

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Vanja TURIČNIK

**ZVEZA MED VSEBNOSTJO EKSTRAKTIVOV IN SORPCIJSKIMI
LASTNOSTMI RDEČEGA BORA (*Pinus sylvestris*)**

MAGISTRSKA NALOGA
Magistrski študij – 2. stopnja

**RELATION BETWEEN EXTRACTIVES CONTENT AND SORPTION
PROPERTIES OF SCOTS PINE (*Pinus sylvestris*)**

M. Sc. THESIS
Master Study Programmes

Ljubljana, 2014

Magistrska naloga je zaključek Magistrskega študija lesarstva. Naloga je bila opravljena na Katedri za Tehnologijo lesa in v Delovni skupini za kemijo lesa Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Terensko delo je potekalo na Navrškem vrhu pri Ravnah na Koroškem. Anatomiški preparati so bili izdelani na Katedri za Tehnologijo lesa, testi za ugotavljanje sorpcijskih lastnosti pa so bili opravljeni v laboratoriju za Sušenje lesa. Kemijske preiskave so bile opravljene v laboratoriju Delovne skupine za kemijo lesa. Raziskava je nastala v okviru projekta WoodWisdom Era-Net, Pinosylvins as agent in food applications.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja magistrske naloge imenoval doc. dr. Maksa Merela, za somentorja prof. dr. Primoža Ovna in za recenzenta izr. prof. dr. Željka Goriška.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svoje magistrske naloge na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Vanja Turičnik

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Du2
DK UDK 630*811.5:630*176.1 *Pinus sylvestris*
KG rdeči bor/sorpcijske lastnosti/ekstraktivi/beljavo/jedrovina
AV TURIČNIK, Vanja
SA MERELA, Maks (mentor)/OVEN, Primož (somentor)/GORIŠEK, Željko
(recenzent)
KZ SI- 1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI 2014
IN ZVEZA MED VSEBNOSTJO EKSTRAKTIVOV IN SORPCIJSKIMI
LASTNOSTMI RDEČEGA BORA (*Pinus sylvestris*)
TD Magistrska naloga (magistrski študij – 2. stopnja)
OP XI, 93 str., 30 pregl., 46 sl., 11 pril., 40 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Pri rdečem boru (*Pinus sylvestris* L.) smo proučevali anatomske razlike med beljavo in jedrovino, določili smo vsebnost ekstraktivov v beljavi in jedrovini, preučevali higroskopsko beljavo in jedrovino ter poiskali zvezo med vsebnostjo ekstraktivov in sorpcijskimi lastnostmi. Preiskave so bile opravljene na 6 testnih drevesih. Anatomske preiskave so bile opravljene s klasično svetlo-poljsko mikroskopijo. Preiskovanje vzorcev za določanje dimenzijske stabilnosti in sorpcijskih lastnosti je potekalo po uravnovešanju v steklenih klima komorah. Vzorce za kemijsko analizo smo ekstrahirali s cikloheksanom ter zmesjo acetona in vode, delež celokupnih fenolov pa določili z UV/VIS spektrofotometrijo. Razlike med beljavo in jedrovino so bile v smolnih kanalih, v lumnih aksialnih traheid ob trakovih ter v trakovnih parenhimskih celicah in obokanih piknjah. Delež ekstraktivnih snovi v jedrovini je bil večji kot v beljavi in nakazuje na pojav spojin s fenolnim karakterjem, bodisi lignina ali ostalih fenolnih spojin. Preiskave beljave in jedrovine niso pokazale statistično značilnih razlik v gostoti v absolutno suhem stanju, pri točki nasičenja celičnih sten, v prostorninskih skrčkah in nabrekah in ne pri koeficientu nabrekanja v tangencialni smeri. Ojedritveni procesi povzročajo statistično značilne razlike med beljavo in jedrovino v prečni krčitveni anizotropiji, diferencialnem nabreku v radialni in tangencialni smeri, v koeficientu nabrekanja v radialni smeri ter pri sorpcijskem kvocientu. Vlažnost beljave je bila 90 %, vlažnost jedrovine pa 24 %. Raziskava, opravljena na primeru rdečega bora, je pokazala, da spremembe, ki se v lesu zgodijo v procesu ojedritve, vplivajo na anatomsko in kemijsko zgradbo lesa, kar nadalje vpliva tudi na določene sorpcijske lastnosti lesa.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du2
DC UDC 630*811.5:630*176.1 *Pinus sylvestris*
CX red pine/sorption properties/extractives/sapwood/heartwood
AU TURIČNIK, Vanja
AA MERELA, Maks (supervisor)/OVEN, Primož (co-supervisor)/GORIŠEK, Željko (reviewer)
PP SI- 1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2014
TI RELATION BETWEEN EXTRACTIVES CONTENT AND SORPTION PROPERTIES OF SCOTS PINE (*Pinus sylvestris*)
DT M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)
NO XI, 93 p., 30 tab., 46 fig., 11 ann., 40 ref.
LA sl
AL sl/en
AB In the case of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), anatomical differences between the sapwood and heartwood were researched, the content of extractives in the sapwood and heartwood defined, hygroscopicity of sapwood and heartwood studied, so as the relationship between the content of extractives and sorption properties. Research was carried out on 6 test trees. Anatomical investigations were performed using the classic light-field microscopy. Investigation of samples for determination of dimensional stability and sorption properties was held by balancing in the glass-air condition chambers. Samples were extracted for chemical analysis using cyclohexane, and the mixture of acetone and water, and the proportion of total phenols determined by UV/VIS spectrophotometry. The differences between the sapwood and heartwood were in the resin canals, in the lumens of axial tracheids with strips of band as well as differences in parenchymal cells and bordered pits. The part of extractives in the heartwood was higher than in the sapwood, and indicated on phenomenon of compound with phenolic character, either lignin or other phenolic compounds. Investigations of the sapwood and heartwood did not show statistically significant differences in the density in the absolutely dry state, at the point of saturation of cell walls, in the volume shrinkage, and not in the coefficient of swelling in the tangential direction. Heartwood formation processes caused statistically significant differences between the sapwood and heartwood in the transverse anisotropy, differential swell in the radial and tangential direction, in the coefficient of swelling in the radial direction and the sorption quotient. Humidity of sapwood was 90 %, and humidity of heartwood 24 %. Investigation, carried out in the case of a Scots pine, shows that the changes occurring in the wood in the process of heartwood formation have effect on the anatomical and chemical structure of wood, which hereinafter also impacts the specific sorption properties of wood.

KAZALO VSEBINE

str.

Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key Words Documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	IX
Kazalo prilog	XI
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 OPIS RDEČEGA BORA	3
2.2 ZGRADBA LESA RDEČEGA BORA	6
2.2.1 Makroskopski opis	6
2.2.2 Mikroskopski opis	6
2.3 EKSTRAKTIVNE SNOVI V LESU	7
2.3.1 Vrste ekstraktivov	8
2.3.1.1 Terpeni in terpenoidi (povzeto po Zule, 2010).	8
2.3.1.2 Alifatski aciklični ekstraktivi (povzeto po Zule, 2010).	10
2.3.1.3 Fenolni ekstraktivi (povzeto po Zule, 2010).	10
2.4 VODA V LESU	12
2.5 SORPCIJSKE LASTNOSTI LESA	14
2.5.1 Vpliv lesnih ekstraktivov na sorpcijske lastnosti lesa	16
3 MATERIAL IN METODE	17
3.1 IZBOR DREVES ZA RAZISKAVO	17
3.2 PRIPRAVA VZORCEV	17
3.2.1 Izrez kolotov in označevanje	17
3.2.2 Izdelava preizkušancev za določanje dimenzijske stabilnosti in sorpcijskih lastnosti	18
3.2.3 Izvedba sorpcijskega poskusa	21
3.2.4 Meritve parametrov za določanje dimenzijske stabilnosti	21
3.2.5 Meritve parametrov za določevanje sorpcijskih lastnosti	22
3.2.6 Izračun kazalnikov dimenzijske stabilnosti	23
3.2.6.1 Gostota lesa	23
3.2.6.2 Krčenje in nabrekanje	23
3.2.6.3 Kazalniki dimenzijske stabilnosti	25
3.2.7 Izračun sorpcijskih lastnosti	25
3.2.7.1 Ravnoesna vlažnost	25
3.2.7.2 Točka nasičenja celičnih sten	26
3.3 ODVZEM IN PRIPRAVA PREIZKUŠANCEV ZA ANATOMSKE ANALIZE	26
3.3.1 Anatomske analize preizkušancev	28
3.3.1.1 Klasične mikroskopija	28
3.4 IZDELAVA PREIZKUŠANCEV ZA KEMIJSKE ANALIZE	28
3.4.1 Mletje preizkušancev	30
3.4.2 Določanje suhe snovi	31
3.4.3 Priprava preizkušancev in materiala za ekstrakcijo ter izvedba ekstrakcije po Soxhletu	33
3.4.3.1 Ekstrakcija preizkušancev po Soxhletu	33

3.5	POSTOPEK DOLOČANJA VSEBNOSTI CELOKUPNIH FENOLOV	36
3.5.1	Priprava raztopine Folin-Ciocalteu reagenta in vodne raztopine natrijevega karbonata	37
3.5.2	Priprava standardnih raztopin galne kisline	37
3.5.3	Priprava preizkušancev za spektrofotometrične meritve	38
4	REZULTATI IN RAZPRAVA.....	41
4.1	MAKROSKOPSKE IN MIKROSKOPSKE ZNAČILNOSTI RDEČEGA BORA	41
4.1.1	Primerjava beljave in jedrovine na makroskopskem nivoju	41
4.1.2	Primerjava beljave in jedrovine na mikroskopskem nivoju	41
4.2	DIMENZIJSKA STABILNOST BELJAVE IN JEDROVINE RDEČEGA BORA	44
4.2.1	Gostota vzorcev	44
4.2.2	Vlažnost svežega lesa	47
4.2.3	Celotni prostorninski skrček in nabrek	48
4.2.4	Vlažnost točke nasičenja celičnih sten	52
4.3	PREČNA KRČITVENA ANIZOTROPIJA	55
4.4	PRIMERJAVA KAZALNIKOV SORPCIJSKIH LASTNOSTI	56
4.4.1	Diferencialni nabrek	56
4.4.1.1	Diferencialni nabrek v radialni smeri	56
4.4.1.2	Diferencialni nabrek v tangencialni smeri	58
4.4.2	Koeficient nabrekanja	60
4.4.2.1	Koeficient nabrekanja v radialni smeri	60
4.4.2.2	Koeficient nabrekanja v tangencialni smeri	62
4.4.3	Sorpcijski kvocient - kvazilinearno območje med 20 % in 87 %	64
4.5	SORPCIJSKE KRIVULJE	68
4.5.1	Adsorpcija in desorpcija	68
4.6	KEMIJSKA ANALIZA LESA	73
4.6.1	Določitev deleža suhe snovi	73
4.6.2	Delež ekstrahiranih snovi v cikloheksanu	75
4.6.3	Delež ekstrahiranih snovi v acetonu	78
4.6.4	Vsebnost celokupnih fenolov	79
5	SKLEPI.....	83
6	POVZETEK.....	86
7	VIRI	89

ZAHVALA
PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

str.

Preglednica 1: Lokacija, vrste ekstraktivov in njihova funkcija v lesu (Zule, 2010).	8
Preglednica 2: Sistem označevanja kolotov, odvzetih na ustrežni višini drevesa (z * so označeni koluti, uporabljeni v pričujoči raziskavi).	18
Preglednica 3: Pregled nasičenih raztopin soli v steklenih komorah za posamezne relativne zračne vlažnosti, ki se običajno uporabljajo za sorpcijske poskuse.	21
Preglednica 4: Obdelava preizkušancev po končanem uravnovešanju pri RH = 65 % in T = 20 °C.	22
Preglednica 5: Izvedba sorpcijskega poskusa. Proces spreminjanja klimatskih pogojev; preizkušance s končno oznako F smo izpostavili pogojem adsorpcije, preizkušance s končno oznako G pa pogojem desorpcije. Poskus smo zaključili z vakuumskim sušenjem do absolutno suhega stanja.	23
Preglednica 6: Preizkušanci za kemijske analize - prikaz oznak in pripadajoča starost lesa.	29
Preglednica 7: Gostota posameznih preizkušancev beljave in jedrovine serij F in G v absolutno suhem stanju.	45
Preglednica 8: Vlažnost svežih vzorcev beljave in jedrovine serij F in G.	47
Preglednica 9: Celotni prostorninski skrček (β_v) posameznih preizkušancev beljave in jedrovine serij F in G.	49
Preglednica 10: Celotni prostorninski nabrek (α_v) posameznih preizkušancev beljave in jedrovine serij F in G.	51
Preglednica 11: Vlažnost TNCS beljave in jedrovine preizkušancev serij F in G.	53
Preglednica 12: Vrednosti prečne krčitvene anizotropije preizkušancev beljave in jedrovine.	55
Preglednica 13: Diferencialni nabrek (q_r) beljave in jedrovine v radialni smeri.	57
Preglednica 14: Diferencialni nabrek (q_t) preizkušancev beljave in jedrovine v tangencialni smeri.	59
Preglednica 15: Koeficient nabrekanja (h_r) preizkušancev beljave in jedrovine v radialni smeri.	61
Preglednica 16: Koeficient nabrekanja (h_t) beljave in jedrovine v tangencialni smeri.	63
Preglednica 17: Izračunane vrednosti sorpcijskega kvocienta (s) preizkušancev beljave in jedrovine.	65
Preglednica 18: Preračunane vrednosti za ocenitev dimenzijske stabilnosti beljave rdečega bora.	66
Preglednica 19: Preračunane vrednosti za ocenitev dimenzijske stabilnosti jedrovine rdečega bora.	67
Preglednica 20: Kriteriji za ocenitev dimenzijske stabilnosti (Gorišek, 2009).	67
Preglednica 21: Kazalniki dimenzijske stabilnosti za rdeči bor (Gorišek, 2009).	67
Preglednica 22: Prikaz ravnovesnih vlažnosti na kvazilinearnem območju med 20 % in 87 % za preizkušance beljave serije F, izpostavljenih adsorpciji.	68
Preglednica 23: Prikaz ravnovesnih vlažnosti na kvazilinearnem območju med 20 % in 87 % za preizkušance jedrovine serije F, izpostavljenih adsorpciji.	69
Preglednica 24: Prikaz ravnovesnih vlažnosti na kvazilinearnem območju med 20 % in 87 % za preizkušance beljave serije G, ki so bili izpostavljeni desorpciji.	70
Preglednica 25: Prikaz ravnovesnih vlažnosti na kvazilinearnem območju med 20 % in 87 % za preizkušance jedrovine serije G, ki so bili izpostavljeni desorpciji.	71
Preglednica 26: Delež suhe snovi za posamezne vzorce beljave in jedrovine.	74
Preglednica 27: Celokupni delež ekstrahiranih snovi v cikloheksanu.	76
Preglednica 28: Celokupni delež ekstrahiranih snovi v acetonu.	78

Preglednica 29: V preglednici je prikazana absorbanca pri A_{765} nm za slepi preizkušane (SV) in raztopine monohidrata galne kisline (GK). Meritve so bile opravljene v dveh delih.	80
Preglednica 30: Vsebnost celokupnih fenolov v posameznih preizkušancih beljave in jedrovine.	81

KAZALO SLIK

str.

Slika 1: Anatomska zgradba lesa rdečega bora (<i>Pinus sylvestris</i>): a) prečni, b) radialni in c) tangencialni prerez. Daljica 500 µm.	7
Slika 2: Monoterpeni iglavcev (Zule s sod., 2003).	9
Slika 3: Najpogostejši seskviterpeni iglavcev (kariofilen (1), longifolen (2), germakren (3) in δ-kadinen (4)) (Zule, 2010).	9
Slika 4: Stilben pinosilvin v lesu bora (a) in v smrekovi skorji piceatanol (b) (Zule, 2010).	11
Slika 5: Tipična sorpcijska histereza za les. Adsorpcijska in desorpcijska izoterma zapirata histerezno zanko, višja pa je le začetna (inicialna) desorpcijska krivulja (Gorišek, 2009).	14
Slika 6: Drevo rdečega bora takoj po poseku.	17
Slika 7: Koluti rdečega bora: a) oznaka pozicije kolotov 2, 3 in 4 in b) oznake preizkušancev beljava in jedrovine na kolutu št. 3.	19
Slika 8: Za sorpcijski poskus smo najprej izdelali strogo usmerjene grobe preizkušance, nato pa smo jih prečno razžagali, tako da smo pridobili ustrezno število vzporednih preizkušancev.	20
Slika 9: Ustrezno označeni preizkušanci za določevanje dimenzijske stabilnosti in sorpcijskih lastnosti, nameščeni na posebnem nosilcu.	21
Slika 10: Prikaz deleža ranega in kasnega lesa ter števila in geometrije branik na različnih preizkušancih.	27
Slika 11: Rezanje histološki rezin lesa: a) vpetje preizkušanca v drsni mikrotom Leica SM 2000R in b) rezanje histoloških rezin.	27
Slika 12: Barvanje histoloških rezin s kombinacijo safranin rdečim in astra modrim barvilom.	28
Slika 13: Preizkušanci, pripravljeni za mletje na laboratorijskem mlinu.	30
Slika 14: Slika a prikazuje laboratorijski mlin Retsch SM 2000, slika b pa preizkušance po mletju.	31
Slika 15: a) tehtnica Mettler Toledo XS in b) tehtiči z lesnim prahom.	32
Slika 16: Celulozni tulci, ki smo jih uporabili za ekstrakcijo.	33
Slika 17: a) steklene bučke, v katere smo nalili 250 ml topila in b) sestavljena aparatura za ekstrakcijo po Soxhletu.	35
Slika 18: Soxhletova aparatura (www.cremonatools.com, 2014).	36
Slika 19: Preizkušanci pripravljeni za pipetiranje.	38
Slika 20: Reakcijska zmes preizkušancev po končani inkubacijski dobi.	39
Slika 21: a) UV-VIS spektrofotometer Perkin-Elmer Lambda 2 in b) pipetiranje preizkušanca po inkubaciji v kvarčno kiveto.	39
Slika 22: Prečni prerez koluta drevesa št. 4.	41
Slika 23: Rdeči bor (<i>Pinus sylvestris</i>); beljava: a) prečni, b) radialni in c) tangencialni prerez.	42
Slika 24: Rdeči bor (<i>Pinus sylvestris</i>); jedrovina: a) prečni, b) radialni in c) tangencialni prerez.	42
Slika 25: Prečni prerez: a) beljava in b) jedrovina.	42
Slika 26: Radialni prerez: a) beljava in b) jedrovina.	43
Slika 27: Primerjava povprečnih vrednosti gostot beljave in jedrovine v absolutno suhem stanju. Analiza vključuje podatke iz serij F in G.	46
Slika 28: Primerjava vlažnosti svežega lesa beljave in jedrovine.	48
Slika 29: Primerjava celotnega prostorninskega skrčka beljave in jedrovine preizkušancev serij F in G.	50

Slika 30: Primerjava prostorninskega nabreka beljave in jedrovine preizkušancev serij F in G.	52
Slika 31: Primerjava vrednosti točke nasičenja celičnih sten med beljavo in jedrovino.	54
Slika 32: Grafična primerjava prečne krčitvene anizotropije beljave in jedrovine.	56
Slika 33: Primerjava diferencialnega nabreka beljave in jedrovine v radialni smeri. Vključeni so podatki preizkušancev serije F in G.	58
Slika 34: Primerjava diferencialnega nabreka beljave in jedrovine v tangencialni smeri. Primerjava vsebuje podatke iz preizkušancev serij F in G.	60
Slika 35: Primerjava koeficientov nabrekanja beljave in jedrovine v radialni smeri.	62
Slika 36: Prečni prerez: a) beljava (preizkušanec 3BA1) in b) jedrovina (preizkušanec 5JA1). Primerjava prerezov, ki kaže, da na skrčke in nabreke utegne vplivati geometrije branik.	64
Slika 37: Grafična primerjava koeficienta nabrekanja beljave in jedrovine v tangencialni smeri.	64
Slika 38: Grafična primerjava sorpcijskega kvocienta beljave in jedrovine.	66
Slika 39: Krivulji na sliki prikazujeta adsorpcijo beljave in jedrovine preizkušancev serije F. Adsorpcijska krivulja beljave je višja kot adsorpcijska krivulja jedrovine.	70
Slika 40: Desorpcijska krivulja beljave je višja kot desorpcijska krivulja jedrovine.	72
Slika 41: Adsorpcijska in desorpcijska krivulja preizkušancev beljave in jedrovine. Desorpciji so bili izpostavljeni preizkušanci serije G, adsorpciji pa preizkušanci serije F.	72
Slika 42: Primerjava adsorpcijskih in desorpcijskih krivulj posameznih preizkušancev beljave in jedrovine serij F in G.	73
Slika 43: Povprečna vrednost deleža suhe snovi beljave in jedrovine rdečega bora.	75
Slika 44: Delež ekstrahiranih snovi preizkušancev beljave in jedrovine v acetonu in cikloheksanu.	79
Slika 45: Umeritvena krivulja monohidrata galne kisline z umeritveno krivuljo in enačbo premice ter koeficientom determinacije R^2 .	80
Slika 46: Povprečni delež celokupnih fenolov v preizkušancih jedrovine in beljave.	82

KAZALO PRILOG

Priloga A:	Analiza variance gostot beljave in jedrovine v absolutno suhem stanju
Priloga A1:	Analiza variance vlažnosti beljave in jedrovine v svežem stanju
Priloga A2:	Analiza variance celotnega prostorninskega skrčka
Priloga A3:	Analiza variance celotnega prostorninskega nabreka
Priloga A4:	Analiza variance vlažnosti točke nasičenja celičnih sten
Priloga A5:	Analiza variabilnosti med skupinama beljave in jedrovine
Priloga A6:	Analiza variance diferencialnega nabreka beljave in jedrovine v radialni smeri na kvazilinearnem območju relativne zračne vlažnosti med 20 % in 87 %.
Priloga A7:	Analiza variance diferencialnega nabreka beljave in jedrovine v tangencialni smeri
Priloga A8:	Analiza variance koeficienta nabrekanja beljave in jedrovine v tangencialni smeri
Priloga A9:	Analiza variance sorpcijskega kvocienta beljave in jedrovine
Priloga A10:	Prikaz statistično značilne razlike med beljavo in jedrovino

1 UVOD

Bor je pionirska drevesna vrsta, ki zaradi svoje široke ekološke amplitude pogosto prvi naseli osiromašena področja, ki jih je prizadel človek, ali naseli ekstremna rastišča, kjer druge drevesne vrste ne uspevajo. Ko tla postanejo rodovitnejša, bor postane nekonkurenčen in ga druge drevesne vrste izrinejo iz teh rastišč oziroma se na njih pojavlja le posamezno. Tako bi lahko rdeči bor (*Pinus sylvestris* L.) imenovali za rešitelja Goričkega, kjer je bil kot pionirska vrsta sposoben zbrati in rešiti zadnje potenciale degradiranega rastišča (Kotar in Brus, 1999).

V gozdovih Slovenije predstavljajo bori približno 5,9 % lesne zaloge, ki pa žal ni ustrezno izkoriščena, saj lastnosti lesa niso dovolj dobro raziskane. Preliminarna opazovanja kažejo, da med rastišči obstajajo velike razlike predvsem v pojavnosti jedrovine, ki je včasih značilno rdečkasto obarvana, pogosto pa barvne razlike niso tako očitne. Znano je, da ima jedrovina številnih lesnih vrst drugačne lastnosti kot beljava. Literatura pogosto navaja, da je jedrovina bolj naravno obstojna, ima boljše mehanske lastnosti, višjo gostoto, ugodnejše sorpcijske lastnosti, krčenje, dimanzijsko stabilnost in številne druge tehnološke lastnosti (Tsoumis, 1991; Gorišek, 2009). Te lastnosti se pripisujejo učinku jedrovinski snovi, ki jih v beljavi sicer ni. Jedrovinske snovi so v kemijskem smislu spojine, ki jih iz lesa lahko ekstrahiramo z različnimi topili in jih običajno imenujemo ekstraktivi. Kljub navedbam o vlogi ekstraktivov in njihovem vplivu na izbrane tehnološke lastnosti lesa, je le malo raziskav, ki ta dejanski vpliv tudi dokazujejo. Tovrstni podatki manjkajo tudi za rdeči bor, zato smo v pričujočem magistrskem delu zasnovali obsežnejšo študijo, v kateri smo preiskovali morebitno zvezo med ekstraktivi in izbranimi lastnostmi lesa. Raziskave so se odvijale v okviru raziskovalnega projekta Pinobio - Pinosylvins as novel bioactive agents for food applications, ki je v obdobju 2011-2014 potekal v Delovni skupini za kemijo lesa v okviru programa WoodWisdom Era-Net (vodja prof. dr. Oven). V raziskavi smo tako osnovali model, ki so ga sodelavci Delovne skupine za kemijo lesa kasneje raziskali tudi kemijsko.

Cilji magistrske naloge so bili:

- preučiti anatomske razlike med beljavo in jedrovino;
- določiti vsebnost ekstraktivov v beljavi in jedrovini rdečega bora;

- preučiti higroskopnost beljave in jedrovine ter
- poiskati vpliv med vsebnostjo ekstraktivov in sorpcijskimi lastnostmi rdečega bora.

2 PREGLED OBJAV

2.1 OPIS RDEČEGA BORA

(Povzeto po Brus, 2011).

Rdeči bor (*Pinus sylvestris*) spada v družino *Pinaceae*, rod *Pinus*. Je enodomna in vetrocvetna vrsta, ki cveti maja in junija. Generativno se razmnožuje s semeni, vegetativno pa s cepljenjem, občasno tudi s potaknjenci. Je skromna in prilagodljiva vrsta, ki lahko uspešno raste na skoraj vseh vrstah matične podlage, tako na karbonatnih kot na nekarbonatnih tleh, vendar se mora zaradi svoje svetloljubnosti z dobrih rastišč umikati bolj konkurenčnim vrstam. Prav zaradi tega se uveljavlja na najrevnejših in izčrpanih rastiščih, na vlažnih in kislih, na suhih in kislih ter na suhih in bazičnih tleh. Kot pionirska vrsta pogosto zaraste gole, negradirane površine, ki so že bile nekdaj pokrite z gozdom. Na takšnih rastiščih običajno rastejo v čistih sestojih, na boljših tleh pa v mešanih gozdovih, pogostejše z listavci. Rdeči bor prenese precejšnjo sušo, kot značilna celinska vrsta pa zelo dobro prenaša nizke temperature. Nekoliko slabše je odporen proti snegu, ki mu pogosto lomi krhke veje in vrhove.

V Evropi je bil po človekovi zaslugi nekoč precej bolj razširjen, danes pa je njegov areal močno skrčen zaradi konkurenčnejših močnejših drevesnih vrst, kot sta bukev in jelka, ki sta ga izrinili z najboljših rastišč, kljub temu pa ima rdeči bor med bori največji areal. Raste v severni in srednji Evropi, na posameznih otokih na Škotskem, v Pirenejih, v francoskem Centralnem masivu, v Krpatih in na balkanskih gorovjih. Na vzhodu se razprostira čez Sibirijo do Mandžurije in Ohotskega morja. Njegova današnja razširjenost je v veliki meri umetna in je posledica sajenja ali premočnega siromašenja rastišč v preteklosti. Njegova višinska razširjenost se na severu Skandinavije povzpne do 220 m, na njenem jugu pa do 940 m, v Pirenejih do 1600 m, v Alpah do 2200 m, v Mali Aziji pa celo do 2700 m nadmorske višine. Rdeči bor raste raztreseno po vsej Sloveniji, največ pa ga je na rečnih naplavinah ob Savi in Dravi, v Ljubljanski kotlini, pogost je na Goričkem, v Slovenskih goricah, Halozah, Posotelju in v Beli krajini, v Litijskem hribovju, raste pa tudi na obronkih gorskih verig in ponekod v predalpskem svetu, na primer v Polhograjskem hribovju.

Borovi gozdovi na kisljih in bazičnih tleh se močno razlikujejo. Med acidofilnimi borovji na kisljih kamninah in zakisanih naplavinah je zelo razširjena floristično revna združba borovnice in rdečega bora (*Vaccinio myrtilli-Pinetum*), kjer borovnico včasih zamenja brusnica, med drevesnimi vrstami pa se rdečemu boru pridružujejo graden, pravi kostanj in smreka. Površina acidofilnih borovij je pri nas zelo povečana zaradi nastajanja t.i. steljniških borovij na revnih in degradiranih rastiščih, ki so jih v preteklosti s steljarjenjem in drugimi dejavnostmi izčrpali. Na takšnih področjih opravlja rdeči bor pomembno melioracijsko vlogo. Večje degradirane površine je zarasel na Goričkem in v Beli krajini ter je na ta način omogočil vračanje naravne listnate vegetacije. Med vrstno bogatejšimi bazofilnimi borovji na karbonatnih tleh v alpskem svetu uspeva pionirska združba malega jesena in rdečega oziroma črnega bora (*Fraxino orni-Pinetum nigrae*), v predalpskem svetu pa združba trirobe košeničice in rdečega bora (*Genisto januensis-Pinetum*). Tukaj se rdečemu boru pridružujejo še črni bor, črni gaber, mali jesen, mokovec ter redkeje bukev. Rdeči bor je naša najpogostejša vrsta bora in je leta 2000 predstavljal 4,9 % skupne lesne zaloge v Sloveniji.

Rdeči bor je do 30, občasno 40 m visoko, do 1 m debelo vednozeleno iglasto drevo s stožčasto, v starosti dežnikasto krošnjo. Največji bor v Sloveniji je Dravčbaherjev bor v Šentjanžu nad Dravčami, ki je visok 18 m, njegov obseg pa je 342 cm. Rdeči bor razvije globoko glavno korenino in močne stranske, s katerimi se zelo močno ukorenini. Skorja je na zgornjem delu debla in po debelejših vejah rumenkastordeče barve (iz tega izhaja tudi ime rdeči bor), s katere se luščijo tanki lističi lubja. Starejša drevesa imajo debelo in globoko razbrazdano skorjo. Pri mladih drevesih veje rastejo v izrazitih vejnih vencih. Poganjki so sivorjavi, brsti podolgovato jajčasti, zašiljeni in večinoma brez smole. V šopku sta po dve iglici. Te so kratke, 4-7 cm dolge in do 2 mm široke, v prečnem prerezu polkrožne, spiralno zavite, zašiljene in precej mehke, ne bodeče, sivkastozelene ter na drevesu ostanejo le 2-3 leta, zaradi česar je krošnja redka. Moški cvetovi so podolgovato jajčasti ali valjasti ter rumeni in se na dnu mladih poganjkov razvijejo v številnih skupinah. Ženski cvetovi so združeni v drobna, rdeča ali rjava, okoli 5 mm dolga, pokončna storžasta socvetja, ki običajno v parih ali posamezno rastejo na koncu letošnjih poganjkov. V prvem letu se ženska socvetja ukrivijo navzdol in le malo zrastejo, storži pa dozorijo šele septembra ali oktobra drugo leto. Zreli storži so dolgi 3-7 cm, 2-3,5 cm debeli,

podolgovato jajčasti in zašiljeni, sivorjave barve in niso bleščeči. Krovne luske niso vidne, plodne luske pa imajo rombasto apofizo z značilno grbico na sredini. Pod vsako plodno lusko sta po dve do 5 mm dolgi, podolgovato jajčasti in temno rjavi okriljeni semeni.

V Evropi je rdeči bor najbolj razširjen iglavec, ki je gospodarsko zelo pomembna drevesna vrsta, vendar zaradi manjšega prostorninskega prirastka in konkurenčne šibkosti na najboljših rastiščih po gospodarskem pomenu ne dosega smreke. Iglice rdečega bora vsebujejo veliko vitamina C, vdihovanje sopare pomaga pri vnetju pljuč in žrela, čaj iz storžkov čisti kri, sopara iz svežih brstov pa učinkovito čisti zamašen nos. Rdeči bor je prav tako primeren tudi za smolarjenje.

Krčenje in nabrekanje je zmerno, vendar močnejše kot pri smrekovini, les pa je manj nagnjen k zvijanju. Trdnost precej variira z gostoto. Ob obremenitvi oddaja les rdečega bora zvočni signal, zato je primeren za rudniške podpornike. Je zmerno odporen proti atmosferilijam.

Borovina je naprodaj predvsem kot žagan les, občasno tudi kot luščen in rezan furnir. Žaganje, skobljanje, vrtanje in brušenje lesa je dobro, le les z ostrejšim prehodom med ranim in kasnim lesom se nekoliko težje obdeluje. Obilna smola se lahko lepi na orodja in dele strojev. Prav zaradi smole je treba borovino sušiti pri nižjih temperaturah.

Napake, ki se lahko pojavijo pri borovini so: malolesnost, krivost, necentričnost, spiralen potek aksialnih elementov, grčavost, jedrovinski vključki, smolne razpoke, tlačne poškodbe, porušitve vlaken, neenakomerno priraščanje, kompresijski les, trohnoba, modrenje ter rovi insektov.

Rdeči bor se uporablja v splošnem in stavbnem mizarstvu, za okenske okvire in vrata, kot rudniški les, za železniške pragove, jambore, pode. Prav tako se uporablja za parket, vagone, karoserije, pohištvo, kot luščen in rezan furnir, vezan les, za stenske in stropne obloge, embalažo ter za iverne in vlaknene plošče (Čufar, 2006).

2.2 ZGRADBA LESA RDEČEGA BORA

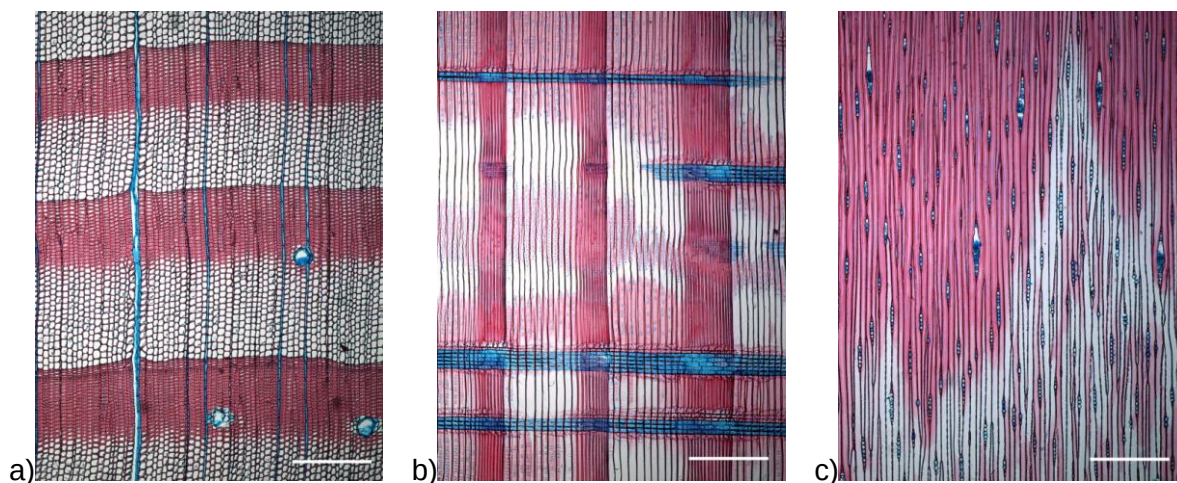
2.2.1 Makroskopski opis

Rdeči bor ima obarvano jedrovino, ki je v svežem stanju rdečkastorumene barve, kasneje pa potemni do rjavkaste oziroma rdečerjave barve in se ostro loči od beljave. Ta je večinoma široka in rumenkasto do rdečkasto bela. Rdeči bor ima izrazite branike, njihova širina pa je odvisna od rastnih razmer ter niha med 1 mm in 1 cm. Prehod iz svetlega ranega v temnejši rdečkastorjav kasni les je oster. Les ima številne smolne kanale. Aksialni smolni kanali se na prečnem prerezu vidijo s prostim očesom. Svež les ima prijeten aromatičen vonj. Rdeči bor je zmerno trd in srednje gost (gostota $\rho_0 = 490 \text{ kg/m}^3$) (Čufar, 2006).

2.2.2 Mikroskopski opis

Osnovno tkivo lesa rdečega bora predstavljajo traheide. V njihovih radialnih stenah se nahajajo polobokane piknje, ki so številčnejše na koncu traheid. Piknje so razporejene v enojnem nizu. Traheide ranega lesa imajo tanjše celične stene, velike lumne in velike radialne dimenzije, medtem ko imajo traheide kasnega lesa debelejšše celične stene, ozke lumne in manjše radialne dimenzije (slika 1).

Trakovi lesa rdečega bora so heterocelularni in enoredni, večredni so le fuziformni trakovi (vretenasti), ki vsebujejo radialni smolni kanal. Trakovno tkivo vsebuje parenhimske celice in nazobljene trakovne traheide. Piknje v križnih poljih (med parenhimsko trakovno celico in aksialno traheido) so oknaste (slika 1). Rdeči bor vsebuje normalne in aksialne smolne kanale s tankostenimi epitelnimi celicami, ki so med seboj povezani in tvorijo tridimenzionalno omrežje (Čufar, 2006).



Slika 1: Anatomska zgradba lesa rdečega bora (*Pinus sylvestris*): a) prečni, b) radialni in c) tangencialni prerez. Daljica 500 μm .

2.3 EKSTRAKTIVNE SNOVI V LESU

(Povzeto po Zule, 2010).

V skupino rastlinskih ekstraktivov uvrščamo nekaj tisoč različnih naravnih spojin, ki imajo relativno nizko molekulsko maso. To so nestrukturane komponente rastlinskih tkiv, zato je njihova vsebnost precej nižja od vsebnosti osnovnih gradbenih elementov (polisaharidi in lignin). Vsebnost ekstraktivnih snovi v povprečju doseže le do nekaj odstotkov suhe mase lesa. Njihova skupna lastnost je, da so dobro topni v polarnih in nepolarnih organskih topilih, kot so petrol eter, diklorometan, aceton, etanol, dietil eter, metil terciarni butil eter, metanol, heksan, toluen ter tetrahidrofuran in voda. Vrste in koncentracije ekstraktivov so odvisne od drevesne vrste, tipa tkiva, geografske lege rastišča, klimatskih pogojev, letnega časa odvzema, starosti in zdravstvenega stanja drevesa (cit. po Zule, 2010). Funkcija ekstraktivov v živih tkivih še ni dobro raziskana. Vplivajo na barvo, vonj in pa manj na gostoto in trdnost lesa. Številni avtorji povezujejo obstojnost lesa z vsebnostjo nekaterih vrst ekstraktivov. Najpomembnejša funkcija ekstraktivov je tako mehanska, kot tudi kemijska zaščita lesnih tkiv pred vdorom mikroorganizmov, gliv in insektov. Tipično mehansko zaščitno plast oz. hidrofobno bariero lahko tvorijo smolne komponente in voski, medtem ko bolj polarni fenoli (lignani, flavonoidi, stilbeni) izkazujejo biocidne lastnosti in so zelo toksični za številne organizme (cit. po Zule, 2010). Nekatere spojine, npr. steroli in sterolni estri, so komponente celičnih membran in tako sodelujejo pri biokemičnih procesih

v celicah, medtem, ko druge kot npr. digliceridi in trigliceridi, predstavljajo zalogo hrane (Hawley s sod., 1924; Scheffer in Cowling, 1966; Fengel in Wegener, 1984; Schultz s sod., 1995; Zule, 2010).

Najvišje vsebnosti ekstraktivov se nahajajo v jedrovini, medtem, ko so v zdravi beljavi njihove vsebnosti bistveno nižje. Ekstraktivne snovi v lesu so glavni razlog, da je jedrovina temnejše barve in ima večjo naravno trajnost od beljave. Največje koncentracije ekstraktivov se nahajajo v zunanji jedrovini (na meji z beljavo), znižujejo pa se proti sredini debla (Zule, 2010). V preglednici 1 je prikazana verjetna razporeditev posameznih tipov ekstraktivov glede na tkiva in tip celice (Zule, 2010).

Preglednica 1: Lokacija, vrste ekstraktivov in njihova funkcija v lesu (Zule, 2010).

Lokacija v lesu	Smolni kanali (oleinska smola)	Parenhimske celice	Jedrovina	Kambijeva cona	Voda in drevesni sokovi
Najpomembnejše vrste spojin	Smolne kisline Terpenoidi	Maščobne kisline Maščobe Sterolni estri Voski Steroli	Fenolne spojine	Glikozidi Sladkorji Škrob Proteini	Anorganske snovi
Glavna funkcija v drevesu	Zaščita	Fiziološka rezerva hrane	Zaščita	Biosinteza Rezerva hrane	Fotosinteza Biosinteza
Nahajališče	Iglavci	Vse vrste lesa Beljava	Vrste, ki imajo jedrovino	Vse vrste lesa	Vse vrste lesa

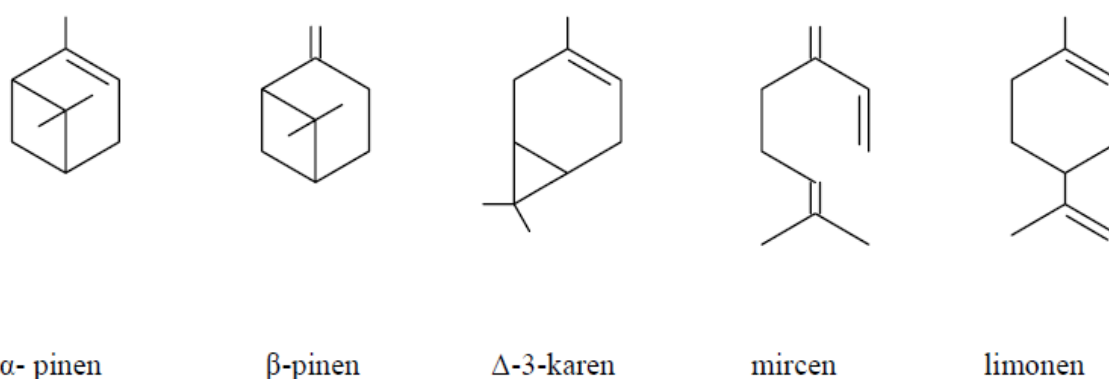
2.3.1 Vrste ekstraktivov

2.3.1.1 Terpeni in terpenoidi (povzeto po Zule, 2010).

Terpeni in terpenoidi spadajo med najbolj razširjene lesne ekstraktive. Najdemo jih v vseh iglavcih, kjer so prisotni kot nehlapne smole (kolofonija). Osnovna strukturna enota terpenov je ogljikovodik izopren (C_5H_8). Terpeni so kondenzacijski produkti dveh ali več izoprenskih enot. Poznamo monoterpene ($C_{10}H_{16}$), seskviterpene ($C_{15}H_{24}$), diterpene ($C_{20}H_{32}$), triterpene ($C_{30}H_{48}$), tetraterpene ($C_{40}H_{64}$) in politerpene ($>C_{40}H_{64}$). Njihovi derivati so terpenoidi, katerih molekularna struktura vsebuje poleg ogljikovodikovega

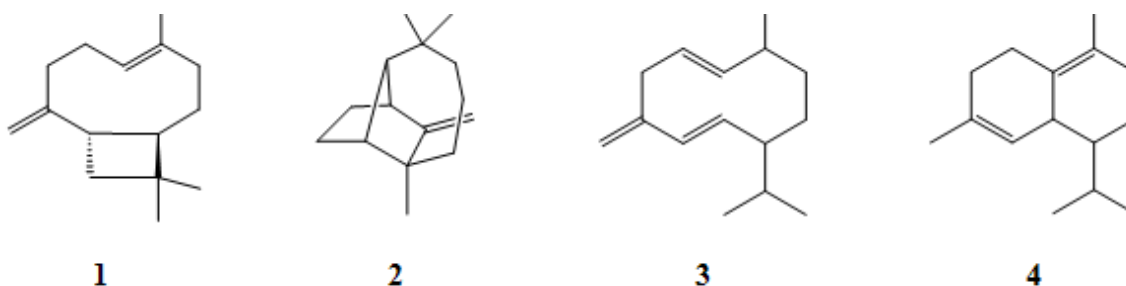
skeleta še karakteristične funkcionalne skupine kot npr. hidroksilne, karbonilne, karboksilne in esterske (cit. po Zule 2010). Terpenske spojine imajo lahko aciklično, monociklično, biciklično in triciklično molekularno strukturo (Zule, 2010).

V smolnih kanalih iglavcev se nahaja oleinska smola, ki vsebuje hlapna olja (terpentin). Hlapna olja so sestavljena predvsem iz monoterpenov in seskviterpenov ter nehlapnih terpenoidov, med katerimi prevladujejo smolne kisline. Bistveni vpliv na vonj lesa imajo monoterpeni in monoterpenoidi. Najpomembnejša monoterpena sta α -pinen in β -pinen, pojavljajo pa se tudi limonen, mircen, β -felandren in 3-karen (slika 2) (Zule, 2010).



Slika 2: Monoterpeni iglavcev (Zule s sod., 2003).

Med najpomembnejše seskviterpene iglavcev uvrščamo kadinen, murolen, germakren, longipinen, longifolen in kariofilen (slika 3) (Fengel in Wegener, 1984; Zule, 2010).



Slika 3: Najpogostejši seskviterpeni iglavcev (kariofilen (1), longifolen (2), germakren (3) in δ -kadinen (4)) (Zule, 2010).

Največji del oleinske smole predstavljajo diterpeni in diterpenoidi. Glavni predstavniki teh so smolne kisline, ki so izomerne spojine z enačbo $C_{20}H_{30}O_2$. Izjema je dehidroabietinska kislina, ki ima enačbo $C_{20}H_{28}O_2$ in aromatski značaj (Sjöström, 1981).

2.3.1.2 Alifatski aciklični ekstraktivi (povzeto po Zule, 2010).

Maščobe, maščobne kisline, maščobne alkohole ter voske in alkane uvrščamo v skupino alifatskih ekstraktivov, ki se nahajajo v parenhimskih celicah. Najpomembnejši maščobni alkoholi v lesu so arašinol ($C_{20}H_{42}O$), lignocerol ($C_{24}H_{50}O$) in behenol ($C_{22}H_{46}O$). Njihovi estri z višjimi maščobnimi in ferulnimi kislinami so voski. Slednje najdemo predvsem v listavcih, medtem ko so za iglavce bolj značilni estri višjih maščobnih kislin s steroli oz. že omenjeni sterolni estri (cit. po Zule, 2010). Veliko višjih maščobnih kislin se v lesu lahko nahaja tudi v obliki estrov z glicerolom (maščob), med katerimi je največ trigliceridov, nekoliko manj pa digliceridov in monogliceridov. Maščobe so skupaj s steroli in voski najznačilnejše sestavine vsebine parenhimskih celic listavcev in iglavcev (Fengel in Wegener, 1984).

Voski, gliceridi in sterolni estri so višji lipidi z molekulskimi masami nad 600, ki pri hidrolizi razpadejo na sestavne komponente. Zaradi tega so njihove vsebnosti največje v svežem lesu, po poseku pa se zaradi staranja lesa in njegove izpostavljenosti vremenskim vplivom njihove koncentracije zelo zmanjšajo in po določenem času popolnoma izginejo. S tem pa se povečajo vsebnosti alkoholov, prostih maščobnih kislin in sterolov (Zule, 2010).

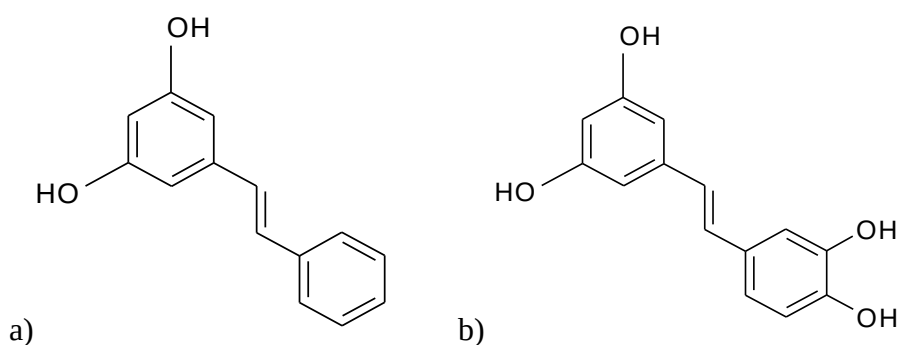
2.3.1.3 Fenolni ekstraktivi (povzeto po Zule, 2010).

Poleg ekstraktivov v parenhimskih celicah in smolnih kanalih poznamo tudi jedrovinske ekstraktive, ki nastajajo v prehodni coni med beljavo in jedrovino. Njihova vsebnost pada v radialni smeri proti sredini debla. Sestavljeni so predvsem iz spojin fenolnega tipa. Te so zaradi specifične kemijske zgradbe in s tem povezanih antioksidativnih lastnosti toksične za številne mikroorganizme, glive in insekte. So zelo dobri naravni biocidi in omogočajo kemijsko zaščito lesa pred biološko degradacijo in škodljivimi vplivi, vplivajo pa tudi na barvo lesa.

Zaradi genetsko regulirane sinteze vsebuje vsaka drevesna vrsta specifične spojine, po katerih se lahko loči od drugih vrst. Med fenolne spojine uvrščamo aromatske komponente,

od preprostih fenolov do fenolnih polimerov. Tipična predstavnika enostavnih fenolov z eno fenolno skupino sta vanilin in gvajacilglicerol. Veliko pomembnejše pa so spojine z dvema fenolnima skupinama, kamor prištevamo stilbene, flavonoide in lignane.

Stilbeni so derivati 1,2-difeniletena in imajo karakteristično konjugirano dvojno vez, zaradi česar so kemijsko zelo reaktivni (cit. po Zule, 2010). Derivati stilbenov so relativno enostavno sintetizirani in so običajno toplotno in kemijsko stabilni. Hidroksilirani derivati stilbenov (stilbenoidi) so sekundarni proizvodi formiranja jedrovine v drevesu in lahko delujejo kot fitoaleksini (Waldeck, 1991; Likhtenshtein, 2010). V skorji smreke so v poznih štiridesetih letih ugotovili znatne količine stilbenov. Smrekova skorja vsebuje tri glavne stilbene. To so resveratrol, astringenin in isorapontigenin. Najpomembnejši stilben v sveži skorji vrste *Picea sitchensis* je astringin. Prav tako so bili stilbeni odkriti v skorji bora, vendar v znatno manjših količinah. Stilbeni so pomembna sestavina listov in lesa številnih komercialnih listavcev (evkaliptus), ki so pomembni za trajnost lesa (Tišler in Matevžič, 1999). Stilbena pinosilvin in pinosilvin monometil eter, kot glavni sekundarni fenolni spojini, ki se pojavljata v jedrovini rdečega bora, sta kot prosti spojini zelo toksični za glive razkrojevalke. Povprečna koncentracija pinosilvina in pinosilvina monometil etra, najdenega v drevesih rdečega bora, je bila med 0,22 % in 0,26 % suhe teže (Venäläinen s sod., 2003, 2004). Nakopičeni stilbeni povečajo odpornost jedrovine (Harju s sod., 2008).



Slika 4: Stilben pinosilvin v lesu bora (a) in v smrekovi skorji piceatanol (b) (Zule, 2010).

Flavonoidi v lesnih tkivih nastajajo iz aromatskih amino kislin po fenilpropanoidni poti. Imajo karakteristični difenilpropanski ($C_6C_3C_6$) ogljikov skelet (cit. po Zule, 2010). Delijo se v podskupine, kot so flavoni, flavani, flavanoni, flavanonoli in izoflavoni. V lesnih tkivih so najpogostejši flavonoidi taksifolin ($C_{15}H_{12}O_7$), naringenin ($C_{15}H_{12}O_5$),

dihidrokemferol ($C_{15}H_{12}O_6$), katehin ($C_{15}H_{14}O_6$), pinobanksin ($C_{15}H_{12}O_5$) in pinocembrin ($C_{15}H_{12}O_4$) (Sjöström, 1981).

Poleg enostavnih flavonoidov poznamo tudi flavonoidne polimere, imenujemo jih kondenzirani tanini in jih najdemo v različnih drevesnih vrstah.

Lignani so pomembna skupina rastlinskih fenolov in so precej razširjeni v rastlinskem svetu. Poleg dimernih lignanov se v lesu pojavljajo tudi manjše količine trimerov (seskvilignani) in tetramerov (dilignani), ki jih v splošnem imenujemo oligolignani (cit. po Zule, 2010).

Največje koncentracije fenolnih ekstraktivov so bile do sedaj izmerjene v grčah nekaterih iglavcev (v rodovih vrst *Abies*, *Picea* in *Pinus*) (Wilfför in sod., 2003b; Fang in sod., 2013). Visoke koncentracije polifenolov v grčah lahko pojasnjujejo njihove antibakterijske in antioksidativne lastnosti. Čeprav v glavnem velja, da h kemijski in mikrobiološki zaščiti lesa največ doprinesejo polifenoli, ki jih je v lesu največ, pa so pomembne tudi spojine, ki jih je manj ali pa so samo v sledovih. Prav tako pa sta poleg količine pomembna tudi porazdelitev in sestava ekstraktivov, saj se le pri optimalnih razmerjih lahko vzpostavi zares učinkovit obrambni sistem drevesa (Zule, 2010).

2.4 VODA V LESU

(Povzeto po Gorišek, 2009).

V tehnologiji lesa je vsebnost vode v materialu izražena kot masa vode na maso absolutno suhega lesa in občasno tudi kot masa vode na maso svežega lesa. Najpogosteje vlažnost določimo z gravimetrično metodo in jo izračunamo po enačbi:

$$u (\%) = \frac{m_{vl} - m_0}{m_0} \cdot 100 \% = \frac{m_{vode}}{m_0} \cdot 100 \% , \quad \dots(1)$$

kjer je m_{vl} masa svežega lesa, m_{vode} je masa vode v svežem lesu in m_0 je masa absolutno suhega lesa, ki jo dobimo s sušenjem pri temperaturi 103 ± 2 °C do konstantne mase.

Botanično je les zelo variabilen tkivni kompleks, fizikalno pa heterokapilarni sistem. Les je kapilarna porozna snov, ki je zgrajena iz različnih celic. K poroznosti poleg lumnov

prispevajo še manjše razpoke v celični steni, pikenjski sistem, smolni žepi in kanali ter intercelularni prostori.

Svež les takoj po poseku vsebuje velike količine vode, ki pa ne zagotavlja biološke odpornosti in dimenzijske stabilnosti in tako omejuje njegovo nadaljnjo predelavo in obdelavo. Delež vode v svežem lesu se med drevesnimi vrstami (in tudi znotraj iste vrste) močno razlikuje. Svež les vsebuje vodo kot:

- vezano ali higroskopno vodo v celičnih stenah,
- prosto ali kapilarno vodo v celičnih lumnih in
- paro v celičnih lumnih.

Porazdelitev vode v živem drevesu je odraz prevajalne vloge sekundarnega ksilema, ki prevaja vodo iz koreninskega sistema v krošnjo. Zaradi različne porazdelitve vode v živem drevesu vsebuje les tudi po poseku različne količine vode na različnih mestih. Vlažnost lesa v svežem stanju je odvisna od časa sečnje in transporta, vrste lesa, starosti, velikosti krošnje, radialne in vertikalne distribucije v drevesu (beljava-jedrovina in višina).

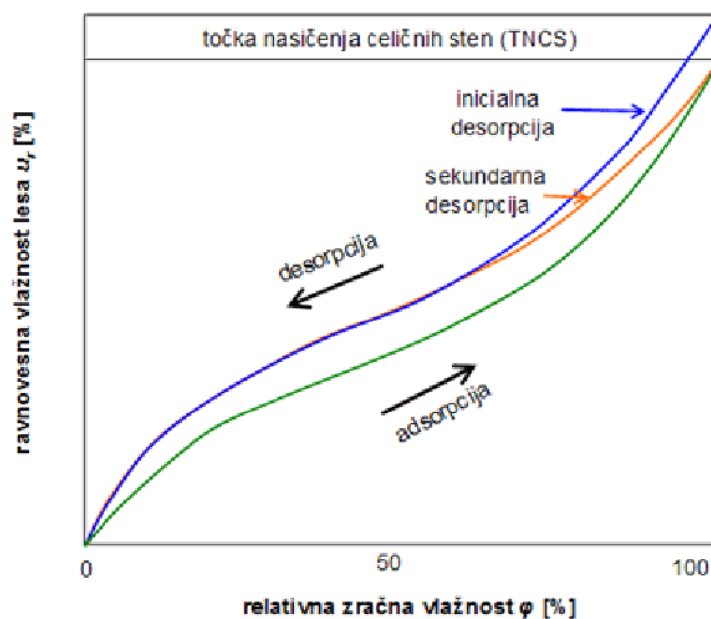
Poleti in zgodaj jeseni je vlažnost debela nižja, največja pa je spomladi in zgodaj poleti. Sezonska nihanja so značilna predvsem za beljavo, velik vpliv nanjo pa ima tudi intenzivnost transpiracije z listne površine, vlažnost tal in sama permeabilnost beljave (Gorišek, 2009). V drevesu se variabilnost vlažnosti lahko pojavi tudi zaradi travmatskih razlogov (Merela, 2008; Lavk, 2010).

V procesu transformacije beljave v jedrovino nizkomolekularne jedrovinske snovi penetrirajo v celično steno in zmanjšujejo prostor za vezano vodo. Posledica tega je nižja ravnovesna vlažnost in točka nasičenja celičnih sten jedrovine v primerjavi z beljavo (Torelli, 2005). Teoretično je točka nasičenja celičnih sten (TNCS, U_f), definirana kot lesna vlažnost, pri kateri so celične stene nasičene, medtem ko v lumnih in piknjah ni proste (kapilarne) vode (cit. po Torelli, 2000). Nemogoče je jasno ločiti obe vrsti vode. Zelo verjetno vezana in prosta voda soobstajata v relativno širokem vlažnostnem območju. Praktično je smiselno interpretirati TNCS kot vlažnost U , ki ustreza spremembi naklona $\delta P / \delta U$, kjer je P poljubna fizikalna lastnost (cit. po Torelli, 2000). Ob TNCS ima les maksimalne dimenzije, zato bi lahko TNCS definirali kot najnižjo vlažnost, pri kateri ima les maksimalne dimenzije (Torelli, 2000).

2.5 SORPCIJSKE LASTNOSTI LESA

(Povzeto po Gorišek, 2009).

Vsebnost higroskopne (vezane) vode je omejena s številom sorpcijskih mest, ki jih vodne molekule lahko zavzamejo. Najbolj higroskopne so polioze, sledijo celuloza, lignin ter nekateri ekstraktivi. Celulozni kristaliti vežejo vodo le na svoji površini. Odvisnost ravnovesne vlažnosti od relativne zračne vlažnosti pri konstantni temperaturi izrazimo s sorpcijskimi izotermami. Sorpcijske izoterme za les, ki jih dobimo s postopnim uravnovešanjem v padajočih (sušenje - desorpcija) oz. v naraščajočih (navlaževanje - adsorpcija) relativnih zračnih vlažnostih pri konstantni temperaturi, so sigmoidne (tip III) in tvorijo histerezo zanko (cit. po Gorišek, 2009) (slika 5). Ravnovesna vlažnost lesa pri adsorpciji je vedno nižja od tiste v desorpciji zaradi neskladja obeh sorpcijskih izoterm (do temperature približno 70 °C) (Gorišek, 2009). Izraz sorpcija uporabljamo, ko želimo skupaj označiti kombinirana procesa adsorpcije in desorpcije, oziroma takrat, ko ne želimo razlikovati sprejemanja in oddajanja adsorbata (cit. po Torelli in Čufar, 1983).



Slika 5: Tipična sorpcijska histereza za les. Adsorpcijska in desorpcijska izoterma zapirata histerezo zanko, višja pa je le začetna (inicialna) desorpcijska krivulja (Gorišek, 2009).

Higroskopski potencial posameznih spojin lesa je pri nižjih vlažnostih odvisen od razpoložljivih sorpcijskih mest, ki jih predstavljajo proste hidroksilne skupine, ki so sposobne vezati molekule vode. Molekule, ki so neposredno vezane na hidroksilne skupine stenskih polimerov, so primarne in imajo visoko vezalno energijo. Ker pa les ni homogen, nimajo vsa sorpcijska mesta enake zmožnosti vezanja vodnih molekul. Vezalna energija na površini celuloznih kristalitov je 25 kJ/mol, v amorfni regiji pa okrog 30 kJ/mol. Zaradi tega lahko eno sorpcijsko mesto sprejme tudi dve vodni molekuli. Sekundarne molekule imajo manjšo vezalno energijo in se zato lahko na primarne molekule vežejo v več plasteh (Vavkman, 2006).

Zaradi higroskopnosti je les vselej bolj ali manj vlažen. V konstantnih razmerah doseže les t.i. lesno ravnovesno vlažnost (higroskopsko ravnovesje – u_r). Nanjo poleg temperature in relativne zračne vlažnosti vplivajo številni dejavniki, med njimi tudi:

- sorpcijska zgodovina,
- sorpcijska histereza,
- gostota lesa,
- kemične lastnosti,
- morebitni predhodni hidrotermični postopki,
- morebitna predhodna kemijska obdelava in
- napetostna stanja lesa (Gorišek, 2009).

Sorpcijsko histerezo povzroča več dejavnikov. Do razlik med adsorpcijo in desorpcijo pride zaradi počasne porazdelitve vodilnih molekul, ki jim nasprotuje še nabrekovalni tlak zaradi dolgotrajnega uravnovešanja. Klimatski pogoji se pogosto spreminjajo še pred doseženim popolnim ravnovesjem (Skaar, 1988). Pri postopnem uravnovešanju na več sorpcijskih intervalih je doseženo večje histerezno razmerje.

Vzroki za neskladje med ravnovesno vlažnostjo, dobljeni v procesu adsorpcije in desorpcije, so npr. potrebni čas uravnovešanja, energijske izgube zaradi plastičnih preoblikovanj, večji kot omočitve pri adsorpciji kot pri desorpciji, tvorba vodikovih vezi in napetostna stanja (Barkas, 1942; Skaar, 1988).

Pri sušenju hidroksilne skupine oddajo vodo, celulozne verige se zbližajo in se medsebojno povežejo z vodikovimi vezmi. Pri naslednji adsorpciji vse hidroksilne skupine niso takoj sposobne vezati vode, zato je ravnovesna vlažnost v procesu adsorpcije manjša. Pri temperaturah višjih od 70 °C histereza ni več tako izrazita, kar lahko pripišemo večji kinetični energiji vodnih molekul in večjemu nihanju kristalne rešetke. Vezi med sosednjimi celuloznimi molekulami postajajo vse bolj šibke in po večkratni adsorpciji in desorpciji se razlike med njima zmanjšujejo (Skaar, 1988).

Les kot nabrekajoči gel ni popolnoma elastičen. Krčenje in nabrekanje povzročita nastanek različnih deformacij, ki so posledica napetostnih stanj v lesu. Zaradi spreminjanja plastične preoblikovanosti z vlažnostjo se pojavijo energetske izgube pri adsorpciji in desorpciji, ki naj bi bile glavni razlog za pojav histereze. Z naraščajočo temperaturo pri plastifikaciji lesa se z naraščajočo plastičnostjo lesa histereza zmanjšuje (Torelli in Čufar, 1983).

2.5.1 Vpliv lesnih ekstraktivov na sorpcijske lastnosti lesa

Čeprav imajo ekstraktivi velik vpliv na obarvanost lesa in trajnost, so nekatere študije pokazale, da njihova prisotnost v lesu vpliva tudi na sorpcijske lastnosti (Kilic in Niemz, 2012). Choong in Achmadi (1991) sta dokazala, da odstranitev ekstraktivov z vročo vodo in organskimi topili povzroči prekomerno krčenje pri določenih tropskih lesovih. Zaradi visoke temperature in visoke vlažnosti v strukturi celične stene pride do plastifikacije ekstraktivov ter do delnega kolapsa lesa. Pri vrsti *Tsuga canadensis* se je pokazalo, da so ekstraktivi zelo higroskopni in zmanjšujejo polimolekularno sorpcijo na način, da zapolnijo prostore celične stene (Ziegler in Beall, 1974). Pomembno je poznavanje vpliva ekstraktivov na sorpcijske lastnosti pri sekundarnih spremembah lesa (pri transformaciji beljave v jedrovino). Velik vpliv na gostoto, trdnost, elastičnost, permeabilnost in higroskopnost lesa imajo ekstraktivi, ki se nahajajo v mikro-razpokah celičnih sten in v celičnih lumnih (Vek in Oven, 2010).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 IZBOR DREVES ZA RAZISKAVO

Raziskave so bile opravljene na izbranih šestih drevesih rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.), ki so rastle na Navrškem Vrhu v bližini Raven na Koroškem. Drevesa smo posekali pred začetkom rastne sezone 2012. Drevesa so bila približno enako stara in enako velika.

3.2 PRIPRAVA VZORCEV

3.2.1 Izrez kolotov in označevanje

Iz 6 testnih dreves smo izrezali po 4 kolute. Takoj po razžagovanju smo kolute tudi ustrezno označili (preglednica 2) (npr. oznaka 1/3: številka 1 pomeni prvo drevo, številka 3 pa tretji kolut). Koluti št. 1 (odvzeti na bazi dreves) in koluti št. 2 (odvzeti na višini 0,5m) niso bili predmet te raziskave. V nalogo smo vključili tretje kolute, ki so bili odvzeti na višini 0,8 m nad tlemi (debelina koluta: 40 cm) in koluti št. 4, ki so bili odvzeti nad kolutom 3 (debelina koluta: 20 cm). Iz kolotov št. 3 smo izdelali preizkušance za preiskave dimenzijske stabilnosti, sorpcijskih lastnosti in anatomske preiskave; iz kolotov št. 4 pa preizkušance za kemijsko analizo. Takoj po odvzemu v gozdu so bili koluti pripeljani na skladišče pred delavnico Oddelka za lesarstvo. Do nadaljnje obdelave so bili skladiščeni pri temperaturi pod 0°C, s čimer smo se izognili neželenemu izsuševanju.



Slika 6: Drevo rdečega bora takoj po poseku.

Preglednica 2: Sistem označevanja kolotov, odvzetih na ustrezni višini drevesa (z * so označeni koloti, uporabljeni v pričujoči raziskavi).

Drevo	Višina drevesa (m)	Oznaka kolotov	Višina odvzema kolotov (m)
1	31,5	1/1	baza
		1/2	0,5
		1/3*	0,8
		1/4*	1,3
2	26	2/1	baza
		2/2	0,5
		2/3*	0,8
		2/4*	1,3
3	29,3	3/1	baza
		3/2	0,5
		3/3*	0,8
		3/4*	1,3
4	30	4/1	baza
		4/2	0,5
		4/3*	0,8
		4/4*	1,3
5	25,2	5/1	baza
		5/2	0,5
		5/3*	0,8
		5/4*	1,3
6	29,5	6/1	baza
		6/2	0,5
		6/3*	0,8
		6/4*	1,3

3.2.2 Izdelava preizkušancev za določanje dimenzijske stabilnosti in sorpcijskih lastnosti

Pred razžagovanjem smo kolute št. 2, 3 in 4 postavili skupaj, tako kot so bili pred žaganjem, in z markirnim sprejem vzdolž kolotov narisali črto (slika 7a). Ta oznaka je bila vodilo za nadaljnji odvzem preizkušancev za različne analize saj je omogočala orientacijo, ker smo želeli preizkušance za različne analize odvzeti na enakih lokacijah gledano v osi rasti drevesa. Na prečnem prerezu vsakega koluta s št. 3 smo zatem zarisali optimalni razrez v radialni smeri, določili lokacije preizkušancev v obliki kvadratov s stranico približno 3,3 cm. Pri tem smo pazili na orientacijo glede na potek branik. Glede na dane možnosti (širina beljave in jedrovine) smo označili največje možno število preizkušancev na območju beljave in območju jedrovine (slika 7b). Prvi radialni niz preizkušancev (eno stran koluta) smo poimenovali stran A, drugo stran pa stran B. Na tračnem žagalnem stroju

smo iz kolotov najprej izžagali predhodno označen "ploč" ter na njem označili vzdolžne reze za posamezen preizkušane. Pri tem smo pazili na orientacijo preizkušancev v vzdolžni smeri (s smerjo poteka lesnih vlaken). Po razrezu smo dobili preizkušance (letvice) z določeno nadmero, ki smo jih nato na skobeljnem stroju poravnali (slika 8). Do nadaljnje obdelave so bili preizkušanci zamrznjeni.



Slika 7: Koloti rdečega bora: a) oznaka pozicije kolotov 2, 3 in 4 in b) oznake preizkušancev beljave in jedrovine na kolotu št. 3.

V naslednjem koraku smo iz letvic na miznem krožnem žagalnem stroju izžagali preizkušance za preizkuse dimenzijske stabilnosti, sorpcijskih lastnosti ter za anatomske preiskave. S prečnimi rezi smo izdelali po 5 zaporednih, strogo orientiranih preizkušancev za meritve sorpcijskih lastnosti ter dimenzijsko stabilnost. Ti preizkušanci so bili velikosti $30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ ($R \times T \times L$).



Slika 8: Za sorpcijski poskus smo najprej izdelali strogo usmerjene grobe preizkušance, nato pa smo jih prečno razžagali, tako da smo pridobili ustrezno število vzporednih preizkušancev.

Preizkušance smo ustrezno označili: s prvo številko smo označili številko drevesa, s črko B beljavo in z J jedrovino, s črko A oziroma B stran koluta. V primeru, ko smo iz beljave ali jedrovine odvzeli po dva groba preizkušanca, smo ju dodatno ločili z oznako 1 ali 2. Grobe preizkušance smo nato odrezali na končne preizkušance za sorpcijski poskus in jih označili s črkami od C do G. Preizkušanci C, D, E, F in G so bili vzporedni (paralelni) vzorci za različne sorpcijske eksperimente. Oznako C je imel prvi izrezan preizkušanec in oznako G zadnji izrezan preizkušanec (slika 9). Spodaj je razlaga označevanja:

1BB1C:

1 drevo 1

B beljava

B stran

1 prvi odvzet preizkušanec iz koluta

C prvi izrezan preizkušanec na miznem krožnem žagalnem stroju



Slika 9: Ustrezno označeni preizkušanci za določevanje dimenzijske stabilnosti in sorpcijskih lastnosti, nameščeni na posebnem nosilcu.

3.2.3 Izvedba sorpcijskega poskusa

Pred razrezom smo prešteli branike oz. določili starost posameznega preizkušanca. Vse preizkušance smo takoj po razrezu stehali in jim izmerili prečne, radialne in tangencialne dimenzije. Nato smo jih dali v stekleno klima komoro z nasičeno raztopino soli (preglednica 3), kjer so se 14 dni uravnovešali. Relativna zračna vlažnost (RH) v komori je bila 65 %, temperatura pa 20 °C. Po končanem uravnovešanju smo preizkušance zopet stehali ter jim izmerili dimenzije. V preglednici 3 so prikazane različne nasičene raztopine soli, ki se običajno uporabljajo za sorpcijske poskuse.

Preglednica 3: Pregled nasičenih raztopin soli v steklenih komorah za posamezne relativne zračne vlažnosti, ki se običajno uporabljajo za sorpcijske poskuse.

Relativna zračna vlažnost	Temperatura (°C)	Ravnovesna vlažnost lesa (u_r)	Nasičena raztopina soli
20 %	20	4 %	CH ₃ COOK
33 %	20	6 %	MgCl ₂
44 %	20	8 %	K ₂ CO ₃
65 %	20	12 %	NaNO ₂
75 %	20	14 %	NaCl
87 %	20	20 %	ZnSO ₄

3.2.4 Meritve parametrov za določanje dimenzijske stabilnosti

Preizkušance s končno oznako C smo po uravnovešanju na 12 % ravnovesno vlažnost ($\varphi = 65$ %, $T = 20$ °C) posušili do absolutno suhega stanja. V izogib izhlapevanju ekstraktivnih snovi smo namesto sušenja pri 103 ± 2 °C uporabili vakuumsko sušenje. Preizkušance smo 3 dni sušili v vakuumskem sušilniku pri temperaturi 50 °C in podtlaku 30 mbar ter jih nato stehali in jim izmerili dimenzije.

Preizkušance, ki so imeli na koncu oznako D, smo po uravnovešanju dali v klima komoro z ustrezno nasičeno raztopino soli (preglednica 3) z relativno zračno vlažnostjo 87 % in

temperaturo 20 °C, preizkušance z oznako E pa v klima komoro z relativno zračno vlažnostjo 33 % in temperaturo 20 °C. Uravnovešanje je trajalo 14 dni, za tem smo preizkušance stehali in izmerili ter jih ponovno izpostavili spremenjenim klimatskim pogojem (preglednica 4). Iz podatkov smo nato izračunali sušilnični in totalni skrček ter spremembe dimenzij in vlažnost lesa. Na ta način smo dobili podatke za izračun kazalnikov dimenzijske stabilnosti. Te preizkušance smo nato shranili za morebitne nadaljnje preiskave.

Preglednica 4: Obdelava preizkušancev po končanem uravnovešanju pri RH = 65 % in T = 20 °C.

Končna oznaka preizkušanca	Sušilnični pogoji	Število dni
C	vakuum; T = 50 °C, podtlak 30 mbar	3
D	RH = 87%, T = 20 °C	14
	RH = 33%, T = 20 °C	14
	vakuum; T = 50 °C, podtlak 30 mbar	3
E	RH = 33%, T = 20 °C	14
	RH = 87%, T = 20 °C	14
	vakuum; T = 50 °C, podtlak 30 mbar	3

3.2.5 Meritve parametrov za določevanje sorpcijskih lastnosti

Preizkušance, ki so imeli oznako F, smo po končanem uravnovešanju v normalni klimi (RH = 65 %, T = 20 °C) za en teden prestavili v eksikator s silikagelom, s čimer smo dosegli nizko ravnovesno vlažnost. Po uravnovešanju smo preizkušance začeli postopoma navlaževati. Začeli smo uravnovešanje pri relativni zračni vlažnosti 20 % in temperaturi 20 °C (postopek adsorpcije) in nato postopoma nadaljevali do relativne zračne vlažnosti 87 %. Proces adsorpcije je prikazan v preglednici 5.

Preizkušance z oznako G pa smo postopoma sušili (proces desorpcije). Po uravnovešanju v normalni klimi (RH = 65 %, T = 20 °C) smo preizkušance za en teden postavili v eksikator z vodo, s čimer smo dosegli visoko ravnovesno vlažnost. Postopek desorpcije smo pričeli v komori z relativno zračno vlažnostjo 87 % in temperaturo 20 °C in postopoma izpostavili vse nižji relativni zračni vlažnosti. Postopek desorpcije je prikazan v preglednici 5.

Vsi preizkušanci so bili določenim relativnim zračnim vlažnostim izpostavljeni tako dolgo, da so vzpostavili ravnovesje z okoliškim zrakom v stekleni klima komori (od 14 do 21 dni)

(preglednica 5). Pred vsako menjavo klime smo preizkušance stehali ter jim izmerili dimenzije. Na koncu smo vse preizkušance posušili do absolutno suhega stanja v vakuumskem sušilniku pri temperaturi 50 °C in podtlaku 30 mbar (preglednica 5). Iz podatkov smo želeli določiti razliko med adsorpcijsko in desorpcijsko krivuljo.

Preglednica 5: Izvedba sorpcijskega poskusa. Proces spreminjanja klimatskih pogojev; preizkušance s končno oznako F smo izpostavili pogojem adsorpcije, preizkušance s končno oznako G pa pogojem desorpcije. Poskus smo zaključili z vakuumskim sušenjem do absolutno suhega stanja.

F (adsorpcija)	G (desorpcija)	Število dni
RH = 20 %	RH = 87 %	14
RH = 33 %	RH = 75 %	16
RH = 44 %	RH = 44 %	21
RH = 75 %	RH = 33 %	14
RH = 87 %	RH = 20 %	14
vakuum; T = 50 °C, podtlak 30 mbar	vakuum; T = 50 °C, podtlak 30 mbar	3

3.2.6 Izračun kazalnikov dimenzijske stabilnosti

Izračune smo opravili po metodologiji, ki jo navaja Gorišek (2009).

3.2.6.1 Gostota lesa

Gostoto preizkušancev smo izračunali po naslednji enačbi:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad [\text{kg} / \text{m}^3], \quad \dots(2)$$

kjer je:

ρ_0 ... gostota preizkušanca v absolutno suhem stanju

m_0 ... masa preizkušanca v absolutno suhem stanju

V_0 ... volumen absolutno suhega preizkušanca.

3.2.6.2 Krčenje in nabrekanje

Celotni ali »totalni« prostorninski ali »volumenski« skrček smo izračunali kot odstotek spremembe volumna od svežega do absolutno suhega stanja glede na dimenzije pred krčenjem. Po enakem načelu smo določili tudi linearne skrčke v vzdolžni, radialni in tangencialni smeri.

$$\beta_V = \frac{V_{vl} - V_0}{V_{vl}} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$\beta_{L,R,T} = \frac{l_{vl} - l_0}{l_{vl}} \cdot 100 \quad [\%], \quad \dots(3)$$

kjer je:

β_V ... celotni prostorninski skrčec

$\beta_{L,R,T}$... linearni skrčki v longitudinalni, radialni ali tangencialni smeri

V_{vl} ... volumen vlažnega lesa

V_0 ... volumen lesa v absolutno suhem stanju

l_{vl} ... dimenzija vlažnega preizkušanca

l_0 ... dimenzija absolutno suhega preizkušanca.

Podobno smo izračunali tudi totalni nabrek, ki je definiran kot povečanje dimenzij lesa glede na dimenzije v absolutno suhem stanju:

$$\alpha_V = \frac{V_{vl} - V_0}{V_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$\alpha_{L,R,T} = \frac{l_{vl} - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad [\%], \quad \dots(4)$$

kjer je:

α_V ... totalni prostorninski nabrek

$\alpha_{L,R,T}$... linearni nabrek v longitudinalni (α_L), radialni (α_R) ali tangencialni (α_T) smeri.

Približno volumsko krčenje in nabrekanje smo izračunali iz linearnih skrčkov oziroma nabrekov:

$$\beta_V \approx \beta_T + \beta_R$$

$$\alpha_V \approx \alpha_T + \alpha_R. \quad \dots(5)$$

Prečno krčitveno anizotropijo smo izračunali iz razmerja med tangencialnim in radialnim celotnim skrčkom:

$$A_n = \beta_T / \beta_R \quad \dots(6)$$

3.2.6.3 Kazalniki dimenzijske stabilnosti

Krčenje in nabrekanje lesa v kvazilinearnem območju vrednotimo s kazalniki dimenzijske stabilnosti: diferencialnim nabrekom (q), koeficientom nabrekanja (h) in sorpcijskim kvocientom (s) (cit. po Gorišek, 2009).

Diferencialni nabrek q nam v radialni (q_R) in tangencialni (q_T) smeri podaja spremembo prečnih dimenzij lesa, če se lesna vlažnost (u) spremeni za 1 % (Torelli in Čufar, 1983; Gorišek, 2009):

$$\begin{aligned}q_T &= \frac{\Delta\alpha_T}{\Delta u} \\q_R &= \frac{\Delta\alpha_R}{\Delta u}.\end{aligned}\quad \dots(7)$$

Koeficient nabrekanja h v radialni (h_R) in tangencialni (h_T) smeri nakazuje spremembo dimenzije, če se relativna zračna vlažnost (φ) spremeni za 1 % (Torelli in Čufar, 1983; Gorišek, 2009):

$$\begin{aligned}h_T &= \frac{\Delta\alpha_T}{\Delta\varphi} \\h_R &= \frac{\Delta\alpha_R}{\Delta\varphi}.\end{aligned}\quad \dots(8)$$

Sorpcijski kvocient s je neposredna mera lesne higroskopnosti in nam pove, za koliko se spremeni lesna vlažnost, če se relativna zračna vlažnost spremeni za 1 % (Torelli in Čufar, 1983; Gorišek, 2009):

$$s = \frac{h}{g} = \frac{\Delta u}{\Delta\varphi}.\quad \dots(9)$$

3.2.7 Izračun sorpcijskih lastnosti

3.2.7.1 Ravnovesna vlažnost

Ravnovesno vlažnost smo določili vsem preizkušancem, ki so se uravnovešali v več komorah z različnimi relativnimi zračnimi vlažnostmi. Ravnovesno vlažnost smo računali po enačbi:

$$u_r(\varphi) = \frac{m_\varphi - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [\%], \quad \dots(10)$$

kjer je:

$u_r(\varphi)$... ravnovesna vlažnost lesa v odvisnosti od relativne zračne vlažnosti

m_φ ... masa preizkušanca, ki je uravnovešen na določeno relativno zračno vlažnost

m_0 ... masa absolutno suhega preizkušanca.

3.2.7.2 Točka nasičenja celičnih sten

Točko nasičenja celičnih sten lahko določimo na več različnih načinov. Najpogosteje se uporabljajo naslednje tri metode:

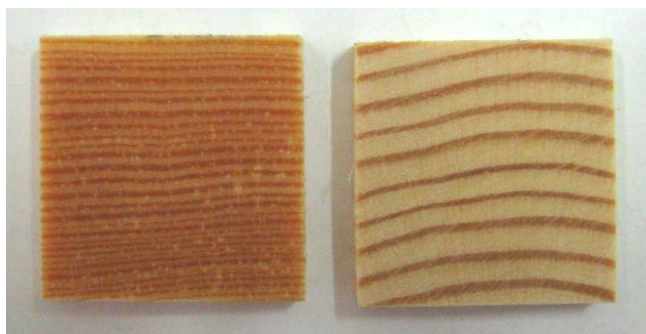
- z ekstrapolacijo sorpcijske izoterme do 100 % relativne zračne vlažnosti,
- z določitvijo začetka krčenja v procesu sušenja oziroma prenehanja nabrekanja v procesu vlaženja (metoda intersekcijske točke) in
- z računanjem razmerja med volumenskim skrčkom (β_v) in osnovno gostoto (R) ob korekciji gostote adsorbirane vode ($\rho_{vv} = 1130 \text{ kg/m}^3$) oziroma nabrekom (α_v) in gostoto v absolutno suhem stanju (ρ_0) (Gorišek, 2009):

$$u_{TNCS} = \frac{\beta_v \cdot \rho_{vv}}{R} = \frac{\alpha_v \cdot \rho_v}{\rho_0} \quad \dots(11)$$

V nalogi je bila za izračun TNCS beljave in jedrovine rdečega bora uporabljena zadnja od naštetih metod.

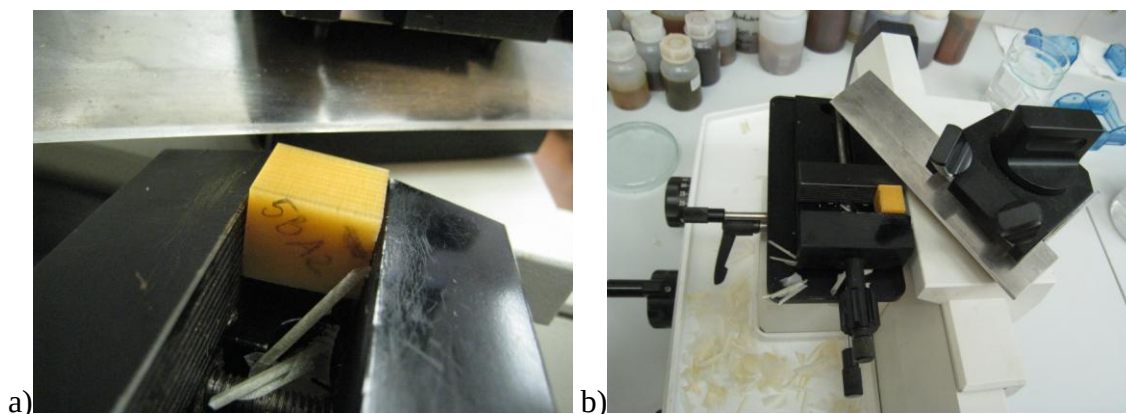
3.3 ODVZEM IN PRIPRAVA PREIZKUŠANCEV ZA ANATOMSKE ANALIZE

Istočasno, ko smo odvzeli preizkušance za meritve dimenzijske stabilnosti in sorpcijske lastnosti, smo odvzeli še preizkušance za klasične anatomske analize. Za vsakim zadnjim odvzetim preizkušancem na miznem krožnem žagalnem stroju (oznaka G) smo odvzeli približno 1,5 cm dolg preizkušanec za klasične anatomske analize. Preizkušanec smo razpolovili v radialni smeri, polovico smo dali v mešanico glicerina-H₂O, drugo polovico pa v fiksacijsko sredstvo FAA, katerega 500 ml vsebuje 25 ml 37 % formalina, 450 ml 50 % etanola in 25 ml 100 % očetne kisline.



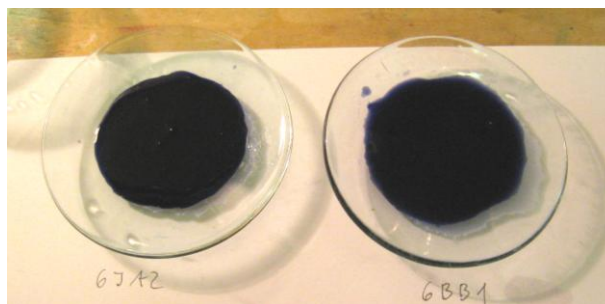
Slika 10: Prikaz deleža ranega in kasnega lesa ter števila in geometrije branik na različnih preizkušancih.

Odvzete preizkušance za anatomske analize smo po enem tednu začeli dehidrirati v etanolni vrsti (30 %, 50 % in 70 %) z zamikom sedmih dni. Po končani dehidraciji smo z drsnim mikrotomom Leica SM 2000R v vzdolžni smeri odrezali 15 μm in 20 μm debele histološke rezine lesa (slika 11).



Slika 11: Rezanje histološki rezin lesa: a) vpetje preizkušanca v drsni mikrotom Leica SM 2000R in b) rezanje histoloških rezin.

Za preiskave anatomije s svetlobno mikroskopijo smo tkiva obarvali s kombinacijo safranin rdečim in astra modrim barvilom (slika 12) (van der Werf, 2007). Po vsaj 5 minutnem barvanju je sledilo izpiranje rezin v 95 % etanolu. Kasneje smo rezine prenesli na objektno steklo, jih prepojili z Euparalom (3C-239; Chroma), pokrili s krovnim steklom ter odstranili mehurčke, ki so se ujeli v vklopni medij in preparate obtežili z 200 g kovinskimi utežmi. Tako smo jih pustili 24 ur, da se je Euparal smola utrdila.



Slika 12: Barvanje histoloških rezin s kombinacijo safranin rdečim in astra modrim barvilom.

3.3.1 Anatomske analize preizkušancev

3.3.1.1 Klasične mikroskopija

Anatomske preiskave preizkušancev smo opravili na raziskovalnem mikroskopu Nikon Eclipse E 800 (Kanagawa, Japan). Za klasično anatomsko opazovanje smo uporabili svetlo-poljsko mikroskopijo. Za fotomikrografijo smo uporabili digitalno kamero Nikon DS-fi1. Trajne preparate smo najprej pregledali in fotografirali pri manjši 4-kratni povečavi. Iz več fotografij smo s programsko opremo ZoomBrowser EX 5.2 - Canon sestavili celotne slike rezin. Te so nam služile za izdelavo natančnega načrta analize preizkušancev.

3.4 IZDELAVA PREIZKUŠANCEV ZA KEMIJSKE ANALIZE

Preizkušance za kemijske analize smo odvzeli iz kolotov št. 4. Odvzeli smo jih na enakih vertikalnih pozicijah, kot preizkušance za meritve dimenzijske stabilnosti in sorpcijskih lastnosti na predhodnem kolotu (preglednica 6).

Preglednica 6: Preizkušanci za kemijske analize - prikaz oznak in pripadajoča starost lesa.

Oznaka preizkušanca	Starost preizkušanca	Oznaka preizkušanca	Starost preizkušanca
1BA1	110-147	4BA1	75-100
1JA1	47-80	4JA1	29-50
1JA2	20-40	4JA2	13-24
1BB1	100-134	4BB1	70-100
1JB1	53-80	4JB1	29-44
1JB2	32-49	4JB2	15-25
2BA1	70-135	5BA1	78-94
2JA1	40-60	5BA2	47-71
2JA2	11-33	5JA1	6-34
2BB1	70-132	5BB1	76-92
2JB1	35-52	5BB2	47-69
2JB2	18-30	5JB1	7-31
3BA1	78-102	6BA1	80-115
3JA1	44-62	6JA1	40-65
3JA2	18-37	6JA2	15-30
3BB1	75-110	6BB1	95-110
3JB1	44-64	6BB2	70-90
3JB2	21-39	6JB1	44-61
		6JB2	20-40

Na namiznem krožnem žagalnem stroju smo preizkušanca razrezali na manjše dimenzije (slika 13) zato, da je velikost ustrezala nadaljnji obdelavi.



Slika 13: Preizkušanci, pripravljeni za mletje na laboratorijskem mlinu.

3.4.1 Mletje preizkušancev

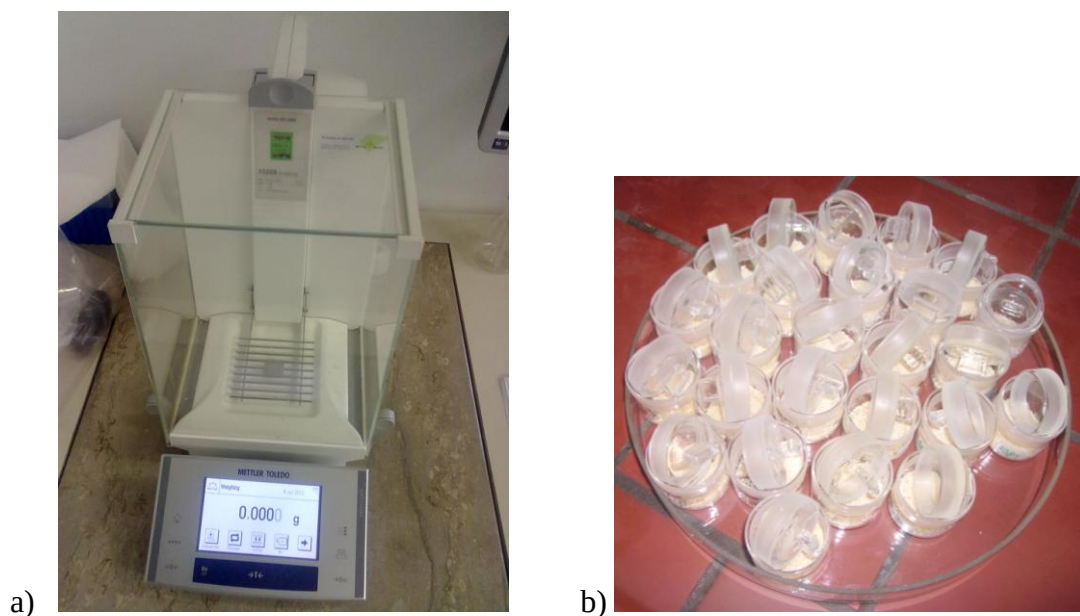
Predhodno pripravljene preizkušance smo zmleli s pomočjo laboratorijskega mlina Retsch SM 2000 (slika 14a) v Laboratoriju za patologijo in zaščito lesa (slika 14 b). Glede na velikost delcev smo za naš primer pri mlinu izbrali velikost sita 3 mm - 4 mm. Po vsakem mletju smo lesni prah skrbno shranili v ustrezno označene prahovke, mlin pa smo očistili s čopičem in krpo, da se posamezni delci med seboj ne bi pomešali, kar bi lahko vodilo do nepravilnih rezultatov.



Slika 14: Slika a prikazuje laboratorijski mlin Retsch SM 2000, slika b pa preizkušance po mletju.

3.4.2 Določanje suhe snovi

Za vsak preizkušanec smo določili vsebnost suhe snovi. Najprej smo pripravili in ustrezno označili tehtiče, ki smo jih za 1 uro postavili v sušilnik s temperaturo 105 °C, jih ohladili ter stehali z laboratorijsko tehtnico Mettler Toledo XS (slika 15a) na 3 decimalna mesta natančno. Iz prahovk smo v tehtiče zatehtali 1 g vlažnega lesnega prahu (slika 15 b). Tehtiče s preizkušanci smo nato za 24 ur postavili v sušilnik s temperaturo 105 °C, kjer se je lesni prah osušil do absolutno suhega stanja. Po končanem sušenju smo tehtiče prestavili v eksikator, kjer so se ohladili in jih nato ponovno stehali. Na ta način smo pridobili podatke o masi preizkušanca v absolutno suhem stanju.



Slika 15: a) tehtnica Mettler Toledo XS in b) tehtiči z lesnim prahom.

Delež suhe snovi smo določili po enačbah:

$$s.s. = \frac{m_{abs.s.l.}}{m_{vl}} \cdot 100\%, \quad \dots(12)$$

kjer je:

s.s. ... suha snov

$m_{abs.s.l.}$... masa absolutno suhega lesa (g)

m_{vl} ... masa vlažnega lesa (g)

Podatke o deležu suhe snovi smo uporabili tudi za določitev mase preizkušanca v absolutno suhem stanju:

$$dw = m_4 \cdot s.s., \quad \dots (13)$$

kjer je:

dw ... masa absolutno suhega lesa celotnega preizkušanca (g)

m_4 ... masa preizkušanca pred ekstrakcijo (g).

3.4.3 Priprava preizkušancev in materiala za ekstrakcijo ter izvedba ekstrakcije po Soxhletu

Celulozne tulce (slika 16) smo ustrezno označili, vanje vstavili vato, jih stehali ter jih dali za 1 uro v sušilnik s temperaturo 105 °C. Po končanem sušenju smo tulce ohladili v eksikatorju. Tulce z vato smo nato stehali, jim odstranili vato, vanje zatehtali še 2,5 g lesnega prahu ter jih ponovno zaprli z vato. Tulce s preizkušanci smo takoj po tehtanju vstavili v eksikator. S tem smo preprečili njihovo navlaževanje in posledično povečevanje teže.



Slika 16: Celulozni tulci, ki smo jih uporabili za ekstrakcijo.

3.4.3.1 Ekstrakcija preizkušancev po Soxhletu

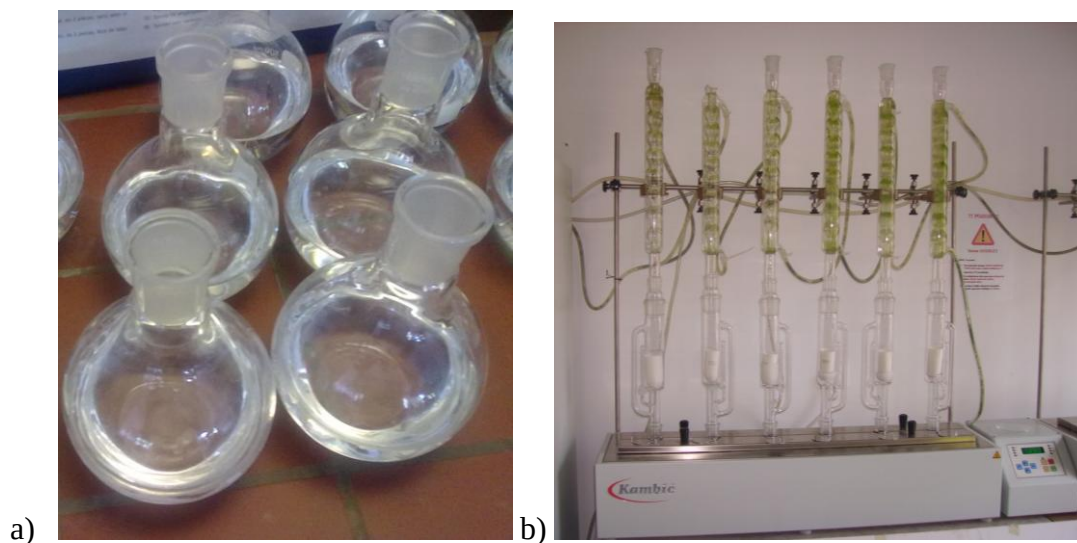
Ekstrakcijski aparat Soxhlet je leta 1879 izumil Franz von Soxhlet. Ta je bil najprej načrtovan za ekstrakcijo lipidov iz trdnih materialov, vendar se je kasneje izkazalo, da ni omejen samo za to vrsto ekstrakcije. Aparat (slika 18) deluje tako, da v bučko najprej nalijemo želeno topilo, ki ga segrevamo s pomočjo grelnika. Topilo izpareva, hlapi pa potujejo po cevki (rumene puščice) do hladilnika, ki se hladi z mrzlo vodo. Ti hlapi (zelene kapljice) se nato kondenzirajo in padejo na preizkušanec (rdeča barva), iz katerega se izpirajo topne snovi. Ko topilo doseže najvišjo višino, steče nazaj (zelene puščice) v

stekleno bučo. Če je vretje premočno, nastane fluks, ki topilu onemogoči doseganje maksimalne višine, zato ta steče nazaj.

Za ekstrakcijo lesnih preizkušancev smo uporabili dve različni topili, in sicer cikloheksan (C_6H_{12} - brezbarvno nepolarno topilo z značilnim vonjem in lahko gorljivo), ter zmes acetona (C_3H_6O - polarno brezbarvno topilo) in vode.

Preizkušance smo ekstrahirali zaporedno, najprej s cikloheksanom, zatem pa še z zmesjo acetona in vode. Ker lahko v laboratoriju naenkrat ekstrahiramo le 12 preizkušancev, smo tako najprej pripravili 12 steklenih bučk (slika 17a), v katere smo nalili 250 ml cikloheksana, v vsako dodali še po 3 vrelnе kamenčke, v ekstraktorje vstavili celulozne tulce s preizkušanci in sestavili aparaturο za Soxhletovo ekstrakcijo (slika 17b). Postopek se je izvajal 4 ure pri temperaturi 125 °C. Po končani ekstrakciji smo razdrli aparaturο. Iz vsake steklene bučke smo s pipeto odvzeli 20 ml ekstrakta ter ga dali v predhodno označene in stehtane epruvete. Te smo nato za 24 ur postavili v sušilnik s temperaturo 105°C. Prav tako smo iz bučk v steklene čaše nalili še po 50 ml ekstrakta, kar smo shranili v zamrzovalnik. Preostali del topila smo zavrgli med odpadna topila.

Vso aparaturο smo očistili in ekstrakcijo nadaljevali z zmesjo acetona in vode. Zmes smo pripravili tako, da smo v steklene bučke nalili 95% acetona in 5 % vode (v/v). Tudi tukaj je postopek trajal 4 ure pri temperaturi 125 °C. Tudi pri tem topilu smo po končani ekstrakciji s pipeto v stehtane in označene epruvete odmerili 20 ml ekstrakta ter jih postavili v sušilnik s temperaturo 105°C za 24 ur. 50 ml ekstrakta pa smo nalili v steklene čaše, ki smo jih shranili v zamrzovalnik. Preostanek topila pa smo shranili v prahovke za nadaljnje raziskave. Oba postopka smo uporabili za vseh 36 preizkušancev.

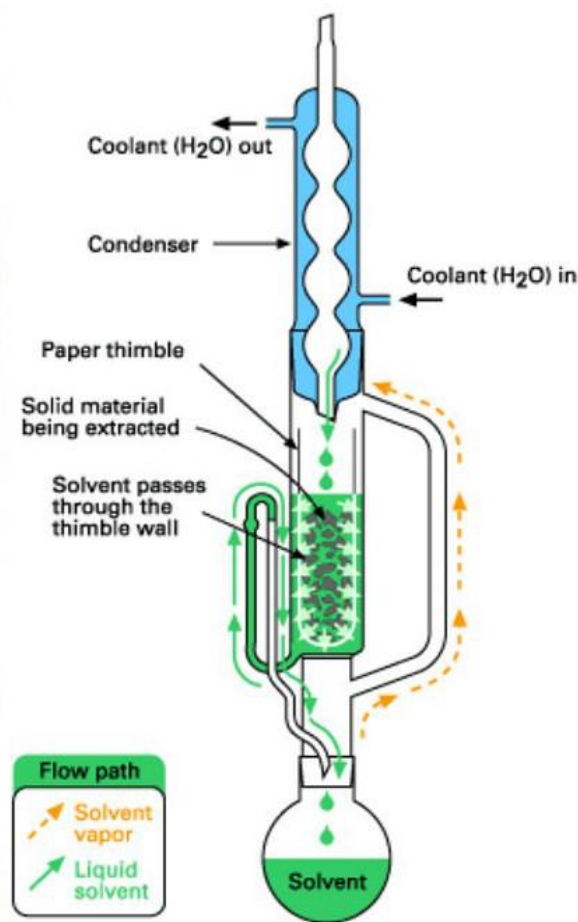


Slika 17: a) steklene bučke, v katere smo nalili 250 ml topila in b) sestavljena aparatura za ekstrakcijo po Soxhletu.

Določili smo delež ekstrahiranih snovi v zmesi acetona in vode. Podatke o masah suhega ostanka smo pridobili s tehtanjem epruvet po sušenju, kamor smo pred tem nalili po 20 ml določenega ekstrakta.

Delež ekstrahiranih snovi v določenem topilu smo določili kot razliko med maso epruvete s suhim ostankom ekstrakta po sušenju v sušilniku pri temperaturi 105°C (m_6) in času sušenja 24 ur in med maso prazne epruvete (m_7):

$$\text{delež ekstrahiranih snovi v topilu} = m_6 - m_7 . \quad \dots(14)$$



Slika 18: Soxhletova aparatura (www.cremonatools.com, 2014).

3.5 POSTOPEK DOLOČANJA VSEBNOSTI CELOKUPNIH FENOLOV

Za določitev vsebnosti celokupnih fenolov smo uporabili raztopino FC (Folin-Ciocalteu), raztopino natrijevega karbonata (Na_2CO_3), ekstrakt preučevane lesne vrste in monohidrat galne kisline. Vsebnost celokupnih fenolov smo določili po Folin-Ciocalteu-jevi metodi Z UV-VIS spektrofotometrom (Vek s sod., 2010a). Pred tem smo ustrezno pripravili raztopine za izvedbo metode.

3.5.1 Priprava raztopine Folin-Ciocalteu reagenta in vodne raztopine natrijevega karbonata

V razmerju 1:9 (v/v) smo pripravili vodno raztopino FC reagenta in sicer tako, da smo zmešali 10 mL FC reagenta in 90 mL destilirane vode.

Vzporedno s pripravo FC raztopine, smo pripravili tudi vodno raztopino natrijevega karbonata (Na_2CO_3). V 100 mL merilno bučko smo zatehtali 7,5 g Na_2CO_3 ter do oznake 100 mL na merilni bučki dolili destilirano vodo. Vse smo dobro premešali ter tako dobili raztopino natrijevega karbonata s koncentracijo 75 g/L.

3.5.2 Priprava standardnih raztopin galne kisline

Za standardno raztopino smo uporabili monohidrat galne kisline. V 500 mL merilno bučko smo zatehtali 0,2765 g monohidrata galne kisline ter do oznake 500 mL na merilni bučki dolili destilirano vodo (osnovna raztopina – OR).

Za določitev 7- točkovne umeritvene krivulje smo pripravili različne koncentracije monohidrata galne kisline in aceton, ki smo ga redčili z destilirano vodo (slepi preizkušaneec).

Koncentracije monohidrata galne kisline:

1. 500 mg/L: zgoraj opisana osnovna raztopina galne kisline;
2. 250 mg/L: odvzeli smo 5 mL osnovne raztopine monohidrata galne kisline in dodali 5 mL destilirane vode;
3. 125 mg/L: odvzeli smo 5 mL osnovne raztopine monohidrata galne kisline in dodali 15 mL destilirane vode;
4. 100 mg/L: odvzeli smo 5 mL osnovne raztopine monohidrata galne kisline in dodali 20 mL destilirane vode;
5. 50 mg/L: odvzeli smo 5 mL osnovne raztopine monohidrata galne kisline in dodali 45 mL destilirane vode;
6. 25 mg/L: odvzeli smo 5 mL osnovne raztopine monohidrata galne kisline in dodali 95 mL destilirane vode

7. 12,5 mg/L: odvzeli smo 5 mL monohidrata galne kisline s koncentracijo 25 mg/L in dodali 5 mL destilirane vode.

Prav tako smo pripravili še slepi preizkušane. Uporabili smo aceton, ki smo ga zmešali z destilirano vodo v razmerju 95:5 (v/v). To je zmes topila, ki smo ga uporabili pri ekstrakciji preizkušancev.

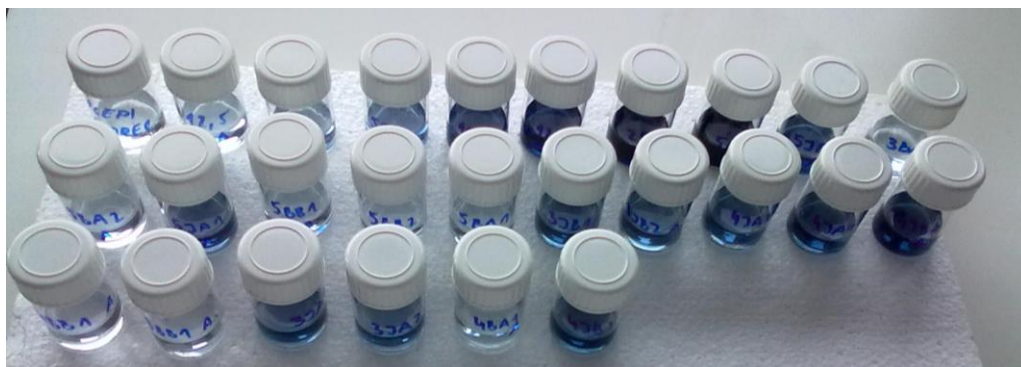
3.5.3 Priprava preizkušancev za spektrofotometrične meritve

Iz zamrzovalnika smo vzeli preizkušance, ki smo jih dobili pri ekstrakciji z acetonom in vodo. Iz vsake stekleničke smo s pipeto odvzeli po 0,5 mL preizkušanca ter dali v za to posebej pripravljene in označene stekleničke (slika 19).



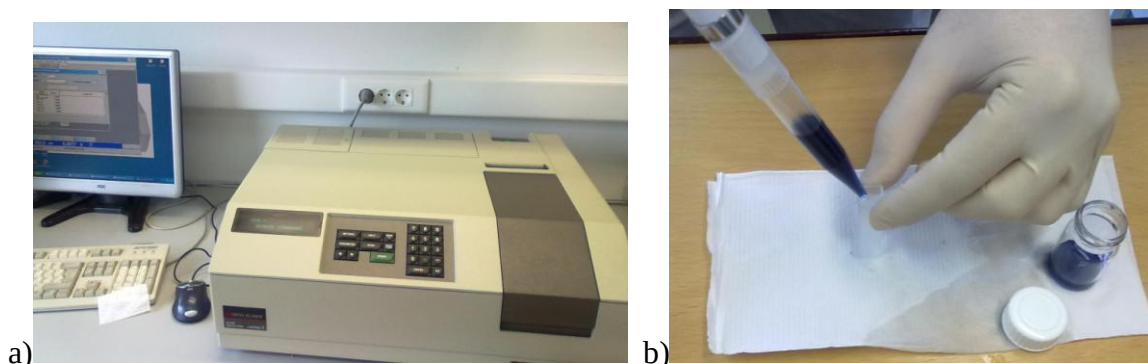
Slika 19: Preizkušanci pripravljeni za pipetiranje.

V preizkušance smo zatem dodali še 2,5 mL raztopine FC reagenta ter 2,0 mL raztopine natrijevega karbonata s koncentracijo 75 g/L. Po končanem pipetiranju smo preizkušance premešali ter jih pokrili. Sledila je dvourni inkubacija (slika 20).



Slika 20: Reakcijska zmes preizkušancev po končani inkubacijski dobi.

Po končani inkubaciji smo z UV-VIS spektrofotometrom Perkin-Elmer Lambda 2 (slika 21a) določili absorbance preizkušancev pri valovni dolžini 765 nm. Uporabili smo kvarčne kivete (slika 21b) z 10 mm optične poti. Slep preizkušanelec (zmes acetona in vode v razmerju 95:5 (v/v)) smo uporabili kot referenčni preizkušanelec. Vsebnost celokupnih fenolov v preizkušancih smo določili na osnovi absorbance A_{765} .



Slika 21: a) UV-VIS spektrofotometer Perkin-Elmer Lambda 2 in b) pipetiranje preizkušanca po inkubaciji v kvarčno kiveto.

Na podlagi enačbe premice regresijskega modela (slika 45, str. 79) smo izračunali masno koncentracijo celokupnih fenolov (γ) v acetonskih ekstraktih (mg/L):

$$\gamma \left[\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] = \frac{\text{absorbanca} - 0,0675}{0,0096} \quad \dots(15)$$

Na podlagi izračunanih masnih koncentracij celokupnih fenolov smo izračunali vsebnost celokupnih fenolov. Pri tem smo upoštevali volumen topila (L) pri ekstrakciji in maso vzorca v absolutno suhem stanju (mg):

$$\text{Vsebnost celokupnih fenolov} \left[\frac{\text{mg}}{\text{g}} \text{ lesa} \right] = \frac{\gamma \cdot 0,250}{dw} \quad \dots(16)$$

$$c = \frac{\gamma \cdot V}{m} = \frac{\gamma \left[\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] \cdot 0,250L}{dw[\text{g}]} \quad \dots(17)$$

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 MAKROSKOPSKE IN MIKROSKOPSKE ZNAČILNOSTI RDEČEGA BORA

4.1.1 Primerjava beljave in jedrovine na makroskopskem nivoju

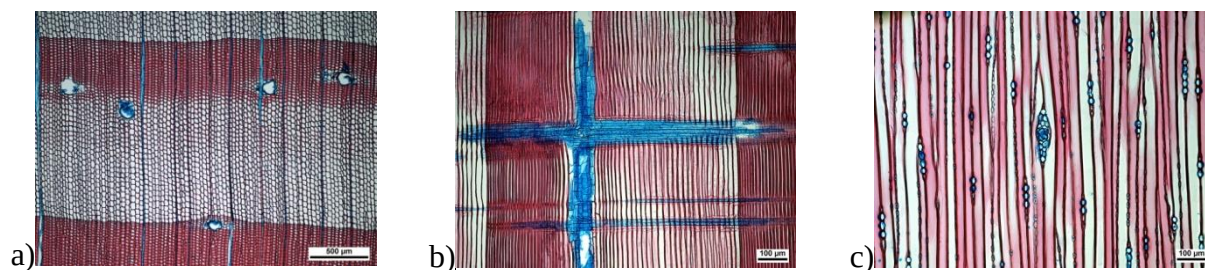
Na sliki 22 je prikazan prečni presek koluta drevesa št. 4. S prostim očesom je mogoče enostavno razločiti med beljavo in jedrovino. Takoj po razrezu hlodovine je bila jedrovina svetlejše barve kot beljava, kar je posledica manjše vlažnosti jedrovine. V nekaj dneh po razrezu je beljava postala svetlejša, jedrovina pa značilno temnejše rdečerjave barve in se je tako jasno razlikovala od beljave. Z vidika vseh nadaljnjih poizkusov je potrebno izpostaviti še, da se geometrija (tangencialni potek) branik v perifernih delih lesa (beljave) razlikuje od geometrije branik v osrednjem (jedrovinskem) delu drevesnega debla (primer na sliki 36, str. 63).



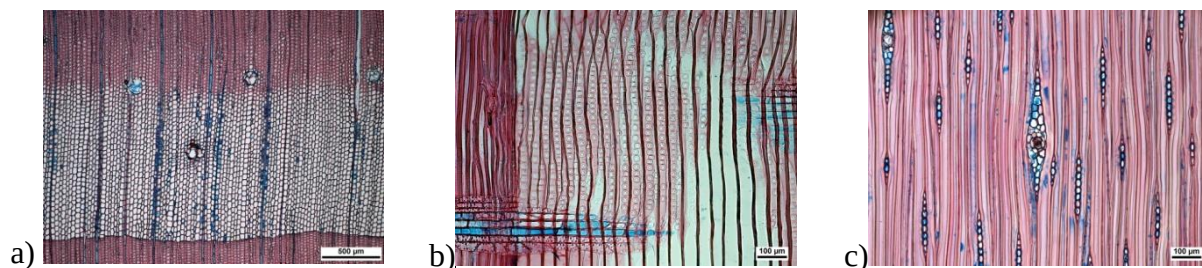
Slika 22: Prečni prerez koluta drevesa št. 4.

4.1.2 Primerjava beljave in jedrovine na mikroskopskem nivoju

Na mikroskopskem nivoju so razlike med beljavo in jedrovino manj izrazite. Preizkušanci so bili obarvani z mešanico safranin rdečega in astra modrega barvila. Preliminarni pregled preizkušancev je razkril, da je na preizkušancih beljave prisotnih več modro obarvanih celic in tkiv (sliki 23 in 24). Modro barvilo je bilo prisotno predvsem v lumnih celic na območju radialnih in aksialnih smolnih kanalov ter na območju trakov.



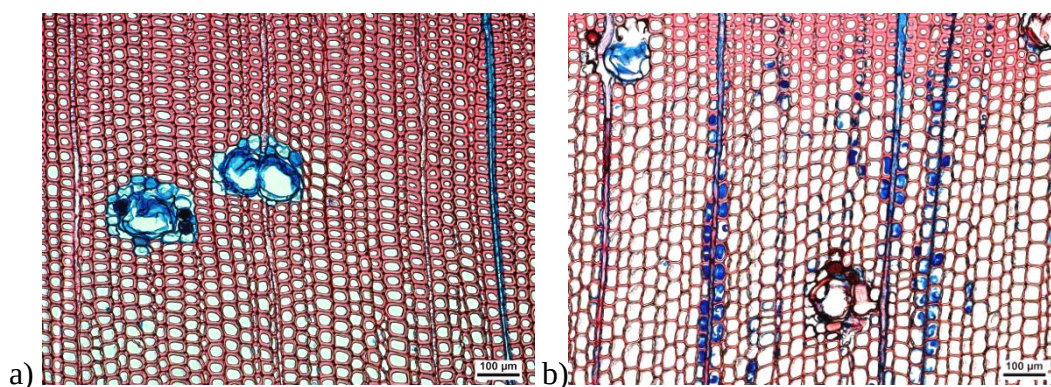
Slika 23: Rdeči bor (*Pinus sylvestris*); beljava: a) prečni, b) radialni in c) tangencialni prerez.



Slika 24: Rdeči bor (*Pinus sylvestris*); jedrovina: a) prečni, b) radialni in c) tangencialni prerez.

Na prečnem prerezu so jasno razločni kompleksi aksialnih smolnih kanalov (sliki 23a in 24a). Vsebina celic smolnega kanala v beljavi je obarvana modro. Tudi pregled tkiv na radialnem prerezu je pokazal intenzivnejšo modro obarvanost pri beljavi (trakovne parenhimske celice in aksialni smolni kanali) (sliki 23b in 24b).

Podrobnejši pregled prečnih prerezov je razkril dve očitni razliki med beljavo in jedrovino (slika 25).



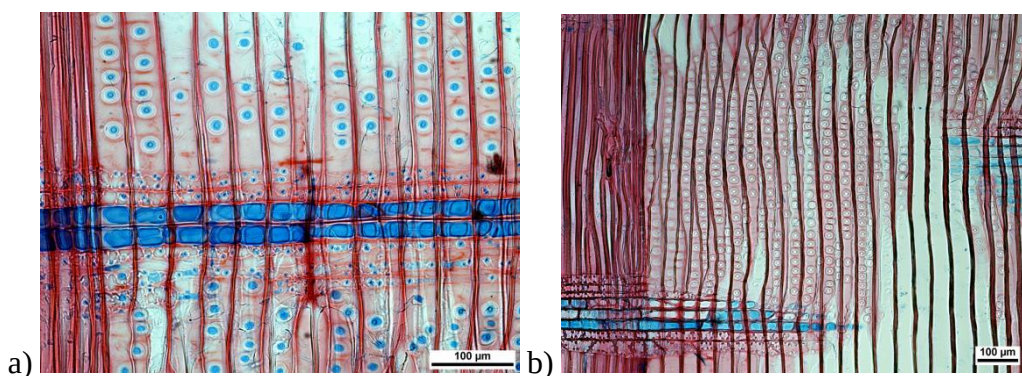
Slika 25: Prečni prerez: a) beljava in b) jedrovina.

Na sliki 25 so prikazani aksialni smolni kanali v prečnem prerezu beljave (slika 25a) in jedrovine (slika 25b). Anatomija aksialnih smolnih kanalov beljave in jedrovine je nekoliko spremenjena. V beljavi so celične stene epitelnih celic tanke in obarvane modro,

prav tako so modro obarvani lumni celic oz. njihova vsebina. V jedrovini (slika 25b) so celične stene epitelnih celic debelejšje in obarvane rdeče, kar nakazuje na pozitivno reakcijo z barvilom safranin. Rdeče obarvanje nakazuje na pojav spojin s fenolnim karakterjem, bodisi lignina ali ostalih fenolnih spojin.

Na prečnem prerezu jedrovine, občasno v traheidah v neposredni bližini trakov (slika 25b), zasledimo modro obarvana tkiva. Ta tkiva predstavljajo bodisi izločke parenhimskih celic trakov ali pa izrastke sten parenhimskih celic v lumne sosednjih traheid. Slednja opažanja se skladajo s podatki, o katerih poročajo Oven in sod. (2000).

Podroben pregled radialnega prereza prav tako pokaže določene razlike med beljavo in jedrovino (slika 26).



Slika 26: Radialni prerez: a) beljava in b) jedrovina.

Pri beljavi (slika 26a) so lepo vidni vsi torusi obokanih pikenj (torusi med aksialnimi traheidami ter torusi manjših pikenj med aksialnimi in trakovnimi traheidami). Na območju beljave so bili namreč vsi torusi obarvani intenzivno modro. Pri jedrovini (slika 26b) teh obarvanj torusov nismo opazili. Intenzivno modro obarvanje je prav tako prisotno na trakovnih parenhimskih celicah in v oknastih križnih poljih v beljavi. Pregled radialnega prereza jedrovine ni pokazal modrega obarvanja torusov, znatno (in izrazito manj kot v beljavi) so bile obarvane trakovne parenhimske celice.

Pojav opazovanih in opisanih razlik na anatomskem nivoju med beljavo in jedrovino pripisujemo procesom ojedritve.

4.2 DIMENZIJSKA STABILNOST BELJAVE IN JEDROVINE RDEČEGA BORA

Vsi izračuni, predstavljeni v poglavju Rezultati, so bili opravljeni na meritvah vzorcev serije F in G. Vzorci beljave in jedrovine serije F so bili izpostavljeni pogojem adsorpcije in vzorci serije G pogojem desorpcije. Rezultati meritev na vzorcih ostalih serij (C, D in E) so shranjeni za morebitne nadaljnje izračune.

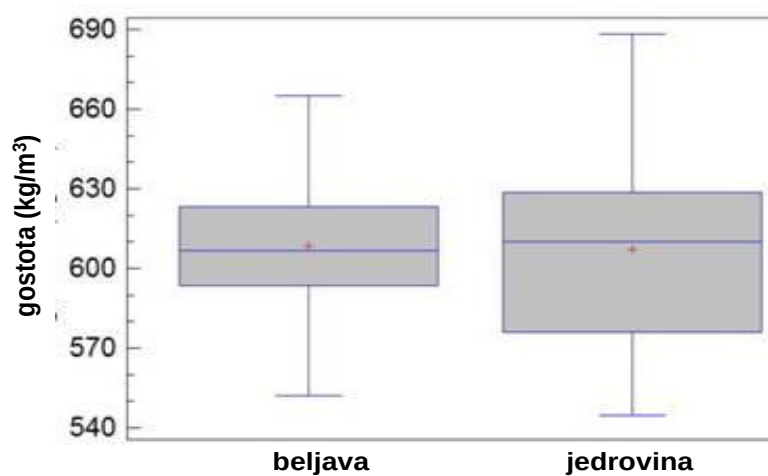
4.2.1 Gostota vzorcev

Izračunana je bila gostota beljave in jedrovine v absolutno suhem stanju. V preglednici 7 so podatki meritev z osnovnimi statističnimi kazalniki. Kljub temu, da sorpcijska zgodovina preizkušancev nima vpliva na gostoto v absolutno suhem stanju, so podatki v preglednicah ločeni za beljavo in jedrovino zaradi lažje primerjave rezultatov v nadaljevanju študije. Iz preglednice 7 tako razberemo, da je bila povprečna gostota v absolutno suhem stanju beljave pri preizkušancih serije F 609 kg/m^3 s standardnim odklonom 32,4; pri vzorcih serije G pa 608 kg/m^3 s standardnim odklonom 33,3. Povprečna gostota jedrovine v absolutno suhem stanju pa je bila pri preizkušancih serije F 610 kg/m^3 s standardnim odklonom 37,7, pri vzorcih serije G pa 604 kg/m^3 s standardnim odklonom 35,2.

Preglednica 7: Gostota posameznih preizkušancev beljave in jedrovine serij F in G v absolutno suhem stanju.

Zap. št.	Beljava				Jedrovina			
	Preizkušanec	$\rho(\text{kg/m}^3)$	Preizkušanec	$\rho(\text{kg/m}^3)$	Preizkušanec	$\rho(\text{kg/m}^3)$	Preizkušanec	$\rho(\text{kg/m}^3)$
1	1BA1F	608	1BA1G	608	1JA1F	626	1JA1G	623
2	1BB1F	594	1BB1G	598	1JA2F	583	1JA2G	583
3	2BA1F	654	2BA1G	664	1JB1F	609	1JB1G	611
4	2BB1F	633	2BB1G	621	1JB2F	569	1JB2G	566
5	3BA1F	594	3BA1G	594	2JA1F	643	2JA1G	640
6	3BB1F	610	3BB1G	608	2JA2F	635	2JA2G	601
7	4BA1F	597	4BA1G	593	2JB1F	688	2JB1G	682
8	4BB1F	552	4BB1G	561	2JB2F	576	2JB2G	571
9	5BA1F	598	5BA1G	600	3JA1F	675	3JA1G	664
10	5BA2F	665	5BA2G	663	3JA2F	554	3JA2G	552
11	5BB1F	651	5BB1G	654	3JB1F	641	3JB1G	639
12	5BB2F	620	5BB2G	623	3JB2F	575	3JB2G	576
13	6BA1F	590	6BA1G	579	4JA1F	622	4JA1G	609
14	6BB1F	557	6BB1G	552	4JA2F	612	4JA2G	602
15	6BB2F	610	6BB2G	606	4JB1F	611	4JB1G	602
16					4JB2F	565	4JB2G	565
17					5JA1F	617	5JA1G	604
18					5JB1F	629	5JB1G	628
19					6JA1F	630	6JA1G	628
20					6JA2F	545	6JA2G	548
21					6JB1F	628	6JB1G	623
22					6JB2F	579	6JB2G	577
Povprečje		609		608		610		604
Maks		665		664		688		682
Min		552		552		545		548
STDEV		32,4		33,3		37,7		35,2
KV (%)		5,3		5,5		6		5,8

Primerjava gostot beljave in jedrovine v absolutno suhem stanju je grafično prikazana na sliki 27.



Slika 27: Primerjava povprečnih vrednosti gostot beljave in jedrovine v absolutno suhem stanju. Analiza vključuje podatke iz serij F in G.

Kljub temu, da v fazi ojedritve nastajajo nizko-molekularne jedrovinske snovi, ki se vežejo v celično steno, pa je očitno sama variabilnost gostote lesa znotraj beljave in jedrovine večja, kot pa je vpliv sprememb, ki se zgodijo v fazi ojedritve pri rdečem boru.

4.2.2 Vlažnost svežega lesa

Preglednica 8 prikazuje vlažnost svežih vzorcev beljave in jedrovine serij F in G.

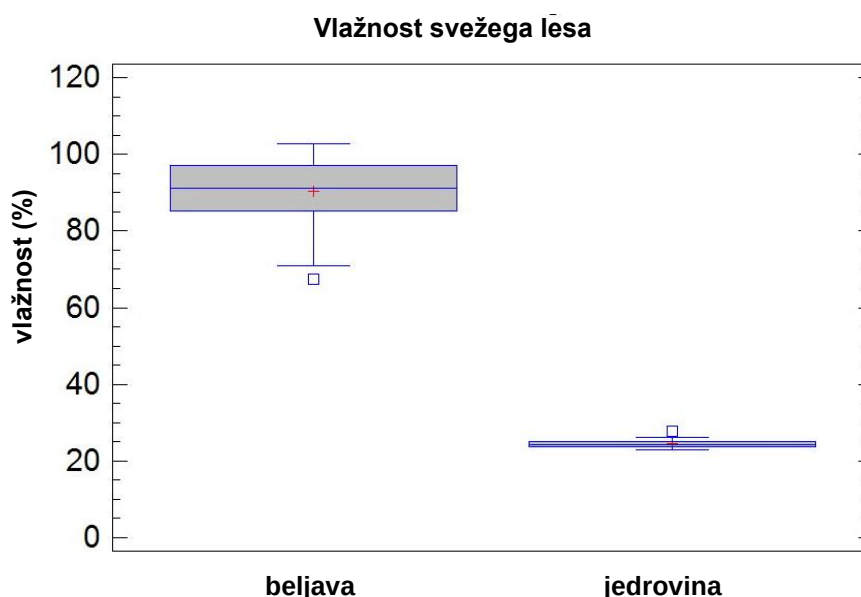
Preglednica 8: Vlažnost svežih vzorcev beljave in jedrovine serij F in G.

Zap. št.	Beljava				Jedrovina			
	Preizkušanec	<i>u (sveže)</i>	Preizkušanec	<i>u (sveže)</i>	Preizkušanec	<i>u (sveže)</i>	Preizkušanec	<i>u (sveže)</i>
1	1BA1F	86,8%	1BA1G	87,0%	1JA1F	24,7%	1JA1G	24,0%
2	1BB1F	94,0%	1BB1G	92,5%	1JA2F	24,1%	1JA2G	24,4%
3	2BA1F	70,8%	2BA1G	67,3%	1JB1F	23,9%	1JB1G	22,8%
4	2BB1F	81,5%	2BB1G	81,5%	1JB2F	26,1%	1JB2G	25,3%
5	3BA1F	99,9%	3BA1G	100,2%	2JA1F	25,0%	2JA1G	24,0%
6	3BB1F	91,9%	3BB1G	91,5%	2JA2F	27,9%	2JA2G	26,1%
7	4BA1F	90,7%	4BA1G	91,4%	2JB1F	24,3%	2JB1G	24,0%
8	4BB1F	100,2%	4BB1G	98,8%	2JB2F	24,2%	2JB2G	24,2%
9	5BA1F	99,2%	5BA1G	97,2%	3JA1F	25,3%	3JA1G	23,7%
10	5BA2F	83,8%	5BA2G	81,2%	3JA2F	25,7%	3JA2G	25,1%
11	5BB1F	85,3%	5BB1G	84,2%	3JB1F	24,8%	3JB1G	24,5%
12	5BB2F	88,7%	5BB2G	86,5%	3JB2F	25,1%	3JB2G	24,5%
13	6BA1F	97,1%	6BA1G	96,8%	4JA1F	23,4%	4JA1G	23,1%
14	6BB1F	101,0%	6BB1G	102,7%	4JA2F	24,6%	4JA2G	24,2%
15	6BB2F	90,9%	6BB2G	90,3%	4JB1F	24,4%	4JB1G	23,1%
16					4JB2F	24,8%	4JB2G	23,8%
17					5JA1F	23,8%	5JA1G	23,4%
18					5JB1F	23,8%	5JB1G	24,0%
19					6JA1F	24,6%	6JA1G	23,8%
20					6JA2F	25,3%	6JA2G	24,1%
21					6JB1F	23,6%	6JB1G	23,5%
22					6JB2F	25,4%	6JB2G	24,9%
Povprečje		90,8%		89,9%		24,8%		24,1%
Maks		101,0%		102,7%		27,9%		26,1%
Min		70,8%		67,3%		23,4%		22,8%
STDEV		0,084		0,091		0,010		0,008
KV (%)		9,2		10,2		4,0		3,2

Povprečna vlažnost svežih preizkušancev beljave je bila med 89,9 % in 90,8 % s standardnim odklonom med 0,084 in 0,091. Povprečna vlažnost svežih preizkušancev jedrovine pa je znašala med 24,1 % in 24,8 % s standardnim odklonom med 0,08 in 0,010.

Prevajalna vloga sekundarnega ksilema, ki prevaja vodo iz korenin v krošnjo, se v živem drevesu odraža kot porazdelitev vode. Prav tako svež les tudi po poseku vsebuje veliko količino vode, ki preprečuje njegovo takojšnjo uporabo, zato je sušenje prva in nujna faza predelave lesa v končne izdelke. Vlažnost beljave se povečuje z radijem, proti meji z jedrovino pa upada, sredica pa se vse bolj izsušuje (Gorišek, 2005).

S slike 28 je razvidno, da ima jedrovina rdečega bora v svežem stanju bistveno manjšo vlažnost kot beljava.



Slika 28: Primerjava vlažnosti svežega lesa beljave in jedrovine.

4.2.3 Celotni prostorninski skrčec in nabrek

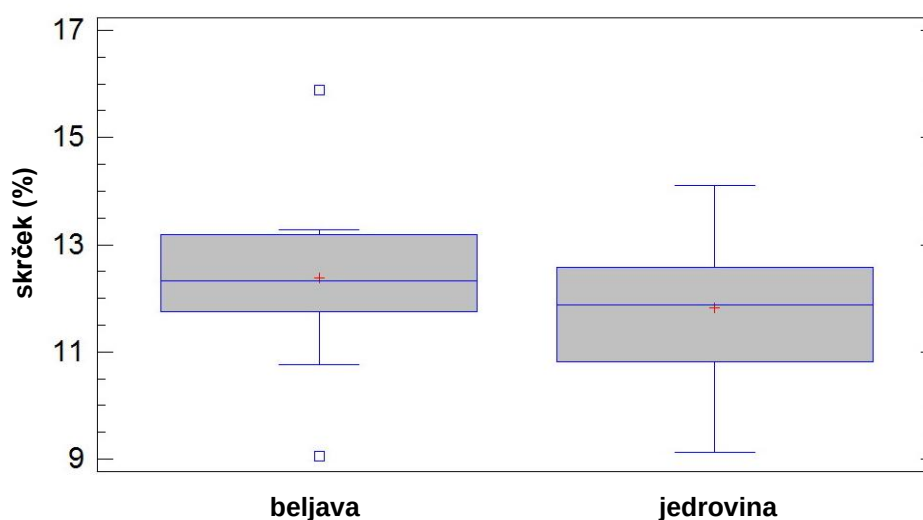
Celotni (totalni) prostorninski skrčec nam pove spremembo volumna od svežega do absolutno suhega stanja glede na dimenzije pred krčenjem, v svežem stanju, ko je vlažnost lesa nad točko nasičenja celičnih sten (Gorišek, 2005).

Preglednica 9: Celotni prostorninski skrček (β_v) posameznih preizkušancev beljave in jedrovine serij F in G.

Zap. št.	Beljava				Jedrovina			
	Preizkušanec	β_v	Preizkušanec	β_v	Preizkušanec	β_v	Preizkušanec	β_v
1	1BA1F	12,1%	1BA1G	11,6%	1JA1F	10,0%	1JA1G	10,7%
2	1BB1F	11,0%	1BB1G	12,5%	1JA2F	12,4%	1JA2G	9,8%
3	2BA1F	12,5%	2BA1G	7,7%	1JB1F	12,0%	1JB1G	11,5%
4	2BB1F	13,2%	2BB1G	15,9%	1JB2F	13,0%	1JB2G	12,5%
5	3BA1F	12,9%	3BA1G	13,3%	2JA1F	13,9%	2JA1G	13,5%
6	3BB1F	13,1%	3BB1G	13,2%	2JA2F	11,2%	2JA2G	10,8%
7	4BA1F	12,1%	4BA1G	11,5%	2JB1F	13,2%	2JB1G	12,3%
8	4BB1F	9,1%	4BB1G	10,8%	2JB2F	10,8%	2JB2G	10,8%
9	5BA1F	12,1%	5BA1G	12,2%	3JA1F	13,3%	3JA1G	6,3%
10	5BA2F	12,0%	5BA2G	11,2%	3JA2F	12,3%	3JA2G	12,1%
11	5BB1F	11,9%	5BB1G	11,7%	3JB1F	14,1%	3JB1G	12,6%
12	5BB2F	12,1%	5BB2G	12,0%	3JB2F	11,7%	3JB2G	11,6%
13	6BA1F	13,2%	6BA1G	10,8%	4JA1F	12,5%	4JA1G	12,1%
14	6BB1F	12,0%	6BB1G	11,7%	4JA2F	12,1%	4JA2G	11,6%
15	6BB2F	13,2%	6BB2G	12,6%	4JB1F	12,5%	4JB1G	11,5%
16					4JB2F	11,0%	4JB2G	10,8%
17					5JA1F	11,5%	5JA1G	9,1%
18					5JB1F	10,7%	5JB1G	9,9%
19					6JA1F	12,7%	6JA1G	12,0%
20					6JA2F	10,3%	6JA2G	10,1%
21					6JB1F	13,4%	6JB1G	12,8%
22					6JB2F	13,7%	6JB2G	13,5%
Povprečje		12,2%		11,9%		12,2%		11,3%
Maks		13,2%		15,9%		14,1%		13,5%
Min		9,1%		7,7%		10,0%		6,3%
STDEV		0,011		0,017		0,012		0,016
KV (%)		8,80		14,5		9,8		14,3

Povprečni celotni prostorninski skrček beljave pri vzorcih serije F je bil 12,2 %, pri preizkušancih serije G pa 11,9 %. Celotni prostorninski skrček jedrovine pri preizkušancih serije F je prav tako znašal 12,2 %, pri vzorcih serije G pa 11,3 %. Iz izračunanih vrednosti lahko sklepamo, da je krčenje beljave in jedrovine primerljivo.

Grafični prikaz primerjave celotnega prostorninskega skrčka beljave in jedrovine, serij F in G, je prikazan na sliki 29.



Slika 29: Primerjava celotnega prostorninskega skrčka beljave in jedrovine preizkušancev serij F in G.

Zaradi večje vsebnosti inkrustriranega stabilizirajočega lignina lahko trdimo, da je prostorninsko krčenje pri iglavcih bistveno manjše. Ima pa gostota najbolj značilen vpliv na radialno krčenje. Jedrovinske snovi pri redkejših lesovih imajo večji stabilizirajoč vpliv kot pri gostejših, kjer je gostota tista, ki prekrije učinek ojedritve na fizikalne lastnosti lesa (Gorišek, 2005).

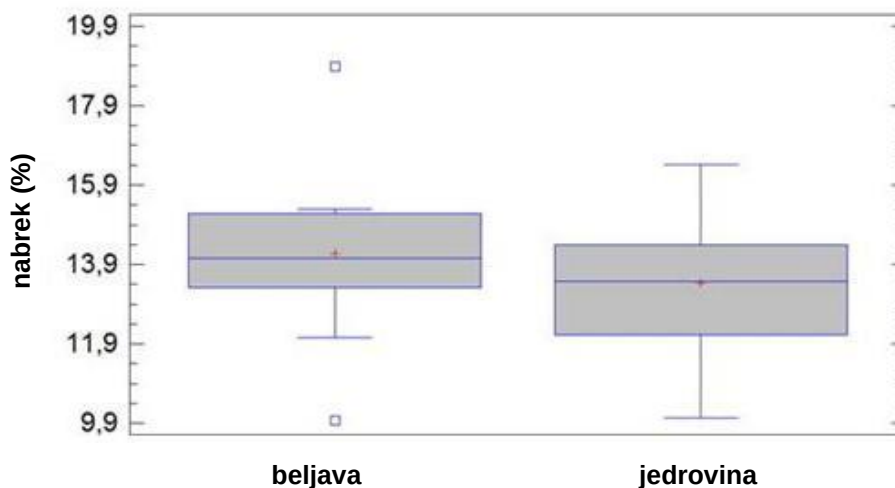
Podobne zaključke lahko potegnemo iz rezultatov meritev celotnega prostorninskega nabreka (preglednica 10). Celoten prostorninski nabrek pomeni povečanje dimenzij lesa glede na dimenzije v sušilnično (absolutno) suhem stanju (Gorišek, 2005).

Povprečna vrednost celotnega prostorninskega nabreka beljave pri preizkušancih serije F je znašala 13,9 %, pri preizkušancih serije G pa 13,6 %. Pri preizkušancih jedrovine je bila ta vrednost za preizkušance serije F 13,9 % in za preizkušance serije G 12,7 %. Povprečne vrednosti celotnega prostorninskega nabreka kažejo na to, da je nabrek beljave in jedrovine, izpostavljene adsorpciji (serija F), nekoliko manj variabilen kot pri

preizkušancih, izpostavljenih desorpciji (serija G). Primerjava prostorninskega nabreka med beljavo in jedrovino je grafično prikazana na sliki 30.

Preglednica 10: Celotni prostorninski nabrek (α_v) posameznih preizkušancev beljave in jedrovine serij F in G.

Zap. št.	Beljava				Jedrovina			
	Preizkušanec	α_v	Preizkušanec	α_v	Preizkušanec	α_v	Preizkušanec	α_v
1	1BA1F	13,8%	1BA1G	13,1%	1JA1F	11,1%	1JA1G	12,0%
2	1BB1F	12,4%	1BB1G	14,3%	1JA2F	14,1%	1JA2G	10,8%
3	2BA1F	14,3%	2BA1G	8,3%	1JB1F	13,6%	1JB1G	12,9%
4	2BB1F	15,2%	2BB1G	18,9%	1JB2F	14,9%	1JB2G	14,3%
5	3BA1F	14,8%	3BA1G	15,3%	2JA1F	16,2%	2JA1G	15,6%
6	3BB1F	15,0%	3BB1G	15,2%	2JA2F	12,6%	2JA2G	12,1%
7	4BA1F	13,8%	4BA1G	13,0%	2JB1F	15,3%	2JB1G	14,1%
8	4BB1F	10,0%	4BB1G	12,1%	2JB2F	12,1%	2JB2G	12,1%
9	5BA1F	13,8%	5BA1G	13,9%	3JA1F	15,3%	3JA1G	6,8%
10	5BA2F	13,6%	5BA2G	12,6%	3JA2F	14,0%	3JA2G	13,8%
11	5BB1F	13,6%	5BB1G	13,2%	3JB1F	16,4%	3JB1G	14,4%
12	5BB2F	13,7%	5BB2G	13,7%	3JB2F	13,3%	3JB2G	13,1%
13	6BA1F	15,3%	6BA1G	12,1%	4JA1F	14,3%	4JA1G	13,7%
14	6BB1F	13,6%	6BB1G	13,3%	4JA2F	13,7%	4JA2G	13,1%
15	6BB2F	15,2%	6BB2G	14,5%	4JB1F	14,3%	4JB1G	13,0%
16					4JB2F	12,3%	4JB2G	12,0%
17					5JA1F	13,0%	5JA1G	10,0%
18					5JB1F	11,9%	5JB1G	11,0%
19					6JA1F	14,6%	6JA1G	13,6%
20					6JA2F	11,4%	6JA2G	11,2%
21					6JB1F	15,5%	6JB1G	14,7%
22					6JB2F	15,8%	6JB2G	15,7%
Povprečje		13,9%		13,6%		13,9%		12,7%
Maks		15,3%		18,9%		16,4%		15,7%
Min		10,0%		8,3%		11,1%		6,8%
STDEV		0,014		0,022		0,015		0,020
KV (%)		9,8		16,4		11,1		15,7



Slika 30: Primerjava prostorninskega nabreka beljave in jedrovine preizkušancev serij F in G.

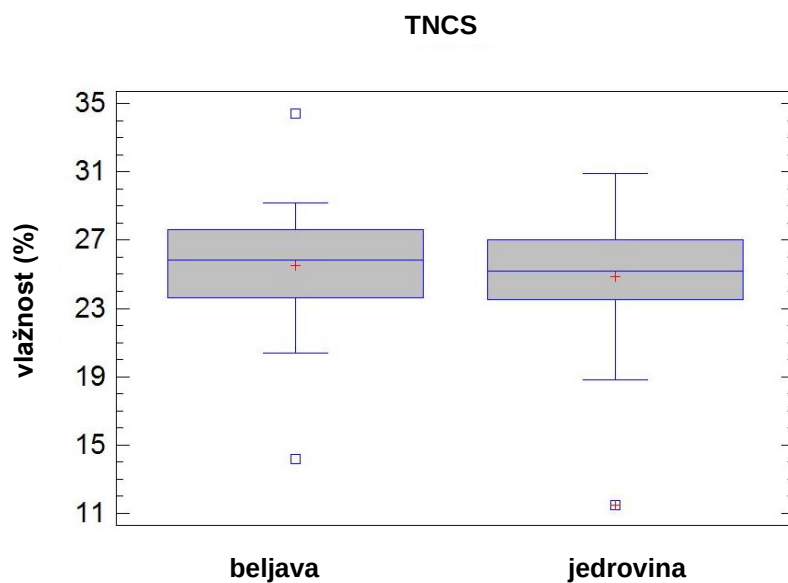
4.2.4 Vlažnost točke nasičenja celičnih sten

Povprečna vlažnost točke nasičenja celičnih sten preizkušancev beljave je bila pri F seriji 25,8 % s standardnim odklonom 0,024 in 25,3 % s standardnim odklonom 0,043 pri G seriji. Povprečna vrednost točke nasičenja celičnih sten pri jedrovini je bila 25,8 % s standardnim odklonom 0,027 pri seriji F in 23,9 % s standardnim odklonom 0,039 pri seriji G (preglednica 11). Primerjava vrednosti točke nasičenja celičnih sten je prikazana na sliki 31.

Vlažnost točke nasičenja celičnih sten predstavlja zgornjo mejo higroskopskega območja. To je območje tesne odvisnosti med fizikalnimi in mehanskimi lastnostmi ter lesno vlažnostjo (Gorišek, 2009).

Preglednica 11: Vlažnost TNCS beljave in jedrovine preizkušancev serij F in G.

Zap. št.	Beljava				Jedrovina			
	Preizkušanec	u_{tncs}	Preizkušanec	u_{tncs}	Preizkušanec	u_{tncs}	Preizkušanec	u_{tncs}
1	1BA1F	25,7%	1BA1G	24,4%	1JA1F	20,1%	1JA1G	21,8%
2	1BB1F	23,6%	1BB1G	27,1%	1JA2F	27,3%	1JA2G	21,0%
3	2BA1F	24,7%	2BA1G	14,2%	1JB1F	25,3%	1JB1G	24,0%
4	2BB1F	27,1%	2BB1G	34,4%	1JB2F	29,6%	1JB2G	28,5%
5	3BA1F	28,1%	3BA1G	29,1%	2JA1F	28,5%	2JA1G	27,6%
6	3BB1F	27,9%	3BB1G	28,3%	2JA2F	22,4%	2JA2G	22,8%
7	4BA1F	26,1%	4BA1G	24,8%	2JB1F	25,1%	2JB1G	23,3%
8	4BB1F	20,4%	4BB1G	24,4%	2JB2F	23,7%	2JB2G	24,0%
9	5BA1F	26,0%	5BA1G	26,1%	3JA1F	25,6%	3JA1G	11,5%
10	5BA2F	23,1%	5BA2G	21,5%	3JA2F	28,6%	3JA2G	28,2%
11	5BB1F	23,6%	5BB1G	22,9%	3JB1F	29,0%	3JB1G	25,4%
12	5BB2F	25,0%	5BB2G	24,8%	3JB2F	26,2%	3JB2G	25,6%
13	6BA1F	29,2%	6BA1G	23,5%	4JA1F	25,9%	4JA1G	25,4%
14	6BB1F	27,6%	6BB1G	27,1%	4JA2F	25,4%	4JA2G	24,6%
15	6BB2F	28,2%	6BB2G	27,0%	4JB1F	26,5%	4JB1G	24,3%
16					4JB2F	24,7%	4JB2G	24,1%
17					5JA1F	23,8%	5JA1G	18,8%
18					5JB1F	21,4%	5JB1G	19,9%
19					6JA1F	26,2%	6JA1G	24,6%
20					6JA2F	23,7%	6JA2G	23,1%
21					6JB1F	27,8%	6JB1G	26,7%
22					6JB2F	30,9%	6JB2G	30,7%
Povprečje		25,8%		25,3%		25,8%		23,9%
Maks		29,2%		34,4%		30,9%		30,7%
Min		20,4%		14,2%		20,1%		11,5%
STDEV		0,024		0,043		0,027		0,039
KV (%)		9,3		17,2		10,4		16,5



Slika 31: Primerjava vrednosti točke nasičenja celičnih sten med beljavo in jedrovino.

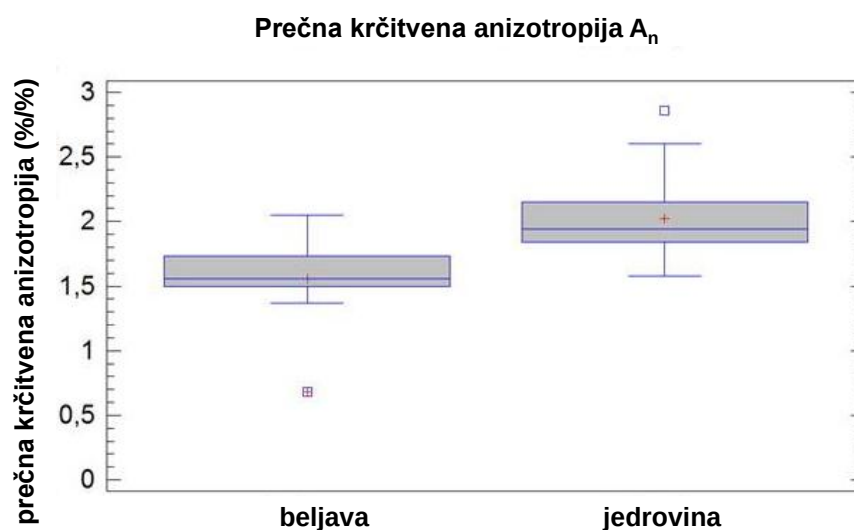
4.3 PREČNA KRČITVENA ANIZOTROPIJA

Povprečna vrednost prečne krčitvene anizotropije beljave je bila 1,69 s standardnim odklonom 0,21 pri preizkušancih F in 1,68 s standardnim odklonom 0,18 pri preizkušancih G. Povprečna izračunana vrednost prečne krčitvene anizotropije jedrovine pa je bila pri F preizkušancih 2,02 s standardnim odklonom 0,32 in 2,01 s standardnim odklonom 0,25 pri preizkušancih G (preglednica 12).

Preglednica 12: Vrednosti prečne krčitvene anizotropije preizkušancev beljave in jedrovine.

Zap. št.	Beljava				Jedrovina			
	Preizkušanec	A_n	Preizkušanec	A_n	Preizkušanec	A_n	Preizkušanec	A_n
1	1BA1F	1,56	1BA1G	1,59	1JA1F	2,86	1JA1G	1,96
2	1BB1F	2,06	1BB1G	1,67	1JA2F	2,12	1JA2G	2,35
3	2BA1F	1,37	2BA1G	1,57	1JB1F	1,85	1JB1G	1,84
4	2BB1F	1,54	2BB1G	1,56	1JB2F	2,14	1JB2G	2,04
5	3BA1F	1,61	3BA1G	1,53	2JA1F	1,92	2JA1G	2,03
6	3BB1F	1,52	3BB1G	1,41	2JA2F	2,08	2JA2G	2,56
7	4BA1F	1,42	4BA1G	1,47	2JB1F	1,67	2JB1G	1,90
8	4BB1F	1,71	4BB1G	1,57	2JB2F	2,23	2JB2G	2,27
9	5BA1F	1,92	5BA1G	2,00	3JA1F	1,76	3JA1G	1,76
10	5BA2F	1,83	5BA2G	1,87	3JA2F	2,12	3JA2G	2,03
11	5BB1F	1,61	5BB1G	1,71	3JB1F	1,58	3JB1G	1,70
12	5BB2F	2,05	5BB2G	1,75	3JB2F	1,78	3JB2G	1,83
13	6BA1F	1,63	6BA1G	1,58	4JA1F	1,77	4JA1G	1,70
14	6BB1F	1,77	6BB1G	2,00	4JA2F	2,00	4JA2G	2,06
15	6BB2F	1,82	6BB2G	1,85	4JB1F	1,74	4JB1G	1,90
16					4JB2F	2,60	4JB2G	2,15
17					5JA1F	2,25	5JA1G	1,85
18					5JB1F	2,43	5JB1G	2,59
19					6JA1F	1,74	6JA1G	1,77
20					6JA2F	2,02	6JA2G	1,91
21					6JB1F	1,84	6JB1G	1,85
22					6JB2F	1,85	6JB2G	2,20
Povprečje		1,69		1,68		2,02		2,01
Maks		2,06		2,00		2,86		2,59
Min		1,37		1,41		1,58		1,70
STDEV		0,21		0,18		0,32		0,25
KV (%)		12,47		10,99		15,74		12,57

Znano je dejstvo, da je prečna krčitvena anizotropija pri oblikovno stabilnejših vrstah manjša od 2, pri nestabilnih pa je večja. Na prečno krčitveno anizotropijo vplivajo anatomske in kemične razlike med radialnimi in tangencialnimi stenami vlaknastih celic, kar je bolj značilno za iglavce. Les listavcev na prečno krčitveno anizotropijo vpliva z anatomskimi, fizikalnimi in kemičnimi razlikami med posameznimi tkivi ali deli tkiv (Gorišek, 2009). S slike 32 je razvidno, da je prečna krčitvena anizotropija jedrovine višja kot je ta pri beljavi.



Slika 32: Grafična primerjava prečne krčitvene anizotropije beljave in jedrovine.

4.4 PRIMERJAVA KAZALNIKOV SORPCIJSKIH LASTNOSTI

4.4.1 Diferencialni nabrek

4.4.1.1 Diferencialni nabrek v radialni smeri

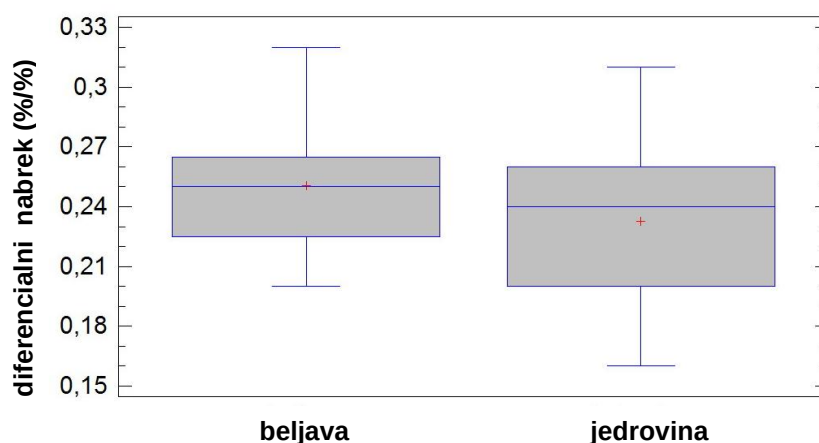
Diferencialni nabrek smo določali v kvazilinearnem območju relativne zračne vlažnosti med 20 in 87 %. V preglednici 13 so prikazane vrednosti diferencialnih nabrekov beljave in jedrovine v radialni smeri (q_r). Povprečna vrednost diferencialnega nabreka beljave v radialni smeri pri preizkušancih serije F (adsorpcija) je bila 0,27 s standardnim odklonom

0,03, pri preizkušancih serije G (desorpcija) pa 0,23 s standardnim odklonom 0,05. Povprečna vrednost diferencialnega nabreka jedrovine pri preizkušancih serije F je znašala 0,25 s standardnim odklonom 0,02; pri preizkušancih serije G pa 0,20 s standardnim odklonom 0,04.

Preglednica 13: Diferencialni nabrek (q_r) beljave in jedrovine v radialni smeri.

Zap. št.	Beljava				Jedrovina			
	Preizkušanec	q_r (%/%)	Preizkušanec	q_r (%/%)	Preizkušanec	q_r (%/%)	Preizkušanec	q_r (%/%)
1	1BA1F	0,26	1BA1G	0,27	1JA1F	0,27	1JA1G	0,22
2	1BB1F	0,25	1BB1G	0,23	1JA2F	0,25	1JA2G	0,20
3	2BA1F	0,30	2BA1G	0,29	1JB1F	0,25	1JB1G	0,23
4	2BB1F	0,31	2BB1G	0,22	1JB2F	0,27	1JB2G	0,20
5	3BA1F	0,28	3BA1G	0,23	2JA1F	0,26	2JA1G	0,29
6	3BB1F	0,32	3BB1G	0,20	2JA2F	0,24	2JA2G	0,16
7	4BA1F	0,29	4BA1G	0,24	2JB1F	0,27	2JB1G	0,20
8	4BB1F	0,25	4BB1G	0,21	2JB2F	0,21	2JB2G	0,16
9	5BA1F	0,25	5BA1G	0,23	3JA1F	0,31	3JA1G	0,30
10	5BA2F	0,29	5BA2G	0,25	3JA2F	0,25	3JA2G	0,22
11	5BB1F	0,25	5BB1G	0,21	3JB1F	0,28	3JB1G	0,23
12	5BB2F	0,23	5BB2G	0,20	3JB2F	0,21	3JB2G	0,19
13	6BA1F	0,27	6BA1G	0,22	4JA1F	0,26	4JA1G	0,19
14	6BB1F	0,24	6BB1G	0,21	4JA2F	0,24	4JA2G	0,19
15	6BB2F	0,26	6BB2G	0,22	4JB1F	0,26	4JB1G	0,18
16					4JB2F	0,22	4JB2G	0,16
17					5JA1F	0,25	5JA1G	0,20
18					5JB1F	0,22	5JB1G	0,18
19					6JA1F	0,27	6JA1G	0,24
20					6JA2F	0,22	6JA2G	0,12
21					6JB1F	0,26	6JB1G	0,25
22					6JB2F	0,27	6JB2G	0,20
Povprečje		0,27		0,23		0,25		0,20
Maks		0,32		0,29		0,31		0,30
Min		0,23		0,20		0,21		0,12
STDEV		0,03		0,05		0,02		0,04
KV (%)		9,83		22,23		9,91		20,44

Primerjava diferencialnih nabrekov beljave in jedrovine v radialni smeri je grafično prikazana na sliki 33.



Slika 33: Primerjava diferencialnega nabreka beljave in jedrovine v radialni smeri. Vključeni so podatki preizkušancev serije F in G.

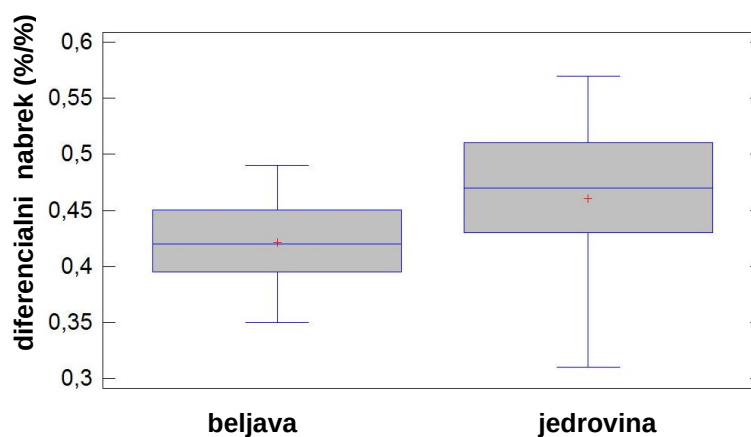
4.4.1.2 Diferencialni nabrek v tangencialni smeri

Preglednica 14 prikazuje izračunane vrednosti diferencialnih nabrekov v tangencialni smeri (q_t) za preizkušance beljave in jedrovine - posebej za adsorpcijo (serija F) in desorpcijo (serija G). Povprečna vrednost diferencialnega nabreka beljave preizkušancev serije F je bila 0,44, preizkušancev serije G pa 0,41 s standardnim odklonom 0,04. Vrednosti diferencialnega nabreka v tangencialni smeri preizkušancev jedrovine serije F so bile 0,49 s standardnim odklonom 0,05, preizkušancev serije G pa 0,41, s standardnim odklonom 0,07. Pregled rezultatov kaže na to, da je diferencialni nabrek v tangencialni smeri pri jedrovini večji, kot pri beljavi. Lahko trdimo, da na to vpliva komponenta ukrivljenosti branike (manjši radij), saj je le ta pri jedrovini manjša kot pri beljavi. Prav tako lahko trdimo, da je diferencialni nabrek preizkušancev v tangencialni smeri za skoraj dvakrat večji, kot je diferencialni nabrek preizkušancev v radialni smeri (preglednica 13).

Preglednica 14: Diferencialni nabrek (q_t) preizkušancev beljave in jedrovine v tangencialni smeri.

Zap. št.	Beljava				Jedrovina			
	Preizkušanec	q_t (%/%)	Preizkušanec	q_t (%/%)	Preizkušanec	q_t (%/%)	Preizkušanec	q_t (%/%)
1	1BA1F	0,48	1BA1G	0,44	1JA1F	0,54	1JA1G	0,43
2	1BB1F	0,42	1BB1G	0,48	1JA2F	0,49	1JA2G	0,43
3	2BA1F	0,40	2BA1G	0,42	1JB1F	0,57	1JB1G	0,46
4	2BB1F	0,43	2BB1G	0,39	1JB2F	0,48	1JB2G	0,43
5	3BA1F	0,40	3BA1G	0,36	2JA1F	0,51	2JA1G	0,55
6	3BB1F	0,38	3BB1G	0,40	2JA2F	0,55	2JA2G	0,43
7	4BA1F	0,43	4BA1G	0,35	2JB1F	0,52	2JB1G	0,47
8	4BB1F	0,38	4BB1G	0,36	2JB2F	0,44	2JB2G	0,35
9	5BA1F	0,45	5BA1G	0,44	3JA1F	0,51	3JA1G	0,52
10	5BA2F	0,52	5BA2G	0,49	3JA2F	0,47	3JA2G	0,43
11	5BB1F	0,46	5BB1G	0,37	3JB1F	0,47	3JB1G	0,39
12	5BB2F	0,45	5BB2G	0,41	3JB2F	0,36	3JB2G	0,32
13	6BA1F	0,42	6BA1G	0,40	4JA1F	0,46	4JA1G	0,35
14	6BB1F	0,44	6BB1G	0,45	4JA2F	0,46	4JA2G	0,39
15	6BB2F	0,47	6BB2G	0,40	4JB1F	0,46	4JB1G	0,39
16					4JB2F	0,41	4JB2G	0,37
17					5JA1F	0,57	5JA1G	0,31
18					5JB1F	0,50	5JB1G	0,44
19					6JA1F	0,54	6JA1G	0,46
20					6JA2F	0,41	6JA2G	0,30
21					6JB1F	0,48	6JB1G	0,49
22					6JB2F	0,49	6JB2G	0,42
Povprečje		0,44		0,41		0,49		0,41
Maks		0,52		0,49		0,57		0,55
Min		0,38		0,35		0,36		0,30
STDEV		0,04		0,04		0,05		0,07
KV (%)		8,77		10,38		10,81		15,79

Na sliki 34 je grafično predstavljena primerjava diferencialnih nabrekov beljave in jedrovine v tangencialni smeri, ki lepo ponazarja, da je diferencialni nabrek jedrovine v tangencialni smeri večji kot pri beljavi.



Slika 34: Primerjava diferencialnega nabreka beljave in jedrovine v tangencialni smeri. Primerjava vsebuje podatke iz preizkušancev serij F in G.

4.4.2 Koeficient nabrekanja

4.4.2.1 Koeficient nabrekanja v radialni smeri

Koeficiente nabrekanja smo določali za preizkušance v kvazilinearnem območju pri relativni zračni vlažnosti med 20 in 87 % (preglednica 15).

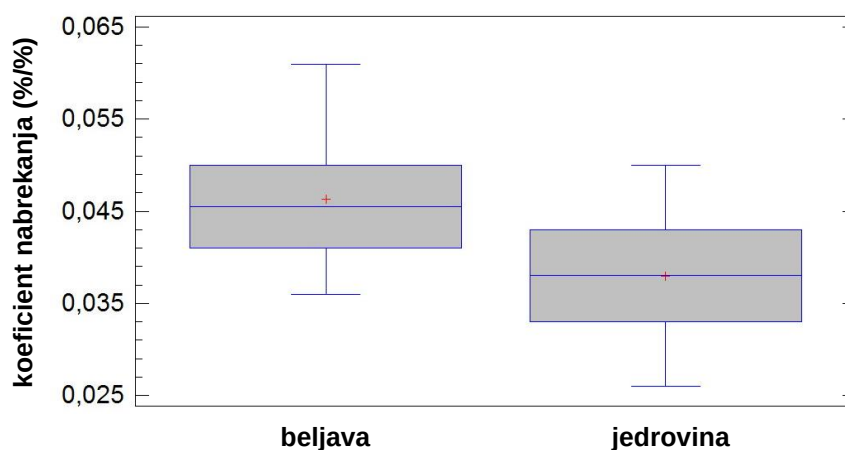
Preglednica 15: Koeficient nabrekanja (h_r) preizkušancev beljave in jedrovine v radialni smeri.

Zap. št.	Beljava				Jedrovina			
	Preizkušanec	h_r (%/%)	Preizkušanec	h_r (%/%)	Preizkušanec	h_r (%/%)	Preizkušanec	h_r (%/%)
1	1BA1F	0,048	1BA1G	0,044	1JA1F	0,041	1JA1G	0,033
2	1BB1F	0,050	1BB1G	0,041	1JA2F	0,038	1JA2G	0,032
3	2BA1F	0,054	2BA1G	0,043	1JB1F	0,042	1JB1G	0,036
4	2BB1F	0,059	2BB1G	0,038	1JB2F	0,043	1JB2G	0,030
5	3BA1F	0,053	3BA1G	0,042	2JA1F	0,047	2JA1G	0,038
6	3BB1F	0,061	3BB1G	0,039	2JA2F	0,034	2JA2G	0,025
7	4BA1F	0,055	4BA1G	0,044	2JB1F	0,045	2JB1G	0,030
8	4BB1F	0,045	4BB1G	0,037	2JB2F	0,033	2JB2G	0,026
9	5BA1F	0,046	5BA1G	0,038	3JA1F	0,050	3JA1G	0,042
10	5BA2F	0,053	5BA2G	0,044	3JA2F	0,040	3JA2G	0,036
11	5BB1F	0,046	5BB1G	0,035	3JB1F	0,050	3JB1G	0,039
12	5BB2F	0,046	5BB2G	0,036	3JB2F	0,040	3JB2G	0,030
13	6BA1F	0,050	6BA1G	0,039	4JA1F	0,045	4JA1G	0,034
14	6BB1F	0,044	6BB1G	0,034	4JA2F	0,040	4JA2G	0,033
15	6BB2F	0,047	6BB2G	0,042	4JB1F	0,045	4JB1G	0,033
16					4JB2F	0,038	4JB2G	0,030
17					5JA1F	0,036	5JA1G	0,032
18					5JB1F	0,032	5JB1G	0,025
19					6JA1F	0,047	6JA1G	0,040
20					6JA2F	0,039	6JA2G	0,021
21					6JB1F	0,045	6JB1G	0,039
22					6JB2F	0,045	6JB2G	0,032
Povprečje		0,051		0,040		0,042		0,033
Maks		0,061		0,044		0,050		0,042
Min		0,044		0,034		0,032		0,021
STDEV		0,005		0,003		0,005		0,005
KV (%)		10,323		8,792		12,421		16,779

V preglednici 15 so predstavljeni izračuni koeficientov nabrekanja beljave in jedrovine posameznih preizkušancev serij F in G. Povprečna vrednost koeficienta nabrekanja beljave v radialni smeri pri preizkušancih F je bila 0,051 s standardnim odklonom 0,005 in 0,040 pri G preizkušancih s standardnim odklonom 0,003. Povprečna vrednost koeficienta nabrekanja jedrovine v radialni smeri pa je bila pri preizkušancih F 0,042 in 0,033 pri preizkušancih G s standardnim odklonom 0,005. Koeficient nabrekanja beljave v radialni

smeri je nekoliko višji kot pa je koeficient nabrekanja jedrovine v isti smeri. To bi lahko pripisali vplivu ekstraktivnih snovi. Pri koeficientu nabrekanja v tangencialni smeri tega učinka nismo zasledili.

Na kvazilinearnem območju med 20 % in 87 % je bila opravljena tudi primerjava koeficientov nabrekanja beljave in jedrovine, kar je prikazano na sliki 35.



Slika 35: Primerjava koeficientov nabrekanja beljave in jedrovine v radialni smeri.

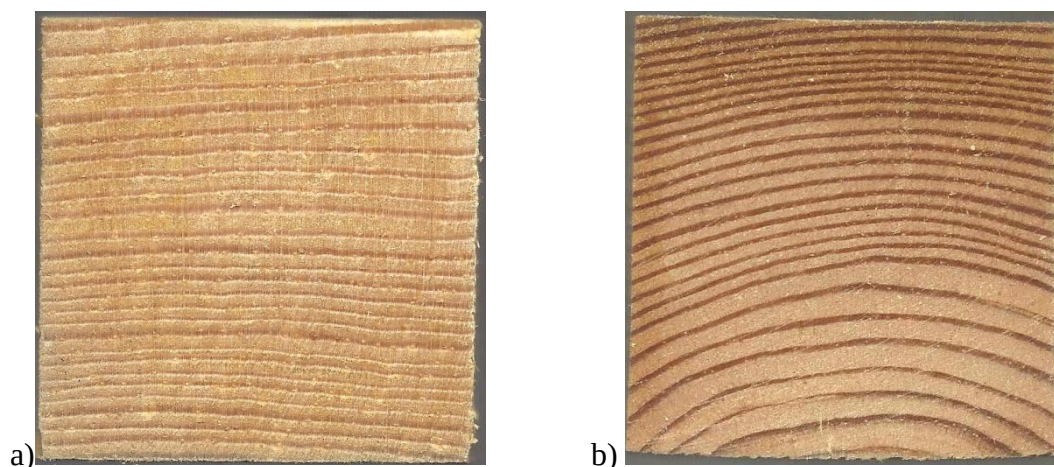
4.4.2.2 Koeficient nabrekanja v tangencialni smeri

V preglednici 16 so predstavljene izračunane vrednosti koeficienta nabrekanja beljave in jedrovine v tangencialni smeri za preizkušance iz F in G serije. Povprečna dobljena vrednost koeficienta nabrekanja beljave v tangencialni smeri pri preizkušancih F je bila 0,082 s standardnim odklonom 0,007, pri preizkušancih G pa 0,071 s standardnim odklonom 0,008. Izračunana povprečna vrednost koeficienta nabrekanja jedrovine v tangencialni smeri pri preizkušancih F in G pa je bila 0,080 in 0,066 s standardnim odklonom 0,008.

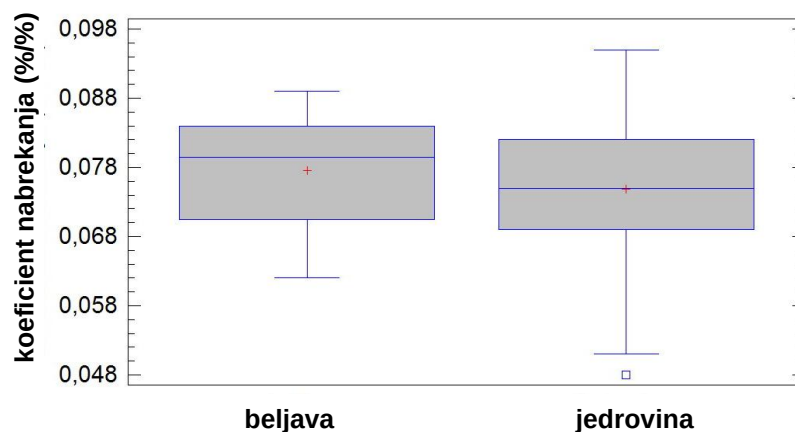
Preglednica 16: Koeficient nabrekanja (h_t) beljave in jedrovine v tangencialni smeri.

Zap. št.	Beljava				Jedrovina			
	Preizkušane	h_t (%)	Preizkušane	h_t (%)	Preizkušane	h_t (%)	Preizkušane	h_t (%)
1	1BA1F	0,089	1BA1G	0,071	1JA1F	0,082	1JA1G	0,063
2	1BB1F	0,083	1BB1G	0,084	1JA2F	0,075	1JA2G	0,068
3	2BA1F	0,072	2BA1G	0,061	1JB1F	0,094	1JB1G	0,072
4	2BB1F	0,083	2BB1G	0,067	1JB2F	0,076	1JB2G	0,067
5	3BA1F	0,078	3BA1G	0,067	2JA1F	0,091	2JA1G	0,073
6	3BB1F	0,073	3BB1G	0,076	2JA2F	0,080	2JA2G	0,067
7	4BA1F	0,081	4BA1G	0,065	2JB1F	0,088	2JB1G	0,072
8	4BB1F	0,068	4BB1G	0,062	2JB2F	0,070	2JB2G	0,055
9	5BA1F	0,084	5BA1G	0,073	3JA1F	0,083	3JA1G	0,072
10	5BA2F	0,096	5BA2G	0,087	3JA2F	0,076	3JA2G	0,068
11	5BB1F	0,087	5BB1G	0,060	3JB1F	0,084	3JB1G	0,067
12	5BB2F	0,088	5BB2G	0,074	3JB2F	0,067	3JB2G	0,051
13	6BA1F	0,078	6BA1G	0,069	4JA1F	0,080	4JA1G	0,063
14	6BB1F	0,081	6BB1G	0,074	4JA2F	0,077	4JA2G	0,069
15	6BB2F	0,086	6BB2G	0,075	4JB1F	0,080	4JB1G	0,071
16					4JB2F	0,073	4JB2G	0,069
17					5JA1F	0,080	5JA1G	0,048
18					5JB1F	0,072	5JB1G	0,062
19					6JA1F	0,095	6JA1G	0,076
20					6JA2F	0,074	6JA2G	0,050
21					6JB1F	0,082	6JB1G	0,078
22					6JB2F	0,083	6JB2G	0,068
Povprečje		0,082		0,071		0,080		0,066
Maks		0,096		0,087		0,095		0,078
Min		0,068		0,060		0,067		0,048
STDEV		0,007		0,008		0,007		0,008
KV (%)		8,940		10,827		9,068		12,449

Slika 37 prikazuje grafično primerjavo koeficientov nabrekanja beljave in jedrovine v tangencialni smeri. Iz slike je razvidno, da ima beljava nekoliko višji koeficient nabrekanja kot jedrovina. Menimo, da ima v tem primeru odločilni vpliv geometrija branik, ki se med perifernimi vzorci beljave in notranjimi vzorci jedrovine razlikuje (slika 36).



Slika 36: Prečni prerez: a) beljava (preizkušanec 3BA1) in b) jedrovina (preizkušanec 5JA1). Primerjava prerezov, ki kaže, da na skrčke in nabreke utegne vplivati geometrije branik.



Slika 37: Grafična primerjava koeficienta nabrekanja beljave in jedrovine v tangencialni smeri.

4.4.3 Sorpcijski kvocient - kvazilinearno območje med 20 % in 87 %

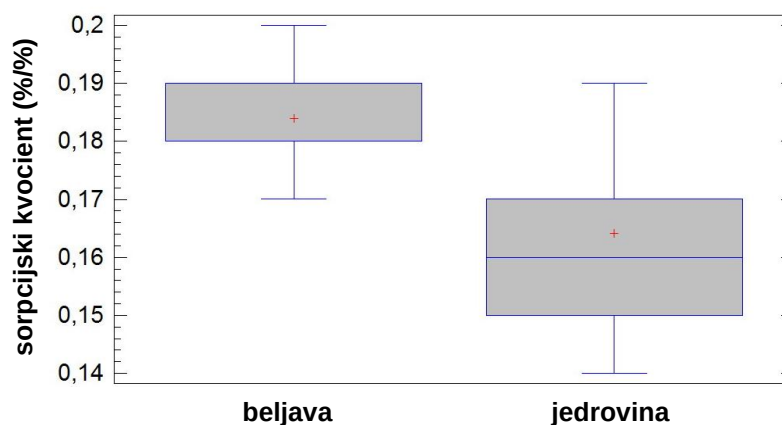
V preglednici 17 so predstavljene izračunane vrednosti sorpcijskega kvocienta beljave in jedrovine posameznih preizkušancev serij F in G. Povprečna vrednost sorpcijskega kvocienta beljave je pri F preizkušancih znašala 0,19 s standardnim odklonom 0,005, pri G

preizkušancih pa 0,17 s standardnim odklonom 0,012. Povprečna vrednost sorpcijskega kvocienta jedrovine je bila pri preizkušancih F nižja, in sicer 0,17 s standardnim odklonom 0,013 in pri G preizkušancih 0,16 s standardnim odklonom 0,014.

Preglednica 17: Izračunane vrednosti sorpcijskega kvocienta (s) preizkušancev beljave in jedrovine.

Zap. št.	Beljava				Jedrovina			
	Preizkušanec	s (%/%)	Preizkušanec	s (%/%)	Preizkušanec	s (%/%)	Preizkušanec	s (%/%)
1	1BA1F	0,18	1BA1G	0,16	1JA1F	0,15	1JA1G	0,15
2	1BB1F	0,20	1BB1G	0,18	1JA2F	0,15	1JA2G	0,16
3	2BA1F	0,18	2BA1G	0,15	1JB1F	0,17	1JB1G	0,16
4	2BB1F	0,19	2BB1G	0,17	1JB2F	0,16	1JB2G	0,15
5	3BA1F	0,19	3BA1G	0,19	2JA1F	0,18	2JA1G	0,13
6	3BB1F	0,19	3BB1G	0,19	2JA2F	0,15	2JA2G	0,16
7	4BA1F	0,19	4BA1G	0,18	2JB1F	0,17	2JB1G	0,15
8	4BB1F	0,18	4BB1G	0,17	2JB2F	0,16	2JB2G	0,16
9	5BA1F	0,19	5BA1G	0,17	3JA1F	0,16	3JA1G	0,14
10	5BA2F	0,19	5BA2G	0,18	3JA2F	0,16	3JA2G	0,16
11	5BB1F	0,19	5BB1G	0,16	3JB1F	0,18	3JB1G	0,17
12	5BB2F	0,20	5BB2G	0,18	3JB2F	0,19	3JB2G	0,16
13	6BA1F	0,18	6BA1G	0,17	4JA1F	0,17	4JA1G	0,18
14	6BB1F	0,19	6BB1G	0,16	4JA2F	0,17	4JA2G	0,18
15	6BB2F	0,18	6BB2G	0,19	4JB1F	0,17	4JB1G	0,18
16					4JB2F	0,18	4JB2G	0,19
17					5JA1F	0,14	5JA1G	0,16
18					5JB1F	0,15	5JB1G	0,14
19					6JA1F	0,18	6JA1G	0,17
20					6JA2F	0,18	6JA2G	0,17
21					6JB1F	0,17	6JB1G	0,16
22					6JB2F	0,17	6JB2G	0,16
Povprečje		0,19		0,17		0,17		0,16
Maks		0,20		0,19		0,19		0,19
Min		0,18		0,15		0,14		0,13
STDEV		0,005		0,012		0,013		0,014
KV (%)		2,85		6,93		7,77		8,56

Slika 38 prikazuje grafično primerjavo sorpcijskega kvocienta beljave in jedrovine. Iz nje je razvidno, da je sorpcijski kvocient beljave višji kot je sorpcijski kvocient jedrovine.



Slika 38: Grafična primerjava sorpcijskega kvocienta beljave in jedrovine.

Naše ugotovitve, ki izhajajo iz meritev diferencialnih nabrekov in koeficientov nabrekanja potrjujejo rezultati sorpcijskega kvocienta, ki kažejo na bistvene razlike med beljavo in jedrovino.

Preglednica 18: Preračunane vrednosti za ocenitev dimenzijske stabilnosti beljave rdečega bora.

Beljava				
Kazalnik	Neugodno	Normalno	Ugodno	Zelo ugodno
q_T [%/%]	0,43			
$q_T - q_R$ [%/%]		0,18		
h_T [%/%]	0,08			
$h_T - h_R$ [%/%]		0,03		
q_T/q_R		1,7		
s [%/%]	0,18			

Preglednica 19: Preračunane vrednosti za ocenitev dimenzijske stabilnosti jedrovine rdečega bora.

Jedrovina				
Kazalnik	Neugodno	Normalno	Ugodno	Zelo ugodno
q_T [%/%]	0,45			
$q_T - q_R$ [%/%]	0,23			
h_T [%/%]	0,08			
$h_T - h_R$ [%/%]	0,04			
q_T/q_R		2		
s [%/%]		0,16		

Po naših izračunih (preglednici 18 in 19) smo ugotovili, da je dimenzijska stabilnost jedrovine neugodna glede na podatke, ki jih navaja Gorišek (2009) v preglednici 20. Podatki za beljavo rdečega bora pa kažejo na normalno dimenzijsko stabilnost.

Preglednica 20: Kriteriji za ocenitev dimenzijske stabilnosti (Gorišek, 2009).

Kazalnik	Neugodno	Normalno	Ugodno	Zelo ugodno
q_T [%/%]	> 0,4	0,3 - 0,4	< 0,3	
$q_T - q_R$ [%/%]	> 0,2	0,12 - 0,2	< 0,12	
h_T [%/%]	> 0,065	0,050 - 0,065	< 0,050	
$h_T - h_R$ [%/%]	> 0,035	0,020 - 0,035	< 0,020	
q_T/q_R	> 2,0	1,6 - 2,0	< 1,6	
s [%/%]	> 0,16	0,15 - 0,16	0,14 - 0,15	< 0,14

Vrednosti h_R in h_T sovpadajo z navedbo Goriška (2009) (preglednica 21). Ta tudi navaja, da je $q_T = 0,36$ %/%, medtem ko naše raziskave izkazujejo nekoliko višje vrednosti, ki najverjetneje izvirajo iz strukture ksilemske branike (anatomske razlike - delež ranega in kasnega lesa).

Preglednica 21: Kazalniki dimenzijske stabilnosti za rdeči bor (Gorišek, 2009).

Lesna vrsta	Gostota	Dif. Nabrek		Koef. Nabrekanja		Sorp. Kvoc.
	ρ_{12} [kg/m ³]	q_T [%/%]	q_R [%/%]	h_T [%/%]	h_R [%/%]	s [%/%]
Rdeči bor	520	0,36	0,10	0,071	0,037	0,20

4.5 SORPCIJSKE KRIVULJE

V nadaljevanju so prikazane ravnovesne vlažnosti na kvazilinearnem območju med 20 % in 87 % za preizkušance beljave in jedrovine serij F in G. Preizkušance serije F (beljavo in jedrovino) smo postopoma uravnovešali v naraščajočih relativnih zračnih vlažnostih (adsorpcija), preizkušance serije G pa smo postopoma uravnovešali v padajočih relativnih zračnih vlažnostih (desorpcija) pri konstantni temperaturi.

4.5.1 Adsorpcija in desorpcija

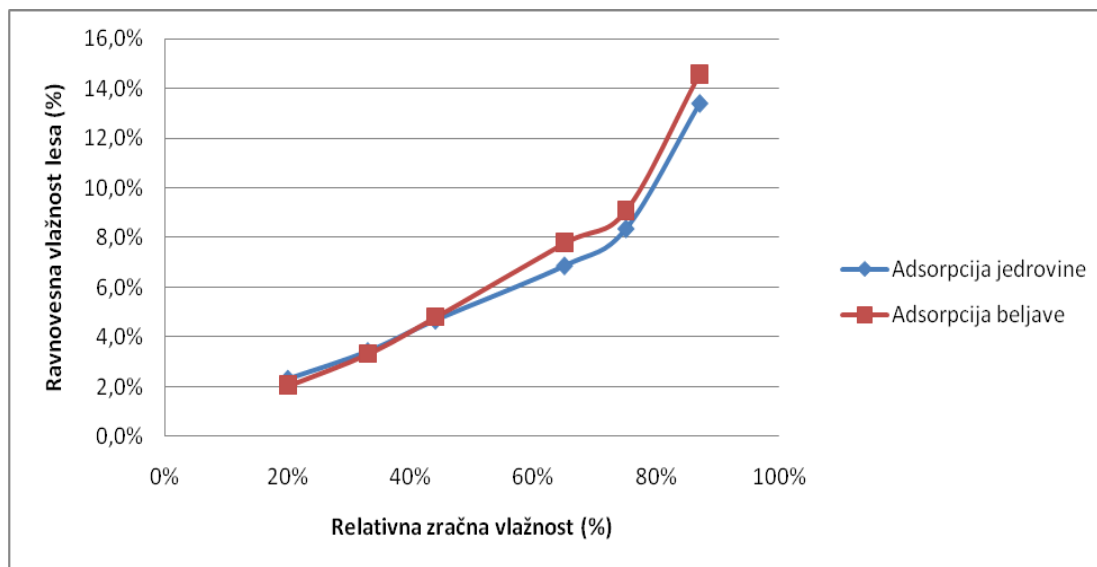
V preglednicah 22 do 25 so prikazane izračunane vrednosti ravnovesnih vlažnosti posameznih preizkušancev beljave in jedrovine serij F in G.

Preglednica 22: Prikaz ravnovesnih vlažnosti na kvazilinearnem območju med 20 % in 87 % za preizkušance beljave serije F, izpostavljenih adsorpciji.

Zap.št.	Preizkušaneec	Adsorpcija							
		u (sveže)	u _{tncs}	u _r (20%)	u _r (33%)	u _r (44%)	u _r (65%)	u _r (75%)	u _r (87%)
1	1BA1F	86,8%	25,7%	2,0%	3,2%	4,3%	7,7%	8,6%	14,4%
2	1BB1F	94,0%	23,6%	1,9%	3,4%	4,9%	8,0%	9,2%	15,1%
3	2BA1F	70,8%	24,7%	2,5%	3,7%	4,9%	8,1%	9,4%	14,4%
4	2BB1F	81,5%	27,1%	1,5%	2,8%	4,3%	7,6%	8,4%	14,4%
5	3BB1F	91,9%	27,9%	2,3%	3,5%	5,0%	8,0%	9,5%	15,2%
6	4BA1F	90,7%	26,1%	2,2%	3,5%	5,2%	7,7%	9,4%	14,9%
7	4BB1F	100,2%	20,4%	1,6%	3,0%	4,6%	7,5%	8,9%	13,7%
8	5BA1F	99,2%	26,0%	2,1%	3,7%	5,1%	7,6%	8,9%	14,6%
9	5BB2F	88,7%	25,0%	2,3%	3,4%	5,4%	8,1%	9,6%	15,4%
10	6BA1F	97,1%	29,2%	1,8%	3,3%	4,7%	7,8%	9,2%	14,1%
11	6BB1F	101,0%	27,6%	1,8%	2,8%	4,3%	7,5%	8,5%	14,3%
12	6BB2F	90,9%	28,2%	2,4%	3,5%	4,9%	7,8%	9,4%	14,6%
Povprečje		91,1%	26,0%	2,0%	3,3%	4,8%	7,8%	9,1%	14,6%
Maks		101,0%	29,2%	2,5%	3,7%	5,4%	8,1%	9,6%	15,4%
Min		70,8%	20,4%	1,5%	2,8%	4,3%	7,5%	8,4%	13,7%
STDEV		0,086	0,024	0,003	0,003	0,004	0,002	0,004	0,005
KV (%)		9,5	9,2	14,8	8,7	7,4	2,8	4,6	3,2

Preglednica 23: Prikaz ravnovesnih vlažnosti na kvazilinearnem območju med 20 % in 87 % za preizkušance jedrovine serije F, izpostavljenih adsorpciji.

Zap.št.	Preizkušanec	Adsorpcija							
		u (sveže)	u _{tncs}	u _r (20%)	u _r (33%)	u _r (44%)	u _r (65%)	u _r (75%)	u _r (87%)
1	1JA1F	24,7%	20,1%	2,5%	3,6%	4,8%	6,6%	8,1%	12,7%
2	1JA2F	24,1%	27,3%	1,6%	2,8%	3,7%	5,6%	6,7%	11,8%
3	1JB1F	23,9%	25,3%	2,2%	3,6%	4,7%	6,7%	8,3%	13,2%
4	1JB2F	26,1%	29,6%	2,4%	3,3%	4,2%	7,2%	8,4%	13,0%
5	2JA1F	25,0%	28,5%	2,2%	3,5%	5,2%	7,3%	9,2%	14,2%
6	2JA2F	27,9%	22,4%	2,9%	3,8%	4,8%	6,5%	7,9%	12,6%
7	2JB1F	24,3%	25,1%	2,1%	3,5%	4,9%	6,7%	8,4%	13,3%
8	2JB2F	24,2%	23,7%	2,3%	3,2%	4,8%	6,9%	8,0%	13,0%
9	3JA1F	25,3%	25,6%	2,9%	3,8%	5,2%	7,0%	8,5%	13,8%
10	3JA2F	25,7%	28,6%	2,4%	3,4%	4,4%	6,7%	8,3%	13,2%
11	3JB1F	24,8%	29,0%	2,0%	3,4%	4,9%	7,2%	8,8%	14,1%
12	3JB2F	25,1%	26,2%	2,4%	3,3%	4,4%	6,8%	8,4%	15,1%
13	4JA1F	23,4%	25,9%	2,2%	3,3%	4,5%	7,1%	8,7%	13,9%
14	4JA2F	24,6%	25,4%	2,2%	3,3%	4,8%	6,9%	8,4%	13,4%
15	4JB1F	24,4%	26,5%	2,2%	3,2%	5,0%	7,5%	9,1%	13,9%
16	4JB2F	24,8%	24,7%	2,2%	3,4%	4,7%	6,8%	8,7%	13,9%
17	5JA1F	23,8%	23,8%	2,8%	3,5%	4,5%	6,3%	7,5%	12,2%
18	5JB1F	23,8%	21,4%	2,6%	3,6%	4,8%	6,6%	8,0%	12,4%
19	6JA1F	24,6%	26,2%	2,2%	3,6%	4,8%	7,3%	8,6%	14,1%
20	6JB1F	23,6%	27,8%	1,9%	2,9%	4,4%	7,0%	8,2%	13,3%
21	6JB2F	25,4%	30,9%	2,6%	3,9%	4,9%	7,6%	9,0%	14,0%
Povprečje		24,7%	25,9%	2,3%	3,4%	4,7%	6,9%	8,4%	13,4%
Maks		27,9%	30,9%	2,9%	3,9%	5,2%	7,6%	9,2%	15,1%
Min		23,4%	20,1%	1,6%	2,8%	3,7%	5,6%	6,7%	11,8%
STDEV		0,010	0,027	0,003	0,003	0,003	0,004	0,006	0,008
KV (%)		4,1	10,4	13,7	7,7	7,3	6,3	6,7	5,9



Slika 39: Krivulji na sliki prikazujeta adsorpcijo beljave in jedrovine preizkušancev serije F. Adsorpcijska krivulja beljave je višja kot adsorpcijska krivulja jedrovine.

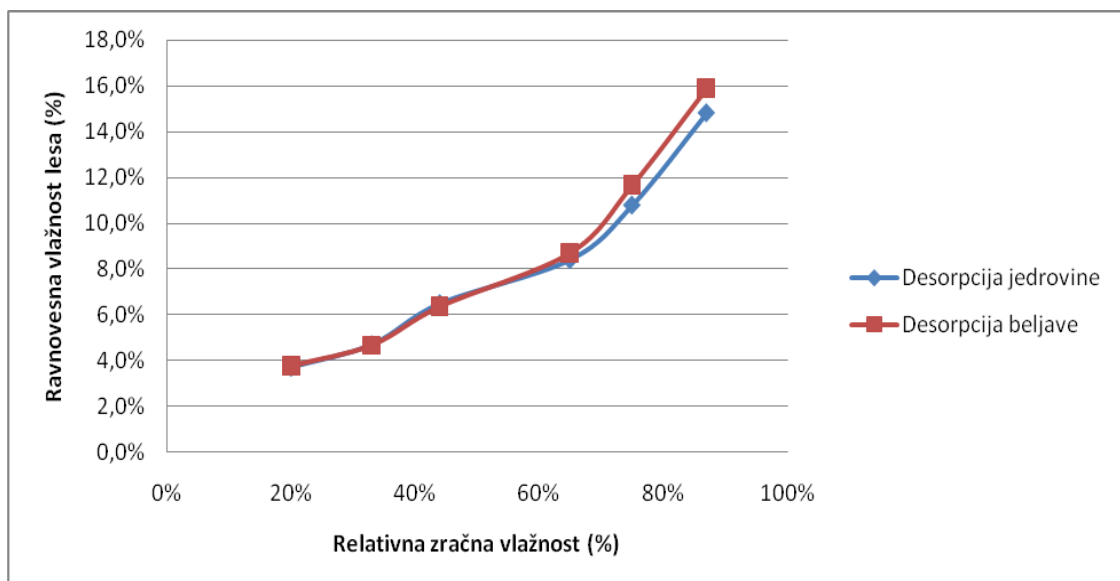
Preglednica 24: Prikaz ravnovesnih vlažnosti na kvazilinearnem območju med 20 % in 87 % za preizkušance beljave serije G, ki so bili izpostavljeni desorpciji.

	Desorpcija								
Zap.št.	Preizkušanec	u (sveže)	u_{tns}	$u_r(87\%)$	$u_r(75\%)$	$u_r(65\%)$	$u_r(44\%)$	$u_r(33\%)$	$u_r(20\%)$
1	1BB1G	92,5%	27,1%	15,5%	10,7%	8,0%	5,9%	5,3%	3,7%
2	2BB1G	81,5%	34,4%	15,6%	11,4%	8,6%	6,5%	4,3%	4,0%
3	3BA1G	100,2%	29,1%	16,3%	11,8%	9,0%	6,7%	4,5%	3,7%
4	3BB1G	91,5%	28,3%	16,2%	11,7%	9,2%	6,6%	4,6%	3,4%
5	4BA1G	91,4%	24,8%	16,2%	14,5%	8,9%	6,7%	5,1%	3,9%
6	4BB1G	98,8%	24,4%	15,0%	10,7%	8,2%	5,7%	4,6%	3,3%
7	5BA2G	81,2%	21,5%	15,8%	11,5%	8,7%	6,2%	4,6%	3,9%
8	5BB2G	86,5%	24,8%	15,6%	11,4%	8,8%	6,4%	4,0%	3,6%
9	6BA1G	96,8%	23,5%	16,1%	11,3%	8,8%	6,4%	5,2%	4,4%
10	6BB2G	90,3%	27,0%	16,6%	11,7%	9,1%	6,6%	4,6%	3,8%
Povprečje		91,1%	26,5%	15,9%	11,7%	8,7%	6,4%	4,7%	3,8%
Maks		100,2%	34,4%	16,6%	14,5%	9,2%	6,7%	5,3%	4,4%
Min		81,2%	21,5%	15,0%	10,7%	8,0%	5,7%	4,0%	3,3%
STDEV		0,066	0,036	0,005	0,011	0,004	0,004	0,004	0,003
KV (%)		7,2	13,6	2,9	9,2	4,2	5,6	8,9	8,3

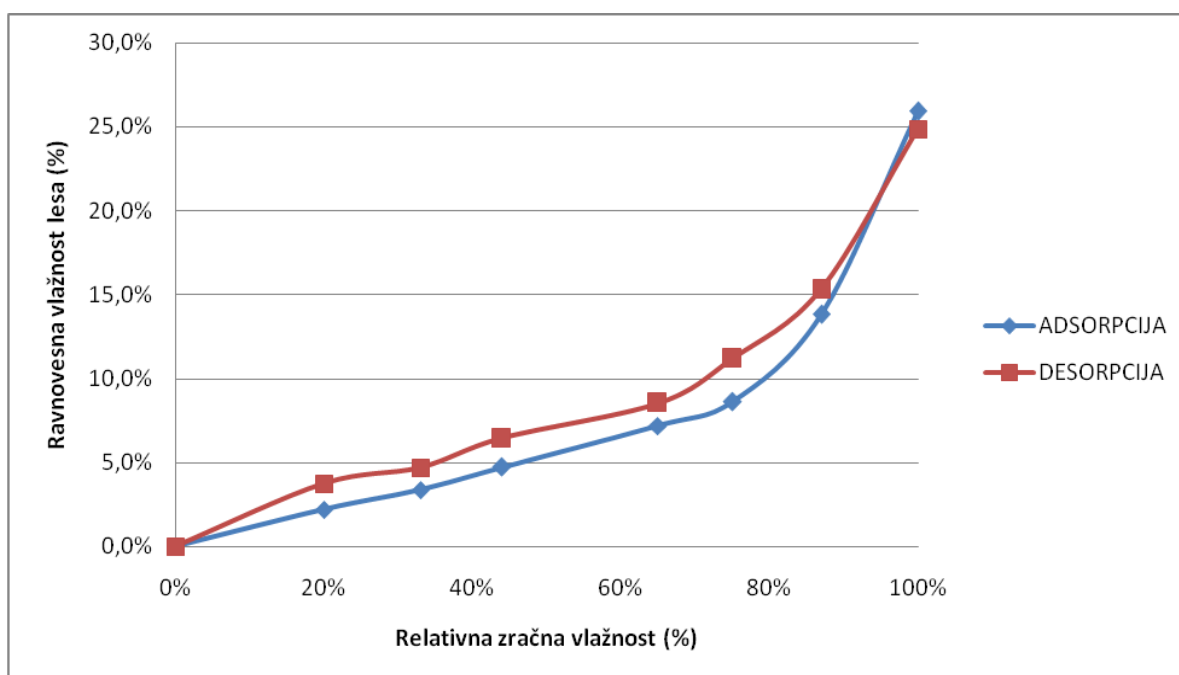
Preglednica 25: Prikaz ravnovesnih vlažnosti na kvazilinearnem območju med 20 % in 87 % za preizkušance jedrovine serije G, ki so bili izpostavljeni desorpciji.

Zap.št.	Preizkušane	Desorpcija							
		u (sveže)	u_{tns}	$u_r(87\%)$	$u_r(75\%)$	$u_r(65\%)$	$u_r(44\%)$	$u_r(33\%)$	$u_r(20\%)$
1	1JA1G	24,0%	21,8%	14,1%	10,1%	8,1%	6,4%	5,0%	4,2%
2	1JA2G	24,4%	21,0%	14,1%	9,7%	8,2%	6,7%	4,4%	3,6%
3	1JB1G	22,8%	24,0%	14,4%	10,5%	7,8%	6,2%	4,6%	3,9%
4	2JB1G	24,0%	23,3%	14,5%	10,7%	8,5%	6,7%	4,9%	4,2%
5	2JB2G	24,2%	24,0%	14,7%	10,9%	8,4%	6,6%	4,5%	4,0%
6	3JB1G	24,5%	25,4%	15,1%	10,9%	8,6%	6,4%	4,8%	3,6%
7	3JB2G	24,5%	25,6%	14,5%	11,1%	8,5%	6,7%	5,5%	3,8%
8	4JA1G	23,1%	25,4%	15,7%	11,7%	9,2%	6,7%	4,7%	3,6%
9	4JA2G	24,2%	24,6%	15,7%	11,2%	8,6%	6,6%	5,0%	3,8%
10	4JB1G	23,1%	24,3%	15,6%	11,4%	8,6%	6,3%	4,1%	3,3%
11	4JB2G	23,8%	24,1%	15,9%	11,6%	9,0%	6,4%	4,7%	3,4%
12	5JA1G	23,4%	18,8%	13,6%	9,8%	7,6%	6,1%	4,2%	3,1%
Povprečje		23,8%	23,5%	14,8%	10,8%	8,4%	6,5%	4,7%	3,7%
Maks		24,5%	25,6%	15,9%	11,7%	9,2%	6,7%	5,5%	4,2%
Min		22,8%	18,8%	13,6%	9,7%	7,6%	6,1%	4,1%	3,1%
STDEV		0,006	0,020	0,007	0,007	0,004	0,002	0,004	0,003
KV (%)		2,4	8,7	5,0	6,0	5,3	3,2	8,0	9,4

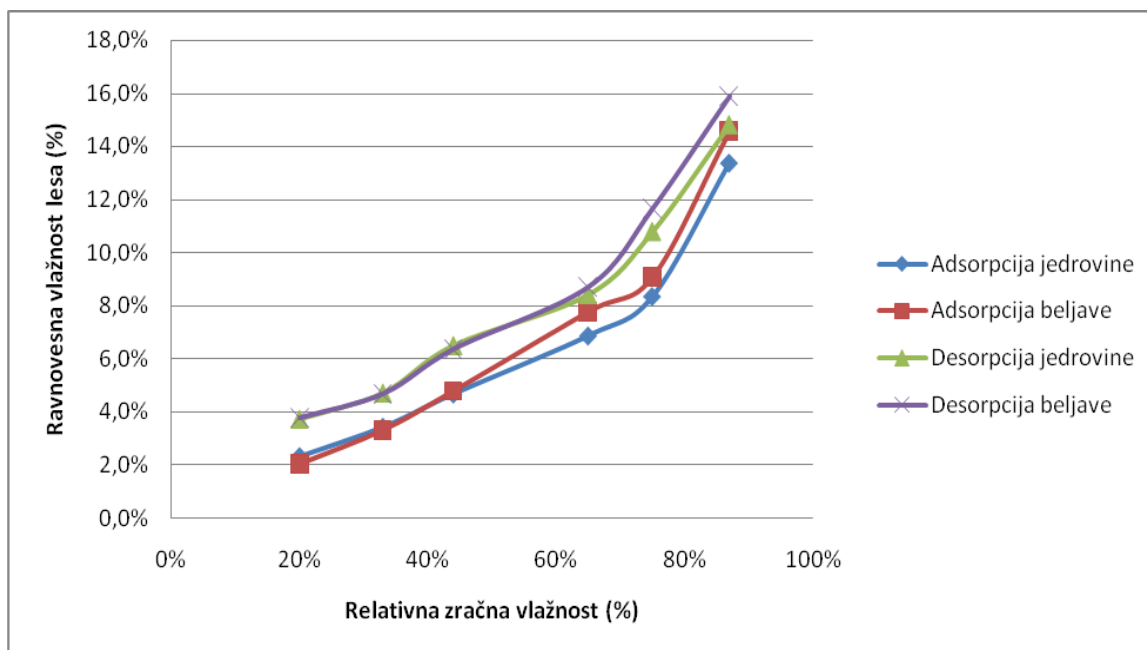
Iz slike 39 je razvidno, da je adsorpcijska krivulja beljave bistveno višje kot je ta pri jedrovini. Prav tako je višja desorpcijska krivulja beljave. Sorpcijske izoterme se med seboj razlikujejo zaradi kemičnih in strukturnih razlik. Te razlike so posledice variabilnosti kemične zgradbe lesne snovi (medsebojno razmerje polioz, celuloze, pektina, polioz, lignina in ekstraktivnih snovi), deleža mikro razpok v celični steni, gostote, higroskopskega potenciala (Skaar, 1988; Gorišek, 2009).



Slika 40: Desorpcijska krivulja beljave je višja kot desorpcijska krivulja jedrovine.



Slika 41: Adsorpcijska in desorpcijska krivulja preizkušancev beljave in jedrovine. Desorpciji so bili izpostavljeni preizkušanci serije G, adsorpciji pa preizkušanci serije F.



Slika 42: Primerjava adsorpcijskih in desorpcijskih krivulj posameznih preizkušancev beljave in jedrovine serij F in G.

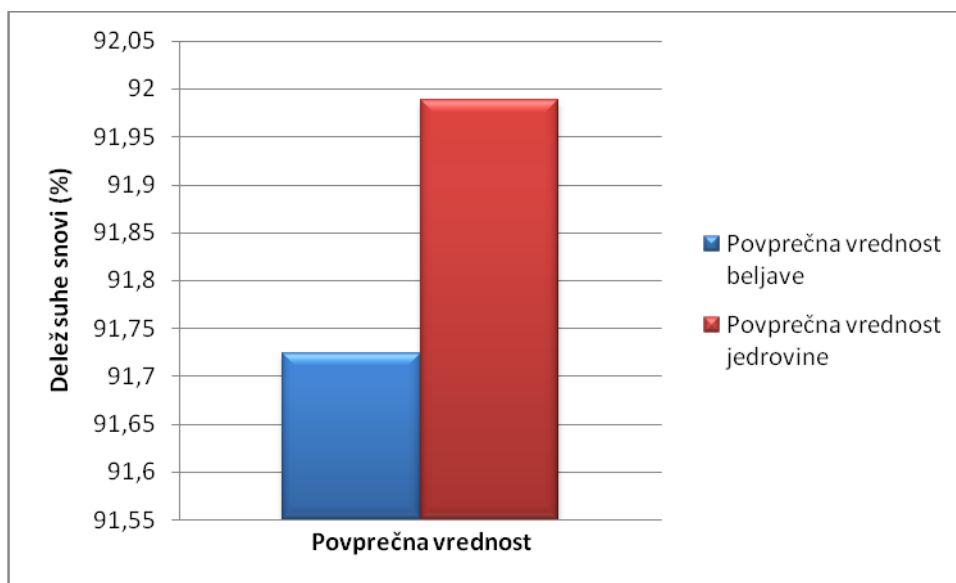
4.6 KEMIJSKA ANALIZA LESA

4.6.1 Določitev deleža suhe snovi

Preglednica 26 prikazuje deleže suhe snovi posameznih preizkušancev beljave in jedrovine rdečega bora. Preizkušanec 5JA1 je imel največji delež suhe snovi, in sicer 92,68 %, najmanjši delež pa preizkušanec 1JB1; 91,21 %. Slika 47 prikazuje povprečne vrednosti deleža suhe snovi pri beljavi in jedrovini. Povprečni delež suhe snovi pri beljavi je znašal 91,72 %, jedrovine pa 91,99 %. Iz vrednosti deleža suhe snovi ni bilo mogoče razbrati znatnih razlik med beljavo in jedrovino.

Preglednica 26: Delež suhe snovi za posamezne vzorce beljave in jedrovine.

Oznaka preizkušanca	masa tehtiča (m ₁) (g)	masa vlažnega lesa (m ₂) (g)	masa tehtiča z lesom po sušenju (m ₃) (g)	masa abs. suh. lesa (m ₄) (g)	delež suhe snovi s.s. (%)
1BA1	27,854	1,004	28,772	0,918	91,43%
1BB1	31,410	1,025	32,346	0,936	91,32%
1JA1	29,661	1,067	30,638	0,977	91,57%
1JA2	29,661	1,017	30,598	0,937	92,13%
1JB1	27,696	1,070	28,672	0,976	91,21%
1JB2	28,903	1,009	29,826	0,923	91,48%
2BA1	30,429	1,003	31,347	0,918	91,53%
2BB1	31,403	1,027	32,341	0,938	91,33%
2JA1	30,390	1,037	31,342	0,952	91,80%
2JA2	33,532	1,020	34,465	0,933	91,47%
2JB1	26,855	1,014	27,782	0,927	91,42%
2JB2	29,267	1,041	30,221	0,954	91,64%
3BA1	31,349	1,036	32,300	0,951	91,80%
3BB1	27,350	1,014	28,286	0,936	92,31%
3JA1	31,388	1,010	32,315	0,927	91,78%
3JA2	29,106	1,041	30,066	0,960	92,22%
3JB1	32,291	1,033	33,241	0,950	91,97%
3JB2	29,662	1,014	30,597	0,935	92,21%
4BA1	33,715	1,057	34,683	0,968	91,58%
4BB1	27,092	1,022	28,031	0,939	91,88%
4JA1	31,972	1,006	32,901	0,929	92,35%
4JA2	28,128	1,014	29,063	0,935	92,21%
4JB1	28,261	1,025	29,204	0,943	92,00%
4JB2	32,003	1,008	32,937	0,934	92,66%
5BA1	27,597	1,104	28,611	1,014	91,85%
5BA2	32,860	1,017	33,793	0,933	91,74%
5BB1	30,741	1,007	31,668	0,927	92,06%
5BB2	31,383	1,002	32,305	0,922	92,02%
5JA1	34,151	1,025	35,101	0,950	92,68%
5JB1	30,740	1,033	31,696	0,956	92,55%
6BA1	27,696	1,070	28,677	0,981	91,68%
6BB1	31,233	1,000	32,151	0,918	91,80%
6BB2	32,084	1,029	33,026	0,942	91,55%
6JA1	28,926	1,020	29,865	0,939	92,06%
6JA2	27,206	1,041	28,165	0,959	92,12%
6JB1	31,232	1,015	32,168	0,936	92,22%



Slika 43: Povprečna vrednost deleža suhe snovi beljave in jedrovine rdečega bora.

4.6.2 Delež ekstrahiranih snovi v cikloheksanu

Preglednica 27 prikazuje celokupni delež ekstrahiranih snovi v cikloheksanu ter celokupno maso ekstrahiranih snovi v 250 ml ekstrakta. Iz nje je mogoče razbrati, da je imel največji delež ekstrahiranih snovi preizkušanec 5JB1; in sicer 0,34 mg/g dw. Ta preizkušanec je imel tudi največjo celokupno maso v 250 ml ekstrakta; 0,80 g. V tem primeru je šlo za preizkušanec jedrovine. Najmanjši delež ekstrahiranih snovi v cikloheksanu so imeli štirje preizkušanci; 3BA1, 3BB1, 4BA1 so bili preizkušanci beljave, medtem ko je bil preizkušanec 3JB1 preizkušanec jedrovine. Vsi ti preizkušanci so imeli enak delež ekstrahiranih snovi; 0,01 mg/g dw in enako celokupno maso ekstrahiranih snovi v 250 ml ekstrakta; 0,02 g.

Preglednica 27: Celokupni delež ekstrahiranih snovi v cikloheksanu.

Oznaka preizkušanca	m preizkušanca (dw) (g)	m prazne epr. (g)	m epr. z ostankom po suš. (g)	razlika mase (g)	m vl. lesa pred ekstr. (g)	s.s.(%)	celokupna m ekst. snovi v 250 ml (g)	delež ekst. snovi v cikloheksanu (mg/g dw)
1BA1	2,374	17,69	17,696	0,006	2,596	91,43%	0,15	0,06
1JA1	2,310	20,313	20,324	0,011	2,53	91,32%	0,27	0,12
1JA2	2,307	17,703	17,715	0,012	2,519	91,57%	0,30	0,13
1BB1	2,440	17,98	17,994	0,014	2,648	92,13%	0,35	0,14
1JB1	2,276	19,705	19,707	0,002	2,495	91,21%	0,05	0,02
1JB2	2,310	19,961	19,97	0,009	2,525	91,48%	0,22	0,10
2BA1	2,381	19,855	19,858	0,003	2,601	91,53%	0,07	0,03
2JA1	2,442	20,404	20,408	0,004	2,674	91,33%	0,10	0,04
2JA2	2,330	17,679	17,685	0,006	2,538	91,80%	0,15	0,06
2BB1	2,344	20,493	20,497	0,004	2,563	91,47%	0,10	0,04
2JB1	2,281	17,869	17,874	0,005	2,495	91,42%	0,12	0,06
2JB2	2,305	19,861	19,867	0,006	2,515	91,64%	0,15	0,07
3BA1	2,333	21,17	21,171	0,001	2,541	91,80%	0,02	0,01
3JA1	2,323	21,658	21,66	0,002	2,517	92,31%	0,05	0,02
3JA2	2,308	20,059	20,066	0,007	2,515	91,78%	0,17	0,08
3BB1	2,357	21,73	21,731	0,001	2,556	92,22%	0,02	0,01
3JB1	2,302	21,958	21,965	0,007	2,503	91,97%	0,17	0,08
3JB2	2,320	20,829	20,83	0,001	2,516	92,21%	0,02	0,01
4BA1	2,322	20,874	20,875	0,001	2,535	91,58%	0,02	0,01
4JA1	2,302	21,613	21,618	0,005	2,506	91,88%	0,12	0,05
4JA2	2,407	21,226	21,233	0,007	2,606	92,35%	0,17	0,07
4BB1	2,333	20,851	20,854	0,003	2,53	92,21%	0,07	0,03
4JB1	2,331	21,127	21,132	0,005	2,534	92,00%	0,12	0,05
4JB2	2,294	21,107	21,113	0,006	2,476	92,66%	0,15	0,07
5BA1	2,304	21,911	21,915	0,004	2,508	91,85%	0,10	0,04
5BA2	2,332	22,012	22,018	0,006	2,542	91,74%	0,15	0,06
5JA1	2,322	21,177	21,205	0,028	2,522	92,06%	0,70	0,30
5BB1	2,361	20,322	20,328	0,006	2,566	92,02%	0,15	0,06
5BB2	2,364	21,473	21,479	0,006	2,551	92,68%	0,15	0,06
5JB1	2,342	21,077	21,109	0,032	2,531	92,55%	0,80	0,34
6BA1	2,361	21,527	21,535	0,008	2,575	91,68%	0,20	0,09
6JA1	2,320	21,418	21,426	0,008	2,527	91,80%	0,20	0,09
6JA2	2,263	20,546	20,552	0,006	2,472	91,55%	0,15	0,07
6BB1	2,355	20,97	20,997	0,027	2,558	92,06%	0,67	0,29
6BB2	2,299	21,038	21,043	0,005	2,496	92,12%	0,12	0,05
6JB1	2,411	21,362	21,37	0,008	2,615	92,22%	0,20	0,08

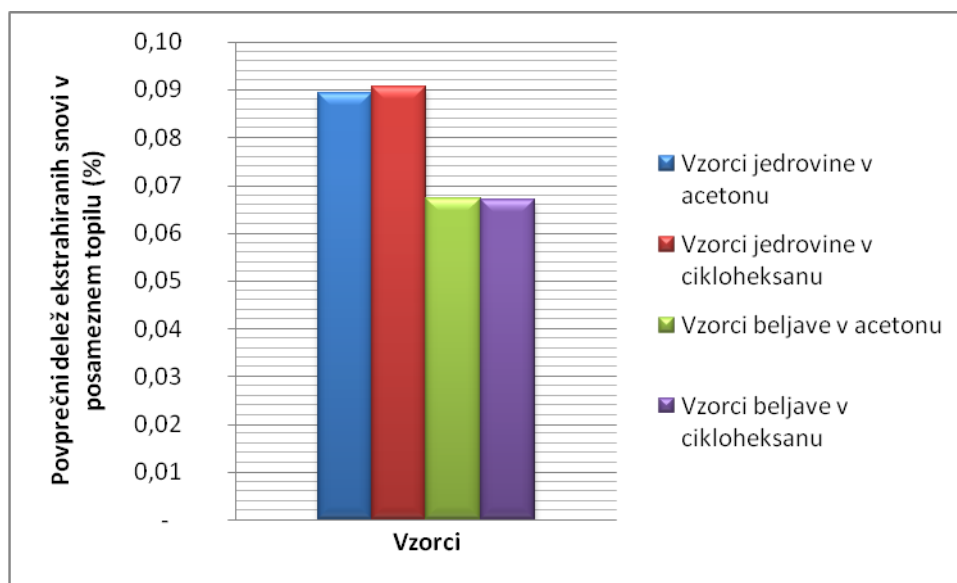
V preglednici 28 so predstavljeni celokupni deleži ekstrahiranih snovi v acetonu ter prav tako celokupna masa ekstrahiranih snovi v 250 ml ekstrakta. V tem primeru sta imela največji delež ekstrahiranih snovi preizkušanca z jedrovino; 6JA2 in 2JA2, kjer je ta delež znašal 0,12 mg/g dw. Ta sta imela tudi največjo celokupno maso ekstrahiranih snovi v 250 ml ekstrakta; 0,27 g. Najmanjši delež ekstrahiranih snovi (0,01 mg/g dw) pa so tudi tukaj imeli štirje preizkušanci, ki so imeli prav tako najmanjšo celokupno maso (0,02 g/250 ml). Dva izmed preizkušancev sta bila preizkušanca jedrovine; 1JB1 in 4JB1, dva pa preizkušanca z beljavo; 4BA1 in 6BB1. Iz podatkov je razvidno, da je preizkušanec 4BA1 imel najmanjši delež ekstrahiranih snovi tako v cikloheksanu kot tudi v acetonu ter prav tako najmanjšo celokupno maso ekstrahiranih snovi v 250 ml ekstrakta.

4.6.3 Delež ekstrahiranih snovi v acetonu

Preglednica 28: Celokupni delež ekstrahiranih snovi v acetonu.

Oznaka preizkušanca	m preizkušanca (dw) (g)	m prazne epr. (g)	m epr. z ostankom po suš. (g)	razlika mase (g)	m vl. lesa pred ekstr. (g)	s.s.(%)	celokupna m ekstr. snovi v 250 ml (g)	delež ekst. snovi v acetonu (mg/g dw)
1BA1	2,374	20,375	20,376	0,001	2,596	91,43%	0,03	0,01
1JA1	2,310	19,843	19,844	0,001	2,530	91,32%	0,03	0,01
1JA2	2,307	17,861	17,863	0,002	2,519	91,57%	0,05	0,02
1BB1	2,440	20,253	20,254	0,001	2,648	92,13%	0,03	0,01
1JB1	2,276	20,275	20,277	0,002	2,495	91,21%	0,05	0,02
1JB2	2,310	18,013	18,014	0,001	2,525	91,48%	0,02	0,01
2BA1	2,381	19,764	19,765	0,001	2,601	91,53%	0,03	0,01
2JA1	2,442	19,211	19,213	0,002	2,674	91,33%	0,05	0,02
2JA2	2,330	17,699	17,710	0,011	2,538	91,80%	0,27	0,12
2BB1	2,344	17,615	17,617	0,002	2,563	91,47%	0,05	0,02
2JB1	2,281	17,769	17,769	0,000	2,495	91,42%	-	-
2JB2	2,305	18,700	18,703	0,003	2,515	91,64%	0,08	0,03
3BA1	2,333	21,855	21,857	0,002	2,541	91,80%	0,05	0,02
3JA1	2,323	20,046	20,048	0,002	2,517	92,31%	0,05	0,02
3JA2	2,308	21,156	21,157	0,001	2,515	91,78%	0,03	0,01
3BB1	2,357	21,338	21,338	0,000	2,556	92,22%	-	-
3JB1	2,302	20,512	20,514	0,002	2,503	91,97%	0,05	0,02
3JB2	2,320	21,316	21,317	0,001	2,516	92,21%	0,03	0,01
4BA1	2,322	20,100	20,101	0,001	2,535	91,58%	0,02	0,01
4JA1	2,302	21,166	21,167	0,001	2,506	91,88%	0,03	0,01
4JA2	2,407	21,609	21,609	0,000	2,606	92,35%	-	-
4BB1	2,333	20,647	20,648	0,001	2,530	92,21%	0,03	0,01
4JB1	2,331	20,864	20,865	0,001	2,534	92,00%	0,02	0,01
4JB2	2,294	21,144	21,145	0,001	2,476	92,66%	0,03	0,01
5BA1	2,304	19,994	19,995	0,001	2,508	91,85%	0,03	0,01
5BA2	2,332	17,750	17,751	0,001	2,542	91,74%	0,03	0,01
5JA1	2,322	18,014	18,027	0,013	2,522	92,06%	0,33	0,14
5BB1	2,361	19,376	19,387	0,011	2,566	92,02%	0,27	0,12
5BB2	2,364	17,903	17,903	0,000	2,551	92,68%	-	-
5JB1	2,342	17,668	17,672	0,004	2,531	92,55%	0,10	0,04
6BA1	2,361	17,758	17,768	0,010	2,575	91,68%	0,25	0,11
6JA1	2,320	17,922	17,927	0,005	2,527	91,80%	0,12	0,05
6JA2	2,263	17,855	17,866	0,011	2,472	91,55%	0,27	0,12
6BB1	2,355	18,039	18,040	0,001	2,558	92,06%	0,02	0,01
6BB2	2,299	20,797	20,799	0,002	2,496	92,12%	0,05	0,02
6JB1	2,411	19,512	19,514	0,002	2,615	92,22%	0,05	0,02

Iz slike 44 lahko razberemo, da je bil povprečni delež ekstrahiranih snovi preizkušancev jedrovine v cikloheksanu nekoliko večji kot v acetonu. Malenkost višji pa je bil povprečni delež ekstrahiranih snovi preizkušancev beljave v acetonu. Prav tako je iz slike razvidno, da se delež ekstrahiranih snovi preizkušancev beljave in preizkušancev jedrovine močno razlikuje ter da je jedrovina rdečega bora vsebovala bistveno več ekstraktivnih snovi.



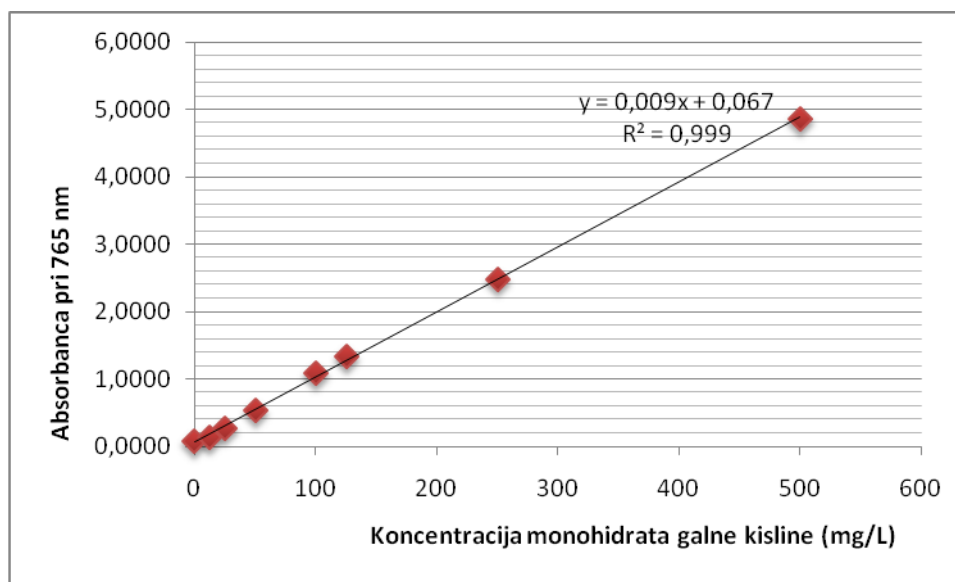
Slika 44: Delež ekstrahiranih snovi preizkušancev beljave in jedrovine v acetonu in cikloheksanu.

4.6.4 Vsebnost celokupnih fenolov

Pri izračunu vsebnosti celokupnih fenolov smo upoštevali masno koncentracijo. To smo določili za vsak preizkušanec posebej s pomočjo umeritvene krivulje (slika 45). Različne koncentracije monohidrata galne kisline so nam služile kot definicijsko območje linearnega regresijskega modela, ki ga določa standardna raztopina monohidrata galne kisline z različnimi masnimi koncentracijami. V našem primeru je bila spodnja meja 12,5 mg/L, zgornja meja pa 500 mg/L. Enačba umeritvene krivulje je prikazana na grafu 7, kjer je tudi enačba umeritvene krivulje, dobljena s pomočjo linearnega regresijskega modela. V preglednici 29 so prikazane absorbance monohidrata galne kisline različnih masnih koncentracij. Preizkušanec z največjo masno koncentracijo (500 mg/L) je imel največjo absorbanco; 4,8823. Slep preizkušanec je imel najmanjšo absorbanco; 0,0622.

Preglednica 29: V preglednici je prikazana absorbanca pri A_{765} nm za slepi preizkušanec (SV) in raztopine monohidrata galne kisline (GK). Meritve so bile opravljene v dveh delih.

Preizkušanec	Absorbanca A_{765} ; 4.9.2012	Absorbanca A_{765} ; 5.9.2012
SV - 0,00	0,0622	0,0772
GK - 12,5	0,1326	0,1310
GK - 25	0,2686	0,2863
GK - 50	0,4972	0,5701
GK - 100	1,0829	1,0978
GK - 125	1,3147	1,3455
GK - 250	2,4777	2,4948
GK - 500	4,8348	4,8823



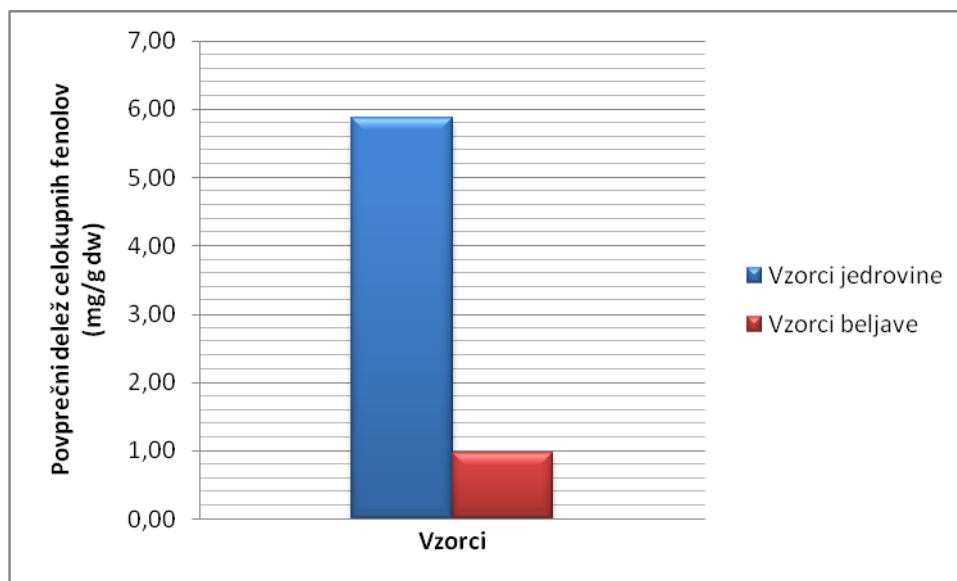
Slika 45: Umeritvena krivulja monohidrata galne kisline z umeritveno krivuljo in enačbo premice ter koeficientom determinacije R^2 .

Iz preglednice 30 so razvidni deleži suhe snovi, masne koncentracije in delež fenolov za posamezne preizkušance, ekstrahirane v acetonu. Preizkušanec 5JB1A je imel največji delež fenolov, in sicer 10,13 mg/g dw. Ta je imel tudi največjo masno koncentracijo; 91,65 mg/L. Najmanjšo vsebnost fenolov je imel preizkušanec 1JB1A; 0,29 mg/g dw. Tudi ta je imel najmanjšo masno koncentracijo; 2,43 mg/L.

Preglednica 30: Vsebnost celokupnih fenolov v posameznih preizkušancih beljave in jedrovine.

Preizkušanec	Absorbanca A ₇₆₅	Masa vzorca (g)	Delež suhe snovi	Masa preizkušanca (dw) (g)	Masna koncentracija (mg/L)	Delež fenolov (mg/g dw)
1BA1A	0,1268	2,5960	0,9104	2,3633	6,18	0,65
1BB1A	0,4388	2,6480	0,8888	2,3535	38,68	4,11
1JA1A	0,5072	2,5300	0,8529	2,1577	45,80	5,31
1JA2A	0,6825	2,5190	0,9046	2,2787	64,06	7,03
1JB1A	0,0908	2,4950	0,8467	2,1126	2,43	0,29
1JB2A	0,3810	2,5250	0,9058	2,2873	32,66	3,57
2BA1A	0,1403	2,6010	0,9123	2,3728	7,58	0,80
2BB1A	0,2438	2,5630	0,8870	2,2735	18,36	2,02
2JA1A	0,8256	2,6740	0,8824	2,3594	78,97	8,37
2JA2A	0,6433	2,5380	0,8951	2,2718	59,98	6,60
2JB1A	0,5296	2,4950	0,8708	2,1727	48,14	5,54
2JB2A	0,6708	2,5150	0,8770	2,2058	62,84	7,12
3BA1A	0,1287	2,5410	0,8832	2,2442	6,38	0,71
3BB1A	0,1025	2,5560	0,9004	2,3014	3,65	0,40
3JA1A	0,5077	2,5170	0,9079	2,2852	45,85	5,02
3JA2A	0,4220	2,5150	0,8828	2,2203	36,93	4,16
3JB1A	0,5951	2,5030	0,8877	2,2219	54,96	6,18
3JB2A	0,4498	2,5160	0,9083	2,2852	39,82	4,36
4BA1A	0,1129	2,5350	0,8619	2,1848	4,73	0,54
4BB1A	0,0987	2,5300	0,8973	2,2701	3,25	0,36
4JA1A	0,6971	2,5060	0,9175	2,2992	65,58	7,13
4JA2A	0,5202	2,6060	0,9083	2,3670	47,16	4,98
4JB1A	0,8108	2,5340	0,8956	2,2695	77,43	8,53
4JB2A	0,7065	2,4760	0,9187	2,2746	66,56	7,32
5BA1A	0,1336	2,5080	0,8243	2,0673	6,89	0,83
5BA2A	0,1117	2,5420	0,9007	2,2895	4,60	0,50
5BB1A	0,1310	2,5660	0,9136	2,3443	6,61	0,71
5BB2A	0,1125	2,5510	0,9182	2,3422	4,69	0,50
5JA1A	0,5649	2,5220	0,9024	2,2760	51,81	5,69
5JB1A	0,9473	2,5310	0,8935	2,2615	91,65	10,13
6BA1A	0,1274	2,5750	0,8514	2,1924	6,24	0,71
6BB1A	0,1297	2,5580	0,9180	2,3482	6,48	0,69
6BB2A	0,1496	2,4960	0,8873	2,2146	8,55	0,97
6JA1A	0,5264	2,5270	0,9010	2,2768	47,80	5,25
6JA2A	0,5510	2,4720	0,8818	2,1799	50,36	5,78
6JB1A	0,5372	2,6150	0,9074	2,3728	48,93	5,15

Iz slike 46 je razvidno, da so imeli preizkušanci jedrovine bistveno večjo povprečno vsebnost fenolov kot preizkušanci beljave. To je mogoče razbrati tudi iz preglednice 30, kjer izstopa le preizkušanec jedrovine 1JB1A z najnižjim deležem fenolov.



Slika 46: Povprečni delež celokupnih fenolov v preizkušancih jedrovine in beljave.

5 SKLEPI

Naša raziskava zveze med vsebnostjo ekstraktivov in sorpcijskimi lastnostmi rdečega bora je pokazala, da imajo ekstraktivi vpliv na te lastnosti.

Preizkušanci serije F so bili izpostavljeni adsorpciji, preizkušanci serije G pa desorpciji. Povprečna vrednost gostote v absolutno suhem stanju pri preizkušancih beljave serije F je znašala 609 kg/m^3 , pri preizkušancih serije G pa 608 kg/m^3 . Pri preizkušancih jedrovine serije F je bila ta vrednost 610 kg/m^3 , pri preizkušancih serije G pa 604 kg/m^3 . V fazi ojedritve nastajajo nizkomolekularne jedrovinske snovi, ki se vežejo v celično steno. Rezultati kažejo na to, da je variabilnost znotraj beljave in jedrovine večja kot vpliv sprememb na gostoto zaradi faze ojedritve pri rdečem boru.

Celotni prostorninski skrček beljave preizkušancev serije F je znašal 12,2 %, preizkušancev serije G pa 11,9 %. Pri preizkušancih jedrovine serije F je bila ta vrednost enaka kot pri beljavi, pri preizkušancih serije G pa nekoliko nižja; 11,3 %. Prostorninsko krčenje je pri iglavcih bistveno manjše zaradi večje vsebnosti inkrustriranega stabilizirajočega lignina. So pa rezultati pokazali, da je krčenje beljave in jedrovine pri rdečem boru primerljivo.

Celotni prostorninski nabrek beljave preizkušancev serije F (adsorpcija) je bil 13,9 %, serije G (desorpcija) pa 13,6 %. Pri preizkušancih jedrovine je bil ta pri seriji F enak, pri seriji G pa 12,7 %. Celotni prostorninski nabrek beljave in jedrovine, izpostavljene adsorpciji (serija preizkušancev F) je manj variabilen, kot pri preizkušancih, izpostavljenih desorpciji (preizkušanci serije G).

Preizkušanci beljave serije F so imeli povprečni diferencialni nabrek v radialni smeri 0,27 %/%, preizkušanci serije G pa 0,23 %/%. Preizkušanci jedrovine serije F so imeli povprečni diferencialni nabrek v radialni smeri 0,25 %/%, preizkušanci serije G pa 0,20 %/%. Povprečni diferencialni nabrek beljave preizkušancev serije F v tangencialni smeri je znašal 0,44 %/%, preizkušancev serije G pa 0,41 %/%. Pri preizkušancih jedrovine je bila ta vrednost za serijo F 0,49 %/%, za serijo G pa enaka kot pri beljavi. V radialni smeri je diferencialni nabrek pri beljavi večji kot pri jedrovini, v tangencialni smeri pa je ta za skoraj dvakrat večji.

Koeficient nabrekanja v radialni smeri je pri preizkušancih beljave serije F znašal 0,05 %/%, pri preizkušancih serije G pa 0,04 %/%. Preizkušanci jedrovine serije F so imeli to vrednost nekoliko nižjo; in sicer 0,04 %/%, preizkušanci serije G pa 0,03 %/%. Koeficient

nabrekanja v tangencialni smeri je pri preizkušancih beljave serije F znašal 0,08 %/%, pri seriji G pa 0,07 %/%. Pri preizkušancih jedrovine je bila ta vrednost enaka. Iz dobljenih rezultatov sklepamo, da je koeficient nabrekanja beljave v radialni smeri višji kot koeficient nabrekanja jedrovine v isti smeri.

Povprečni sorpcijski kvocient beljave preizkušancev serije F je bil 0,19 %/%, serije G pa 0,147 %/%. Pri preizkušancih jedrovine je povprečni sorpcijski kvocient serije F znašal 0,17 %/%, serije G pa 0,16 %/%.

Vlažnost svežega lesa beljave je znašala med 89,9 % in 90,8 %. Vlažnost svežega lesa jedrovine pa je bila med 24,1 % in 24,8 %.

Vlažnost točke nasičenja celičnih sten beljave je bila pri seriji F 25,8 %, pri seriji G pa 25,3 %. Preizkušanci jedrovine serije F so imeli to vrednost enako, medtem ko je bila pri seriji G ta nekoliko nižja; 23,9 %.

Povprečna prečna krčitvena anizotropija beljave preizkušancev serije F je bila 1,69, serije G pa 1,68. Pri preizkušancih jedrovine je bila ta nekoliko višja; pri preizkušancih F 2,02, pri preizkušancih G pa 2,01.

Povprečni delež suhe snovi beljave je znašal 91,72 %, jedrovine pa 91,99 %. Največji delež suhe snovi je imel preizkušanec 5JA1 (92,68 %), najmanjši pa preizkušanec 1JB1 (91,21 %). Iz vrednosti deleža suhe snovi lahko razberemo, da ni očitnih razlik med beljavo in jedrovino.

Največji celokupni delež ekstrahiranih snovi v cikloheksanu je imel preizkušanec 5JB1 (0,34 mg/g dw), ki je imel tudi največjo celokupno maso v 250 ml ekstrakta (0,80 g). Najmanjši celokupni delež ekstrahiranih snovi v cikloheksanu pa so imeli preizkušanci 3BA1, 3BB1, 4BA1 in 3JB1 (0,01 mg/g dw), ki so imeli tudi najmanjšo celokupno maso v 250 ml ekstrakta (0,02 g). Največji celokupni delež ekstrahiranih snovi v acetonu sta imela preizkušanca jedrovine (6JA2 in 2JA2), in sicer 0,12 mg/g dw. Ta sta imela tukaj tudi največjo celokupno maso v 250 ml ekstrakta (0,27 g). Najmanjši delež pa so imeli preizkušanci 1JB1, 4JB1, 4BA1 in 6BB1 (0,01 mg/g dw). Ti so imeli tudi najmanjšo celokupno maso (0,02 g).

Preizkušanec 5JB1A je imel največji delež fenolov (10,13 mg/g dw) ter tudi največjo masno koncentracijo (91,65 mg/L). Najmanjši delež fenolov je imel preizkušanec 1JB1A (0,29 mg/g dw), ki je prav tako imel najmanjšo masno koncentracijo (2,43 mg/L).

Preizkušanec z največjo masno koncentracijo (500 mg/L) je imel največjo absorbanco (4,8823), slepi preizkušanec pa je imel najnižjo absorbanco (0,0622).

Iz rezultatov kemijske analize lahko ugotovimo, da je imel preizkušanec jedrovine največji delež ekstrahiranih snovi tako v cikloheksanu kot v acetonu. Ta preizkušanec je imel tudi največjo celokupno maso v 250 ml ekstrakta. Preizkušanec beljave je imel najmanjši delež ekstrahiranih snovi v cikloheksanu in v acetonu ter najmanjšo celokupno maso ekstrahiranih snovi v 250 ml ekstrakta.

Preiskave beljave in jedrovine tako niso pokazale razlik v gostoti v absolutno suhem stanju, v prostorninskih skrčkah in nabrekih, pri točki nasičenja celičnih sten in ne pri koeficientu nabrekanja v tangencialni smeri.

Rezultati so pokazali, da ojedritveni procesi povzročijo spremembe, ki vplivajo na prečno krčitveno anizotropijo, diferencialni nabrek v radialni in tangencialni smeri, koeficient nabrekanja v radialni smeri ter sorpcijski kvocient.

Študija na primeru rdečega bora je pokazala, da spremembe, ki se v lesu zgodijo v procesu ojedritve, vplivajo na anatomsko in kemijsko zgradbo lesa, kar v nadaljevanju vpliva tudi na določene sorpcijske lastnosti lesa.

6 POVZETEK

V gozdovih Slovenije predstavljajo bori približno 5,9 % lesne zaloge, ki pa žal ni ustrezno izkoriščena. Eden od razlogov majhnega izkoriščanja rdečega bora je zagotovo slaba raziskanost in poznavanje njegovih lastnosti. Preliminarna opazovanja kažejo, da med rastišči obstajajo velike razlike predvsem v pojavnosti jedrovine, ki je včasih značilno rdečkasto obarvana, pogosto pa barvne razlike niso tako očitne. V primerjavi z beljavo so za jedrovino značilne ugodnejše sorpcijske lastnosti, ki bi jih lahko pripisali vsebnosti ekstraktivnih snovi v lesu, kar pa je predmet podrobnejše analize v tej magistrski nalogi.

V okviru magistrske naloge smo želeli:

- preučiti anatomske razlike med beljavo in jedrovino;
- določiti vsebnost ekstraktivov v beljavi in jedrovini rdečega bora;
- preučiti higroskopsko beljave in jedrovine ter
- poiskati vpliv med vsebnostjo ekstraktivov in sorpcijskimi lastnostmi rdečega bora.

Iz 6 testnih dreves smo izrezali po 4 kolute, ki smo jih po razžagovanju ustrezno označili. V nalogi so bili vključeni koluti št. 3, odvzeti na višini 0,8 m nad tlemi in koluti št. 4, odvzeti naj tretjimi. Iz kolotov št. 3 smo izdelali preizkušance za preiskave dimenzijske stabilnosti, sorpcijskih lastnosti in anatomske preiskave; iz kolotov št. 4 pa preizkušance za kemijsko analizo. Iz kolotov št. 3 smo v radialni smeri določili lokacije preizkušancev v obliki kvadratov s stranico približno 3,3 cm ter na dane možnosti označili največje število preizkušancev beljave in jedrovine. Te preizkušance smo na tračnem žagalnem stroju izrezali ter še poravnali na skobeljnem stroju. S prečnimi rezi na namiznem krožnem žagalnem stroju smo izdelali po 5 strogo orientiranih preizkušancev, velikosti $30 \times 30 \times 5$ mm, ki so nam služili za meritve sorpcijskih lastnosti ter dimenzijsko stabilnost. Preizkušance smo ustrezno označili: s prvo številko smo označili številko drevesa, s črko B oziroma J beljavo oziroma jedrovino, s črko A oziroma B stran koluta, nato spet s številko zaporedni preizkušane, odvzet iz koluta ter na koncu še s črkami od C do G za zaporedje preizkušancev. Preizkušanci C, D, E, F in G so bili vzporedni (paralelni) preizkušanci za različne sorpcijske eksperimente. Oznako C je imel prvi izrezan preizkušane in oznako G zadnji izrezan preizkušane. Vse preizkušance smo takoj po razrezu stehali in jim izmerili prečne, radialne in tangencialne dimenzije. Nato smo jih dali v stekleno klima komoro z

nasičeno raztopino soli (NaCl), kjer so se 14 dni uravnovešali (RH = 65 %, T = 20 °C). Po končanem uravnovešanju smo preizkušance zopet stehali ter jim izmerili dimenzije. Preizkušance s končno oznako C smo po uravnovešanju na 12 % ravnovesno vlažnost posušili do absolutno suhega stanja. V izogib izhlapevanju ekstraktivnih snovi smo namesto sušenja pri $103 \pm 2^\circ\text{C}$ uporabili vakuumsko sušenje. Preizkušance smo 3 dni sušili v vakuumskem sušilniku pri temperaturi 50 °C in podtlaku 30 mbar. Preizkušance, ki so imeli na koncu oznako D, smo po uravnovešanju dali v klima komoro z ustrezno nasičeno raztopino soli (RH = 87 %, T = 20 °C), preizkušance z oznako E pa v klima komoro z relativno zračno vlažnostjo 33 % in temperaturo 20 °C. Uravnovešanje je trajalo 14 dni, za tem smo preizkušance stehali in izmerili ter jih ponovno izpostavili spremenjenim klimatskim pogojem. Iz podatkov smo nato izračunali sušilnični in totalni skrček ter spremembe dimenzij in vlažnost lesa. Na ta način smo dobili podatke za dimenzijsko stabilnost. Preizkušance z oznako F smo po končanem uravnovešanju postopoma navlaževali (RH = 20 % - 87 %), preizkušance z oznako G pa postopoma sušili (RH = 87 % - 20 %).

Preizkušance za anatomske analize smo razpolovili ter polovico dali v mešanico glicerina- H_2O , drugo polovico pa v fiksacijsko sredstvo FAA (500 ml FAA vsebuje 25 ml 37 % formalina, 450 ml 50 % etanola in 25 ml 100 % očetne kisline). Te preizkušance smo po enem tednu začeli dehidrirati v etanolni vrsti (30 %, 50 % in 70 %) z zamikom sedmih dni. Po končani dehidraciji smo z drsnim mikrotomom Leica SM 2000R v vzdolžni smeri odrezali 15 μm in 20 μm debele histološke rezine lesa. Rezine smo preiskovali s svetlopoljsko mikroskopijo.

Preizkušance za kemijske analize smo odvzeli iz kolotov št. 4. Na namiznem krožnem žagalnem stroju smo preizkušance razrezali na manjše dimenzije, da je velikost ustrezala nadaljnji obdelavi. Preizkušance smo zmleli in shranili v prahovke. Iz teh smo nato zatehtali v tehtiče po 1 g preizkušanca in jih dali za 24 ur v sušilnik s T = 105 °C. Za Soxhletovo ekstrakcijo smo natehtali 2,5 g preizkušanca v celulozne tulce, ki smo jih zaprli z vato ter 1 uro sušili v sušilniku s T = 105 °C. Najprej smo preizkušance ekstrahirali s cikloheksanom, nato pa še z zmesjo acetona in vode. Delež celokupnih fenolov v ekstraktih acetona in vode smo določili z UV/VIS spektrofotometrijo. Vsem preizkušancem smo dodali FC (Folin-Ciocalteu) reagent, ki smo ga zmešali z destilirano vodo v razmerju 1:9 (v/v) in vodno raztopino Na_2CO_3 . Raztopino monohidrata galne

kislina različnih koncentracij smo uporabili za umeritveno krivuljo. Iz dobljenih rezultatov smo določili regresijski model in enačbo premice. To smo uporabili za izračun masne koncentracije celokupnih fenolov. Delež celokupnih fenolov pa smo izračunali iz deleža suhe snovi, masne koncentracije in mase absolutno suhega lesa.

Anatomske preiskave lesa rdečega bora (*Pinus sylvestris*) so pokazale razlike med beljavo in jedrovino v smolnih kanalih, v lumnih aksialnih traheid ob trakovih ter razlike v trakovnih parenhimskih celicah in obokanih piknjah. V beljavi je bila večja prisotnost modro obarvanih tkiv, v jedrovini pa rdeče obarvanih tkiv, kar nakazuje na pojav spojin s fenolnim karakterjem (lignin ali ostale fenolne spojine).

Kemijska analiza je pokazala, da ima jedrovina večji delež ekstrahiranih snovi in večjo celokupno maso v 250 ml ekstrakta.

Preiskave beljave in jedrovine niso pokazale statistično značilnih razlik v gostoti v absolutno suhem stanju, v prostorninskih skrčkah in nabrekah, pri točki nasičenja celičnih sten in ne pri koeficientu nabrekanja v tangencialni smeri.

Iz dobljenih rezultatov je razvidno tudi, da ojedritveni procesi povzročijo statistično značilne razlike med beljavo in jedrovino v prečni krčitveni anizotropiji, diferencialnem nabreku v radialni in tangencialni smeri, v koeficientu nabrekanja v radialni smeri ter pri sorpcijskem kvocientu. Vlažnost beljave je bila 90%, vlažnost jedrovine pa 24%. Raziskovanje lesa rdečega bora je pokazalo, da spremembe, ki se v lesu zgodijo v procesu ojedritve, vplivajo na kemijsko in anatomsko zgradbo lesa, kar pa nadalje vpliva na nekatere sorpcijske lastnosti lesa.

7 VIRI

1. Barkas W. W. 1942. Wood water relationships – VII. Swelling pressure and sorption hysteresis in gels. Trans. Faraday Soc., 38: 194-209
2. Brus R. 2011. Dendrologija za gozdarje. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 79-81
3. Choong E., Achmadi S. S. (1991). Effect of extractives on moisture sorption and shrinkage in tropical woods. Wood And Fiber Science, 23, 2: 185-196
4. Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
5. Fang W., Hemming J., Reunanen M., Eklund P., Conde Pineiro E., Poljanšek I., Oven P., Willför S. 2013. Evaluation of selective extraction methods for recovery of polyphenols from pine. Holzforschung. 67 (8): 843-851
6. Fengel D., Wegener G. 1984. Wood chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin, New York, Walter de Gruyter: 613 str.
7. G. W. van der Werf. 2007. The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on a dry site in the Netherlands. Dendrochronologia, 25: 103-112
8. Gorišek Ž. 2009. Les-Zgradba in lastnosti. Njegova variabilnost in heterogenost. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str.
9. Harju A. M., Venäläinen M., Laakso T., Saranpää P. 2008. Wounding response in xylem of Scots pine seedlings shows wide genetic variation and connection with the constitutivedefence of heartwood. Tree Physiology: 1-7

10. Hawley L. F., Fleck L. C., Richard C. A. 1924. The relation between natural durability and chemical composition in wood. Ind. Eng. Chem., 16: 699-706
11. http://www.cremonatools.com/cremona_images/images/SOXLET%20scheme.jpg
(April, 2014)
12. Kilic A., Niemz P. 2012. Extractives in some tropical woods. Eur. J. Wood. Prod., 70: 79-83
13. Kogovšek M. 2007. Sušilne karakteristi ke beljave, jedrovini in mokrine pri jelovini. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 76 str.
14. Kotar M., Brus R. 1999. Naše drevesne vrste. Ljubljana, Slovenska matica v Ljubljani: 320 str.
15. Lavk V. 2010. Analiza odziva tkiv na mehanska poškodovanja pri navadnem divjem kostanju s tridimenzionalnim magnetno resonančnim slikanjem. Diplomski projekt. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 53 str.
16. Likhtenshtein G. 2010. Stilbenes. Applications in Chemistry. Life Science and Materials Science; 1-42
17. Merela M. 2008. Anatomske, hitokemične in mikrookoljske spremembe v mehansko poškodovanem lesu bukve (*Fagus sylvatica*) in doba (*Quercus robur*): doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 220 str.
18. Može R. 2007. Makroskopske in mikroskopske razlike med zavrtim poganjkom in sledjo iglic v lesu nekaterih iglavcev. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 52 str.

19. Oven P., Schmit U., Stobbe H. (2000) Wundreaktionen im Splintholz der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.). Jahrbuch der Baumpflege: das aktuelle Nachschlagewerk für die Baumpflege, 4: 208-211.
20. Scheffer T. C., Cowling E. B. 1966. Natural resistance to microbial deterioration. Annual review of Phytopathology, 4: 147-170
21. Schoch W., Heller I., Schweingruber F. K., Kienast F. 2004. Wood anatomy of central European Species.
<http://www.woodanatomy.ch/species.php?code=PISY#> (Marec 2012)
22. Schultz T. P., Harms W. B., Fisher T. H., McMurtrey K. D., Minn J., Nicholas D. D. 1995. Durability of angiosperm heartwood: the importance of exstractives. Holzforschung, 49: 29-34
23. Sinkar B. 2011. Vsebnost celokupnih fenolov v jelovih in smrekovih grčah. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 67 str.
24. Sjöström E. 1981. Wood chemistry, Fundamentals and Applications. New York, Academic Press: 223 str.
25. Skaar C. 1988. Wood water relations. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, Springer Verlag: 283 str.
26. Tišler V., Matevžič E. 1999. Taninska lužila na osnovi bakrovih kompleksnih spojin (teoretični del). Les, 51, 10: 304-308
27. Torelli N. 2000. Točka nasičenja celičnih sten (TNCS) – pregled. Les, 52, 5: 141 - 147
28. Torelli N., Čufar K. 1983. Sorpcija in stabilnost lesa. Les, 5 - 6: 101 - 106, 114.
29. Torelli N., Gorišek Ž., Oven P., Merela M. 2005. Mokro srce pri jelki (*Abies alba* Mill.). Les, 57, 1-2: 4-10

30. Tsoumis G. 1991. Science and Technology of Wood. Structure, Properties, Utilization. VNR Van Nostrand Reinhold. New York. 498 str.
31. Vavkman M. 2006. Sorpcijske lastnosti lesa zaščitenega z bakrovimi pripravki ali termično modifikacijo v vakuumu. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 95 str.
32. Vek V., Oven P. 2010. Variability in Content of Phenols in Beech Steam V: First Serbian Forestry Congress: Future With Forests. 2010. Ristić R. (ur.), Medarović M. (ur.), Popović Z. (ur.). Balgrade, University of Belgrade, Faculty of Forestry [and] Institute for Nature Conservation of Serbia. pp. 9.
33. Vek. V., Oven P., Rep G. 2010a. Vsebnost skupnih fenolov v beljavi, rdečem srcu in poranitvenem lesu pri bukvi (*Fagus sylvatica*). Les, 62, 5: 192-197
34. Venäläinen M., Harju A. M., Kainulainen P., Viitanen H., Nikulainen H. 2003. Variation in the decay resistance and its relationships with other wood characteristics in old Scots pines. Ann. For. Sci., 60: 409-417
35. Venäläinen M., Harju A. M., Saranpää P., Kainulainen P., Tiita M., Velling P. 2004. The concentration of phenolics in brown-rot decay resistant and susceptible Scots pine heartwood. Wood Science and Technology, 38: 109-118.
36. Ziegler G. A., Beall F. C. 1974. Water vapor sorption by softwood cell wall constituents. Research Briefs School of Forest Resources Pennsylvania State University, 8, 2: 10-12
37. Zule J. 2010. Kemijska karakterizacija lipofilnih in hidrofilnih ekstraktivov v lesu evropskega macesna (*Larix decidua* Mill.). Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 124 str.
38. Zule J., Tišler V., Žurej A., Torelli N. 2003. Isolation and characterization of essential oils from the cones of Norway spruce (*Picea abies* Karst.), European larch

(*Larix decidua* Mill.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Zbornik gozdarstva in lesarstva, 71: 159-172

39. Waldeck D. H. 1991. Photoisomerization Dynamics of Stilbenes. Chemical reviews, 91: 415-436
40. Willför S., Hemming J., Reunanen M., Holmbom B. 2003b. Phenolic and lipophilic extractives in Scots pine knots and stemwood. *Holzforschung*, 57: 359-372

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Maksu Mereli in somentorju prof. dr. Primožu Ovnu za vse nasvete, vodenje in strokovno pomoč pri izdelavi te magistrske naloge.

Hvala recenzentu izr. prof. dr. Željku Gorišku za kritično branje naloge in dodeljene nasvete.

Za vso pomoč pri eksperimentalnem delu naloge se zahvaljujem doc. dr. Alešu Stražetu, doc. dr. Idi Poljanšek, dr. Viljemu Veku, dr. Francu Budiji ter tehniškemu sodelavcu Luki Kržetu. Hvala za vaš dragocen čas.

Hvala soprogu Davidu za moralno podporo v času študija in pri izdelavi naloge ter mojima otrokoma, hčerki Zari in sinu Eriku, da sem smela biti spet študentka.

Hvala tudi mami in očetu, sestri Branki ter vsem ostalim, ki ste na kakršenkoli način pomagali, da je magistrska naloga dobila svojo končno podobo.

Hvala!

PRILOGE

Priloga A

Analiza variance gostot beljave in jedrovine v absolutno suhem stanju

<i>Vir variabilnosti</i>	<i>Vsota kvadratov</i>	<i>Prostostna stopnja</i>	<i>Srednji kvadrat</i>	<i>F-vrednost</i>	<i>P-vrednost</i>
Med skupinami	42,3384	1	42,3384	0,04	0,8515
Znotraj skupin	86366,1	72	1199,53		
Skupaj	86408,4	73			

Priloga A1

Analiza variance vlažnosti beljave in jedrovine v svežem stanju

<i>Vir variabilnosti</i>	<i>Vsota kvadratov</i>	<i>Prostostna stopnja</i>	<i>Srednji kvadrat</i>	<i>F-vrednost</i>	<i>P-vrednost</i>
Med skupinami	77524,4	1	77524,4	2540,19	0
Znotraj skupin	2197,37	72	30,5191		
Skupaj	79721,8	73			

Priloga A2

Analiza variance celotnega prostorninskega skrčka

<i>Vir variabilnosti</i>	<i>Vsota kvadratov</i>	<i>Prostostna stopnja</i>	<i>Srednji kvadrat</i>	<i>F-vrednost</i>	<i>P-vrednost</i>
Med skupinami	5,54891	1	5,54891	3,38	0,07
Znotraj skupin	118,075	72	1,63993		
Skupaj	123,624	73			

Priloga A3

Analiza variance celotnega prostorninskega nabreka

<i>Vir variabilnosti</i>	<i>Vsota kvadratov</i>	<i>Prostostna stopnja</i>	<i>Srednji kvadrat</i>	<i>F-vrednost</i>	<i>P-vrednost</i>
Med skupinami	9,43305	1	9,43305	3,41	0,0689
Znotraj skupin	199,159	72	2,76609		
Skupaj	208,592	73			

Priloga A4

Analiza variance vlažnosti točke nasičenja celičnih sten

<i>Vir variabilnosti</i>	<i>Vsota kvadratov</i>	<i>Prostostna stopnja</i>	<i>Srednji kvadrat</i>	<i>F-vrednost</i>	<i>P-vrednost</i>
Med skupinami	8,13831	1	8,13831	0,68	0,413
Znotraj skupin	864,352	72	12,0049		
Skupaj	872,49	73			

Priloga A5

Analiza variabilnosti med skupinama beljave in jedrovine

<i>Vir variabilnosti</i>	<i>Vsota kvadratov</i>	<i>Prostostna stopnja</i>	<i>Srednji kvadrat</i>	<i>F-vrednost</i>	<i>P-vrednost</i>
Med skupinami	3,75017	1	3,75017	43,44	0
Znotraj skupin	6,21565	72	0,0863284		
Skupaj	9,96582	73			

Priloga A6

Analiza variance diferencialnega nabreka beljave in jedrovine v radialni smeri na kvazilinearnem območju relativne zračne vlažnosti med 20 % in 87 %.

<i>Vir variabilnosti</i>	<i>Vsota kvadratov</i>	<i>Prostostna stopnja</i>	<i>Srednji kvadrat</i>	<i>F-vrednost</i>	<i>P-vrednost</i>
Med skupinami	0,00570571	1	0,00570571	4,66	0,0341
Znotraj skupin	0,0880727	72	0,00122323		
Skupaj	0,0937784	73			

Priloga A7

Analiza variance diferencialnega nabreka beljave in jedrovine v tangencialni smeri

<i>Vir variabilnosti</i>	<i>Vsota kvadratov</i>	<i>Prostostna stopnja</i>	<i>Srednji kvadrat</i>	<i>F-vrednost</i>	<i>P-vrednost</i>
Med skupinami	0,0269692	1	0,0269692	7,65	0,0072
Znotraj skupin	0,253859	72	0,00352582		
Skupaj	0,280828	73			

Priloga A8

Analiza variance koeficienta nabrekanja beljave in jedrovine v tangencialni smeri

<i>Vir variabilnosti</i>	<i>Vsota kvadratov</i>	<i>Prostostna stopnja</i>	<i>Srednji kvadrat</i>	<i>F-vrednost</i>	<i>P-vrednost</i>
Med skupinami	0,000124445	1	0,000124445	1,24	0,2686
Znotraj skupin	0,00720961	72	0,000100133		
Skupaj	0,00733405	73			

Priloga A9

Analiza variance sorpcijskega kvocienta beljave in jedrovine

<i>Vir variabilnosti</i>	<i>Vsota kvadratov</i>	<i>Prostostna stopnja</i>	<i>Srednji kvadrat</i>	<i>F-vrednost</i>	<i>P-vrednost</i>
Med skupinami	0,00682233	1	0,00682233	55,93	0
Znotraj skupin	0,00878307	72	0,000121987		
Skupaj	0,0156054	73			

Priloga A10

Prikaz statistično značilne razlike med beljavo in jedrovino

<i>Kontrast</i>	<i>Stat. značilna razlika</i>	<i>Razlika</i>	<i>+/- Limits</i>
beljava - jedrovina	*	0,0197981	0,00527745

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Vanja TURIČNIK

**ZVEZA MED VSEBNOSTJO EKSTRAKTIVOV IN
SORPCIJSKIMI LASTNOSTMI RDEČEGA BORA
(*Pinus sylvestris*)**

Magistrska naloga

Magistrski študij – 2. stopnja

Ljubljana, 2014

