402826
Within Groups	0,078464	24	0,003269			
Total	0,34008	26				

Postoje statistički značajne razlike u sadržaju pepela između tri uzorkovane visini stabala zrelog drveta poljskog jasena.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	9	3,24911	0,361012	0,004707
Visina 1/2 h	9	3,001298	0,333478	0,003215

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,003412	1	0,003412	0,861276	0,367171	4,493998
Within Groups	0,06338	16	0,003961			
Total	0,066792	17				

Ne postoje statistički značajne razlike u sadržaju pepela između visine 1.3m i 1/2 h stabala zrelog drveta poljskog jasena.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1/2 h	9	3,001298	0,333478	0,003215
Visina 3/4 h	9	4,992225	0,554692	0,001885

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,220211	1	0,220211	86,34799	7,55E-08	4,493998
Within Groups	0,040804	16	0,00255			
Total	0,261015	17				

Razlike u sadržaju pepela između visine 1/2 h i 3/4 h stabala su statistički značajne kod zrelog drveta poljskog jasena.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 3/4 h	9	4,992225	0,554692	0,001885
Visina 1.3 m	9	3,24911	0,361012	0,004707

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,168803	1	0,168803	51,20763	2,28E-06	4,493998
Within Groups	0,052743	16	0,003296			
Total	0,221546	17				

Razlike u sadržaju pepela između visine 1.3m i 3/4 h stabala zrelog drveta poljskog jasena su statistički značajne.

Juvenilno drvo

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	9	4,2	0,466667	0,0176
Visina 1/2 h	9	5,464403	0,607156	0,021955
Visina 3/4 h	9	6,521269	0,724585	0,034307

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,300147	2	0,150074	6,09547	0,007233	3,402826
Within Groups	0,590892	24	0,02462			
Total	0,891039	26				

Postoje statistički značajne razlike u sadržaju pepela između tri uzorkovane visini stabala juvenilnog drveta poljskog jasena.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1.3 m	9	4,2	0,466667	0,0176
Visina 1/2 h	9	5,464403	0,607156	0,021955

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,088817	1	0,088817	4,490853	0,050071	4,493998
Within Groups	0,316439	16	0,019777			
Total	0,405256	17				

Ne postoje statistički značajne razlike u sadržaju pepela između visine 1.3m i 1/2 h stabala juvenilnog drveta poljskog jasena.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 1/2 h	9	5,464403	0,607156	0,021955
Visina 3/4 h	9	6,521269	0,724585	0,034307

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,062054	1	0,062054	2,205902	0,156919	4,493998
Within Groups	0,450092	16	0,028131			
Total	0,512146	17				

Ne postoje statistički značajne razlike u sadržaju pepela između visine 1/2 h i 3/4 h stabala juvenilnog drveta poljskog jasena.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Visina 3/4 h	9	6,521269	0,724585	0,034307
Visina 1.3 m	9	4,2	0,466667	0,0176

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,299349	1	0,299349	11,53414	0,00369	4,493998
Within Groups	0,415253	16	0,025953			
Total	0,714603	17				

Razlike u sadržaju pepela između visine 1.3m i 3/4 h stabala juvenilnog drveta poljskog jasena su statistički značajne.

Prilog VI - 5. Komparativna statistička analiza ispitivanja hemijskog sastava drveta poljskog jasena na istim položajima po visini na stablu u zavisnosti od starosti stabala (zrelo - juvenilno)

VI - 5.1. Sadržaj celuloze

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
J - Visina 1.3 m	9	409,1787	45,46429	0,80636
Z - Visina 1.3 m	18	843,0165	46,83425	0,303854

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	11,26063	1	11,26063	24,23434	4,55E-05	4,241699
Within Groups	11,6164	25	0,464656			
Total	22,87703	26				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
J - Visina 1/2 h	9	401,4804	44,60893	0,877233
Z - Visina 1/2 h	18	830,532	46,14067	0,300629

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	14,07726	1	14,07726	29,01677	1,37E-05	4,241699
Within Groups	12,12855	25	0,485142			
Total	26,20581	26				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
J - Visina 3/4 h	9	395,8919	43,98799	0,441356
Z - Visina 3/4 h	18	807,3312	44,85174	0,263313

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4,476316	1	4,476316	13,97597	0,000967	4,241699
Within Groups	8,007167	25	0,320287			
Total	12,48348	26				

Komparativna statistička analiza dobijenih rezultata sadržaja celuloze sa istog položaja po visini na stablu juvenilnog i zrelog drveta ukazuje da su vrednosti sadržaja celuloze juvenilnog drveta značajno manje u odnosu na vrednosti zrelog drveta poljskog jasena, i to na svim položajima po visini.

VI - 5.2. Sadržaj lignina (Klasonov+kiselorastvorni)

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
J - Visina 1.3 m	9	186,1188	20,67987	9,121188
Z - Visina 1.3 m	9	222,276	24,69734	0,63843

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	72,63023	1	72,63023	14,88383	0,001392	4,493998
Within Groups	78,07694	16	4,879809			
Total	150,7072	17				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
J - Visina 1/2 h	9	192,4727	21,38585	5,156586
Z - Visina 1/2 h	9	214,57	23,84111	1,191961

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	27,12738	1	27,12738	8,546012	0,009947	4,493998
Within Groups	50,78837	16	3,174273			
Total	77,91575	17				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
J - Visina 3/4 h	9	189,8994	21,09993	3,293265
Z - Visina 3/4 h	9	221,4484	24,60537	1,00481

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	55,29664	1	55,29664	25,73089	0,000113	4,493998
Within Groups	34,3846	16	2,149037			
Total	89,68124	17				

Komparativna statistička analiza dobijenih rezultata sadržaja lignina sa istog položaja po visini na stablu juvenilnog i zrelog drveta ukazuje da su vrednosti sadržaja lignina juvenilnog drveta značajno manje u odnosu na vrednosti zrelog drveta poljskog jasena, i to na svim položajima po visini.

VI - 5.3. Sadržaj ekstraktiva rastvornih u organskim rastvaračima (T/E)

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
J - Visina 1.3 m	9	33,4019	3,711322	0,302305
Z - Visina 1.3 m	9	39,52333	4,391481	0,223617

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,081773	1	2,081773	7,916657	0,012485	4,493998
Within Groups	4,207378	16	0,262961			
Total	6,289151	17				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
J - Visina 1/2 h	9	25,09832	2,788703	0,114574
Z - Visina 1/2 h	9	37,22055	4,135616	0,342066

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	8,163794	1	8,163794	35,75586	1,93E-05	4,493998
Within Groups	3,653127	16	0,22832			
Total	11,81692	17				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
J - Visina 3/4 h	9	18,9685	2,107611	0,05886
Z - Visina 3/4 h	9	38,95482	4,328313	0,159936

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	22,19183	1	22,19183	202,8549	1,66E-10	4,493998
Within Groups	1,750361	16	0,109398			
Total	23,94219	17				

Komparativna statistička analiza dobijenih rezultata sadržaja ekstraktiva rastvornih u organskim rastvaračima (T/E) sa istog položaja po visini na stablu juvenilnog i zrelog drveta ukazuje da su vrednosti sadržaja ekstraktiva rastvornih u organskim rastvaračima (T/E) juvenilnog drveta značajno manje u odnosu na vrednosti zrelog drveta poljskog jasena, i to na svim položajima po visini.

VI - 5.4. Sadržaj ekstraktiva rastvornih u vreloj vodi

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
J - Visina 1.3 m	9	57,7	6,411111	0,052586
Z - Visina 1.3 m	9	50,3037	5,5893	0,151068

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,039179	1	3,039179	29,84649	5,21E-05	4,493998
Within Groups	1,629232	16	0,101827			
Total	4,668411	17				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
J - Visina 1/2 h	9	39,78	4,42	0,354825
Z - Visina 1/2 h	9	39,96283	4,440314	0,175177

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,001857	1	0,001857	0,007007	0,934325	4,493998
Within Groups	4,240018	16	0,265001			
Total	4,241875	17				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
J - Visina 3/4 h	9	53,07784	5,897538	0,296255
Z - Visina 3/4 h	9	45,72397	5,080441	0,45172

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,004413	1	3,004413	8,033456	0,011962	4,493998
Within Groups	5,983802	16	0,373988			
Total	8,988216	17				

Komparativna statistička analiza dobijenih rezultata sadržaja ekstraktiva rastvornih u vreloj vodi sa istog položaja po visini na stablu juvenilnog i zrelog drveta ukazuje da su vrednosti sadržaja ekstraktiva rastvornih u vreloj vodi juvenilnog drveta značajno veće u odnosu na vrednosti zrelog drveta poljskog jasena na 1.3 m i 3/4 visine stabla. Na 1/2 visine ne postoje značajne razlike u sadržaja ekstraktiva rastvornih u vreloj vodi između uzoraka juvenilnog drveta i zrelog drveta poljskog jasena

VI - 5.5. Sadržaj pepela

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
J - Visina 1.3 m	9	4,2	0,466667	0,0176
Z - Visina 1.3 m	9	3,24911	0,361012	0,004707

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,050233	1	0,050233	4,503693	0,049782	4,493998
Within Groups	0,178459	16	0,011154			
Total	0,228692	17				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
J - Visina 1/2 h	9	5,464403	0,607156	0,021955
Z - Visina 1/2 h	9	3,001298	0,333478	0,003215

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,337049	1	0,337049	26,78193	9,21E-05	4,493998
Within Groups	0,201359	16	0,012585			
Total	0,538408	17				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
J - Visina 3/4 h	9	6,521269	0,724585	0,034307
Z - Visina 3/4 h	9	4,992225	0,554692	0,001885

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,129887	1	0,129887	7,177663	0,016461	4,493998
Within Groups	0,289537	16	0,018096			
Total	0,419425	17				

Komparativna statistička analiza dobijenih rezultata sadržaja pepela sa istog položaja po visini na stablu juvenilnog i zrelog drveta ukazuje da su vrednosti sadržaja pepela juvenilnog drveta značajno veće u odnosu na vrednosti zrelog drveta poljskog jasena, i to na svim položajima po visini.

Prilog VI - 6. Statistička obrada rezultata ispitivanja uticajnih parametara predtretmana na čvrstoću lepljene veze, upijanje vode i zapreminsko bubrenje drveta poljskog jasena

VI - 6.0. Kontrolna grupa - Deskriptivna statistika

VI - 6.0.1.1. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva

	<i>KONTR</i>
Srednja vrednost	8,87
Standardna greška	0,41
Standardna devijacija	1,43
Varijansa	2,06
Minimum	7,23
Maksimum	12,05
Broj uzoraka	12

VI - 6.0.1.2. Upijanje vode

<i>Kontr</i>	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	11,35	15,22	18,67	21,22	23,77	25,81	28,45	30,03	32,24	34,36	49,44	58,31
Standardna greška	0,23	0,34	0,38	0,45	0,52	0,63	0,85	0,82	0,88	0,95	1,09	1,19
Standardna devijacija	1,15	1,67	1,84	2,21	2,57	3,08	4,16	4,00	4,32	4,65	5,36	5,83
Varijansa	1,32	2,78	3,38	4,87	6,61	9,50	17,32	15,96	18,66	21,65	28,77	33,95
Minimum	9,61	12,17	15,57	17,77	19,58	21,39	22,92	24,64	26,17	27,60	41,23	49,34
Maksimum	13,57	18,28	21,79	25,89	29,35	33,15	38,55	39,98	42,89	46,05	62,94	73,51
Broj uzoraka	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

VI - 6.0.1.3. Zapreminsko bubrenje

<i>KONTR</i>	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	4,21	5,56	6,86	7,96	9,05	9,67	10,26	11,19	11,95	12,95	16,43	16,99
Standardna greška	0,10	0,24	0,12	0,15	0,16	0,16	0,24	0,19	0,18	0,22	0,40	0,43
Standardna devijacija	0,49	1,16	0,57	0,72	0,79	0,79	1,18	0,94	0,89	1,09	1,97	2,10
Varijansa	0,24	1,34	0,32	0,52	0,62	0,62	1,38	0,88	0,80	1,19	3,88	4,40
Minimum	3,06	0,71	5,51	6,17	7,83	8,17	6,10	9,37	9,91	10,13	11,67	11,84
Maksimum	5,02	6,96	7,78	9,77	10,63	11,13	11,73	12,70	13,56	14,53	20,31	20,53
Broj uzoraka	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

VI - 6.1. Tretmani vodom

VI - 6.1.1. Gustina

VI - 6.1.1.1. Gustina - Deskriptivna statistika

	<i>KONTR</i>	<i>TV 1</i>	<i>TV 2</i>
Srednja vrednost	666,96	639,89	653,44
Standardna greška	13,06	11,91	10,18
Standardna devijacija	63,98	55,88	47,74
Varijansa	4093,98	3122,63	2278,69
Minimum	566,78	560,66	553,13
Maksimum	790,28	746,39	758,79
Broj uzoraka	24	22	22

VI - 6.1.1.2. Gustina - Komparativna statistika

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	24	16007,1277	666,963652	4093,98349
TV 1	22	14077,4941	639,886097	3122,62603
TV 2	22	14375,7747	653,444307	2278,69396

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	8420,61402	2	4210,30701	1,31832374	0,27464185	3,13814194
Within Groups	207589,34	65	3193,68215			
Total	216009,954	67				

Nema značajne razlike u gustini između kontrolne i grupa uzoraka tretiranih vodom.

VI - 6.1.2. Deskriptivna statistika- Tretmani vodom

VI - 6.1.2.1. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva - Tretmani vodom

	TV 1	TV 2
Srednja vrednost	8,34	8,28
Standardna greška	0,47	0,53
Standardna devijacija	1,63	1,58
Varijansa	2,65	2,48
Minimum	4,99	6,59
Maksimum	11,01	10,88
Broj uzoraka	12	9

VI - 6.1.2.2. Upijanje vode- Tretmani vodom

TV 1	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	14,25	18,73	22,23	24,75	27,17	29,23	31,26	33,19	35,05	36,62	46,52	53,65
Standardna greška	0,53	0,76	0,91	1,03	1,18	1,27	1,36	1,42	1,48	1,52	1,48	1,57
Standardna devijacija	2,49	3,59	4,25	4,83	5,51	5,97	6,39	6,68	6,94	7,12	6,92	7,37
Varijansa	6,21	12,87	18,08	23,35	30,40	35,68	40,81	44,61	48,15	50,65	47,92	54,28
Minimum	8,86	11,27	13,79	15,32	16,30	17,83	18,60	19,58	20,79	21,55	30,42	39,28
Maksimum	17,53	25,32	30,81	34,82	38,37	41,47	43,99	46,28	47,42	48,45	56,59	64,03
Broj uzoraka	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

TV 2	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	13,88	18,78	22,24	25,03	27,51	29,77	31,98	33,75	35,57	37,40	48,31	57,56
Standardna greška	0,31	0,45	0,56	0,66	0,75	0,88	0,96	1,03	1,09	1,13	1,07	1,16
Standardna devijacija	1,45	2,11	2,64	3,10	3,54	4,12	4,51	4,85	5,12	5,32	5,04	5,43
Varijansa	2,10	4,46	6,96	9,64	12,50	16,99	20,31	23,53	26,25	28,31	25,36	29,43
Minimum	10,21	13,72	16,36	18,22	19,98	21,62	23,27	24,37	25,69	27,00	37,10	47,20
Maksimum	16,41	22,10	26,76	30,88	34,67	38,57	41,82	44,31	46,59	48,32	56,12	65,01
Broj uzoraka	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

VI - 6.1.2.3. Zapremsko bubrenje- Tretmani vodom

TV 1	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	3,97	5,36	6,24	6,90	7,74	8,40	9,10	9,76	10,47	10,99	13,10	13,61
Standardna greška	0,13	0,15	0,16	0,16	0,17	0,19	0,19	0,20	0,19	0,22	0,37	0,39
Standardna devijacija	0,62	0,72	0,74	0,76	0,79	0,90	0,88	0,94	0,90	1,02	1,76	1,84
Varijansa	0,38	0,51	0,54	0,57	0,63	0,80	0,77	0,89	0,82	1,03	3,09	3,38
Minimum	2,68	3,62	4,39	5,05	5,27	5,90	6,79	7,26	7,56	8,92	9,84	10,16
Maksimum	5,26	6,54	7,50	8,15	8,77	10,06	10,62	11,27	11,76	12,63	17,08	17,28
Broj uzoraka	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

TV 2	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	4,21	5,53	6,63	7,36	8,34	9,20	9,94	10,55	11,18	11,74	14,22	14,43
Standardna greška	0,15	0,14	0,16	0,18	0,22	0,26	0,28	0,33	0,35	0,36	0,35	0,32
Standardna devijacija	0,70	0,64	0,74	0,84	1,02	1,23	1,33	1,55	1,64	1,69	1,62	1,50
Varijansa	0,49	0,40	0,54	0,70	1,04	1,50	1,78	2,40	2,69	2,87	2,64	2,26
Minimum	3,15	3,87	5,06	5,88	6,37	7,25	7,70	7,92	8,40	8,90	10,34	10,57
Maksimum	6,64	7,15	9,00	10,05	11,45	12,80	13,90	14,92	15,66	16,21	18,25	18,53
Broj uzoraka	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

VI - 6.1.3. Komparativna statistička analiza- Tretmani vodom

VI - 6.1.3.1. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva - Tretmani vodom

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,3923	8,866022	2,057289
TV 1	12	100,0658	8,338813	2,651053

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,667699	1	1,667699	0,708402	0,409031	4,300949
Within Groups	51,79176	22	2,354171			
Total	53,45946	23				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,3923	8,866022	2,057289
TV 2	9	74,49769	8,277521	2,483013

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,781148	1	1,781148	0,796385	0,38334	4,38075
Within Groups	42,49429	19	2,236542			
Total	44,27544	20				

Ne postoje s značajne razlike u vrednostima smicajne čvrstoće između kontrolne i grupa uzoraka tretiranih vodom.

VI - 6.1.3.2. Upijanje vode - Tretmani vodom

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 1h	24	272,4899	11,35375	1,324486
TV 1 1h	22	313,4915	14,24962	6,2146

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	96,2574	1	96,2574	26,31131	6,28E-06	4,061706
Within Groups	160,9698	44	3,658404			
Total	257,2272	45				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 48h	24	1399,35	58,30623	33,94504
TV 1 48h	22	1180,344	53,65198	54,27963

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	248,6426	1	248,6426	5,696255	0,021366	4,061706
Within Groups	1920,608	44	43,65019			
Total	2169,251	45				

Anova: Single Factor		TV 2	1h				
SUMMARY							
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance			
KONTR 1h	24	272,4899	11,35375	1,324486			
TV 2 1h	22	305,3622	13,8801	2,096288			
ANOVA							
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit	
Between Groups	73,25971	1	73,25971	43,27605	4,76E-08	4,061706	
Within Groups	74,48524	44	1,692846				
Total	147,7449	45					
Anova: Single Factor		TV 2	48 h				
SUMMARY							
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance			
KONTR 48h	24	1399,35	58,30623	33,94504			
TV 2 48h	22	1266,283	57,55834	29,43288			
ANOVA							
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit	
Between Groups	6,420247	1	6,420247	0,201948	0,655359	4,061706	
Within Groups	1398,826	44	31,79151				
Total	1405,247	45					

Posle prvog sata napajanja vodom obe grupe uzoraka tretirane vodom upijale su značajno veću količinu vode od kontrolne grupe.

Posle 48 sati napajanja vodom grupa TV 1 upija značajno manju količinu vode od kontrolne grupe, dok se količina upijene vode TV 2 i Kontr ne razlikuju značajno .

VI - 6.1.3.3. Zapreminsko bubrenje- Tretmani vodom

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance		
KONTR 1h	24	101,1339	4,213914	0,242533		
TV 1 1h	22	87,26392	3,966542	0,380608		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,702389	1	0,702389	2,27729	0,138429	4,061706
Within Groups	13,57102	44	0,308432			
Total	14,2734	45				
Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance		
KONTR 1h	24	101,1339	4,213914	0,242533		
TV 2 1h	22	92,61839	4,209927	0,491633		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,000182	1	0,000182	0,000505	0,982176	4,061706
Within Groups	15,90255	44	0,361422			
Total	15,90274	45				

Posle prvog sata napajanja vodom razlike u bubrenju kontrolne u tretiranih grupa uzoraka nisu značajne.

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance		
KONTR 48h	24	407,7968	16,99153	4,399787		
TV 1 48h	22	299,3769	13,60804	3,37579		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	131,4035	1	131,4035	33,59791	6,72E-07	4,061706
Within Groups	172,0867	44	3,911061			
Total	303,4902	45				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 48h	24	407,7968	16,99153	4,399787
TV 2 48h	22	317,3675	14,4258	2,259524

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	75,5615	1	75,5615	22,36674	2,34E-05	4,061706
Within Groups	148,6451	44	3,378297			
Total	224,2066	45				

Posle 48 sati napajanja vodom zapreminsko bubrenje grupa uzoraka tretiranih vodom značajno je manje u odnosu na kontrolnu grupu.

VI - 6.2. Tretmani sirćetnom kiselinom

VI - 6.2.1. Gustina

VI - 6.2.1.1. Gustina - Deskriptivna statistika

Gustina	Kontr	KT 1	KT 2	KT 3	KT 4	KT 5	KT 6
Srednja vrednost	666,96	646,95	637,09	623,33	632,46	644,61	652,86
Standardna greška	13,06	13,01	14,71	13,84	14,37	14,31	11,92
Standardna devijacija	63,98	61,04	68,98	66,36	67,42	65,59	54,63
Varijansa	4093,98	3725,33	4758,01	4403,31	4545,59	4302,45	2984,60
Minimum	566,78	492,44	537,94	509,65	512,56	483,50	551,57
Maksimum	790,28	737,93	726,99	733,40	774,93	739,88	740,76
Broj uzoraka	24	22	22	23	22	21	21

VI - 6.2.1.1. Gustina - Komparativna statistika

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr	24	16007,13	666,96365	4093,9835
KT 1	22	14232,79	646,9451	3725,3287
KT 2	22	14016,08	637,09433	4758,0086
KT 3	23	14336,7	623,33475	4403,3139
KT 4	22	13914,2	632,46368	4545,588
KT 5	21	13536,82	644,61066	4302,454
KT 6	21	13709,99	652,85678	2984,596

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	28272,757	6	4712,1262	1,1425527	0,3405991	2,1603517
Within Groups	610382,96	148	4124,2092			
Total	638655,72	154				

Nema značajne razlike u gustini između kontrolne i grupa uzoraka tretiranih sirćetnom kiselinom.

VI - 6.2.2. Deskriptivna statistika

VI - 6.2.2.1. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva

	KT 1	KT 2	KT 3	KT 4	KT 5	KT 6
Srednja vrednost	8,76	8,06	7,56	8,82	9,30	8,18
Standardna greška	0,31	0,41	0,33	0,49	0,62	0,63
Standardna devijacija	1,11	1,53	1,15	1,78	2,23	2,01
Varijansa	1,24	2,35	1,33	3,18	4,97	4,02
Minimum	7,37	5,46	5,84	5,89	6,83	5,23
Maksimum	10,50	9,99	9,24	12,31	13,12	12,29
Broj uzoraka	13	14	12	13	13	10

VI - 6.2.2.2. *Upijanje vode*

KT 1	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	13,45	17,62	20,17	23,31	25,61	27,77	29,60	31,43	33,12	34,62	44,09	51,66
Standardna greška	0,55	0,74	0,94	0,98	1,10	1,25	1,34	1,42	1,46	1,49	1,46	1,59
Standardna devijacija	2,59	3,45	4,43	4,60	5,17	5,87	6,29	6,67	6,84	6,99	6,86	7,44
Varijansa	6,68	11,90	19,62	21,20	26,78	34,46	39,53	44,46	46,80	48,93	47,05	55,41
Minimum	10,19	13,14	11,48	17,63	19,28	20,59	21,91	23,00	24,32	26,21	33,63	42,06
Maksimum	19,39	25,94	30,82	34,73	38,21	41,28	43,65	45,75	47,56	49,09	59,27	69,87
Broj uzoraka	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

KT 2	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	13,63	17,63	20,73	23,18	25,21	27,15	29,57	30,80	32,07	33,40	44,39	52,69
Standardna greška	0,44	0,61	0,73	0,84	0,95	1,19	1,17	1,17	1,19	1,20	1,31	1,48
Standardna devijacija	2,05	2,87	3,42	3,96	4,45	5,60	5,50	5,48	5,57	5,61	6,13	6,95
Varijansa	4,20	8,25	11,67	15,67	19,77	31,35	30,29	30,01	31,03	31,49	37,52	48,32
Minimum	11,06	13,96	16,76	18,58	19,98	19,43	23,41	24,81	26,17	27,28	36,97	43,46
Maksimum	18,40	23,58	27,83	31,84	35,26	38,68	41,75	44,22	46,23	47,52	55,19	62,91
Broj uzoraka	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

KT 3	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	14,35	18,83	21,86	24,12	26,39	28,64	30,58	32,19	33,76	34,91	45,66	53,73
Standardna greška	0,47	0,62	0,72	1,01	0,90	0,97	1,02	1,08	1,12	1,12	1,28	1,49
Standardna devijacija	2,24	2,99	3,48	4,84	4,31	4,65	4,91	5,19	5,36	5,38	6,13	7,15
Varijansa	5,00	8,92	12,08	23,46	18,57	21,66	24,14	26,92	28,77	28,91	37,53	51,14
Minimum	10,62	14,04	16,18	10,77	19,30	20,76	22,22	23,39	24,56	25,63	35,58	42,20
Maksimum	18,05	24,22	28,26	31,90	34,77	37,63	40,10	42,32	44,14	45,05	57,29	67,32
Broj uzoraka	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

KT 4	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	15,37	20,18	24,25	26,83	29,59	32,18	34,50	36,34	38,14	39,80	49,77	58,49
Standardna greška	0,86	1,03	1,39	1,33	1,48	1,63	1,75	1,82	1,87	1,90	1,92	2,01
Standardna devijacija	4,05	4,83	6,52	6,24	6,96	7,65	8,19	8,55	8,76	8,91	8,99	9,44
Varijansa	16,43	23,34	42,51	38,90	48,45	58,58	67,00	73,16	76,79	79,40	80,76	89,03
Minimum	9,07	12,55	14,56	16,35	18,04	19,41	20,68	21,62	22,68	23,84	33,12	42,51
Maksimum	28,36	33,70	39,93	40,61	43,27	46,06	48,24	50,30	52,48	54,30	67,64	76,48
Broj uzoraka	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

KT 5	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	14,52	19,19	22,70	25,61	28,51	31,08	33,54	35,24	37,13	38,86	47,69	56,28
Standardna greška	0,55	0,76	0,93	1,09	1,25	1,38	1,48	1,53	1,57	1,58	1,41	1,68
Standardna devijacija	2,51	3,46	4,25	4,98	5,72	6,33	6,78	7,00	7,19	7,25	6,45	7,71
Varijansa	6,28	11,98	18,04	24,84	32,68	40,04	45,98	49,04	51,68	52,59	41,66	59,37
Minimum	9,64	12,75	15,26	16,67	18,27	19,78	20,78	21,79	22,79	23,90	32,83	43,57
Maksimum	21,16	28,84	35,09	40,20	44,89	48,86	51,56	53,13	54,69	55,82	64,35	78,27
Broj uzoraka	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

KT 6	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	13,59	17,94	21,01	23,57	25,91	28,23	30,40	32,09	33,78	35,47	45,03	53,84
Standardna greška	0,54	0,70	0,83	0,93	1,05	1,20	1,32	1,43	1,52	1,57	1,50	1,54
Standardna devijacija	2,45	3,19	3,79	4,28	4,81	5,49	6,06	6,57	6,95	7,18	6,86	7,05
Varijansa	6,02	10,15	14,33	18,33	23,16	30,15	36,77	43,17	48,29	51,59	46,99	49,65
Minimum	8,39	11,18	13,01	14,73	16,02	17,20	18,39	19,25	19,89	20,97	28,71	38,17
Maksimum	17,56	23,14	27,33	30,81	34,07	37,33	40,23	42,56	44,41	46,33	54,46	63,95
Broj uzoraka	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

VI - 6.2.2.3. *Zapreminsko bubenje*

KT 1	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	3,88	5,54	6,43	7,48	8,46	9,03	9,68	10,19	10,77	11,20	13,81	14,06
Standardna greška	0,18	0,22	0,19	0,21	0,25	0,27	0,26	0,26	0,28	0,29	0,40	0,37
Standardna devijacija	0,85	1,04	0,90	1,00	1,17	1,25	1,20	1,22	1,31	1,35	1,90	1,71
Varijansa	0,73	1,07	0,82	1,00	1,37	1,57	1,45	1,49	1,72	1,83	3,60	2,94
Minimum	2,38	3,45	4,56	5,78	5,94	6,94	7,16	7,35	7,61	8,24	9,95	10,63
Maksimum	5,40	8,09	8,19	9,25	11,07	11,79	12,01	12,92	13,48	14,23	16,84	16,78
Broj uzoraka	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

KT 2	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	3,93	5,36	6,04	6,82	7,47	8,25	8,73	9,34	9,74	10,15	12,53	12,82
Standardna greška	0,08	0,09	0,12	0,13	0,13	0,17	0,14	0,15	0,16	0,16	0,26	0,29
Standardna devijacija	0,39	0,43	0,56	0,60	0,61	0,79	0,67	0,72	0,73	0,76	1,24	1,36
Varijansa	0,15	0,18	0,31	0,35	0,37	0,63	0,45	0,52	0,54	0,57	1,53	1,84
Minimum	3,28	4,32	4,74	5,58	6,20	6,60	7,32	7,75	7,96	8,42	9,26	9,30
Maksimum	4,65	6,13	7,37	8,49	9,20	10,35	10,53	11,11	11,24	11,38	14,54	14,56
Broj uzoraka	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

KT 3	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	3,94	5,35	6,23	7,09	7,77	8,49	9,09	9,57	10,02	10,44	12,58	12,80
Standardna greška	0,11	0,12	0,14	0,16	0,18	0,18	0,20	0,22	0,24	0,24	0,33	0,37
Standardna devijacija	0,51	0,56	0,66	0,79	0,85	0,86	0,97	1,04	1,13	1,14	1,59	1,75
Varijansa	0,26	0,31	0,43	0,62	0,73	0,74	0,94	1,07	1,29	1,30	2,54	3,08
Minimum	2,93	4,23	5,03	5,57	6,31	6,95	7,43	7,61	7,79	8,19	8,89	8,58
Maksimum	4,78	6,06	7,13	8,03	9,30	9,96	10,48	11,04	11,83	11,73	14,79	15,34
Broj uzoraka	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

KT 4	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	3,90	5,29	6,49	7,29	8,24	9,11	9,93	10,38	10,91	11,29	13,32	13,92
Standardna greška	0,09	0,13	0,17	0,17	0,22	0,27	0,30	0,30	0,31	0,31	0,34	0,45
Standardna devijacija	0,44	0,61	0,81	0,79	1,04	1,28	1,39	1,42	1,48	1,45	1,60	2,13
Varijansa	0,19	0,37	0,65	0,62	1,09	1,63	1,95	2,03	2,18	2,10	2,55	4,52
Minimum	3,40	4,17	5,38	6,05	6,45	6,87	7,77	7,85	8,46	8,61	10,38	10,53
Maksimum	5,34	6,85	8,42	9,09	10,32	11,58	12,41	13,16	13,61	14,03	15,85	20,23
Broj uzoraka	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

KT 5	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	3,83	5,35	6,47	7,49	8,55	9,48	10,26	10,71	11,23	11,75	13,60	13,86
Standardna greška	0,12	0,17	0,20	0,25	0,29	0,33	0,34	0,36	0,37	0,37	0,43	0,45
Standardna devijacija	0,56	0,76	0,93	1,14	1,32	1,52	1,57	1,67	1,70	1,71	1,96	2,04
Varijansa	0,31	0,57	0,87	1,30	1,73	2,33	2,45	2,78	2,89	2,93	3,83	4,18
Minimum	2,21	3,26	4,32	5,26	6,17	6,71	7,74	7,69	7,90	7,85	8,07	7,89
Maksimum	4,78	6,73	8,04	9,50	10,61	11,97	13,10	13,34	14,05	14,33	17,54	17,83
Broj uzoraka	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

KT 6	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	3,92	5,25	6,29	7,10	7,94	8,76	9,49	9,98	10,56	11,17	13,54	13,87
Standardna greška	0,13	0,19	0,20	0,23	0,26	0,29	0,33	0,37	0,37	0,41	0,35	0,33
Standardna devijacija	0,58	0,87	0,91	1,03	1,20	1,32	1,52	1,67	1,71	1,87	1,59	1,50
Varijansa	0,33	0,75	0,82	1,07	1,45	1,75	2,30	2,80	2,94	3,49	2,54	2,26
Minimum	2,24	3,03	3,85	4,25	4,57	5,26	5,62	5,88	6,11	6,49	9,37	10,78
Maksimum	4,82	7,43	8,42	8,63	9,61	11,08	11,94	12,67	13,22	14,33	15,86	15,97
Broj uzoraka	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

VI - 6.2.3. Komparativna statistička analiza

VI - 6.2.3.1. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,3923	8,866022	2,057289
KT 1	12	105,0766	8,756383	1,354808

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,072125	1	0,072125	0,042276	0,838985	4,300949
Within Groups	37,53307	22	1,706049			
Total	37,6052	23				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,3923	8,866022	2,057289
KT 2	13	104,8407	8,064666	2,54059

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4,007153	1	4,007153	1,735114	0,200732	4,279344
Within Groups	53,11726	23	2,309446			
Total	57,12441	24				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,3923	8,866022	2,057289
KT 3	11	83,20549	7,564136	1,465636

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	9,727304	1	9,727304	5,478475	0,029201	4,324794
Within Groups	37,28654	21	1,77555			
Total	47,01385	22				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,3923	8,866022	2,057289
KT 4	12	105,8617	8,821812	3,472295

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,011727	1	0,011727	0,004242	0,94866	4,300949
Within Groups	60,82542	22	2,764792			
Total	60,83715	23				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,3923	8,866022	2,057289
KT 5	12	111,6371	9,303091	5,423264

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,146173	1	1,146173	0,306441	0,585455	4,300949
Within Groups	82,28609	22	3,740277			
Total	83,43226	23				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,3923	8,866022	2,057289
KT 6	9	73,64501	8,182778	4,52338

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,400801	1	2,400801	0,775542	0,389512	4,38075
Within Groups	58,81723	19	3,095644			
Total	61,21803	20				

Značajne razlike u vrednostima smicajne čvrstoće postoje samo između kontrolne i grupe uzoraka KT 3.

VI - 6.2.3.2. Upijanje vode

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 1h	24	272,4899	11,35375	1,324486
KT 1 1h	22	295,9153	13,45069	6,682977
KT 2 1h	22	299,9128	13,6324	4,203995
KT 3 1h	23	329,9748	14,34673	5,002001
KT 4 1h	22	338,2377	15,37444	16,42555
KT 5 1h	21	304,8686	14,51755	6,278794
KT 6 1h	21	285,4005	13,5905	6,016473

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	219,1061	6	36,51769	5,629955	2,73E-05	2,160352
Within Groups	959,9755	148	6,486321			
Total	1179,082	154				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KT 1 1h	22	295,9153	13,45069	6,682977
KT 2 1h	22	299,9128	13,6324	4,203995
KT 3 1h	23	329,9748	14,34673	5,002001
KT 4 1h	22	338,2377	15,37444	16,42555
KT 5 1h	21	304,8686	14,51755	6,278794
KT 6 1h	21	285,4005	13,5905	6,016473

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	59,934	5	11,9868	1,611974	0,161635	2,286771
Within Groups	929,5123	125	7,436098			
Total	989,4463	130				

Posle prvog sata napajanja sve tretirane grupe uzoraka upijaju značajno veću količinu vode u odnosu na kontrolnu grupu. Između tretiranih grupa uzoraka ne postoje značajne razlike u upijanju vode.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 48h	24	1399,35	58,30623	33,94504
KT 1 48h	22	1136,414	51,65517	55,4145
KT 2 48h	22	1159,175	52,68976	48,31714
KT 3 48h	23	1235,888	53,73428	51,13942
KT 4 48h	22	1286,738	58,4881	89,02597
KT 5 48h	21	1181,872	56,27962	59,37345
KT 6 48h	21	1130,728	53,84421	49,64861

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	992,6837	6	165,4473	3,010294	0,008344	2,160352
Within Groups	8134,154	148	54,9605			
Total	9126,838	154				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KT 1 48h	22	1136,414	51,65517	55,4145
KT 2 48h	22	1159,175	52,68976	48,31714
KT 3 48h	23	1235,888	53,73428	51,13942
KT 4 48h	22	1286,738	58,4881	89,02597
KT 5 48h	21	1181,872	56,27962	59,37345
KT 6 48h	21	1130,728	53,84421	49,64861

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	688,498	5	137,6996	2,340741	0,045385	2,286771
Within Groups	7353,418	125	58,82735			

Total	8041,916	130
-------	----------	-----

Posle 48 sati napajanja postoje značajne razlike u upijanju vode između kontrolne i tretiranih, kao i tretiranih grupa uzoraka međusobno.

Daljim testiranjem ustanovljeno je da:

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 48h	24	1399,35	58,30623	33,94504
KT 1 48h	22	1136,414	51,65517	55,4145
KT 2 48h	22	1159,175	52,68976	48,31714

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	596,0383	2	298,0191	6,546329	0,00257	3,138142
Within Groups	2959,1	65	45,52462			
Total	3555,139	67				

- KT 1 i KT 2 grupe uzoraka upile su značajno manje vode od kontrolne grupe uzoraka posle 48h napajanja.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KT 1 48h	22	1136,414	51,65517	55,4145
KT 2 48h	22	1159,175	52,68976	48,31714

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	11,77421	1	11,77421	0,227013	0,636217	4,072654
Within Groups	2178,364	42	51,86582			
Total	2190,139	43				

Postoje značajne razlike u upijanju vode između kontrolne i grupa KT 1 i KT 2, dok razlike u upijanju vode između grupa KT 1 i KT 2 nisu značajne.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KT 3 48h	23	1235,888	53,73428	51,13942
KT 4 48h	22	1286,738	58,4881	89,02597
KT 5 48h	21	1181,872	56,27962	59,37345
KT 6 48h	21	1130,728	53,84421	49,64861
Kontr 48h	24	1399,35	58,30623	33,94504

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	478,0414	4	119,5104	2,127022	0,082498	2,45738
Within Groups	5955,79	106	56,1867			
Total	6433,831	110				

Ne postoje značajne razlike u upijanju vode između kontrolne i grupa KT 3, KT 4, KT 5 i KT 6.

VI - 6.2.3.3. Zapreminsko bubrenje

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 1h	24	101,1339	4,213914	0,242533
KT 1 1h	22	85,38669	3,881213	0,730829
KT 2 1h	22	86,51535	3,932516	0,149772
KT 3 1h	23	90,63805	3,940785	0,262575
KT 4 1h	22	85,81644	3,900747	0,193774
KT 5 1h	21	80,45874	3,831369	0,308935
KT 6 1h	21	82,30871	3,919462	0,333858

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,15288	6	0,358813	1,135372	0,344648	2,160352
Within Groups	46,77265	148	0,316031			
Total	48,92553	154				

Posle prvog sata napajanja nema značajne razlike u bubrenju između kontrolnih i tretiranih grupa uzoraka.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 48h	24	407,7968	16,99153	4,399787
KT 1 48h	22	309,2215	14,05552	2,935053
KT 2 48h	22	282,0129	12,81877	1,841392
KT 3 48h	23	294,5057	12,80459	3,077519
KT 4 48h	22	306,2783	13,92174	4,515925
KT 5 48h	21	291,1223	13,86297	4,175913
KT 6 48h	21	291,2996	13,87141	2,264411

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	278,3244	6	46,3874	13,92996	1,59E-12	2,160352
Within Groups	492,8468	148	3,330046			
Total	771,1712	154				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 48h	24	407,7968	16,99153	4,399787
KT 1 48h	22	309,2215	14,05552	2,935053

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	98,94436	1	98,94436	26,73659	5,48E-06	4,061706
Within Groups	162,8312	44	3,700709			
Total	261,7756	45				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KT 2 48h	22	282,0129	12,81877	1,841392
Kontr 48h	24	407,7968	16,99153	4,399787

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	199,8593	1	199,8593	62,87384	5,1E-10	4,061706
Within Groups	139,8643	44	3,178735			
Total	339,7236	45				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 48h	24	407,7968	16,99153	4,399787
KT 3 48h	23	294,5057	12,80459	3,077519

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	205,8898	1	205,8898	54,85502	2,55E-09	4,056612
Within Groups	168,9005	45	3,753345			
Total	374,7903	46				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 48h	24	407,7968	16,99153	4,399787
KT 4 48h	22	306,2783	13,92174	4,515925

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	108,1669	1	108,1669	24,27871	1,23E-05	4,061706
Within Groups	196,0295	44	4,455216			
Total	304,1964	45				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KT 5 48h	21	291,1223	13,86297	4,175913
Kontr 48h	24	407,7968	16,99153	4,399787

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	109,6248	1	109,6248	25,51989	8,54E-06	4,067047
Within Groups	184,7133	43	4,295659			
Total	294,3381	44				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KT 6 48h	21	291,2996	13,87141	2,264411
Kontr 48h	24	407,7968	16,99153	4,399787

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	109,0341	1	109,0341	32,00684	1,15E-06	4,067047
Within Groups	146,4833	43	3,406589			
Total	255,5175	44				

Posle 48 sati napajanja bubrenje svih tretiranih grupa uzoraka značajno je manje od bubrenja kontrolne grupe, pri čemu je najmanje bubrenje grupe KT 2.

VI - 6.3. Tretmani natrijum karbonatom

VI - 6.3.1. Gustina

VI - 6.3.1.1. Gustina - Deskriptivna statistika

	Kontr	AT 1	AT 2	AT 3	AT 4	AT 5	AT 6
Srednja vrednost	666,96	639,99	654,10	686,20	664,35	661,03	672,30
Standardna greška	13,06	17,71	13,81	10,16	15,32	13,99	13,14
Standardna devijacija	63,98	83,07	63,30	46,57	71,85	62,57	60,21
Varijansa	4093,98	6900,96	4006,50	2168,85	5162,73	3914,93	3625,27
Minimum	566,78	516,81	555,26	599,74	556,88	551,64	534,47
Maksimum	790,28	755,76	759,48	771,20	778,40	750,91	774,03
Broj uzoraka	24	22	21	21	22	20	21

VI - 6.3.1.2. Gustina - Komparativna statistika

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr	24	16007,128	666,96365	4093,9835
AT 1	22	14079,712	639,98691	6900,9618
AT 2	21	13736,123	654,10111	4006,4989
AT 3	21	14410,19	686,19951	2168,8467
AT 4	22	14615,618	664,34628	5162,7322
AT 5	20	13220,661	661,03305	3914,926
AT 6	21	14118,204	672,29543	3625,2661

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	26888,731	6	4481,4552	1,0444	0,3991765	2,1620913
Within Groups	617895,02	144	4290,9376			
Total	644783,75	150				

Nema značajne razlike u gustini između kontrolne i grupa uzoraka tretiranih natrijum karbonatom.

VI - 6.3.2. Deskriptivna statistika

VI - 6.3.2.1. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva

	AT 1	AT 2	AT 3	AT 4	AT 5	AT 6
Srednja vrednost	10,42	11,52	11,76	11,23	11,95	13,27
Standardna greška	0,46	0,80	0,33	0,57	0,78	0,60
Standardna devijacija	1,64	2,90	1,19	2,07	2,70	2,16
Varijansa	2,70	8,42	1,42	4,29	7,32	4,67
Minimum	6,63	6,51	9,24	7,07	7,01	8,26
Maksimum	11,75	14,97	13,34	13,89	16,51	16,98
Broj uzoraka	13	13	13	13	12	13

VI - 6.3.2.2. Upijanje vode

AT 1	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	18,25	22,84	26,19	28,88	31,22	33,76	35,03	36,69	38,23	39,48	49,46	58,83
Standardna greška	0,61	0,79	0,93	1,03	1,15	1,45	1,31	1,37	1,42	1,45	1,59	1,88
Standardna devijacija	2,87	3,73	4,36	4,84	5,38	6,80	6,13	6,41	6,64	6,81	7,46	8,83
Varijansa	8,25	13,89	19,00	23,44	28,94	46,20	37,53	41,06	44,14	46,39	55,72	77,92
Minimum	12,73	15,64	17,91	19,74	21,47	22,55	23,52	24,60	25,57	26,21	34,95	44,23
Maksimum	22,12	28,78	33,11	36,62	40,54	50,50	45,54	47,70	49,86	51,49	62,84	74,86
Broj uzoraka	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

AT 2	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	18,95	23,60	26,62	29,19	31,16	32,89	34,58	36,06	37,27	38,57	48,55	57,78
Standardna greška	0,66	0,80	0,92	0,99	1,07	1,13	1,18	1,22	1,26	1,29	1,39	1,58
Standardna devijacija	3,00	3,67	4,21	4,55	4,89	5,17	5,41	5,60	5,75	5,89	6,35	7,25
Varijansa	9,02	13,49	17,70	20,68	23,89	26,75	29,24	31,36	33,08	34,68	40,29	52,61
Minimum	13,46	17,25	19,45	21,24	22,71	23,97	25,03	26,18	26,92	27,97	37,01	47,42
Maksimum	24,24	30,30	34,09	37,37	39,52	42,17	43,94	45,71	46,84	48,36	58,33	69,07
Broj uzoraka	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

AT 3	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	19,75	23,12	25,98	28,39	30,28	32,11	33,68	35,25	36,53	37,81	49,36	59,48
Standardna greška	0,53	0,61	0,68	0,73	0,79	0,85	0,90	0,93	0,98	1,00	1,17	1,29
Standardna devijacija	2,44	2,79	3,11	3,37	3,63	3,87	4,13	4,25	4,51	4,57	5,36	5,93
Varijansa	5,95	7,79	9,69	11,34	13,17	15,01	17,03	18,10	20,33	20,88	28,74	35,16
Minimum	15,60	18,32	20,73	22,72	24,08	25,55	26,70	27,92	28,69	29,84	39,79	48,30
Maksimum	24,81	28,72	32,12	34,89	37,03	39,29	41,06	42,57	44,08	45,34	56,80	68,15
Broj uzoraka	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

AT 4	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	17,82	22,11	25,16	27,60	29,56	32,02	33,56	35,31	36,83	38,24	49,74	59,90
Standardna greška	0,53	0,66	0,77	0,85	0,93	1,02	1,06	1,14	1,18	1,22	1,38	1,64
Standardna devijacija	2,47	3,08	3,59	3,97	4,27	4,76	4,99	5,34	5,54	5,71	6,47	7,70
Varijansa	6,11	9,51	12,91	15,79	18,25	22,69	24,94	28,55	30,72	32,64	41,83	59,28
Minimum	14,43	18,32	20,72	22,57	24,24	25,90	27,20	28,52	29,74	30,62	40,53	50,00
Maksimum	22,08	27,34	31,43	34,58	37,50	40,07	41,82	44,04	45,79	47,43	59,75	72,74
Broj uzoraka	22	22	22	22	21	22	22	22	22	22	22	22

AT 5	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	20,52	24,98	28,06	31,11	32,63	34,52	36,24	38,01	39,33	40,64	53,02	63,45
Standardna greška	0,57	0,70	0,79	0,93	0,90	0,95	0,99	1,02	1,05	1,08	1,29	1,62
Standardna devijacija	2,61	3,21	3,62	4,24	4,14	4,35	4,55	4,69	4,82	4,94	5,91	7,43
Varijansa	6,82	10,29	13,11	17,97	17,16	18,92	20,69	22,02	23,20	24,43	34,89	55,26
Minimum	15,95	19,61	22,09	24,03	25,43	26,62	27,91	29,09	30,06	30,82	40,63	49,78
Maksimum	25,46	30,53	34,32	38,49	39,41	41,78	43,55	45,56	46,98	48,40	64,50	79,41
Broj uzoraka	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

AT 6	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----

Srednja vrednost	21,07	26,07	29,15	31,68	33,77	35,79	37,55	39,28	40,68	41,87	54,32	64,76
Standardna greška	0,65	0,75	0,84	0,91	0,96	1,04	1,09	1,12	1,17	1,19	1,52	1,84
Standardna devijacija	2,98	3,44	3,84	4,17	4,40	4,76	5,00	5,14	5,35	5,48	6,97	8,45
Varijansa	8,86	11,84	14,71	17,37	19,32	22,68	24,98	26,39	28,60	29,98	48,58	71,47
Minimum	16,77	21,05	23,72	25,64	27,14	28,74	30,02	31,41	32,59	33,12	43,91	53,42
Maksimum	26,54	32,42	36,53	39,53	41,72	45,01	46,51	48,43	50,34	51,44	67,72	82,35
Broj uzoraka	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

VI - 6.3.2.3. Zapreminsko bubrenje

AT 1	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	5,84	7,24	8,35	9,24	10,01	10,64	11,32	11,84	12,42	12,74	14,33	14,60
Standardna greška	0,10	0,12	0,14	0,15	0,18	0,19	0,22	0,24	0,26	0,29	0,46	0,51
Standardna devijacija	0,49	0,56	0,64	0,69	0,83	0,89	1,05	1,13	1,24	1,35	2,15	2,40
Varijansa	0,24	0,32	0,41	0,48	0,69	0,79	1,10	1,28	1,54	1,81	4,62	5,74
Minimum	4,58	5,83	6,80	7,83	8,32	8,82	9,26	9,60	9,83	10,10	10,30	10,42
Maksimum	6,69	8,07	9,47	10,18	11,74	12,58	13,14	13,98	14,77	15,38	17,66	18,59
Broj uzoraka	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

AT 2	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	7,02	8,47	9,47	10,17	11,10	11,69	12,32	12,94	13,52	13,93	15,71	16,57
Standardna greška	0,11	0,14	0,16	0,17	0,20	0,26	0,28	0,29	0,30	0,30	0,41	0,44
Standardna devijacija	0,49	0,65	0,73	0,80	0,94	1,18	1,28	1,32	1,37	1,37	1,89	2,03
Varijansa	0,24	0,42	0,54	0,64	0,88	1,39	1,63	1,74	1,87	1,88	3,57	4,14
Minimum	6,32	7,29	8,07	8,79	9,43	8,98	9,47	10,04	10,40	11,20	11,84	12,24
Maksimum	8,06	9,95	10,84	11,42	12,60	13,83	14,68	15,67	16,07	16,76	20,63	21,55
Broj uzoraka	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

AT 3	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	7,37	8,54	9,54	10,38	11,29	11,97	12,78	13,53	14,16	14,71	17,19	17,47
Standardna greška	0,10	0,10	0,12	0,12	0,14	0,14	0,16	0,18	0,21	0,23	0,22	0,23
Standardna devijacija	0,44	0,48	0,54	0,56	0,63	0,65	0,75	0,83	0,97	1,06	1,00	1,06
Varijansa	0,19	0,23	0,29	0,31	0,40	0,42	0,56	0,69	0,94	1,13	1,00	1,11
Minimum	6,77	7,81	8,73	9,23	10,06	10,53	11,11	11,67	12,18	12,67	15,13	15,18
Maksimum	8,38	9,41	10,54	11,67	12,82	13,66	14,51	15,43	16,33	16,81	18,61	19,07
Broj uzoraka	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

AT 4	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	6,39	7,52	8,52	9,42	10,16	10,92	11,65	12,47	12,73	13,35	16,07	16,32
Standardna greška	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,18	0,19	0,23	0,29	0,31	0,42	0,47
Standardna devijacija	0,57	0,58	0,60	0,66	0,70	0,85	0,90	1,07	1,37	1,47	1,99	2,22
Varijansa	0,33	0,34	0,35	0,43	0,49	0,72	0,81	1,15	1,89	2,16	3,95	4,95
Minimum	4,96	6,11	7,25	8,39	9,22	9,94	10,68	11,29	9,81	10,04	12,72	12,70
Maksimum	7,62	8,48	9,61	10,51	11,55	12,98	14,09	15,79	16,68	17,93	22,07	23,08
Broj uzoraka	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

AT 5	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	7,45	8,99	10,11	11,11	11,92	12,89	13,63	14,36	14,88	15,57	17,71	17,83
Standardna greška	0,16	0,20	0,19	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,21	0,19	0,25	0,26
Standardna devijacija	0,74	0,90	0,88	0,96	0,98	1,02	1,03	1,01	0,97	0,86	1,14	1,21
Varijansa	0,55	0,81	0,77	0,93	0,95	1,03	1,06	1,01	0,94	0,74	1,29	1,46
Minimum	6,11	7,35	8,31	9,10	9,94	11,11	11,60	12,56	13,05	14,05	15,01	15,06
Maksimum	8,99	10,75	11,71	12,80	13,91	14,50	15,37	15,95	16,24	16,74	19,66	19,87
Broj uzoraka	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

AT 6	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	24h	48h
Srednja vrednost	8,50	10,30	11,57	12,49	13,47	14,37	15,08	15,80	16,33	16,79	19,08	19,37
Standardna greška	0,18	0,19	0,19	0,22	0,22	0,26	0,26	0,27	0,29	0,30	0,38	0,40
Standardna devijacija	0,82	0,89	0,89	0,99	1,01	1,20	1,19	1,26	1,35	1,38	1,74	1,84
Varijansa	0,67	0,79	0,79	0,99	1,03	1,44	1,42	1,59	1,81	1,90	3,01	3,39
Minimum	6,86	8,28	9,83	10,78	12,14	12,46	13,10	13,58	14,16	14,37	15,22	15,22
Maksimum	10,57	12,59	14,21	14,78	15,69	16,73	17,34	18,07	18,98	19,96	22,78	22,55
Broj uzoraka	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

VI - 6.3.3. Komparativna statistička analiza

VI - 6.3.3.1. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,39227	8,8660224	2,0572893
AT 1	13	135,52038	10,424645	2,7021287

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	15,158852	1	15,158852	6,3327398	0,0192789	4,2793443
Within Groups	55,055727	23	2,3937273			
Total	70,214579	24				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,39227	8,8660224	2,0572893
AT 2	13	149,80682	11,523602	8,4215419

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	44,07142	1	44,07142	8,1951123	0,0088008	4,2793443
Within Groups	123,68869	23	5,3777689			
Total	167,76011	24				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,39227	8,8660224	2,0572893
AT 3	13	152,90047	11,761575	1,417911

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	52,317546	1	52,317546	30,351874	1,331E-05	4,2793443
Within Groups	39,645115	23	1,7237007			
Total	91,962661	24				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,39227	8,8660224	2,0572893
AT 4	13	145,94029	11,226176	4,2880687

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	34,75884	1	34,75884	10,790736	0,0032458	4,2793443
Within Groups	74,087007	23	3,2211742			
Total	108,84585	24				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,39227	8,8660224	2,0572893
AT 5	12	143,35522	11,946268	7,3152481

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	56,92749	1	56,92749	12,147722	0,0020964	4,3009495
Within Groups	103,09791	22	4,6862687			
Total	160,0254	23				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,39227	8,8660224	2,0572893
AT 6	13	172,50687	13,269759	4,6714087

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	121,01168	1	121,01168	35,371352	4,603E-06	4,2793443
Within Groups	78,687087	23	3,4211777			
Total	199,69877	24				

Postoje značajne razlike u vrednostima smicajne čvrstoće između kontrolne i svih grupa uzoraka tretiranih natrijum karbonatom.

VI - 6.3.3.2. Upijanje vode

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 1h	24	272,4899	11,353746	1,3244863
AT 1 1h	22	401,41448	18,246113	8,2481886
AT 2 1h	21	397,86793	18,946092	9,01885
AT 3 1h	21	414,69771	19,74751	5,9469958
AT 4 1h	22	392,06836	17,821289	6,108902
AT 5 1h	21	430,93004	20,520478	6,8174575
AT 6 1h	21	442,39259	21,066314	8,8615591

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1474,3082	6	245,71803	37,70838	2,589E-27	2,1616473
Within Groups	944,85934	145	6,5162713			
Total	2419,1675	151				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 1h	24	272,4899	11,353746	1,3244863
AT 1 1h	22	401,41448	18,246113	8,2481886

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	545,27159	1	545,27159	117,79518	5,034E-14	4,0617063
Within Groups	203,67515	44	4,6289806			
Total	748,94674	45				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 1h	24	272,4899	11,353746	1,3244863
AT 2 1h	21	397,86793	18,946092	9,01885

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	645,60968	1	645,60968	131,66947	1,129E-14	4,0670473
Within Groups	210,84018	43	4,9032601			
Total	856,44986	44				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT 3 1h	21	414,69771	19,74751	5,9469958
Kontr 1h	24	272,4899	11,353746	1,3244863

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	789,09907	1	789,09907	227,11215	9,118E-19	4,0670473
Within Groups	149,4031	43	3,4744907			
Total	938,50218	44				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 1h	24	272,4899	11,353746	1,3244863
AT 4 1h	22	392,06836	17,821289	6,108902

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	480,12554	1	480,12554	133,07406	6,812E-15	4,0617063
Within Groups	158,75013	44	3,6079575			
Total	638,87567	45				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT 5 1h	21	430,93004	20,520478	6,8174575
Kontr 1h	24	272,4899	11,353746	1,3244863

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	941,12454	1	941,12454	242,5981	2,737E-19	4,0670473
Within Groups	166,81234	43	3,8793566			
Total	1107,9369	44				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT 6 1h	21	442,39259	21,066314	8,8615591
Kontr 1h	24	272,4899	11,353746	1,3244863

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1056,5406	1	1056,5406	218,74086	1,799E-18	4,0670473
Within Groups	207,69437	43	4,8301016			
Total	1264,235	44				

Posle prvog sata napajanja postoje značajne razlike u količini upijene vode između kontrolne i svih tretiranih grupa uzoraka, kao i između tretiranih grupa uzoraka međusobno.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 48h	24	1399,3495	58,30623	33,945044
AT 1 48h	22	1294,2229	58,828313	77,923742
AT 2 48h	21	1213,4401	57,782863	52,611722
AT 3 48h	21	1249,1241	59,482101	35,160197
AT 4 48h	22	1317,8962	59,904371	59,279373
AT 5 48h	21	1332,4685	63,450881	55,26101
AT 6 48h	21	1359,8852	64,756437	71,469955

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	919,14053	6	153,19009	2,7933096	0,0133531	2,1616473
Within Groups	7952,0591	145	54,841787			
Total	8871,1996	151				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 48h	24	1399,3495	58,30623	33,945044
AT 1 48h	22	1294,2229	58,828313	77,923742

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,1286399	1	3,1286399	0,0569518	0,8124883	4,0617063
Within Groups	2417,1346	44	54,934877			
Total	2420,2632	45				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 48h	24	1399,3495	58,30623	33,945044
AT 2 48h	21	1213,4401	57,782863	52,611722

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,0678244	1	3,0678244	0,0719687	0,7897745	4,0670473
Within Groups	1832,9704	43	42,62722			
Total	1836,0383	44				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT 3 48h	21	1249,1241	59,482101	35,160197
Kontr 48h	24	1399,3495	58,30623	33,945044

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	15,48593	1	15,48593	0,4487345	0,5065181	4,0670473
Within Groups	1483,9399	43	34,510231			
Total	1499,4259	44				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 48h	24	1399,3495	58,30623	33,945044
AT 4 48h	22	1317,8962	59,904371	59,279373

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	29,31612	1	29,31612	0,6368027	0,429157	4,0617063
Within Groups	2025,6028	44	46,036428			
Total	2054,919	45				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT 5 48h	21	1332,4685	63,450881	55,26101
Kontr 48h	24	1399,3495	58,30623	33,945044

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	296,43533	1	296,43533	6,7587567	0,0127337	4,0670473
Within Groups	1885,9562	43	43,859447			
Total	2182,3915	44				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT 6 48h	21	1359,8852	64,756437	71,469955
Kontr 48h	24	1399,3495	58,30623	33,945044

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	465,97792	1	465,97792	9,0659846	0,0043471	4,0670473
Within Groups	2210,1351	43	51,398491			
Total	2676,113	44				

Posle 48 sati napajanja postoje značajne razlike u količini upijene vode između kontrolne i grupa uzoraka AT 5 i AT 6, dok ne postoje značajne razlike u u količini upijene vode između kontrolne i ostalih grupa uzoraka.

VI - 6.3.3.3. Zapreminsko bubrenje

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 1h	24	101,133935	4,21391394	0,24253276
AT 1 1h	22	128,461096	5,83914072	0,23637838
AT 2 1h	21	147,430269	7,020489	0,24333945
AT 3 1h	21	154,691745	7,36627358	0,19107816
AT 4 1h	22	140,531062	6,38777556	0,32687874
AT 5 1h	21	156,462622	7,45060104	0,54672454
AT 6 1h	21	178,572711	8,50346242	0,66723867

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	257,5831	6	42,9305167	123,573503	1,9017E-54	2,16164728
Within Groups	50,3742695	145	0,34740876			
Total	307,95737	151				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 1h	24	101,133935	4,21391394	0,24253276
AT 1 1h	22	128,461096	5,83914072	0,23637838

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	30,3182429	1	30,3182429	126,539313	1,5673E-14	4,06170635
Within Groups	10,5421995	44	0,23959544			
Total	40,8604424	45				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 1h	24	101,133935	4,21391394	0,24253276
AT 2 1h	21	147,430269	7,020489	0,24333945

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	88,2208715	1	88,2208715	363,186409	1,3735E-22	4,06704732
Within Groups	10,4450425	43	0,24290797			
Total	98,665914	44				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT 3 1h	21	154,691745	7,36627358	0,19107816
Kontr 1h	24	101,133935	4,21391394	0,24253276

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	111,298558	1	111,298558	509,141631	1,8406E-25	4,06704732
Within Groups	9,39981668	43	0,21860039			
Total	120,698375	44				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 1h	24	101,133935	4,21391394	0,24253276
AT 4 1h	22	140,531062	6,38777556	0,32687874

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	54,2425226	1	54,2425226	191,812842	1,2021E-17	4,06170635
Within Groups	12,442707	44	0,2827888			
Total	66,6852296	45				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT 5 1h	21	156,462622	7,45060104	0,54672454
Kontr 1h	24	101,133935	4,21391394	0,24253276

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	117,332805	1	117,332805	305,540408	3,7244E-21	4,06704732
Within Groups	16,5127443	43	0,38401731			
Total	133,84555	44				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT 6 1h	21	178,572711	8,50346242	0,66723867
Kontr 1h	24	101,133935	4,21391394	0,24253276

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	206,082533	1	206,082533	468,294473	9,6387E-25	4,06704732
Within Groups	18,9230269	43	0,44007039			
Total	225,005559	44				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 48h	24	407,796818	16,9915341	4,39978655
AT 1 48h	22	321,282402	14,6037455	5,74466433
AT 2 48h	21	348,072682	16,5748896	4,13854646
AT 3 48h	21	366,771382	17,4653039	1,11391864
AT 4 48h	22	358,979255	16,3172389	4,94990835
AT 5 48h	21	374,446192	17,830771	1,46433319
AT 6 48h	21	406,712996	19,3672855	3,38953895

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	277,102459	6	46,1837432	12,6852492	1,7719E-11	2,16164728
Within Groups	527,907861	145	3,64074387			
Total	805,010321	151				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 48h	24	407,796818	16,9915341	4,39978655
AT 1 48h	22	321,282402	14,6037455	5,74466433

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	65,4436958	1	65,4436958	12,9805848	0,00079658	4,06170635
Within Groups	221,833041	44	5,04166003			
Total	287,276737	45				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 48h	24	407,796818	16,9915341	4,39978655
AT 2 48h	21	348,072682	16,5748896	4,13854646

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,94423695	1	1,94423695	0,45444365	0,50384035	4,06704732
Within Groups	183,96602	43	4,27827953			
Total	185,910257	44				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT 3 48h	21	366,771382	17,4653039	1,11391864
Kontr 48h	24	407,796818	16,9915341	4,39978655

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,51392784	1	2,51392784	0,87548283	0,35466721	4,06704732
Within Groups	123,473463	43	2,87147589			
Total	125,987391	44				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr 48h	24	407,796818	16,9915341	4,39978655
AT 4 48h	22	358,979255	16,3172389	4,94990835

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	5,21886701	1	5,21886701	1,11936533	0,29582924	4,06170635
Within Groups	205,143166	44	4,66234468			
Total	210,362033	45				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT 5 48h	21	374,446192	17,830771	1,46433319
Kontr 48h	24	407,796818	16,9915341	4,39978655

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	7,88836926	1	7,88836926	2,59959624	0,11420745	4,06704732
Within Groups	130,481754	43	3,0344594			
Total	138,370124	44				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT 6 48h	21	406,712996	19,3672855	3,38953895
Kontr 48h	24	407,796818	16,9915341	4,39978655

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	63,2149833	1	63,2149833	16,0856307	0,00023716	4,06704732
Within Groups	168,98587	43	3,92990394			
Total	232,200853	44				

VI - 6.4. ODABRANI TRETMANI

VI - 6.4.1. Gustina

VI - 6.4.1.1. Gustina – Deskriptivna statistika

	KONTR	TV 1	KT 2	AT 1
Srednja vrednost	666,96	639,89	637,09	639,99
Standardna greška	13,06	11,91	14,71	17,71
Standardna devijacija	63,98	55,88	68,98	83,07
Varijansa	4093,98	3122,63	4758,01	6900,96
Minimum	566,78	560,66	537,94	516,81
Maksimum	790,28	746,39	726,99	755,76
Broj uzoraka	24	22	22	22

VI - 6.4.1.2. Gustina – Komparativna statistika

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	24	16007,13	666,9637	4093,983
TV 1	22	14077,49	639,8861	3122,626
KT 2	22	14016,08	637,0943	4758,009
AT 1	22	14079,71	639,9869	6900,962

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	13891,91	3	4630,636	0,984328	0,404098	2,710647
Within Groups	404575,1	86	4704,362			
Total	418467,1	89				

Nema značajne razlike u gustini između kontrolne i tretiranih grupa uzoraka.

VI - 6.4.2. Smicajna čvrstoća u sloju adheziva

	KONTR	TV 1	KT 2	AT 1
Srednja vrednost	8,866022	8,338813	8,064666	10,42464
Standardna greška	0,414054	0,470022	0,442075	0,455912
Standardna devijacija	1,434325	1,628205	1,593923	1,643815
Varijansa	2,057289	2,651053	2,54059	2,702129
Kurtosis	0,505752	0,713185	-1,43443	1,263034
Minimum	7,226194	4,990552	5,460755	6,631041
Maksimum	12,05231	11,0067	9,989481	11,74512
Broj uzoraka	12	12	13	13

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,3923	8,866022	2,057289
TV 1	12	100,0658	8,338813	2,651053
KT 2	13	104,8407	8,064666	2,54059
AT 1	13	135,5204	10,42464	2,702129

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	43,01706	3	14,33902	5,750389	0,001993	2,806845
Within Groups	114,7044	46	2,493574			
Total	157,7214	49				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR	12	106,3923	8,866022	2,057289
TV 1	12	100,0658	8,338813	2,651053
KT 2	13	104,8407	8,064666	2,54059

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4,106162	2	2,053081	0,848393	0,436965	3,275898
Within Groups	82,27884	34	2,419966			
Total	86,385	36				

Anova: Single Factor					
SUMMARY					
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance	
AT 1	13	135,5204	10,42464	2,702129	
KONTR	12	106,3923	8,866022	2,057289	

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	15,15885	1	15,15885	6,33274	0,019279	4,279344
Within Groups	55,05573	23	2,393727			
Total	70,21458	24				

VI - 6.4.3. Upijanje vode

	KONTR 1h	TV 1 1h	KT 2 1h	AT 1 1h
Srednja vrednost	11,35375	14,24962	13,6324	18,24611
Standardna greška	0,234919	0,53149	0,437139	0,612305
Standardna devijacija	1,150863	2,49291	2,050365	2,871966
Varijansa	1,324486	6,2146	4,203995	8,248189
Minimum	9,607438	8,862144	11,06337	12,72923
Maksimum	13,5741	17,52577	18,39623	22,11921
Broj uzoraka	24	22	22	22

	KONTR 48h	TV 1 48h	KT 2 48h	AT 1 48h
Srednja vrednost	58,30623	53,65198	52,68976	58,82831
Standardna greška	1,189276	1,57075	1,481969	1,882017
Standardna devijacija	5,826238	7,367471	6,951053	8,827443
Varijansa	33,94504	54,27963	48,31714	77,92374
Minimum	49,33962	39,2779	43,46035	44,22869
Maksimum	73,51154	64,03302	62,9131	74,86486
Broj uzoraka	24	22	22	22

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance		
KONTR 1h	24	272,4899	11,35375	1,324486		
TV 1 1h	22	313,4915	14,24962	6,2146		
KT 2 1h	22	299,9128	13,6324	4,203995		
AT 1 1h	22	401,4145	18,24611	8,248189		

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	560,7696	3	186,9232	38,05137	9,54E-16	2,710647
Within Groups	422,4656	86	4,912391			
Total	983,2353	89				

Anova: Single Factor					
SUMMARY					
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance	
KONTR 1h	24	272,4899	11,35375	1,324486	
TV 1 1h	22	313,4915	14,24962	6,2146	

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	96,2574	1	96,2574	26,31131	6,28E-06	4,061706
Within Groups	160,9698	44	3,658404			
Total	257,2272	45				

Anova: Single Factor					
SUMMARY					
Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance	
KONTR 1h	24	272,4899	11,35375	1,324486	
KT 2 1h	22	299,9128	13,6324	4,203995	

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	59,59813	1	59,59813	22,08322	2,59E-05	4,061706
Within Groups	118,7471	44	2,698797			
Total	178,3452	45				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 1h	24	272,4899	11,35375	1,324486
AT 1 1h	22	401,4145	18,24611	8,248189

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	545,2716	1	545,2716	117,7952	5,03E-14	4,061706
Within Groups	203,6751	44	4,628981			
Total	748,9467	45				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 48h	24	1399,35	58,30623	33,94504
TV 1 48h	22	1180,344	53,65198	54,27963
KT 2 48h	22	1159,175	52,68976	48,31714
AT 1 48h	22	1294,223	58,82831	77,92374

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	665,4633	3	221,8211	4,172792	0,008276	2,710647
Within Groups	4571,667	86	53,15892			
Total	5237,13	89				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 48h	24	1399,35	58,30623	33,94504
TV 1 48h	22	1180,344	53,65198	54,27963

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	248,6426	1	248,6426	5,696255	0,021366	4,061706
Within Groups	1920,608	44	43,65019			
Total	2169,251	45				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 48h	24	1399,35	58,30623	33,94504
KT 2 48h	22	1159,175	52,68976	48,31714

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	362,0784	1	362,0784	8,873503	0,004695	4,061706
Within Groups	1795,396	44	40,80445			
Total	2157,474	45				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 48h	24	1399,35	58,30623	33,94504
AT 1 48h	22	1294,223	58,82831	77,92374

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,12864	1	3,12864	0,056952	0,812488	4,061706
Within Groups	2417,135	44	54,93488			
Total	2420,263	45				

VI - 6.4.4. Zapreminsko bubrenje

	KONTR 1h	TV 1 1h	KT 2 1h	AT 1 1h
Srednja vrednost	4,21	3,97	3,93	5,84
Standardna greška	0,10	0,13	0,08	0,10
Standardna devijacija	0,49	0,62	0,39	0,49
Varijansa	0,24	0,38	0,15	0,24
Minimum	3,06	2,68	3,28	4,58
Maksimum	5,02	5,26	4,65	6,69
Broj uzoraka	24	22	22	22

	KONTR 48h	TV 1 48h	KT 2 48h	AT 1 48h
Srednja vrednost	16,99	13,61	12,82	14,60
Standardna greška	0,43	0,39	0,29	0,51
Standardna devijacija	2,10	1,84	1,36	2,40
Varijansa	4,40	3,38	1,84	5,74
Minimum	11,84	10,16	9,30	10,42
Maksimum	20,53	17,28	14,56	18,59
Broj uzoraka	24	22	22	22

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 1h	24	101,1339	4,213914	0,242533
TV 1 1h	22	87,26392	3,966542	0,380608
KT 2 1h	22	86,51535	3,932516	0,149772
AT 1 1h	22	128,4611	5,839141	0,236378

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	54,73302	3	18,24434	72,37088	1,89E-23	2,710647
Within Groups	21,68017	86	0,252095			
Total	76,41319	89				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 1h	24	101,1339	4,213914	0,242533
TV 1 1h	22	87,26392	3,966542	0,380608

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,702389	1	0,702389	2,27729	0,138429	4,061706
Within Groups	13,57102	44	0,308432			
Total	14,2734	45				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 1h	24	101,1339	4,213914	0,242533
KT 2 1h	22	86,51535	3,932516	0,149772

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,908903	1	0,908903	4,584387	0,037842	4,061706
Within Groups	8,723465	44	0,198261			
Total	9,632368	45				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 1h	24	101,1339	4,213914	0,242533
AT 1 1h	22	128,4611	5,839141	0,236378

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	30,31824	1	30,31824	126,5393	1,57E-14	4,061706
Within Groups	10,5422	44	0,239595			
Total	40,86044	45				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 48h	24	407,7968	16,99153	4,399787
TV 1 48h	22	299,3769	13,60804	3,37579
KT 2 48h	22	282,0129	12,81877	1,841392
AT 1 48h	22	321,2824	14,60375	5,744664

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	228,5772	3	76,19241	19,77269	7,75E-10	2,710647
Within Groups	331,3939	86	3,853417			
Total	559,9711	89				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 48h	24	407,7968	16,99153	4,399787
TV 1 48h	22	299,3769	13,60804	3,37579

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	131,4035	1	131,4035	33,59791	6,72E-07	4,061706
Within Groups	172,0867	44	3,911061			
Total	303,4902	45				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 48h	24	407,7968	16,99153	4,399787
KT 2 48h	22	282,0129	12,81877	1,841392

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	199,8593	1	199,8593	62,87384	5,1E-10	4,061706
Within Groups	139,8643	44	3,178735			
Total	339,7236	45				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KONTR 48h	24	407,7968	16,99153	4,399787
AT 1 48h	22	321,2824	14,60375	5,744664

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	65,4437	1	65,4437	12,98058	0,000797	4,061706
Within Groups	221,833	44	5,04166			
Total	287,2767	45				

VI - 7. Statistička obrada rezultata ispitivanja uticaja tretmana na promene u hemijskom sastavu juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena

VI - 7.1. Deskriptivna statistika

Sadržaj vlage - Zrelo drvo

Zrelo drvo	Kontr.			TV			KT			AT		
	Wa	Wrel	Ks	Wa	Wrel	Ks	Wa	Wrel	Ks	Wa	Wrel	Ks
Srednja vrednost	7,63	7,09	0,93	10,26	9,30	0,91	9,82	8,94	0,91	10,20	9,26	0,91
Standardna greška	0,0854	0,0737	0,0007	0,0245	0,0201	0,0002	0,0690	0,0572	0,0006	0,0477	0,0393	0,0004
Standardna devijacija	0,1708	0,1475	0,0015	0,0547	0,0450	0,0005	0,1381	0,1145	0,0011	0,0954	0,0785	0,0008
Varijansa	0,0292	0,0217	0,0000	0,0030	0,0020	0,0000	0,0191	0,0131	1E-06	0,0091	0,0062	0,0000
Minimum	7,46	6,94	0,93	10,21	9,26	0,91	9,69	8,83	0,91	10,08	9,16	0,91
Maksimum	7,81	7,25	0,93	10,34	9,37	0,91	9,97	9,07	0,91	10,32	9,35	0,91

Sadržaj vlage - Juvenilno drvo

Juvenilno drvo	Kontr.			TV			KT			AT		
	Wa	Wrel	Ks	Wa	Wrel	Ks	Wa	Wrel	Ks	Wa	Wrel	Ks
Srednja vrednost	7,91	7,33	0,93	10,15	9,21	0,91	10,25	9,30	0,91	10,42	9,44	0,91
Standardna greška	0,0317	0,0272	0,0003	0,0512	0,0422	0,0004	0,0082	0,0068	0,0001	0,0322	0,0264	0,0003
Standardna devijacija	0,0549	0,0471	0,0005	0,1024	0,0843	0,0008	0,0142	0,0117	0,0001	0,0557	0,0457	0,0005
Varijansa	0,0030	0,0022	0,0000	0,0105	0,0071	0,0000	0,0002	0,0001	0,0000	0,0031	0,0021	0,0000
Minimum	7,87	7,30	0,93	10,06	9,14	0,91	10,23	9,28	0,91	10,36	9,39	0,91
Maksimum	7,97	7,38	0,93	10,29	9,33	0,91	10,26	9,31	0,91	10,46	9,47	0,91

Sadržaj pepela- Zrelo drvo

Zrelo drvo	Z P Kontr	Z P TV	Z P KT	Z P AT
Srednja vrednost	0,378397	0,076042	0,092787	0,302051
Standardna greška	0,018565	0,014693	0,007808	0,020437
Standardna devijacija	0,03713	0,029386	0,015616	0,040874
Varijansa	0,001379	0,000864	0,000244	0,001671
Minimum	0,341496	0,033719	0,074057	0,245896
Maksimum	0,42734	0,1	0,11	0,341238
Broj uzoraka	4	4	4	4

Sadržaj pepela - Juvenilno drvo

Juvenilno drvo	J P Kontr	J P TV	J P KT	J P AT
Srednja vrednost	0,434458	0,126631	0,178327	0,364633
Standardna greška	0,016559	0,014584	0,008853	0,012465
Standardna devijacija	0,033118	0,029167	0,017705	0,02493
Varijansa	0,001097	0,000851	0,000313	0,000621
Minimum	0,394603	0,09	0,16	0,340261
Maksimum	0,473199	0,159	0,201141	0,39
Sum	1,737833	0,506525	0,713307	1,458534
Broj uzoraka	4	4	4	4

Sadržaj ekstraktiva (T/E) - Zrelo drvo

Zrelo drvo	ZE (T/E) Kontr	ZE (T/E) TV	ZE (T/E) KT	ZE (T/E) AT
Srednja vrednost	4,33	1,83	1,60	0,96
Standardna greška	0,2075	0,1801	0,0335	0,0462
Standardna devijacija	0,3594	0,3119	0,0581	0,0801
Varijansa	0,1292	0,0973	0,0034	0,0064
Minimum	3,91	1,54	1,56	0,87
Maksimum	4,54	2,16	1,67	1,01
Broj uzoraka	3	3	3	3

Sadržaj ekstraktiva (T/E) - Juvenilno drvo

<i>Juvenilno drvo</i>	<i>J E (T/E) Kontr</i>	<i>J E (T/E) TV</i>	<i>J E (T/E) KT</i>	<i>J E (T/E) AT</i>
Srednja vrednost	4,48	1,51	1,21	1,15
Standardna greška	0,1005	0,1020	0,1162	0,0812
Standardna devijacija	0,1741	0,1766	0,2013	0,1406
Varijansa	0,0303	0,0312	0,0405	0,0198
Minimum	4,29	1,36	0,98	1,00
Maksimum	4,63	1,71	1,37	1,28
Broj uzoraka	3	3	3	3

Sadržaj ekstraktiva (vrela voda) - Zrelo drvo

<i>Zrelo drvo</i>	<i>Z F (v. voda) Kontr</i>	<i>Z F (v. voda) TV</i>	<i>Z F (v. voda) KT</i>	<i>Z F (v. voda) AT</i>
Srednja vrednost	4,33	1,83	1,60	0,96
Standardna greška	0,2075	0,1801	0,0335	0,0462
Standardna devijacija	0,3594	0,3119	0,0581	0,0801
Varijansa	0,1292	0,0973	0,0034	0,0064
Minimum	3,91	1,54	1,56	0,87
Maksimum	4,54	2,16	1,67	1,01
Broj uzoraka	3	3	3	3

Sadržaj ekstraktiva (vrela voda) - Juvenilno drvo

<i>Juvenilno drvo</i>	<i>J F (v. voda) Kontr</i>	<i>J F (v. voda) TV</i>	<i>J F (v. voda) KT</i>	<i>J F (v. voda) AT</i>
Srednja vrednost	4,48	1,51	1,21	1,15
Standardna greška	0,1005	0,1020	0,1162	0,0812
Standardna devijacija	0,1741	0,1766	0,2013	0,1406
Varijansa	0,0303	0,0312	0,0405	0,0198
Minimum	4,29	1,36	0,98	1,00
Maksimum	4,63	1,71	1,37	1,28
Broj uzoraka	3	3	3	3

Sadržaj celuloze - Zrelo drvo

<i>Zrelo drvo</i>	<i>Z C Kontr</i>	<i>Z C TV</i>	<i>Z C KT</i>	<i>Z C AT</i>
Srednja vrednost	47,13	48,89	49,65	50,87
Standardna greška	0,3157	0,2009	0,3895	0,2389
Standardna devijacija	0,7732	0,4492	0,8709	0,5342
Varijansa	0,5978	0,2018	0,7585	0,2854
Minimum	45,64	48,29	48,66	50,25
Maksimum	47,81	49,49	50,68	51,36
Broj uzoraka	6	5	5	5

Sadržaj celuloze - Juvenilno drvo

<i>Juvenilno drvo</i>	<i>J C Kontr</i>	<i>J C TV</i>	<i>J C KT</i>	<i>J C AT</i>
Srednja vrednost	45,59	47,25	47,51	47,95
Standardna greška	0,2924	0,4601	0,4227	0,1555
Standardna devijacija	0,7163	0,9203	0,8454	0,3111
Varijansa	0,5131	0,8469	0,7146	0,0968
Minimum	44,53	46,26	46,67	47,70
Maksimum	46,42	48,47	48,60	48,40
Broj uzoraka	6	4	4	4

Sadržaj lignina (Klasonov) - Zrelo drvo

Zrelo drvo	Z L (Klason) Kontr	Z L (Klason) TV	Z L (Klason) KT	Z L (Klason) AT
Srednja vrednost	23,87	23,77	23,00	24,32
Standardna greška	1,1757	0,1442	0,1838	0,4268
Standardna devijacija	2,0364	0,2498	0,3183	0,7393
Varijansa	4,1468	0,0624	0,1013	0,5465
Minimum	21,67	23,59	22,64	23,63
Maksimum	25,69	24,05	23,24	25,10
Broj uzoraka	3	3	3	3

Sadržaj lignina (kiselorastvorni) - Zrelo drvo

Zrelo drvo	Z L (kr) Kontr	Z L (kr) TV	Z L (kr) KT	Z L (kr) AT
Srednja vrednost	2,23	2,29	2,50	2,38
Standardna greška	0,1015	0,0271	0,0834	0,0365
Standardna devijacija	0,1757	0,0469	0,1445	0,0632
Varijansa	0,0309	0,0022	0,0209	0,0040
Minimum	2,03	2,26	2,38	2,33
Maksimum	2,35	2,34	2,66	2,45
Broj uzoraka	3	3	3	3

Sadržaj lignina (ukupan) - Zrelo drvo

Zrelo drvo	Z L (ukupan) Kontr	Z L (ukupan) TV	Z L (ukupan) KT	Z L (ukupan) AT
Srednja vrednost	26,11	26,06	25,50	26,69
Standardna greška	1,2741	0,1263	0,1006	0,4151
Standardna devijacija	2,2068	0,2188	0,1742	0,7189
Varijansa	4,8701	0,0479	0,0303	0,5168
Minimum	23,70	25,92	25,30	25,99
Maksimum	28,04	26,31	25,62	27,42
Broj uzoraka	3	3	3	3

Sadržaj lignina (Klasonov) - Juvenilno drvo

Juvenilno drvo	J L (Klason) Kontr	J L (Klason) TV	J L (Klason) KT	J L (Klason) AT
Srednja vrednost	18,5453464	18,7410624	18,7328561	18,8114077
Standardna greška	0,2568975	0,46450097	0,88316661	0,39100451
Standardna devijacija	0,44495952	0,80453928	1,52968943	0,67723968
Varijansa	0,19798897	0,64728346	2,33994976	0,45865358
Minimum	18,1911727	17,9021974	16,971616	18,3286493
Maksimum	19,0447835	19,5062008	19,7295574	19,5855737
Broj uzoraka	3	3	3	3

Sadržaj lignina (kiselorastvorni) - Juvenilno drvo

Juvenilno drvo	J L (kr) Kontr	J L (kr) TV	J L (kr) KT	J L (kr) AT
Srednja vrednost	2,5468695	2,64559912	2,51089318	2,62565484
Standardna greška	0,31724664	0,16634255	0,22978932	0,25481651
Standardna devijacija	0,54948729	0,28811376	0,39800678	0,44135514
Varijansa	0,30193628	0,08300954	0,1584094	0,19479436
Minimum	1,95711616	2,32904077	2,15108447	2,121295
Maksimum	3,04442703	2,89249344	2,93841148	2,94116107
Broj uzoraka	3	3	3	3

Sadržaj lignina (ukupan) - Juvenilno drvo

Juvenilno drvo	J L (ukupan) Kontr	J L (ukupan) TV	J L (ukupan) KT	J L (ukupan) AT
Srednja vrednost	21,0922159	21,38666	21,24374	21,11377
Standardna greška	0,389623	0,596475	1,063239	0,824384
Standardna devijacija	0,67484755	1,03312539	1,84158539	1,42787646
Varijansa	0,45541922	1,06734807	3,39143676	2,0388312
Minimum	20,3571989	20,2312381	19,1227005	19,6714353
Maksimum	21,6838489	22,2214639	22,4358063	22,5267348
Broj uzoraka	3	3	3	3

VI - 7.2. Komparativna statistička analiza

Sadržaj pepela - Zrelo drvo

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z P Kontr	4	1,513587	0,378397	0,001379
Z P TV	4	0,304166	0,076042	0,000864
Z P KT	4	0,371149	0,092787	0,000244
Z P AT	4	1,208203	0,302051	0,001671

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,273972	3	0,091324	87,88052	1,96E-08	3,490295
Within Groups	0,01247	12	0,001039			
Total	0,286442	15				

Postoji statistički značajna razlika u sadržaju pepela između testiranih grupa uzoraka.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z P Kontr	4	1,504751	0,376188	0,003121
Z P AT	4	1,208203	0,302051	0,001671

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,010993	1	0,010993	4,587705	0,075952	5,987378
Within Groups	0,014377	6	0,002396			
Total	0,025369	7				

Ne postoji statistički značajna razlika u sadržaju pepela između netretiranih i uzoraka tretiranih alkalnim tretmanom.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z P Kontr	4	1,504751	0,376188	0,003121
Z P TV	4	0,304166	0,076042	0,000864

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,180176	1	0,180176	90,42698	7,71E-05	5,987378
Within Groups	0,011955	6	0,001992			
Total	0,192131	7				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z P Kontr	4	1,504751	0,376188	0,003121
Z P KT	4	0,371149	0,092787	0,000244

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,160632	1	0,160632	95,46262	6,61E-05	5,987378
Within Groups	0,010096	6	0,001683			
Total	0,170728	7				

Razlika u sadržaju pepela između netretiranih i grupa uzoraka tretiranih vodom i sirćetnom kiselinom uzoraka statistički su značajne.

Zrelo drvo - Između tretmana

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z P TV	4	0,304166	0,076042	0,000864
Z P KT	4	0,371149	0,092787	0,000244
Z P AT	4	1,208203	0,302051	0,001671

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,126869	2	0,063435	68,50173	3,58E-06	4,256495
Within Groups	0,008334	9	0,000926			
Total	0,135203	11				

Postoji statistički značajna razlika u sadržaju pepela između testiranih grupa uzoraka.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z P TV	4	0,304166	0,076042	0,000864
Z P KT	4	0,371149	0,092787	0,000244

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,000561	1	0,000561	1,012906	0,353056	5,987378
Within Groups	0,003322	6	0,000554			
Total	0,003883	7				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z P KT	4	0,371149	0,092787	0,000244
Z P AT	4	1,208203	0,302051	0,001671

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,087583	1	0,087583	91,49049	7,46E-05	5,987378
Within Groups	0,005744	6	0,000957			
Total	0,093326	7				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z P AT	4	1,208203	0,302051	0,001671
Z P TV	4	0,304166	0,076042	0,000864

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,10216	1	0,10216	80,62432	0,000107	5,987378
Within Groups	0,007603	6	0,001267			
Total	0,109763	7				

Razlika u sadržaju pepela između alkalno tretiranih grupa uzoraka i uzoraka tretiranih vodom i sirćetnom kiselinom uzoraka statistički su značajne.

Razlika u sadržaju pepela između uzoraka tretiranih vodom i uzoraka sirćetnom kiselinom uzoraka statistički nisu značajne.

Sadržaj pepela -Juvenilno drvo

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J P Kontr	4	1,737833	0,434458	0,001097
J P TV	4	0,506525	0,126631	0,000851
J P KT	4	0,713307	0,178327	0,000313
J P AT	4	1,458534	0,364633	0,000621

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,259264	3	0,086421	119,9245	3,27E-09	3,490295
Within Groups	0,008648	12	0,000721			
Total	0,267911	15				

Postoji statistički značajna razlika u sadržaju pepela između testiranih grupa uzoraka.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J P Kontr	4	1,7	0,425	0,006033
J P AT	4	1,458273	0,364568	0,000626

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,007304	1	0,007304	2,193701	0,18908	5,987378
Within Groups	0,019977	6	0,00333			
Total	0,027281	7				

Ne postoji statistički značajna razlika u sadržaju pepela između netretiranih i uzoraka tretiranih alkalnim tretmanom.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J P Kontr	4	1,7	0,425	0,006033
J P TV	4	0,506525	0,126631	0,000851

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,178048	1	0,178048	51,72747	0,000365	5,987378
Within Groups	0,020652	6	0,003442			
Total	0,1987	7				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J P Kontr	4	1,7	0,425	0,006033
J P KT	4	0,713307	0,178327	0,000313

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,121695	1	0,121695	38,34853	0,000817	5,987378
Within Groups	0,01904	6	0,003173			
Total	0,140736	7				

Razlika u sadržaju pepela između netretiranih i grupa uzoraka tretiranih vodom i sirćetnom kiselinom uzoraka statistički su značajne.

Juvenilno drvo - Između tretmana

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J P TV	4	0,506525	0,126631	0,000851
J P KT	4	0,713307	0,178327	0,000313
J P AT	4	1,458534	0,364633	0,000621

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,12537	2	0,062685	105,3117	5,71E-07	4,256495
Within Groups	0,005357	9	0,000595			
Total	0,130727	11				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J P TV	4	0,506525	0,126631	0,000851
J P KT	4	0,713307	0,178327	0,000313

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,005345	1	0,005345	9,181835	0,023093	5,987378
Within Groups	0,003493	6	0,000582			
Total	0,008837	7				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J P KT	4	0,713307	0,178327	0,000313
J P AT	4	1,458534	0,364633	0,000621

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,06942	1	0,06942	148,4991	1,86E-05	5,987378
Within Groups	0,002805	6	0,000467			
Total	0,072225	7				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J P AT	4	1,458534	0,364633	0,000621
J P TV	4	0,506525	0,126631	0,000851

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,11329	1	0,11329	153,9035	1,67E-05	5,987378
Within Groups	0,004417	6	0,000736			
Total	0,117707	7				

Postoji statistički značajna razlika u sadržaju pepela između svih tretiranih grupa uzoraka.

Zrelo drvo - Sadržaj ekstraktiva (T/E)

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z E (T/E) Kontr	3	12,97689	4,325629	0,129201
Z E (T/E) TV	3	5,491543	1,830514	0,097302
Z E (T/E) KT	3	4,813902	1,604634	0,003373
Z E (T/E) AT	3	2,881517	0,960506	0,006413

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	19,63223	3	6,544076	110,781	7,44E-07	4,066181
Within Groups	0,472578	8	0,059072			
Total	20,10481	11				

Postoji statistički značajna razlika u sadržaju ekstraktiva (T/E) između testiranih grupa uzoraka.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z E (T/E) Kontr	3	12,97689	4,325629	0,129201
Z E (T/E) TV	3	5,491543	1,830514	0,097302

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	9,338397	1	9,338397	82,45696	0,000815	7,708647
Within Groups	0,453007	4	0,113252			
Total	9,791404	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z E (T/E) Kontr	3	12,97689	4,325629	0,129201
Z E (T/E) KT	3	4,813902	1,604634	0,003373

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	11,10572	1	11,10572	167,5399	0,000206	7,708647
Within Groups	0,265148	4	0,066287			
Total	11,37087	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z E (T/E) Kontr	3	12,97689	4,325629	0,129201
Z E (T/E) AT	3	2,881517	0,960506	0,006413

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	16,98608	1	16,98608	250,5066	9,31E-05	7,708647
Within Groups	0,271228	4	0,067807			
Total	17,25731	5				

Postoji statistički značajna razlika u sadržaju sadržaju ekstraktiva (T/E) između tretiranih i kontrolne grupe uzoraka.

Zrelo drvo - Između tretmana

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z E (T/E) TV	3	5,491543	1,830514	0,097302
Z E (T/E) KT	3	4,813902	1,604634	0,003373
Z E (T/E) AT	3	2,881517	0,960506	0,006413

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,222838	2	0,611419	17,12858	0,003311	5,143253
Within Groups	0,214175	6	0,035696			
Total	1,437013	8				

Postoji statistički značajna razlika u sadržaju sadržaju ekstraktiva (T/E) između tretiranih grupauzoraka.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z E (T/E) TV	3	5,491543	1,830514	0,097302
Z E (T/E) KT	3	4,813902	1,604634	0,003373

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,076533	1	0,076533	1,520392	0,28507	7,708647
Within Groups	0,20135	4	0,050337			
Total	0,277883	5				

Razlika u sadržaju ekstraktiva (T/E) između alkalno tretiranih grupa uzoraka i uzoraka tretiranih vodom nisu statistički značajne.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z E (T/E) KT	3	4,813902	1,604634	0,003373
Z E (T/E) AT	3	2,881517	0,960506	0,006413

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,622352	1	0,622352	127,2015	0,000352	7,708647
Within Groups	0,019571	4	0,004893			
Total	0,641923	5				

Razlika u sadržaju ekstraktiva (T/E) između uzoraka tretiranih vodom i uzoraka tretiranih sirćetnom kiselinom su statistički značajne.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z E (T/E) AT	3	2,881517	0,960506	0,006413
Z E (T/E) TV	3	5,491543	1,830514	0,097302

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,135372	1	1,135372	21,89412	0,009454	7,708647
Within Groups	0,20743	4	0,051857			
Total	1,342802	5				

Razlika u sadržaju ekstrakta (T/E) između uzoraka tretiranih vodom i uzoraka tretiranih natrijum karbonatom su statistički značajne.

Juvenilno drvo - Komparativna statistička analiza

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J E (T/E) Kontr	3	13,43112	4,477041	0,030296
J E (T/E) TV	3	4,542569	1,51419	0,03119
J E (T/E) KT	3	3,630067	1,210022	0,040529
J E (T/E) AT	3	3,458653	1,152884	0,019772

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	23,04617	3	7,682058	252,3123	2,93E-08	4,066181
Within Groups	0,243573	8	0,030447			
Total	23,28975	11				

Razlika u sadržaju ekstrakta (T/E) između testiranih grupa su statistički značajne.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J E (T/E) Kontr	3	13,43112	4,477041	0,030296
J E (T/E) TV	3	4,542569	1,51419	0,03119

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	13,16773	1	13,16773	428,3163	3,22E-05	7,708647
Within Groups	0,122972	4	0,030743			
Total	13,2907	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J E (T/E) Kontr	3	13,43112	4,477041	0,030296
J E (T/E) KT	3	3,630067	1,210022	0,040529

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	16,01011	1	16,01011	452,1063	2,89E-05	7,708647
Within Groups	0,141649	4	0,035412			
Total	16,15176	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J E (T/E) Kontr	3	13,43112	4,477041	0,030296
J E (T/E) AT	3	3,458653	1,152884	0,019772

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	16,57502	1	16,57502	662,1006	1,36E-05	7,708647
Within Groups	0,100136	4	0,025034			
Total	16,67516	5				

Razlika u sadržaju ekstrakta (T/E) između kontrolne grupe uzoraka i svih tretiranih grupa uzoraka su statistički značajne.

Između tretmana - Juvenilno drvo

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J E (T/E) TV	3	4,542569	1,51419	0,03119
J E (T/E) KT	3	3,630067	1,210022	0,040529
J E (T/E) AT	3	3,458653	1,152884	0,019772

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,226324	2	0,113162	3,71062	0,089346	5,143253
Within Groups	0,182981	6	0,030497			
Total	0,409305	8				

Razlika u sadržaju ekstrakta (T/E) između tretiranih grupa nisu statistički značajne.

Sadržaj ekstrakta (vrela voda) - Zrelo drvo

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z F (v. voda) Kontr	3	12,97689	4,325629	0,129201
Z F (v. voda) TV	3	5,491543	1,830514	0,097302
Z F (v. voda) KT	3	4,813902	1,604634	0,003373
Z F (v. voda) AT	3	2,881517	0,960506	0,006413

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	19,63223	3	6,544076	110,781	7,44E-07	4,066181
Within Groups	0,472578	8	0,059072			
Total	20,10481	11				

Razlika u sadržaju ekstrakta (vrela voda) između testiranih grupa su statistički značajne.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z F (v. voda) Kontr	3	12,97689	4,325629	0,129201
Z F (v. voda) TV	3	5,491543	1,830514	0,097302

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	9,338397	1	9,338397	82,45696	0,000815	7,708647
Within Groups	0,453007	4	0,113252			
Total	9,791404	5				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z F (v. voda) Kontr	3	12,97689	4,325629	0,129201
Z F (v. voda) KT	3	4,813902	1,604634	0,003373

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	11,10572	1	11,10572	167,5399	0,000206	7,708647
Within Groups	0,265148	4	0,066287			
Total	11,37087	5				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z F (v. voda) Kontr	3	12,97689	4,325629	0,129201
Z F (v. voda) AT	3	2,881517	0,960506	0,006413

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	16,98608	1	16,98608	250,5066	9,31E-05	7,708647
Within Groups	0,271228	4	0,067807			
Total	17,25731	5				

Razlika u sadržaju ekstrakta (vrela voda) između kontrolnih i svih tretiranih grupa uzoraka su statistički značajne.

Zrelo drvo - Između tretmana

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z F (v. voda) TV	3	5,491543	1,830514	0,097302
Z F (v. voda) KT	3	4,813902	1,604634	0,003373
Z F (v. voda) AT	3	2,881517	0,960506	0,006413

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,222838	2	0,611419	17,12858	0,003311	5,143253
Within Groups	0,214175	6	0,035696			
Total	1,437013	8				

Razlika u sadržaju ekstrakta (vrela voda) između tretiranih grupa uzoraka su statistički značajne.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z F (v. voda) TV	3	5,491543	1,830514	0,097302
Z F (v. voda) KT	3	4,813902	1,604634	0,003373

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,076533	1	0,076533	1,520392	0,28507	7,708647
Within Groups	0,20135	4	0,050337			
Total	0,277883	5				

Razlika u sadržaju ekstrakta (vrela voda) između uzoraka tretiranih vodom i uzoraka tretiranih sirćetnom i kiselinom nisu statistički značajne.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z F (v. voda) AT	3	2,881517	0,960506	0,006413
Z F (v. voda) TV	3	5,491543	1,830514	0,097302

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,135372	1	1,135372	21,89412	0,009454	7,708647
Within Groups	0,20743	4	0,051857			
Total	1,342802	5				

Razlika u sadržaju ekstrakta (vrela voda) između alkalno tretiranih grupa uzoraka i uzoraka tretiranih vodom su statistički značajne

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z F (v. voda) TV	3	5,491543	1,830514	0,097302
Z F (v. voda) KT	3	4,813902	1,604634	0,003373

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,076533	1	0,076533	1,520392	0,28507	7,708647
Within Groups	0,20135	4	0,050337			
Total	0,277883	5				

Razlika u sadržaju ekstrakta (vrela voda) između uzoraka tretiranih vodom i uzoraka tretiranih sirćetnom i kiselinom nisu statistički značajne.

*Juvenilno drvo - Komparativna statistička analiza - Sadržaj ekstrakta (vrela voda)*Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J F (v. voda) Kontr	3	13,43112	4,477041	0,030296
J F (v. voda) TV	3	4,542569	1,51419	0,03119
J F (v. voda) KT	3	3,630067	1,210022	0,040529
J F (v. voda) AT	3	3,458653	1,152884	0,019772

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	23,04617	3	7,682058	252,3123	2,93E-08	4,066181
Within Groups	0,243573	8	0,030447			
Total	23,28975	11				

Razlika u sadržaju ekstrakta (vrela voda) između testiranih grupa su statistički značajne.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J F (v. voda) Kontr	3	13,43112	4,477041	0,030296
J F (v. voda) TV	3	4,542569	1,51419	0,03119

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	13,16773	1	13,16773	428,3163	3,22E-05	7,708647
Within Groups	0,122972	4	0,030743			
Total	13,2907	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J F (v. voda) Kontr	3	13,43112	4,477041	0,030296
J F (v. voda) KT	3	3,630067	1,210022	0,040529

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	16,01011	1	16,01011	452,1063	2,89E-05	7,708647
Within Groups	0,141649	4	0,035412			
Total	16,15176	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J F (v. voda) Kontr	3	13,43112	4,477041	0,030296
J F (v. voda) AT	3	3,458653	1,152884	0,019772

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	16,57502	1	16,57502	662,1006	1,36E-05	7,708647
Within Groups	0,100136	4	0,025034			
Total	16,67516	5				

Razlika u sadržaju ekstrakta (vrela voda) između kontrolnih i svih tretiranih grupa uzoraka su statistički značajne.

*Juvenilno drvo - Između tretmana*Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J F (v. voda) TV	3	4,542569	1,51419	0,03119
J F (v. voda) KT	3	3,630067	1,210022	0,040529
J F (v. voda) AT	3	3,458653	1,152884	0,019772

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,226324	2	0,113162	3,71062	0,089346	5,143253
Within Groups	0,182981	6	0,030497			
Total	0,409305	8				

Razlika u sadržaju ekstraktiva (vrela voda) između testiranih grupa nisu statistički značajne.

Zrelo drvo - Komparativna statistička analiza - Sadržaj celuloze

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z C Kontr	6	282,7557	47,12595	0,597838
Z C TV	5	244,4345	48,8869	0,201773
Z C KT	5	248,2724	49,65449	0,75855
Z C AT	5	254,3263	50,86526	0,28539

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	40,64437	3	13,54812	28,89075	6,71E-07	3,196777
Within Groups	7,972037	17	0,468943			
Total	48,61641	20				

Razlika u sadržaju celuloze između testiranih grupa su statistički značajne.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z C Kontr	6	282,7557	47,12595	0,597838
Z C TV	5	244,4345	48,8869	0,201773

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	8,457116	1	8,457116	20,04964	0,001538	5,117355
Within Groups	3,79628	9	0,421809			
Total	12,2534	10				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z C Kontr	6	282,7557	47,12595	0,597838
Z C KT	5	248,2724	49,65449	0,75855

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	17,43683	1	17,43683	26,0537	0,000641	5,117355
Within Groups	6,023388	9	0,669265			
Total	23,46022	10				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z C Kontr	6	282,7557	47,12595	0,597838
Z C AT	5	254,3263	50,86526	0,28539

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	38,13384	1	38,13384	83,08533	7,69E-06	5,117355
Within Groups	4,130748	9	0,458972			
Total	42,26459	10				

Razlika u sadržaju sadržaju celuloze između kontrolnih i svih tretiranih grupa uzoraka su statistički značajne.

Zrelo drvo - Između tretmana

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z C TV	5	244,4345	48,8869	0,201773
Z C KT	5	248,2724	49,65449	0,75855
Z C AT	5	254,3263	50,86526	0,28539

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	9,948408	2	4,974204	11,97918	0,001381	3,885294
Within Groups	4,982848	12	0,415237			
Total	14,93126	14				

Razlika u sadržaju celuloze između tretiranih grupa su statistički značajne.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z C TV	5	244,4345	48,8869	0,201773
Z C KT	5	248,2724	49,65449	0,75855

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,472982	1	1,472982	3,067683	0,117967	5,317655
Within Groups	3,84129	8	0,480161			
Total	5,314272	9				

Razlika u sadržaju celuloze između uzoraka tretiranih vodom i uzoraka tretiranih sirćetnom i kiselinom nisu statistički značajne.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z C KT	5	248,2724	49,65449	0,75855
Z C AT	5	254,3263	50,86526	0,28539

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,664894	1	3,664894	7,021278	0,029266	5,317655
Within Groups	4,175757	8	0,52197			
Total	7,840652	9				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z C AT	5	254,3263	50,86526	0,28539
Z C TV	5	244,4345	48,8869	0,201773

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	9,784735	1	9,784735	40,17033	0,000223	5,317655
Within Groups	1,948649	8	0,243581			
Total	11,73338	9				

Razlika u sadržaju celuloze između alkalno tretiranih grupa uzoraka i uzoraka tretiranih sirćetnom kiselinom i vodom su statistički značajne.

Juvenilno drvo - Sadržaj celulozeAnova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J C Kontr	6	273,54	45,59	0,51312
J C TV	4	188,9918	47,24795	0,846914
J C KT	4	190,021	47,50524	0,71462
J C AT	4	191,8166	47,95415	0,096761

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	16,68944	3	5,563148	10,32879	0,000758	3,343889
Within Groups	7,540487	14	0,538606			
Total	24,22993	17				

Razlika u sadržaju celuloze između testiranih grupa su statistički značajne.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J C Kontr	6	273,54	45,59	0,51312
J C TV	4	188,9918	47,24795	0,846914

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	6,597118	1	6,597118	10,33557	0,012333	5,317655
Within Groups	5,106343	8	0,638293			
Total	11,70346	9				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J C Kontr	6	273,54	45,59	0,51312
J C KT	4	190,021	47,50524	0,71462

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	8,803555	1	8,803555	14,95467	0,004761	5,317655
Within Groups	4,709461	8	0,588683			
Total	13,51302	9				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J C Kontr	6	273,54	45,59	0,51312
J C AT	4	191,8166	47,95415	0,096761

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	13,41404	1	13,41404	37,5759	0,00028	5,317655
Within Groups	2,855883	8	0,356985			
Total	16,26993	9				

Razlika u sadržaju sadržaju celuloze između kontrolnih i svih tretiranih grupa uzoraka su statistički značajne.

Juvenilno drvo - Između tretmanaAnova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J C TV	4	188,9918	47,24795	0,846914
J C KT	4	190,021	47,50524	0,71462
J C AT	4	191,8166	47,95415	0,096761

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,021901	2	0,510951	0,924354	0,43141	4,256495
Within Groups	4,974887	9	0,552765			
Total	5,996788	11				

Razlika u sadržaju celuloze između tretiranih grupa uzoraka nisu statistički značajne.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J C TV	4	188,9918	47,24795	0,846914
J C KT	4	190,021	47,50524	0,71462

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,132397	1	0,132397	0,169573	0,694798	5,987378
Within Groups	4,684604	6	0,780767			
Total	4,817001	7				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J C KT	4	190,021	47,50524	0,71462
J C AT	4	191,8166	47,95415	0,096761

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,403031	1	0,403031	0,993444	0,357385	5,987378
Within Groups	2,434144	6	0,405691			
Total	2,837175	7				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J C AT	4	191,8166	47,95415	0,096761
J C TV	4	188,9918	47,24795	0,846914

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,997424	1	0,997424	2,113914	0,196193	5,987378
Within Groups	2,831025	6	0,471838			
Total	3,828449	7				

Razlika u sadržaju celuloze između tretiranih grupa uzoraka nisu statistički značajne.

Sadržaj lignina (Klasonov) - Zrelo drvo

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z L (Klason) Kontr	3	71,6198216	23,8732739	4,14675943
Z L (Klason) TV	3	71,2960594	23,7653531	0,06239407
Z L (Klason) KT	3	69,0056638	23,0018879	0,10134578
Z L (Klason) AT	3	72,9490174	24,3163391	0,54653588

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,68613533	3	0,89537844	0,73738683	0,55867251	4,06618056
Within Groups	9,71407033	8	1,21425879			
Total	12,4002057	11				

Razlika u sadržaju Klasonovog lignina između testiranih grupa uzoraka nisu statistički značajne.

Sadržaj lignina (kiselorastvorni) - Zrelo drvo

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z L (kr) Kontr	3	6,69917754	2,23305918	0,03088693
Z L (kr) TV	3	6,87121779	2,29040593	0,00220162
Z L (kr) KT	3	7,49609315	2,49869772	0,0208783
Z L (kr) AT	3	7,13466355	2,37822118	0,00399387

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,12040205	3	0,04013402	2,76973895	0,11082463	4,06618056
Within Groups	0,11592145	8	0,01449018			
Total	0,2363235	11				

Razlika u sadržaju kiselorastvornog lignina između testiranih grupa uzoraka nisu statistički značajne.

Sadržaj lignina (ukupan) - Zrelo drvo

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z L (ukupan) Kontr	3	78,3189992	26,1063331	4,87008271
Z L (ukupan) TV	3	78,1672771	26,055759	0,0478561
Z L (ukupan) KT	3	76,501757	25,5005857	0,03034439
Z L (ukupan) AT	3	80,0836809	26,6945603	0,51684489

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,14301924	3	0,71433975	0,52283477	0,67856107	4,06618056
Within Groups	10,9302562	8	1,36628202			
Total	13,0732754	11				

Razlika u sadržaju ukupnog lignina između testiranih grupa uzoraka nisu statistički značajne.

Zrelo drvo - Između tretmana

S obzirom da je analiza dobijenih rezultata sadržaja Klasonovog, kiselorastvornog i ukupnog lignina primenom statističke tehnike ANOVA ustanovila da nema statistički značajne razlike u sadržaju određivanog lignina između testiranih grupa uzoraka (Kontr, TV,KT i AT), podrazumeva se da nema statistički značajne razlike u sadržaju određivanog lignina između tri grupe tretiranih uzoraka.

Sadržaj lignina (Klasonov) - Juvenilno drvo

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J L (Klason) Kontr	3	55,6360391	18,5453464	0,19798897
J L (Klason) TV	3	56,2231873	18,7410624	0,64728346
J L (Klason) KT	3	56,1985682	18,7328561	2,33994976
J L (Klason) AT	3	56,434223	18,8114077	0,45865358

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,11657958	3	0,03885986	0,04265772	0,98739827	4,06618056
Within Groups	7,28775155	8	0,91096894			
Total	7,40433113	11				

Razlika u sadržaju Klasonovog lignina između testiranih tretiranih grupa uzoraka nisu statistički značajne.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J L (kr) Kontr	3	7,6406085	2,5468695	0,30193628
J L (kr) TV	3	7,93679736	2,64559912	0,08300954
J L (kr) KT	3	7,53267955	2,51089318	0,1584094
J L (kr) AT	3	7,87696453	2,62565484	0,19479436

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,036722	3	0,01224067	0,06633163	0,97625168	4,06618056
Within Groups	1,47629915	8	0,18453739			
Total	1,51302115	11				

Razlika u sadržaju kiselorastvornog lignina između testiranih tretiranih grupa uzoraka nisu statistički značajne.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J L (ukupan) Kontr	3	63,2766476	21,0922159	0,45541922
J L (ukupan) TV	3	64,1599847	21,3866616	1,06734807
J L (ukupan) KT	3	63,7312478	21,2437493	3,39143676
J L (ukupan) AT	3	63,3413278	21,1137759	2,0388312

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,16643178	3	0,05547726	0,03191542	0,9917377	4,06618056
Within Groups	13,9060705	8	1,73825881			
Total	14,0725023	11				

Razlika u sadržaju ukupnog lignina između testiranih tretiranih grupa uzoraka nisu statistički značajne.

Juvenilno drvo - Između tretmana

S obzirom da je analiza dobijenih rezultata sadržaja Klasonovog, kiselorastvornog i ukupnog lignina primenom statističke tehnike ANOVA ustanovila da nema statistički značajne razlike u sadržaju određivanog lignina između testiranih grupa uzoraka (Kontr, TV,KT i AT), podrazumeva se da nema statistički značajne razlike u sadržaju određivanog lignina između tri grupe tretiranih uzoraka.

Prilog VI - 8. Statistička obrada rezultata ispitivanja ravnotežne vlage kontrolnog i tretiranog iverja juvenilnog i zrelog drveta poljskog jasena posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 32, 65 i 90%

VI - 8.1. Deskriptivna statistika

VI - 8.1.1. Posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 32 %

Juvenilno drvo

32%	<i>J Kontr Wa</i>	<i>JTV Wa</i>	<i>JKT Wa</i>	<i>JAT Wa</i>
Srednja vrednost	7,28	8,51	8,74	8,76
Standardna greška	0,0827	0,0326	0,1408	0,0613
Standardna devijacija	0,1433	0,0565	0,2439	0,1062
Varijansa	0,0205	0,0032	0,0595	0,0113
Minimum	7,18	8,46	8,55	8,66
Maksimum	7,44	8,57	9,01	8,87
Broj uzoraka	3	3	3	3

Zrelo drvo

32%	<i>Z Kontr Wa</i>	<i>ZTV Wa</i>	<i>ZKT Wa</i>	<i>ZAT Wa</i>
Srednja vrednost	7,11	7,90	8,17	8,38
Standardna greška	0,0413	0,0645	0,0447	0,0839
Standardna devijacija	0,0716	0,1117	0,0774	0,1454
Varijansa	0,0051	0,0125	0,0060	0,0211
Minimum	7,03	7,79	8,11	8,21
Maksimum	7,18	8,01	8,26	8,47
Broj uzoraka	3	3	3	3

VI - 8.1.2. Posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 65 %

Juvenilno drvo

65%	<i>J Kontr Wa</i>	<i>JTV Wa</i>	<i>JKT Wa</i>	<i>JAT Wa</i>
Srednja vrednost	9,96	11,48	11,45	11,71
Standardna greška	0,1365	0,0773	0,0166	0,2248
Standardna devijacija	0,2365	0,1339	0,0287	0,3893
Varijansa	0,0559	0,0179	0,0008	0,1516
Minimum	9,77	11,39	11,42	11,33
Maksimum	10,22	11,64	11,48	12,11
Broj uzoraka	3	3	3	3

Zrelo drvo

65%	<i>Z Kontr Wa</i>	<i>ZTV Wa</i>	<i>ZKT Wa</i>	<i>ZAT Wa</i>
Srednja vrednost	9,34	11,13	10,85	11,32
Standardna greška	0,0567	0,1384	0,0862	0,3673
Standardna devijacija	0,0982	0,2398	0,1492	0,6361
Varijansa	0,0096	0,0575	0,0223	0,4047
Minimum	9,23	10,92	10,68	10,85
Maksimum	9,41	11,39	10,97	12,05
Broj uzoraka	3	3	3	3

VI - 8.1.3. Posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 90 %

Juvenilno drvo

90 %	Kontr	J Wa	KT	J Wa	TV	J Wa	AT	J Wa
Srednja vrednost		22,84		21,78		21,01		23,91
Standardna greška		0,1483		0,1054		0,2988		0,2175
Standardna devijacija		0,2569		0,1826		0,5175		0,3767
Varijansa		0,0660		0,0333		0,2678		0,1419
Minimum		22,55		21,60		20,42		23,47
Maksimum		23,00		21,97		21,35		24,16
Broj uzoraka		3		3		3		3

Zrelo drvo

90 %	Kontr	Z Wa	KT	Z Wa	TV	Z Wa	AT	Z Wa
Srednja vrednost		21,89		20,38		20,56		22,95
Standardna greška		0,2465		0,1043		0,1941		0,2203
Standardna devijacija		0,4270		0,1807		0,3362		0,3816
Varijansa		0,1823		0,0327		0,1131		0,1456
Minimum		21,43		20,17		20,29		22,70
Maksimum		22,26		20,50		20,94		23,39
Broj uzoraka		3		3		3		3

VI - 8.2. Komparativna statistička analiza

VI - 8.2.1. Posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 32 %

*Juvenilno drvo*Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J Kontr Wa	3	21,82503	7,27501	0,020522
JTV Wa	3	25,525	8,508335	0,003198
J KT Wa	3	26,21106	8,737021	0,059469
JAT Wa	3	26,26905	8,756349	0,011286

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4,475336	3	1,491779	63,16113	6,52E-06	4,066181
Within Groups	0,188949	8	0,023619			
Total	4,664285	11				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između testiranih grupa uzoraka posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 32 %.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
JTV Wa	3	25,525	8,508335	0,003198
J KT Wa	3	26,21106	8,737021	0,059469
JAT Wa	3	26,26905	8,756349	0,011286

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,114182	2	0,057091	2,315991	0,179726	5,143253
Within Groups	0,147905	6	0,024651			
Total	0,262087	8				

Ne postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između tretiranih grupa uzoraka posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 32 %.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J Kontr Wa	3	21,82503	7,27501	0,020522
JTV Wa	3	25,525	8,508335	0,003198

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,281634	1	2,281634	192,3834	0,000157	7,708647
Within Groups	0,047439	4	0,01186			
Total	2,329074	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J Kontr Wa	3	21,82503	7,27501	0,020522
JKT Wa	3	26,21106	8,737021	0,059469

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,206215	1	3,206215	80,16423	0,000861	7,708647
Within Groups	0,159982	4	0,039996			
Total	3,366197	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
JAT Wa	3	26,26905	8,756349	0,011286
J Kontr Wa	3	21,82503	7,27501	0,020522

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,291549	1	3,291549	206,967	0,000136	7,708647
Within Groups	0,063615	4	0,015904			
Total	3,355164	5				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između kontrolne i svih tretiranih grupa uzoraka posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 32%.

Zrelo drvo

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z Kontr Wa	3	21,31941	7,106471	0,005125
Z TV Wa	3	23,71197	7,903991	0,012478
Z KT Wa	3	24,51043	8,170143	0,005983
Z AT Wa	3	25,14099	8,380329	0,021132

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,799047	3	0,933016	83,45684	2,23E-06	4,066181
Within Groups	0,089437	8	0,01118			
Total	2,888484	11				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između testiranih grupa uzoraka posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 32 %.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z Kontr Wa	3	21,31941	7,106471	0,005125
Z TV Wa	3	23,71197	7,903991	0,012478

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,954056	1	0,954056	108,3964	0,000481	7,708647
Within Groups	0,035206	4	0,008802			
Total	0,989262	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z Kontr Wa	3	21,31941	7,106471	0,005125
Z KT Wa	3	24,51043	8,170143	0,005983

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,697097	1	1,697097	305,5525	6,29E-05	7,708647
Within Groups	0,022217	4	0,005554			
Total	1,719313	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z AT Wa	3	25,14099	8,380329	0,021132
Z Kontr Wa	3	21,31941	7,106471	0,005125

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,434071	1	2,434071	185,4037	0,000168	7,708647
Within Groups	0,052514	4	0,013128			
Total	2,486585	5				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između kontrolne i svih tretiranih grupa uzoraka posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 32%.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z TV Wa	3	23,71197	7,903991	0,012478
Z KT Wa	3	24,51043	8,170143	0,005983
Z AT Wa	3	25,14099	8,380329	0,021132

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,341914	2	0,170957	12,95341	0,00665	5,143253
Within Groups	0,079187	6	0,013198			
Total	0,421101	8				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između tretiranih grupa uzoraka posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 32 %.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z TV Wa	3	23,71197	7,903991	0,012478
Z KT Wa	3	24,51043	8,170143	0,005983

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,106256	1	0,106256	11,51105	0,027459	7,708647
Within Groups	0,036923	4	0,009231			
Total	0,143179	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z KT Wa	3	24,51043	8,170143	0,005983
Z AT Wa	3	25,14099	8,380329	0,021132

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,066267	1	0,066267	4,887806	0,091541	7,708647
Within Groups	0,054231	4	0,013558			
Total	0,120498	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z AT Wa	3	25,14099	8,380329	0,021132
Z TV Wa	3	23,71197	7,903991	0,012478

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,340348	1	0,340348	20,2527	0,01082	7,708647
Within Groups	0,06722	4	0,016805			
Total	0,407568	5				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između TV i KT, kao i AT i TV tretiranih grupa uzoraka posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 32 %, dok razlike između grupa uzoraka KT i AT nisu značajne.

VI - 8.2.2. Posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 65 %

Juvenilno drvo

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J Kontr Wa	3	29,88008	9,960026	0,055934
JTV Wa	3	34,44659	11,4822	0,017939
J KT Wa	3	34,36285	11,45428	0,000826
JAT Wa	3	35,12106	11,70702	0,15156

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	5,787755	3	1,929252	34,10702	6,6E-05	4,066181
Within Groups	0,452517	8	0,056565			
Total	6,240273	11				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između testiranih grupa uzoraka posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 65 %.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J Kontr Wa	3	29,88008	9,960026	0,055934
JTV Wa	3	34,44659	11,4822	0,017939

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,475506	1	3,475506	94,09467	0,000632	7,708647
Within Groups	0,147745	4	0,036936			
Total	3,623251	5				

Ne postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između tretiranih grupa uzoraka posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 65 %.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J Kontr Wa	3	29,88008	9,960026	0,055934
J KT Wa	3	34,36285	11,45428	0,000826

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,34921	1	3,34921	118,014	0,000408	7,708647
Within Groups	0,113519	4	0,02838			
Total	3,462729	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J AT Wa	3	35,12106	11,70702	0,15156
J Kontr Wa	3	29,88008	9,960026	0,055934

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4,577992	1	4,577992	44,12648	0,002666	7,708647
Within Groups	0,414988	4	0,103747			
Total	4,99298	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
JTV Wa	3	34,44659	11,4822	0,017939
JKT Wa	3	34,36285	11,45428	0,000826
JAT Wa	3	35,12106	11,70702	0,15156

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,115202	2	0,057601	1,014549	0,417305	5,143253
Within Groups	0,34065	6	0,056775			
Total	0,455852	8				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između kontrolne i svih tretiranih grupa uzoraka posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 65%.

Zrelo drvo

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z Kontr Wa	3	28,02171	9,340568	0,009637
Z TV Wa	3	33,38608	11,12869	0,057497
Z KT Wa	3	32,546	10,84867	0,022266
Z AT Wa	3	33,97078	11,32359	0,404673

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	7,309576	3	2,436525	19,72607	0,000471	4,066181
Within Groups	0,988144	8	0,123518			
Total	8,297721	11				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između testiranih grupa uzoraka posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 65 %.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z Kontr Wa	3	28,02171	9,340568	0,009637
Z TV Wa	3	33,38608	11,12869	0,057497

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4,796087	1	4,796087	142,882	0,000281	7,708647
Within Groups	0,134267	4	0,033567			
Total	4,930354	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z KT Wa	3	32,546	10,84867	0,022266
Z Kontr Wa	3	28,02171	9,340568	0,009637

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,411535	1	3,411535	213,8731	0,000127	7,708647
Within Groups	0,063805	4	0,015951			
Total	3,47534	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z AT Wa	3	33,97078	11,32359	0,404673
Z Kontr Wa	3	28,02171	9,340568	0,009637

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	5,89859	1	5,89859	28,47429	0,005941	7,708647
Within Groups	0,82862	4	0,207155			
Total	6,72721	5				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između kontrolne i svih tretiranih grupa uzoraka posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 65%.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z TV Wa	3	33,38608	11,12869	0,057497
Z KT Wa	3	32,546	10,84867	0,022266
Z AT Wa	3	33,97078	11,32359	0,404673

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,34196	2	0,17098	1,058841	0,403792	5,143253
Within Groups	0,968871	6	0,161478			
Total	1,310831	8				

Ne postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između tretiranih grupa uzoraka posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 65 %.

VI - 8.2.3. Posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 90 %

Juvenilno drvo

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J Wa Kontr	3	68,52682	22,84227	0,065992
J Wa TV	3	63,03887	21,01296	0,267847
J Wa KT	3	65,34244	21,78081	0,033339
J Wa AT	3	71,71665	23,90555	0,141886

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	14,30613	3	4,76871	37,47038	4,67E-05	4,066181
Within Groups	1,018129	8	0,127266			
Total	15,32426	11				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage iverja između testiranih grupa uzoraka juvenilnog drveta poljskog jasena posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 90 %.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J Wa TV	3	63,03887	21,01296	0,267847
J Wa KT	3	65,34244	21,78081	0,033339
J Wa AT	3	71,71665	23,90555	0,141886

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	13,47119	2	6,735597	45,6061	0,000235	5,143253
Within Groups	0,886144	6	0,147691			
Total	14,35734	8				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage iverja između tretiranih grupa uzoraka juvenilnog drveta poljskog jasena posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 90 %.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J Wa Kontr	3	68,52682	22,84227	0,065992
J Wa TV	3	63,03887	21,01296	0,267847

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	5,019593	1	5,019593	30,07187	0,005385	7,708647
Within Groups	0,66768	4	0,16692			
Total	5,687273	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J Wa Kontr	3	68,52682	22,84227	0,065992
J Wa KT	3	65,34244	21,78081	0,033339

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,690041	1	1,690041	34,0284	0,004304	7,708647
Within Groups	0,198662	4	0,049666			
Total	1,888703	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J Wa AT	3	71,71665	23,90555	0,141886
J Wa Kontr	3	68,52682	22,84227	0,065992

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,695836	1	1,695836	16,31567	0,015613	7,708647
Within Groups	0,415756	4	0,103939			
Total	2,111592	5				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage iverja između kontrolne i svih teretiranih grupa uzoraka juvenilnog drveta poljskog jasena posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 90 %.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J Wa TV	3	63,03887	21,01296	0,267847
J Wa KT	3	65,34244	21,78081	0,033339

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,884407	1	0,884407	5,872826	0,072497	7,708647
Within Groups	0,602373	4	0,150593			
Total	1,48678	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J Wa KT	3	65,34244	21,78081	0,033339
J Wa AT	3	71,71665	23,90555	0,141886

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	6,771748	1	6,771748	77,29217	0,000923	7,708647
Within Groups	0,350449	4	0,087612			
Total	7,122197	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
J Wa TV	3	63,03887	21,01296	0,267847
J Wa AT	3	71,71665	23,90555	0,141886

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	12,55064	1	12,55064	61,26246	0,001439	7,708647
Within Groups	0,819467	4	0,204867			
Total	13,3701	5				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage iverja između TV i AT, kao i između KT i AT teretiranih grupa uzorak, dok nema značajnih razlika u sadržaju ravnotežne vlage između uzoraka tretiranih vodom i sirćetnom kiselinom juvenilnog drveta poljskog jasena posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 90 %.

Zrelo drvo

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z Wa Kontr	3	65,67151	21,8905	0,18232
Z Wa TV	3	61,68071	20,56024	0,113061
Z Wa KT	3	61,12525	20,37508	0,032657
Z Wa AT	3	68,86073	22,95358	0,145599

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	13,20542	3	4,401806	37,17449	4,8E-05	4,066181
Within Groups	0,947275	8	0,118409			
Total	14,15269	11				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage iverja između testiranih grupa uzoraka zrelog drveta poljskog jasena posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 90 %.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z Wa TV	3	61,68071	20,56024	0,113061
Z Wa KT	3	61,12525	20,37508	0,032657
Z Wa AT	3	68,86073	22,95358	0,145599

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	12,41099	2	6,205495	63,9046	9,02E-05	5,143253
Within Groups	0,582634	6	0,097106			
Total	12,99362	8				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage iverja između teretiranih grupa uzoraka zrelog drveta poljskog jasena posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 90 %.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z Wa Kontr	3	65,67151	21,8905	0,18232
Z Wa TV	3	61,68071	20,56024	0,113061

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,654414	1	2,654414	17,9728	0,01327	7,708647
Within Groups	0,590763	4	0,147691			
Total	3,245176	5				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z Wa AT	3	68,86073	22,95358	0,145599
Z Wa Kontr	3	65,67151	21,8905	0,18232

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,69519	1	1,69519	10,33907	0,032421	7,708647
Within Groups	0,655838	4	0,16396			
Total	2,351028	5				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z Wa Kontr	3	65,67151	21,8905	0,18232
Z Wa KT	3	61,12525	20,37508	0,032657

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,444745	1	3,444745	32,04745	0,0048	7,708647
Within Groups	0,429956	4	0,107489			
Total	3,874701	5				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage iverja između kontrolne i svih teretiranih grupa uzoraka zrelog drveta poljskog jasena posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 90 %.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z Wa TV	3	61,68071	20,56024	0,113061
Z Wa KT	3	61,12525	20,37508	0,032657

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,051423	1	0,051423	0,70578	0,44813	7,708647
Within Groups	0,291436	4	0,072859			
Total	0,342859	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z Wa KT	3	61,12525	20,37508	0,032657
Z Wa AT	3	68,86073	22,95358	0,145599

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	9,972945	1	9,972945	111,8946	0,000452	7,708647
Within Groups	0,356512	4	0,089128			
Total	10,32946	5				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Z Wa TV	3	61,68071	20,56024	0,113061
Z Wa AT	3	68,86073	22,95358	0,145599

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	8,592119	1	8,592119	66,43575	0,001233	7,708647
Within Groups	0,517319	4	0,12933			
Total	9,109438	5				

Postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage iverja između TV i AT, kao i između KT i AT teretiranih grupa uzorak, dok nema značajnih razlika u sadržaju ravnotežne vlage između uzoraka tretiranih vodom i sirćetnom kiselinom zrelog drveta poljskog jasena posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 90 %.

Prilog VI - 9. Statistička obrada rezultata ispitivanja eksperimentalnih ploča iverica

VI - 9.1. Deskriptivna statistika

VI - 9.1.1. Fizička svojstva ploča iverica nakon klimatizacije

Debljina ploča

	TV	KT	AT	Kontr
Srednja vrednost	13,30	13,18	14,86	12,55
Standardna greška	0,0989	0,0325	0,3412	0,0435
Standardna devijacija	0,3956	0,1301	1,0790	0,1629
Varijansa	0,1565	0,0169	1,1641	0,0265
Minimum	12,74	12,96	13,79	12,35
Maksimum	14,02	13,38	16,71	12,94
Broj uzoraka	16	16	10	14

Zapreminska masa (gustina)

	TV	KT	AT	Kontr
Srednja vrednost	580,11	550,03	468,62	593,60
Standardna greška	5,2948	4,4262	14,6532	4,8065
Standardna devijacija	21,1793	17,7048	46,3374	17,9843
Varijansa	448,5611	313,4584	2147,1593	323,4363
Minimum	544,42	526,40	375,58	561,94
Maksimum	612,70	578,02	511,31	617,95
Broj uzoraka	16	16	10	14

Sadržaj ravnotežne vlage

Vlaga 32 %	TV	KT	AT	Kont
Srednja vrednost	7,32	8,16	7,20	8,51
Standardna greška	0,0762	0,1722	0,0659	0,2459
Standardna devijacija	0,2016	0,5165	0,2083	0,6023
Varijansa	0,0407	0,2668	0,0434	0,3628
Minimum	7,08	7,26	6,83	7,72
Maksimum	7,62	8,96	7,50	9,33
Broj uzoraka	7	9	10	6

Vlaga 65 %	TV	KT	AT	Kont
Srednja vrednost	9,55	10,34	9,23	10,67
Standardna greška	0,1283	0,1984	0,0654	0,2676
Standardna devijacija	0,3394	0,5953	0,2069	0,6555
Varijansa	0,1152	0,3544	0,0428	0,4297
Minimum	9,13	9,25	8,97	9,82
Maksimum	10,06	11,29	9,50	11,63
Broj uzoraka	7	9	10	6

Vlaga 90 %	TV	KT	AT	Kont
Srednja vrednost	14,83	15,48	15,71	15,78
Standardna greška	0,3039	0,2473	0,3409	0,4689
Standardna devijacija	0,8041	0,7418	1,0779	1,1486
Varijansa	0,6465	0,5502	1,1619	1,3192
Minimum	13,98	14,35	13,95	14,37
Maksimum	16,12	16,27	16,68	17,51
Broj uzoraka	7	9	10	6

Debljinsko bubrenje

32%	TV	KT	AT	Kont
Srednja vrednost	1,17	0,79	0,29	0,80
Standardna greška	0,1593	0,2028	0,2123	0,2209
Standardna devijacija	0,4215	0,6083	0,6713	0,5411
Varijansa	0,1776	0,3701	0,4506	0,2928
Minimum	0,48	0,08	-1,34	0,24
Maksimum	1,67	1,64	1,24	1,81
Broj uzoraka	7	9	10	6

65%	TV	KT	AT	Kont
Srednja vrednost	2,29	1,97	1,35	1,88
Standardna greška	0,1545	0,1942	0,1918	0,1079
Standardna devijacija	0,4087	0,5826	0,6064	0,2643
Varijansa	0,1670	0,3394	0,3678	0,0699
Minimum	1,59	1,22	-0,19	1,38
Maksimum	2,78	2,82	2,18	2,15
Broj uzoraka	7	9	10	6

90%	TV	KT	AT	Kont
Srednja vrednost	6,41	7,80	6,90	8,31
Standardna greška	0,3332	0,1682	0,2824	0,5472
Standardna devijacija	0,8816	0,5046	0,8930	1,3402
Varijansa	0,7771	0,2546	0,7975	1,7962
Minimum	4,71	7,06	5,11	6,38
Maksimum	7,40	8,46	8,01	10,04
Broj uzoraka	7	9	10	6

VI - 9.1.1. Mehanička svojstva ploča iverica**Savojna čvrstoća**

	TV	KT	AT	Kont
Srednja vrednost	10,31	8,54	2,13	9,56
Standardna greška	0,6625	0,3354	0,3495	0,3762
Standardna devijacija	1,8737	1,0607	1,1052	1,3031
Varijansa	3,5109	1,1252	1,2216	1,6982
Minimum	7,74	6,20	1,16	7,20
Maksimum	12,97	9,95	4,60	11,53
Broj uzoraka	8	10	10	12

Modul elastičnosti pri savijanju

	TV	KT	AT	Kont
Srednja vrednost	1700,66	1242,07	911,76	1264,14
Standardna greška	69,46	51,39	302,49	38,18
Standardna devijacija	196,47	162,50	604,98	132,27
Varijansa	38598,82	26406,96	366003,95	17496,44
Minimum	1359,40	892,83	247,69	1022,47
Maksimum	1932,53	1397,35	1557,92	1439,47
Broj uzoraka	8	10	4	12

Čvrstoća na zatezanje upravno na površinu ploče

	TV	KT	AT	Kont
Srednja vrednost	0,16	0,13	0,01	0,44
Standardna greška	0,0100	0,0083	0,0018	0,0175
Standardna devijacija	0,0386	0,0332	0,0071	0,0655
Varijansa	0,0015	0,0011	0,0001	0,0043
Minimum	0,10	0,08	0,00	0,30
Maksimum	0,23	0,18	0,02	0,55
Broj uzoraka	15	16	16	14

VI - 9.2. Komparativna statistička analiza

VI - 9.2.1. Fizička svojstva ploča iverica nakon klimatizacije

Debljina ploča

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
TV	16	212,83	13,30188	0,156536
KT	16	210,85	13,17813	0,016923
AT	10	148,64	14,864	1,164138
Kontr	14	175,67	12,54786	0,026526

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	32,43702	3	10,81234	41,88344	6,63E-14	2,7826
Within Groups	13,42396	52	0,258153			
Total	45,86098	55				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr	14	175,67	12,54786	0,026526
TV	16	212,83	13,30188	0,156536

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4,245121	1	4,245121	44,13988	3,3E-07	4,195972
Within Groups	2,692879	28	0,096174			
Total	6,938	29				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KT	16	210,85	13,17813	0,016923
Kont	14	175,67	12,54786	0,026526

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,966041	1	2,966041	138,7205	2,31E-12	4,195972
Within Groups	0,598679	28	0,021381			
Total	3,56472	29				

Postoje značajne razlike u debljini ploča između kontrolnih i ploča od tretiranog iverja.

Zapremninska masa (gustina)

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
TV	16	9281,805	580,1128	448,5611
KT	16	8800,46	550,0288	313,4584
AT	10	4686,203	468,6203	2147,159
Kont	14	8310,369	593,5978	323,4363

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	105957,4	3	35319,12	52,53507	9,26E-16	2,7826
Within Groups	34959,4	52	672,2961			
Total	140916,8	55				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kont	14	8310,369	593,5978	323,4363
TV	16	9281,805	580,1128	448,5611

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1357,78	1	1357,78	3,477319	0,072729	4,195972
Within Groups	10933,09	28	390,4674			
Total	12290,87	29				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KT	16	8800,46	550,0288	313,4584
Kont	14	8310,369	593,5978	323,4363

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	14173,69	1	14173,69	44,55859	3,04E-07	4,195972
Within Groups	8906,548	28	318,091			
Total	23080,23	29				

Značajne razlike u gustini ne postoje samo između kontrolne i ploče od iverja tretiranog vodom.

Sadržaj ravnotežne vlage

Anova: Single Factor
SUMMARY

32%	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
TV	7	51,22065	7,317235	0,040661
KT	9	73,40765	8,156405	0,266754
AT	10	72,01107	7,201107	0,0434
Kont	6	51,08201	8,513668	0,362817

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	9,307022	3	3,102341	18,95516	6,53E-07	2,946685
Within Groups	4,582685	28	0,163667			
Total	13,88971	31				

Anova: Single Factor
SUMMARY

32%	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kont	6	51,08201	8,513668	0,362817
TV	7	51,22065	7,317235	0,040661

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4,624685	1	4,624685	24,71828	0,000421	4,844336
Within Groups	2,058053	11	0,187096			
Total	6,682738	12				

Anova: Single Factor
SUMMARY

32%	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KT	9	73,40765	8,156405	0,266754
Kont	6	51,08201	8,513668	0,362817

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,459492	1	0,459492	1,512971	0,240482	4,667193
Within Groups	3,948122	13	0,303702			
Total	4,407614	14				

Anova: Single Factor
SUMMARY

32%	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT	10	72,01107	7,201107	0,0434
Kont	6	51,08201	8,513668	0,362817

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	6,460559	1	6,460559	41,02533	1,64E-05	4,60011
Within Groups	2,204683	14	0,157477			
Total	8,665242	15				

Značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage posle izlaganja relativnoj vlažnosti od 32 % ne postoje samo između kontrolne i ploče od iverja tretiranog sirćetnom kiselinom.

Anova: Single Factor
SUMMARY

65 %	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
TV	7	66,85633	9,550905	0,115206
KT	9	93,08819	10,34313	0,354358
AT	10	92,32923	9,232923	0,042828
Kontr	6	64,01695	10,66949	0,429737

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	10,61488	3	3,538294	16,34792	2,47E-06	2,946685
Within Groups	6,060233	28	0,216437			
Total	16,67512	31				

Anova: Single Factor
SUMMARY

65 %	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kontr	6	64,01695	10,66949	0,429737
TV	7	66,85633	9,550905	0,115206

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4,04246	1	4,04246	15,65786	0,002246	4,844336
Within Groups	2,83992	11	0,258175			
Total	6,88238	12				

Anova: Single Factor
SUMMARY

65 %	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KT	9	93,08819	10,34313	0,354358
Kontr	6	64,01695	10,66949	0,429737

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,383439	1	0,383439	1,000233	0,335507	4,667193
Within Groups	4,983547	13	0,38335			
Total	5,366987	14				

Anova: Single Factor
SUMMARY

65 %	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT	10	92,32923	9,232923	0,042828
Kontr	6	64,01695	10,66949	0,429737

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	7,738987	1	7,738987	42,75458	1,32E-05	4,60011
Within Groups	2,534134	14	0,18101			
Total	10,27312	15				

Značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage posle izlaganja relativnoj vlažnosti od 65 % ne postoje samo između kontrolne i ploče od iverja tretiranog sirćetnom kiselinom.

Anova: Single Factor
SUMMARY

90 %	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
TV	7	103,7849	14,82641	0,646515
KT	9	139,3343	15,48159	0,550207
AT	10	157,0999	15,70999	1,161904
Kont	6	94,67395	15,77899	1,319174

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	4,048772	3	1,349591	1,491628	0,238321	2,946685
Within Groups	25,33376	28	0,904777			
Total	29,38253	31				

Ne postoje značajne razlike u sadržaju ravnotežne vlage između ploča posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 90 %.

Debljinsko bubrenje

Anova: Single Factor
SUMMARY

30%	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
TV	7	8,194201	1,1706	0,177621
KT	9	7,137649	0,793072	0,370077
AT	10	2,882813	0,288281	0,450584
Kont	6	4,799216	0,799869	0,292764

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,371403	3	1,123801	3,296497	0,034883	2,946685
Within Groups	9,545414	28	0,340908			
Total	12,91682	31				

Anova: Single Factor
SUMMARY

30%	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
TV	7	8,194201	1,1706	0,177621
KT	9	7,137649	0,793072	0,370077
Kont	6	4,799216	0,799869	0,292764

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,670648	2	0,335324	1,160468	0,33458	3,521893
Within Groups	5,490162	19	0,288956			
Total	6,16081	21				

Postoje značajne razlike u debljinskom bubrenju između kontrolnih i ploča od tretiranog iverja posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 32 %.

Anova: Single Factor
SUMMARY

Vlaga 65 %	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
TV	7	16,00419	2,286313	0,167013
KT	9	17,77256	1,974729	0,339393
AT	10	13,49794	1,349794	0,367772
Kont	6	11,26289	1,877148	0,06988

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3,965371	3	1,32179	5,017256	0,006575	2,946685
Within Groups	7,376568	28	0,263449			
Total	11,34194	31				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Vlaga 65 %	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
TV	7	16,00419	2,286313	0,167013
KT	9	17,77256	1,974729	0,339393
Kont	6	11,26289	1,877148	0,06988

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,621001	2	0,3105	1,450714	0,259222	3,521893
Within Groups	4,066623	19	0,214033			
Total	4,687623	21				

Postoje značajne razlike u debljinskom bubrenju između kontrolnih i ploča od tretiranog iverja posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 65 %.

Anova: Single Factor
SUMMARY

90%	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
TV	7	44,86709	6,409585	0,777147
KT	9	70,17008	7,796675	0,254575
AT	10	69,03633	6,903633	0,79749
Kont	6	49,88887	8,314811	1,796248

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	15,51607	3	5,172022	6,335454	0,002043	2,946685
Within Groups	22,85813	28	0,816362			
Total	38,37419	31				

Anova: Single Factor
SUMMARY

90%	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
KT	9	70,17008	7,796675	0,254575
AT	10	69,03633	6,903633	0,79749
Kont	6	49,88887	8,314811	1,796248

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	8,230388	2	4,115194	4,975711	0,016491	3,443357
Within Groups	18,19524	22	0,827057			
Total	26,42563	24				

Anova: Single Factor
SUMMARY

90%	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kont	6	49,88887	8,314811	1,796248
TV	7	44,86709	6,409585	0,777147

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	11,72733	1	11,72733	9,454667	0,010568	4,844336
Within Groups	13,64412	11	1,240375			
Total	25,37145	12				

Anova: Single Factor
SUMMARY

90%	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kont	6	49,88887	8,314811	1,796248
KT	9	70,17008	7,796675	0,254575

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,966474	1	0,966474	1,140348	0,305008	4,667193
Within Groups	11,01784	13	0,847526			
Total	11,98431	14				

Anova: Single Factor
SUMMARY

90%	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT	10	69,03633	6,903633	0,79749
Kont	6	49,88887	8,314811	1,796248

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	7,467839	1	7,467839	6,470205	0,023403	4,60011
Within Groups	16,15865	14	1,154189			
Total	23,62648	15				

Postoje značajne razlike u debljinskom bubrenju samo između kontrolnih i ploča od iverja tretiranog vodom posle izlaganja relativnoj vlažnosti vazduha od 90 %.

VI - 9.2.2. Mehanička svojstva ploča iverica

Savojna čvrstoća

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kont	12	114,7465	9,562211	1,6981761
TV	8	82,47318	10,30915	3,5109333
KT	10	85,44263	8,544263	1,1251593
AT	10	21,25933	2,125933	1,2215615

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	413,4893	3	137,8298	77,075282	9,75E-16	2,86626556
Within Groups	64,37696	36	1,788249			
Total	477,8663	39				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
TV	8	82,47318	10,30915	3,5109333
KT	10	85,44263	8,544263	1,1251593
AT	10	21,25933	2,125933	1,2215615

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	347,3529	2	173,6764	95,015192	2,08E-12	3,38518996
Within Groups	45,69702	25	1,827881			
Total	393,0499	27				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kont	12	114,7465	9,562211	1,6981761
TV	8	82,47318	10,30915	3,5109333

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2,677989	1	2,677989	1,114372	0,305097	4,4138734
Within Groups	43,25647	18	2,403137			
Total	45,93446	19				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kont	12	114,7465	9,562211	1,6981761
KT	10	85,44263	8,544263	1,1251593

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	5,652093	1	5,652093	3,9241969	0,061515	4,35124348
Within Groups	28,80637	20	1,440319			
Total	34,45846	21				

Značajne razlike u savojnoj čvrstoći postoje samo između kontrolne i ploče od iverja tretiranog natrijum karbonatom.

Modul elastičnosti pri savijanju

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kont	12	15169,737	1264,145	17496,44
TV	8	13605,246	1700,656	38598,82
KT	10	12420,693	1242,069	26406,96
AT	4	3647,0537	911,7634	366003,9

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1923948	3	641315,9	10,69854	6,04E-05	2,922277
Within Groups	1798327	30	59944,24			
Total	3722275	33				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
TV	8	13605,246	1700,656	38598,82
KT	10	12420,693	1242,069	26406,96
AT	4	3647,0537	911,7634	366003,9

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1868338	2	934169,1	11,05273	0,000655	3,521893
Within Groups	1605866	19	84519,28			
Total	3474204	21				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kont	12	15169,737	1264,145	17496,44
TV	8	13605,246	1700,656	38598,82

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	914601	1	914601	35,58354	1,21E-05	4,413873
Within Groups	462652,6	18	25702,92			
Total	1377254	19				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kont	12	15169,737	1264,145	17496,44
KT	10	12420,693	1242,069	26406,96

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2658,134	1	2658,134	0,123599	0,728841	4,351243
Within Groups	430123,6	20	21506,18			
Total	432781,7	21				

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT	4	3647,0537	911,7634	366003,9
Kont	12	15169,737	1264,145	17496,44

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	372517,8	1	372517,8	4,041348	0,064071	4,60011
Within Groups	1290473	14	92176,62			
Total	1662991	15				

Značajne razlike u modulu elastičnosti pri savijanju postoje samo između kontrolne i ploče od iverja tretiranog vodom.

Čvrstoća na zatezanje upravno na površinu ploče

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kont	14	6,192903	0,44235	0,004289
TV	15	2,449024	0,163268	0,00149
KT	16	2,13897	0,133686	0,001104
AT	16	0,103769	0,006486	5,09E-05

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,483674	3	0,494558	300,0592	7,19E-35	2,766438
Within Groups	0,093947	57	0,001648			
Total	1,577621	60				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
TV	15	2,449024	0,163268	0,00149
KT	16	2,13897	0,133686	0,001104
AT	16	0,103769	0,006486	5,09E-05

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,218116	2	0,109058	125,6539	6,46E-19	3,209278
Within Groups	0,038189	44	0,000868			
Total	0,256305	46				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kont	14	6,192903	0,44235	0,004289
TV	15	2,449024	0,163268	0,00149

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,564008	1	0,564008	198,7435	5,72E-14	4,210008
Within Groups	0,076622	27	0,002838			
Total	0,64063	28				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
Kont	14	6,192903	0,44235	0,004289
KT	16	2,13897	0,133686	0,001104

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,711378	1	0,711378	275,4234	5,08E-16	4,195972
Within Groups	0,07232	28	0,002583			
Total	0,783698	29				

Anova: Single Factor
SUMMARY

Groups	Broj uzoraka	Sum	Average	Variance
AT	16	0,103769	0,006486	5,09E-05
Kont	14	6,192903	0,44235	0,004289

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,418503	1	1,418503	702,6914	2,24E-21	4,195972
Within Groups	0,056523	28	0,002019			
Total	1,475025	29				

Značajne razlike u čvrstoći na zatezanje postoje između kontrolne i svih ploče od tretiranog iverja.

BIOGRAFIJA

Jasmina Popović rođena je u Beogradu, 1969. године, где је завршила основно, а затим i srednje-školsko obrazovanje u Zemunskoj gimnaziji. Na Tehnološko-metalurškom fakultetu diplomirala je 2000 godine sa prosečnom ocenom studija 8,00 i ocenom na diplomskom radu 10, i stekla zvanje Diplomiranog inženjera za organsku hemijsku tehnologiju i polimerno inženjerstvo.

Na Šumarskom fakultetu Univerziteta u Beogradu zaposlena je od 2002 godine, kada je izaabrana u zvanje asistenta-pripravnika na predmetu Hemija drveta sa hemijskom preradom drveta. Posle polaganja diferencijalnih ispita, treći stepen studija za sticanje akademskog naziva magistra nauka upisala je školske 2002/03 godine na Katedri za hemijsko-mehaničku preradu drveta. Po povratku sa porodiljskog i bolovanja za posebnu negu deteta upisala je doktorske studije izborne grupe Prerada drveta – podmodul Hemijsko-mehanička prerada drveta.

U zvanje asistenta izabrana je 2010 godine.

Pored angažovanja na predmetu Hemija drveta i Hemijska prerada drveta, tokom rada na Šumarskom fakultetu bila je angažovana i na održavanju praktične nastave na predmetima Hemija i Poznavanje materijala, kao i na master studijama. Pored održavanja nastave, aktivno je učestvovala i u ostalim aktivnostima Fakulteta. U periodu od 2002 do 2005 godine obavljala je dužnosti sekretara Katedre za hemijsko-mehaničku preradu drveta. Bila je član komisije za odbranu više diplomskih radova. Član je Laboratorije za ispitivanje ploča iverica.

Bila je uključena u dva projekta tehnološkog razvoja:

1. Drvna biomasa kao resurs održivog razvoja Republike Srbije, 20070-TP
2. Istraživanje morfoloških, anatomskih i tehničkih svojstava *Paulownia spp.* u cilju introdukcije i korišćenja, 20029-TP

Član je COST akcije FP1006 "Bringing new functions to wood through surface modification"

Učestvovala je na više međunarodnih skupova, i objavila više radova u domaćim i stranim časopisima, od čega jedan iz kategorije M23:

Jasmina Popović, Mladan Popović, Milanka Điporović-Momčilović, Ivana Gavrilović-Grmuša (2015): Effects of the chemical treatment conditions of the narrow-leaved ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soo & Simon) on the lap shear strength, Wood Research, 60(4) str. 543-554 (kategorija M23).

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а _____ дипл. инг. Јасмина Поповић _____

број индекса _____ 2008/2 _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

**Ефекти неких предтретмана на хемијски састав јувенилног и зрелог дрвета
пољског јасена (*Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon) и
могућности примене тако модификованог дрвета**

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, _____ 16.07.2015. _____

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Јасмина Поповић

Број индекса 2008/2

Студијски програм Прерада дрвета – Хемијско-механичка прерада дрвета

Наслов рада: Ефекти неких предтретмана на хемијски састав јувенилног и зрелог дрвета пољског јасена (*Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon) и могућности примене тако модификованог дрвета

Ментор др Миланка Ђипоровић-Момчиловић, ред. проф.

Потписани/а дипл. инг. Јасмина Поповић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 16.07.2015.

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Ефекти неких предтретмана на хемијски састав јувенилног и зрелог дрвета пољског јасена (*Fraxinus angustifolia* Vahl. ssp. *Pannonica* Soó & Simon) и могућности примене тако модификованог дрвета

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство

2. Ауторство - некомерцијално

3. Ауторство – некомерцијално – без прераде

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима

5. Ауторство – без прераде

6. Ауторство – делити под истим условима

Потпис докторанда

У Београду, 16.07.2015.
