

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Primož ŽAGAR

**VPLIV VARIABILNE ZGRADBE MACESNOVINE  
NA NJENE DIMENZIJSKE IN OBLIKOVNE  
SPREMEMBE**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2011

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Primož ŽAGAR

**VPLIV VARIABILNE ZGRADBE MACESNOVINE  
NA NJENE DIMENZIJSKE IN OBLIKOVNE SPREMEMBE**

DIPLOMSKI PROJEKT  
Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

**THE INFLUENCE OF VARIABLE STRUCTURE OF LARCH WOOD  
ON DIMENSIONAL AND SHAPE STABILITY**

B. SC. THESIS  
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2011

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega strokovnega študija Tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno na Katedri za tehnologijo lesa na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Željka Goriška, za recenzentko pa prof. dr. Katarino Čufar.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomski projekt je rezultat lastnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega projekta na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je projekt, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identičen tiskani verziji.

Primož Žagar

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dv1
- DK UDK 630\*812
- KG gostota lesa/prirastek/krčenje/nabrekanje/dimenzijska stabilnost/*Larix decidua* Mill. (evropski macesen)/*Larix sibirica* (Münch) Ledeb. (sibirski macesen)
- AV ŽAGAR, Primož
- SA GORIŠEK, Željko (mentor)/ČUFAR, Katarina (recenzent)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- LI 2011
- IN VPLIV VARIABILNE ZGRADBE MACESNOVINE  
NA NJENE DIMENZIJSKE IN OBLIKOVNE SPREMEMBE
- TD Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja)
- OP VIII, 26 str., 5 pregl., 18 sl., 13 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Dimenzijske spremembe in vpliv variabilne zgradbe lesa smo proučevali na jedrovini, mladostnem lesu in beljavi evropskega macesna (*Larix decidua* Mill.) ter na jedrovini sibirskega macesna (*Larix sibirica* (Münch) Ledeb.). Dimenzijsko stabilnost smo ugotavljali s spremljanjem krčenja ( $\beta$ ) in nabrekanja ( $\alpha$ ) ter z določanjem kazalnikov dimenzijske stabilnosti: diferencialnega nabreka ( $q$ ), koeficienta nabrekanja ( $h$ ) v radialni in tangencialni smeri ter sorpcijskega kvocienta ( $s$ ). Prirastne značilnosti smo ocenili iz širin ranega in kasnega lesa, kjer smo določili tudi gostoto smolnih kanalov. Ugotovili smo, da med evropskim in sibirskim macesnom ni statistično značilnih razlik v dimenzijski stabilnosti lesa. Med seboj sta si najbolj podobna jedrovina in mladostni les evropskega macesna. Pri vseh meritvah je imel les sibirskega macesna najmanjšo variabilnost.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND Dv1
- DC UDC 630\*812
- CX wood density/growth increment/shrinking/swelling/dimensional stability/*Larix decidua* Mill. (European larch)/*Larix sibirica* (Münch) Ledeb. (Siberian larch)
- AU ŽAGAR, Primož
- AA Gorišek Željko, (supervisor)/ČUFAR, Katarina (co-supervisor)
- PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
- PY 2011
- TY INFLUENCE OF VARIABLE STRUCTURE OF LARCH WOOD  
ON DIMENSIONAL AND SHAPE STABILITY
- DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)
- NO VIII, 26 p., 5 tab., 18 fig., 13 ref.
- LA sl
- Al sl/en
- AB The swelling and shrinking of juvenile wood, sapwood and heartwood of European larch (*Larix decidua* Mill.) were compared to Siberian larch (*Larix Sibirica* (Münch) Ledeb.) heartwood. The dimensional stability was examined by observation of shrinking ( $\beta$ ) and swelling ( $\alpha$ ), and by determining the indicators of dimensional stability: differential swelling ( $q$ ), swelling coefficient ( $h$ ) in radial and tangential direction, and by sorption quotient ( $s$ ). The growth characteristics were assessed from width of earlywood and latewood, where the resin duct density was also determined. There were no statistically distinctive differences between European and Siberian larch in wood dimensional stability. The heartwood and juvenile wood of European larch were very similar. In all measurements the wood of Siberian larch had the lowest variability.

## KAZALO VSEBINE

<b>KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA .....</b>	<b>III</b>
<b>KEY WORDS DOCUMENTATION .....</b>	<b>IV</b>
<b>KAZALO VSEBINE .....</b>	<b>V</b>
<b>KAZALO SLIK .....</b>	<b>VII</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1 HIPOTEZA .....	1
1.2 CILJ NALOGE.....	1
<b>2 SPLOŠNI DEL.....</b>	<b>2</b>
2.1 RASTIŠČE MACESNOVINE .....	2
2.2 ANATOMSKA ZGRADBA MACESNOVINE .....	3
2.3 VPLIV ŠIRINE BRANIKE NA LASTNOSTI MACESNOVINE .....	3
2.4 FIZIKALNE IN MEHANSKE LASTNOSTI LESA .....	4
<b>2.4.1 Fizikalne lastnosti lesa.....</b>	<b>4</b>
2.4.1.1 Gostota lesa .....	4
2.4.1.2 Vlažnost lesa.....	4
2.4.1.3 Sorpcijske lastnosti .....	5
2.4.1.4 Krčenje in nabrekanje lesa.....	5
2.4.1.5 Dimenzijske in oblikovne spremembe lesa .....	6
2.5 UPORABA MACESNOVINE.....	7
<b>3 MATERIAL IN METODE.....</b>	<b>8</b>
3.1 MATERIAL .....	8
<b>3.1.1 Rastišče vzorčenja .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1.2 Priprava vzorcev.....</b>	<b>8</b>
3.2 METODE .....	9
<b>3.2.1 Merjenje širin branik in števila smolnih kanalov.....</b>	<b>9</b>
<b>3.2.2 Postopki za določanje nabrekanja in krčenja macesnovine.....</b>	<b>10</b>
<b>3.2.3 Postopki za določanje ravnovesne vlažnosti in kazalnikov dimenzijske stabilnosti.....</b>	<b>10</b>
<b>4 REZULTATI .....</b>	<b>12</b>
4.1 ŠIRINA BRANIK, DELEŽI RANEGA IN KASNEGA LESA TER GOSTOTA SMOLNIH KANALOV .....	12
4.2 RAVNOVESNA VLAŽNOST .....	13
4.3 KRČENJE IN NABREKANJE .....	14
4.4 DIMENZIJSKA IN OBLIKOVNA STABILNOST MACESNOVINE .....	15
<b>5 RAZPRAVA.....</b>	<b>16</b>

5.1	PRIMERJAVA ANATOMSKIH ZNAČILNOSTI LESA DOMAČEGA IN SIBIRSKEGA MACESNA .....	16
5.2	GOSTOTA LESA .....	17
5.3	PRIMERJAVA KRČITVENIH LASTNOSTI MACESNOVINE.....	17
<b>5.3.1</b>	<b>Krčenje .....</b>	<b>17</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Nabrekanje.....</b>	<b>19</b>
5.4	KAZALNIKI DIMENZIJSKE STABILNOSTI .....	20
<b>6</b>	<b>SKLEP .....</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>POVZETEK.....</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>VIRI .....</b>	<b>26</b>
	<b>ZAHVALA</b>	

## KAZALO SLIK

Slika 1:	Areal evropskega macesna ( <i>Larix decidua</i> Mill.).....	2
Slika 2:	Areal sibirskega macesna ( <i>Larix sibirica</i> (Münch) Ledeb.).....	3
Slika 3:	Volumensko krčenje ali nabrekanje je enako količini oddane ali sprejete higroskopske vode, lumni pa ostanejo enaki ( $r_1 = r_2$ ).....	6
Slika 4:	Vzorci za merjenje deležev ranega in kasnega lesa in štetje smolnih kanalov...	8
Slika 5:	Prečni prerez vzorca za merjenje deležev ranega in kasnega lesa in določanja števila smolnih kanalov .....	9
Slika 6:	Merilna mizica Lintab s stereo lupo Olympus SZ – STU2 .....	9
Slika 7:	Potapljanje vzorcev v hladni vodi.....	10
Slika 8:	Prečni prerezi: a) jedrovine, b) mladostnega lesa, c) beljave evropskega macesna in d) sibirskega macesna .....	16
Slika 9:	Gostota vseh vzorcev: za spremljanje krčenja in nabrekanja evropski macesen (jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B)) ter sibirski macesen (S) in za spremljanje dimenzijskih kazalnikov evropski macesen (jedrovina (J1), mladostni les (M1) in beljava (B1)) ter sibirski macesen (S1).....	17
Slika 10:	Krčenje v radialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S) .....	18
Slika 11:	Krčenje v tangencialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S).....	18
Slika 12:	Nabrek v radialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S) .....	19
Slika 13:	Nabrek v tangencialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S).....	20
Slika 14:	Diferencialni nabrek v radialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S) .....	21
Slika 15:	Diferencialni nabrek v tangencialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S).....	21
Slika 16:	Koeficient nabreka v radialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S) .....	22
Slika 17:	Koeficient nabreka v tangencialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S).....	22
Slika 18:	Sorpcijski kvocient pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S).....	23



## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Kriteriji za ocenitev dimenzijske stabilnosti.....	11
Preglednica 2: Povprečna ( $X_p$ ) širina ranega in kasnega lesa, število smolnih kanalov v pasu 35 mm x 15 mm (R x T) v ranem in kasnem lesu ter skupna širina branike pri evropskem macesnu v jedrovini (J), mladostnem lesu (M) in beljavi (B) ter v sibirskem macesnu (S) (KV – koeficient variacije).....	12
Preglednica 3: Začetne vlažnosti in ravnovesne vlažnosti pri treh relativnih zračnih vlažnostih ( $\varphi$ ) in temperaturi 20 °C za evropski macesen: jedrovino (J), mladostni les (M) in beljavo (B) ter sibirski macesen (S). $X_p$ – povprečna vrednost, $X_{min}$ – minimalna vrednost, $X_{maks}$ – maksimalna vrednost, KV% – koeficient variacije in $\sigma$ – standardni odklon.....	13
Preglednica 4: Skrčki ( $\beta$ ) in nabreki ( $\alpha$ ) v radialni (R) in tangencialni (T) smeri, prečna krčitvena anizotropija ( $\beta_T / \beta_R$ in $\alpha_T / \alpha_R$ ) ter gostota ( $\rho_0$ ) v absolutno suhem stanju za evropski macesen: jedrovino (J); mladostni les (M) in beljavo (B) ter sibirski macesen (S). $X_p$ – povprečna vrednost, $X_{min}$ – minimalna vrednost, $X_{maks}$ – maksimalna vrednost, KV% – koeficient variacije in $\sigma$ – standardni odklon.....	14
Preglednica 5: Diferencialni nabrek (q), koeficient nabreka (h), anizotropija ( $q_T/q_R$ ), sorpcijski kvocient (s) ter gostota ( $\rho_0$ ) za evropski macesen: jedrovino (J), mladostni les (M) in beljavo (B) ter sibirski macesen (S). $X_p$ – povprečna vrednost, $X_{min}$ – minimalna vrednost, $X_{maks}$ – maksimalna vrednost, KV% – koeficient variacije in $\sigma$ – standardni odklon.....	15

## 1 UVOD

Macesnovino uvrščamo med dokaj trajne lesne vrste z majhnimi dimenzijskimi spremembami. Te lastnosti nam omogočajo, da lahko ta les uporabimo za talne obloge na terasah ali balkonih, za zunanje opaže, razne konstrukcije v stiku s tlemi ali z vodo ter pohištvo.

V praksi se pojavljajo mnenja, da obstajajo znatne razlike med domačim evropskim in sibirskim macesnom. Razlike v lastnostih lesa naj bi bile tako velike, da vplivajo na širšo uporabnost lesa. Lesu sibirskega macesna prepisujejo mnogo boljše dimenzijsko in oblikovno stabilnost, kot jo ima domači macesen.

### 1.1 HIPOTEZA

Tipična rastišča obeh vrst macesnov se med seboj močno razlikujejo, zato predvidevamo, da na dimenzijsko in oblikovno stabilnost macesnovine vpliva večje število dejavnikov, kot jih poznamo. Hkrati pa želimo potrditi hipotezo, da večji delež smolnih kanalov vpliva na večjo oblikovno stabilnost. S pomočjo te hipoteze bi pojasnili manjše delovanje gostejšega lesa macesnovine.

### 1.2 CILJ NALOGE

Na čim širšem izboru lesa sibirskega in evropskega macesna želimo ugotoviti, vpliv gostote lesa, širine ranega in kasnega lesa ter števila smolnih kanalov v ranem in kasnem lesu na dimenzijsko in oblikovno stabilnost macesnovine v različnih klimatskih pogojih.

Poleg tega želimo ugotoviti, ali ima rastišče sibirskega in domačega macesna vpliv na širino ranega in kasnega lesa in na število smolnih kanalov ter ali obstaja možnost, da imajo na dimenzijske in oblikovne spremembe vpliv tudi drugi dejavniki.

## 2 SPLOŠNI DEL

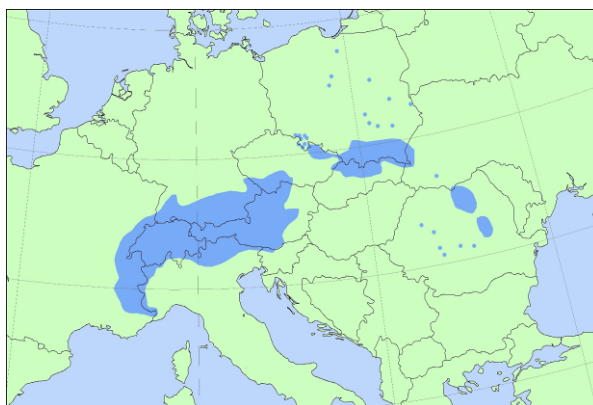
### 2.1 RASTIŠČE MACESNOVINE

Macesen (*Larix* sp.) v naravi najdemo v hladnih območjih severne poloble in brez težav lahko prenese mraz do  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Rad ima svetlobo, ponavadi ga najdemo le posamično na odprtih področjih. Macesen ima najraje vlažna, globoka, rahla in zračna tla obogatena z minerali. Zelo je občutljiv na sušo. Bolje uspeva na apnenčastih kot na silikatnih tleh. Pri tem ga nestabilna tla ne motijo. Rad ima višjo zračno vlažnost in dobro prevetrene lege. V slabo prevetrenih dolinah ne uspeva dobro. Moti ga tudi previsoka zračna vlažnost in megla.

V nižjih legah najbolje uspeva na severnih pobočjih. V višjih nadmorskih višinah ne izbira lege in preprečuje erozijo tal. Za rast ne potrebuje veliko toplote in dolge vegetacijske dobe. Dovolj mu je 50 rastnih dni. Dobro prenaša tudi obremenitve s snegom in močnim vetrom.

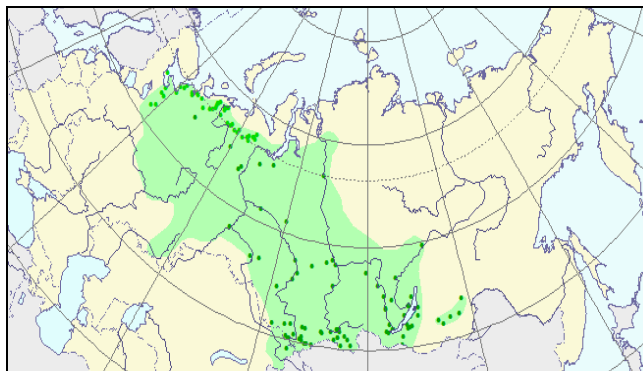
Evropski macesen (*Larix decidua* Mill.) je najbolj razširjen v Alpah, od Sredozemskih Alp v Franciji čez Švico in Avstrijo do Slovenije. V tem območju najbolje uspeva na nadmorski višini med 400 in 2400 m. Nahajališča evropskega macesna so še v Karpatih in v Visokih in Nizkih Tatrah, kjer raste na nadmorski višini med 400 in 1600 m (sl. 1). V manjšem obsegu pa evropski macesen uspeva tudi v severnem delu Moravske in Šlezije na nadmorski višini med 350 in 800 m ter v nižinah južne in srednje Poljske v pasu med 200 in 600 m nadmorske višine (Brus, 2008).

Rastišče evropskega macesna v Sloveniji je v pasu med 560 in 2000 m nadmorske višine v Julijskih Alpah, Karavankah ter v Kamniških Alpah. Najlepši macesnovi gozdovi pri nas so do nadmorske višine 1600 m. Zaradi svoje skromnosti je najpogostejši na zgornji gozdni meji, kjer ostala drevesa ne uspevajo (Brus, 2008).



Slika 1: Areal evropskega macesna (*Larix decidua* Mill.) (EUFORGEN, 2009)

Areal sibirskega macesna (*Larix sibirica* (Münch) Ledeb.) je severni del Skandinavije, vzhodna Rusija, Sibirija ter vse do severa Kitajske (sl. 2). V Skandinaviji so sibirski macesen zasadili zaradi potreb lesne industrije. Ta drevesna vrsta se v Skandinaviji ne pojavlja kot glavni tvorec gozdov v strnjenih, temveč v manjših skupinah. Na prvi pogled sibirski macesen težko ločimo od evropskega macesna.



Slika 2: Areal sibirskega macesna (*Larix sibirica* (Münch) Ledeb.) (Malyshev, 2008)

## 2.2 ANATOMSKA ZGRADBA MACESNOVINE

Les macesna prepoznamo po značilnem aromatičnem vonju in značilni barvi jedrovine. Sprva je pri evropskem macesnu jedrovina rdečkastorjava, nato pa barva nekoliko potemni. Barva beljave pa je rumenkasta. Barva sibirskega macesna ni tako izrazita, rani les je rumenkaste barve, kasni les pa rjave barve. Značilno je tudi, da je prehod iz ranega v kasni les v braniki praviloma oster.

Na prečnem prerezu se lahko s pomočjo lupe vidijo majhni posamični smolni kanali. Smolni kanali so pri macesnu lahko posledica poškodb, v večini pa je njihov pojav normalen vrojen. Normalni smolni kanali se delijo na radialne in na aksialne. Pod mikroskopom pa lahko vidimo, da so smolni kanali obdani z debelostenimi epitelnimi celicami, katere so piknjave in lignificirane. Vzrok nastanka votline smolnega kanala je razmik nezrelih aksialnih elementov v procesu diferenciacije celic v kambijevi coni (Čufar, 2006).

Macesnov les pod mikroskopom lahko prepoznamo še po drugih znakih, kot so: heterocelularni trakovi, treheide brez helikalnih odebelitev, v križnih poljih je več manjših pikenj picoidnega tipa, v aksialnih traheidah ranega lesa so lahko piknje razvrščene v dveh nizih.

## 2.3 VPLIV ŠIRINE BRANIKE NA LASTNOSTI MACESNOVINE

Širina branike ima velik vpliv na fizikalne in mehanske lastnosti lesa. Pri macesnovini je širina ranega lesa več ali manj enaka ne glede na širino branike. Kasni les ima višjo gostoto kot rani les, zato je les z ožjimi branikami gostejši od tistega, ki ima širše branike. Vpliv gostote na trdnostne lastnosti lesa je sorazmeren, večja kot je gostota, bolj je les trden. Gostota vpliva tudi na krčenje lesa. Gostejši kot je les, večje so dimenzijske spremembe.

## 2.4 FIZIKALNE IN MEHANSKE LASTNOSTI LESA

### 2.4.1 Fizikalne lastnosti lesa

#### 2.4.1.1 Gostota lesa

Gostota je za vsako lesno vrsto specifična in variabilna. Na gostoto lesa vpliva več dejavnikov in variira tudi znotraj ene drevesne vrste. Na variabilno gostoto znotraj lesne vrste vplivajo zunanji dejavniki, kot so: količine hranil v tleh, vlaga tal in zraka, vrsta tal, število rasnih dni, klimatski pogoji ter še nekateri drugi dejavniki. Notranji dejavniki, ki vplivajo na gostoto lesa so: količine vezane in proste vode v lesu, poroznost lesa, različni deleži parenhimskega tkiva, trakov in trahej ter števila smolnih kanalov.

Kadar zapišemo vrednost gostote nekega lesa, moramo v indeksu navesti, pri kateri vlažnosti lesa smo merili maso in volumen. Pogosto uporabljamo gostoto lesa v absolutno suhem stanju.

$$\rho_0 = m_0 / V_0 \quad \dots (1)$$

$\rho_0$     gostota v absolutno suhem stanju ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $m_0$     masa lesa v absolutno suhem stanju (kg)  
 $V_0$     volumen lesa v absolutno suhem stanju ( $\text{m}^3$ )

Les macesnovine spada v srednji razred gostote (Grosser in Teetz, 1985). Njegova povprečna gostota v absolutno suhem stanju je  $550 \text{ kg/m}^3$ . Macesnovina lahko doseže tudi nižjo gostoto v absolutno suhem stanju do  $400 \text{ kg/m}^3$  ali najvišjo do  $820 \text{ kg/m}^3$  (Wagenführ in Scheiber, 1996). Gostota lesa je odvisna od deleža ranega in kasnega lesa znotraj branike. Gostota ranega lesa v absolutno suhem stanju macesnovine je od  $350 \text{ kg/m}^3$  do  $440 \text{ kg/m}^3$ . Kasni les je gostejši od ranega v razmerju od 2,8 do 2,1 kar pomeni, da je njegova gostota od  $880 \text{ kg/m}^3$  do  $910 \text{ kg/m}^3$  (Gorišek, 2009).

#### 2.4.1.2 Vlažnost lesa

V svežem lesu se nahaja veliko vezane in proste vode. Voda v lesu ne izboljšuje fizikalnih ali mehanskih lastnosti ter zmanjšuje biološko odpornost lesa, zato jo je potrebno izločiti. Količina vode ni enaka med vsemi drevesnimi vrstami, razlikuje se tudi znotraj ene drevesne vrste. Vlažnost lesa v živem drevesu je največja v beljavi, nato pa z oddaljenostjo od kambija pada. Količina vode v lesu je odvisna od gostote lesa, deleža celičnih sten in deleža por.

Vlažnost lesa je v praksi izražena relativno, kot količina vode na maso lesa v absolutno suhem stanju (SIST EN 13183-1:2002).

$$u = (m_{v1} - m_0) / m_0 \quad \dots (2) \quad \text{oz.} \quad U = ((m_{v1} - m_0) / m_0) 100 \quad \dots (3)$$

Redkeje pa izražamo absolutno vlažnost, ki pove razmerje med maso vode v lesu in maso vlažnega lesa (Gorišek, 2009).

$$x = (m_{vl} - m_0) / m_{vl} \quad \dots (4)$$

U, u    lesna vlažnost (%) / (kg/kg)  
m<sub>0</sub>    masa absolutno suhega lesa (kg)  
m<sub>vl</sub>    masa vlažnega lesa (kg)  
x       absolutna vlažnost lesa (kg/kg)

#### 2.4.1.3 Sorpcijske lastnosti

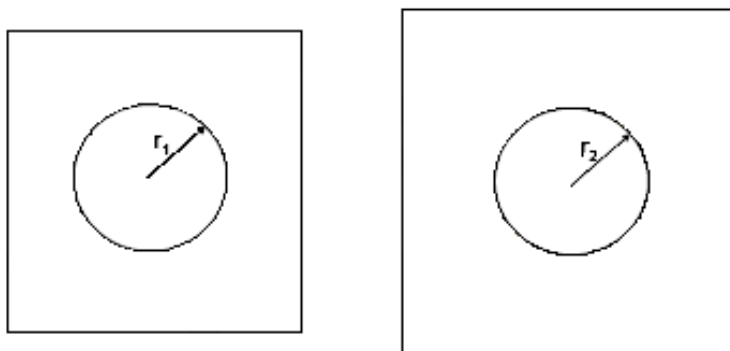
Les je zaradi svoje specifične zgradbe in velike notranje površine lumnov, ki jo oblikujejo makro in mikro kapilare v celičnih stenah, higroskopen, zato sprejme več ali manj vode. Z nihanjem klime se vlažnost lesa spreminja, količina vezane vode pa je omejena s številom sorpcijskih mest. V lesu so najbolj higroskopni: celuloza, polioze, lignin in nekateri ekstraktivi (Wangaard in Granados, 1967).

Ravnovesna vlažnost je odvisna od relativne zračne vlažnosti zraka pri neki konstantni temperaturi in jo izražamo s sorpcijskimi izotermami. Sorpcijske izoterme delimo na tri intervale. Prvi interval je pri nizki relativni vlažnosti zraka od 0 % do 30 %, drugi del je relativni vlažnosti zraka od 30 % do 55 % in tretji interval je zgornje higroskopsko območje, kjer se zapolnijo vsa mesta v celični steni (Gorišek, 2009).

Sorpcijska izoterma, ki jo dobimo z uravnovešanjem v adsorpciji ali desorpciji pri neki relativni zračni vlažnosti in konstantni temperaturi, je sigmoidne oblike tretjega tipa in ima obliko histerezne zanke. Zaradi neskladja sorpcijskih izoterm je ravnovesna vlažnost lesa v adsorpciji nižja kot pa v desorpciji (Gorišek, 2009).

#### 2.4.1.4 Krčenje in nabrekanje lesa

Krčenje ali nabrekanje je najmanj zaželena lastnost lesa. Delovanje lesa je vezano na spremembo vlažnosti lesa od točke nasičenja celičnih sten (TNCS) do absolutno suhega stanja. Volumensko krčenje ali nabrekanje je količinsko enako volumnu oddane ali sprejete higroskopske vode. Velikosti celičnih lumnov se pri sprejemanju ali oddajanju vode ne spremenijo (Gorišek, 2009) (sl. 3).



Slika 3: Volumensko krčenje ali nabrekanje je enako količini oddane ali sprejete higroskopske vode, lumni pa ostanejo enaki ( $r_1 = r_2$ ) (Gorišek, 2009)

Krčenje ali nabrekanje oz. delovanje lesa ni v vseh smereh enako. Najmanjše je v vzdolžni smeri, največje pa je v tangencialni smeri. Na različno delovanje lesa ima vpliv njegova anatomsko in kemična zgradba. Pri macesnovini so skrčki v radialni smeri ( $\beta_R$ ) od 3,3 % do 4,3 %, v tangencialni smeri ( $\beta_T$ ) pa so od 7,8 % do 10,4 % (Wagenführ in Scheiber, 1996). Krčenje ali nabrekanje v radialni smeri je 10–krat, v tangencialni smeri pa 20–krat večje od krčenja ali nabrekanja v vzdolžni smeri. Krčenje in nabrekanje v vzdolžni smeri pri macesnu je okoli 0,3 %. Delovanje v tej smeri preprečujejo vzdolžno orientirani kristaliti celuloze, prem potek vlaken v deblu in usmerjenost mikrofibril v srednjem sloju sekundarne stene (Gorišek, 2009).

#### 2.4.1.5 Dimenzijske in oblikovne spremembe lesa

Zaradi nihajočih klimatskih razmer se lesu spreminjajo dimenzije. Delovanje lesa lahko omilimo z osušitvijo na takšno ravnovesno vlažnost, kot bo znašala na mestu vgradnje, to je od 7 % do 20 %, kar pa tudi ustreza normalnim vremenskim nihanjem relativne zračne vlažnosti od 30 % do 90 % (Gorišek, 2009). Zaradi teh dejavnikov na določenih mestih ni priporočljivo uporabljati katerekoli lesne vrste. Na mestih, kjer so nihanja relativne zračne vlažnosti visoka, je priporočljivo, da uporabimo lesne vrste, ki imajo večjo dimenzijsko stabilnost, les pa še dodatno zaščitimo s hidrofobnimi sredstvi, pomembno je tudi, da je pravilno vgrajen.

Delovanje lesa ovrednotimo s kazalniki dimenzijske stabilnosti. Kazalniki dimenzijske stabilnosti pa so: diferencialni nabrek, koeficient nabreka in sorpcijski kvocient (Gorišek, 2009). Les ima ugodno dimenzijsko stabilnost, kadar so kazalniki dimenzijske stabilnosti čim manjši. Za samo uporabo lesa pa je tudi pomembna anizotropija v kvazilinearnem območju, ki je razmerje med tangencialnim in radialnim diferencialnim nabrekom ali koeficientom nabreka.

Dimenzijski kazalniki macesnovine so pri diferencialnem nabreku v radialni 0,14 %/% in v tangencialni smeri 0,30 %/%. Razmerje anizotropije pri diferencialnem nabreku je 2,1 (Grosser in Teetz, 1985). Maksimalni koeficient nabreka pri macesnovini je v radialni 0,027 %/% in v tangencialni smeri 0,057 %/% (Ugrenovič, 1950, Gorišek, 1992).

## 2.5 UPORABA MACESNOVINE

Macesnovina je široko uporaben les, to velja tako za sibirski kot tudi za evropski macesen, čeprav v praksi prihaja do določenih odstopanj. Obe lesni vrsti se uporabljata za enake namene.

Zaradi dobre naravne trajnosti, trdnosti in dekorativnosti lahko les macesnovine uporabljamo v različne namene od zahtevne zunanje do notranje uporabe. Na lestvici naravne trajnosti od najboljše 1 do najslabše 5, je macesnovina ocenjena z oceno 3, kar nam omogoča, da lahko les uporabimo v najrazličnejših primerih.

Poleg dobrih naravnih lastnosti se macesnovina tudi dobro obdeluje, kar še poveča njeno uporabnost v praksi. Težave ponavadi nastanejo pri lesu, kjer aksialni elementi potekajo spiralno ali če ta vsebuje večje količine smole. Glavna težava smole je, da se lepi na rezalno orodje. Potrebno je paziti na jedrovino, ker je ta nagnjena k pokanju. Pri žebljanju je priporočljivo predhodno vrtanje uvajalnih lukenj. Pri površinski obdelavi pa lahko pride do težav, kadar je na površini preveč smole. Zato je priporočljivo smolo pred začetkom površinske obdelave odstraniti s površine.

Les macesnovine je uporaben v zunanji uporabi kot konstrukcijski les za vodne konstrukcije, konstrukcije v stiku s tlemi, ograje, fasade, pode teras in balkonov, mostove, stavbno pohištvo, vrtno pohištvo, sode in korita. Njegove dekorativne lastnosti nam omogočajo, da ga lahko uporabljamo tudi za izdelavo stilnega pohištva ali pa za izdelavo galanterijskih izdelkov, kot so: ročaji, kuhinjske deske ipd.



### 3 MATERIAL IN METODE

#### 3.1 MATERIAL

##### 3.1.1 Rastišče vzorčenja

Za ugotavljanje vpliva variabilne zgradbe na dimenzijsko stabilnost in oblikovne spremembe smo uporabili les domačega oziroma evropskega macesna (*Larix decidua* Mill.) in les sibirskega macesna (*Larix sibirica* (Münch) Ledeb.). Les domačega macesna smo pridobili z rastišča v Zgornji Sorici, ki leži na nadmorski višini od 680 do 970 m. Sibirski macesen pa smo dobili pri enem od uvoznikov tega lesa v Slovenijo.

##### 3.1.2 Priprava vzorcev

Les, ki smo ga pridobili za raziskavo, smo razdelili v kategorije; pri domačem macesnu na beljavo (B), mladostni les (M) in jedrovino (J), les sibirskega macesna (S) pa smo proučevali kot celoto, saj je prevladovala jedrovina adultnega lesa. Mladostni les evropskega macesna smo omejili do 20 branike. Iz vzorčnega lesa smo izdelali orientirane palice različnih dolžin s prerezom 35 mm x 35 mm (R x T). Iz palic smo nato narezali preizkušance debeline 7 mm (sl. 4).

Preizkušance smo razdelili na skupine za proučevanje:

- anatomskih značilnost (širine branik, deleži ranega in kasnega lesa, število smolnih kanalov),
- krčenja in nabrekanja,
- ravnovesnih vlažnosti,
- dimenzijskih in oblikovnih stabilnosti.

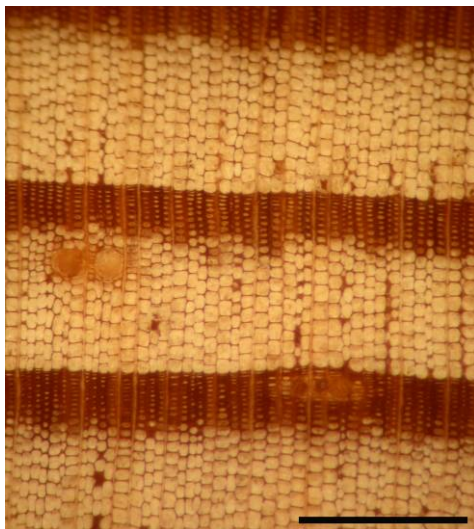


Slika 4: Vzorci za merjenje deležev ranega in kasnega lesa in štetje smolnih kanalov

## 3.2 METODE

### 3.2.1 Merjenje širin branik in števila smolnih kanalov

Preizkušancem smo izmerili širine branik ter širine ranega in kasnega lesa s pomočjo merilne mizice Lintab in programa TSAPWin, ki je zapisoval razdalje med letnicama (širine branik) oziroma širine ranega in kasnega lesa. Prehod iz ranega v kasni les smo določili na meji, kjer je bila širina lumna enaka dvojni debelini celične stene (sl. 5 in sl. 6).



Slika 5: Prečni prerez vzorca za merjenje deležev ranega in kasnega lesa in določanja števila smolnih kanalov

Preizkušancem smo po sredini v pasu 35 mm x 15 mm (R x T) določili tudi gostoto smolnih kanalov na enoto površine, ločeno v ranem in kasnem lesu, ki smo jim predhodno izmerili širine.



Slika 6: Merilna mizica Lintab s stereo lupo Olympus SZ – STU2

### 3.2.2 Postopki za določanje nabrekanja in krčenja macesnovine

Postopek določanja nabrekanja in krčenja je potekal tako, da smo imeli dve vzporedni skupini preizkušancev. Po uravnovešanju v normalni klimi pri temperaturi 20 °C in ravnovesni vlažnosti zraka 65 % smo eno skupino preizkušancev potopili v vodo (sl. 7), drugo skupino pa smo v vakuumskem sušilniku osušili do absolutno suhega stanja. Po uravnovešanju smo skupini zamenjali in na koncu obe skupini osušili do absolutno suhega stanja. Po vsakem uravnovešanju smo vzorce stehali in jim izmerili dimenzije (aksialno, radialno, tangencialno).

Temperatura v vakuumskem sušilniku ni smela presegati več kot 50 °C, ker bi se lahko poleg vode začela izločati tudi smola.



Slika 7: Potapljanje vzorcev v hladni vodi

Krčenje  $\beta$  in nabrekanje  $\alpha$  lesa smo izračunali po enačbah:

$$\beta_{R,T} = (l_{vl.} - l_0) / l_{vl.} \cdot 100 \quad \dots (5)$$

$$\alpha_{R,T} = (l_{vl.} - l_0) / l_0 \cdot 100 \quad \dots (6)$$

$\alpha_{R,T}$  nabrekanje v radialni ali tangencialni smeri (%)

$\beta_{R,T}$  krčenje v radialni ali tangencialni smeri (%)

$l_{vl.}$  dolžina v radialni ali tangencialni smeri v vlažnem stanju lesa (mm)

$l_0$  dolžina v radialni ali tangencialni smeri v absolutno suhem stanju lesa (mm)

### 3.2.3 Postopki za določanje ravnovesne vlažnosti in kazalnikov dimenzijske stabilnosti

Postopek določanja dimenzijske stabilnosti je potekal tako, da smo na začetku vzorce uravnovesili v normalnih pogojih pri temperaturi 20 °C in ravnovesni vlažnosti zraka 65 %. Po uravnovešanju smo preizkušance stehali in jim izmerili dimenzije, nato pa smo jih polovico premestili v klimo z višjo relativno zračno vlažnostjo, drugo polovico pa z nižjo. Klime smo uravnavali z nasičenimi solnimi raztopinami; za nižjo smo uporabili magnezijev klorid, ki pri 20 °C vzpostavlja relativno zračno vlažnost 34 %, višjo relativno zračno vlažnost (pribl. 86 %) pa smo vzpostavljali z nasičeno raztopino cinkovega sulfata. Po uravnovešanju smo vzorce stehali in premerili ter predstavili iz suhe v vlažno klimo in obratno. Po ponovnem merjenju smo vse preizkušance posušili na absolutno suho stanje.

Krčenje in nabrekanje v kvazilinearnem območju smo ovrednotili s kazalniki dimenzijske stabilnosti:

- Diferencialni nabrek pove, za koliko se spremeni dimenzija vzorca, če se lesna vlažnost vzorca spremeni za 1 %.

$$q_R = \Delta \alpha_R / \Delta u \quad \dots (7) \qquad q_T = \Delta \alpha_T / \Delta u \quad \dots (8)$$

$q_R$    diferencialni nabrek v radialni smer (%/%)  
 $q_T$    diferencialni nabrek v tangencialni smeri (%/%)  
 $\Delta \alpha_R$  sprememba nabreka v radialni smeri (%)  
 $\Delta \alpha_T$  sprememba nabreka v tangencialni smeri (%)  
 $\Delta u$    sprememba vlažnosti lesa (%)

- Koeficient nabrekanja pove, za koliko se spremenijo dimenzije vzorca, če se relativna zračna vlažnost lesa spremeni za 1 %.

$$h_R = \Delta \alpha_R / \Delta \varphi \quad \dots (9) \qquad h_T = \Delta \alpha_T / \Delta \varphi \quad \dots (10)$$

$h_R$    koeficient nabrekanja v radialni smeri (%/%)  
 $h_T$    koeficient nabrekanja v tangencialni smeri (%/%)  
 $\Delta \alpha_R$  sprememba nabreka v radialni smeri (%)  
 $\Delta \alpha_T$  sprememba nabreka v tangencialni smeri (%)  
 $\Delta \varphi$    sprememba relativne vlažnosti (%)

- Sorpcijski kvocient pove, za koliko se spremeni lesna vlažnost, če se spremeni relativna zračna vlažnost za 1 %.

$$s = \Delta u / \Delta \varphi \text{ ali } h_{R,T} / q_{R,T} \quad \dots (11)$$

$s$     sorpcijski kvocient  
 $\Delta u$    sprememba vlažnosti  
 $\Delta \varphi$    sprememba relativne zračne vlažnosti  
 $h_{R,T}$    koeficient nabrekanja v radialni ali v tangencialni smeri  
 $q_{R,T}$    diferencialni nabrek v radialni ali v tangencialni smeri

Dimenzijsko stabilnost smo ocenili po kriterijih, kot so jih postavili Noack s sod. (1973) in Torelli (1983) (pregl. 1).

Preglednica 1: Kriteriji za ocenitev dimenzijske stabilnosti (Noack in sod., 1973, Torelli, 1983)

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

## 4 REZULTATI

### 4.1 ŠIRINA BRANIK, DELEŽI RANEGA IN KASNEGA LESA TER GOSTOTA SMOLNIH KANALOV

Pri anatomskem delu smo na preizkušancih merili širine ranega in kasnega lesa in v vsakem od njih prešteli smolne kanale. Gostoto smolnih kanalov smo preizkušancem pregledali po sredini v pasu 35 mm x 15 mm (R x T). S tem smo želeli ugotoviti, ali imajo ti dejavniki kakšen vpliv na dimenzijsko stabilnost lesa. Najširša branika je bila pri mladostnem lesu evropskega macesna 3,3 mm in najožja pri sibirskem macesnu 1,1 mm. Največje število smolnih kanalov v ranem lesu je imel sibirski macesen in to v povprečju 1,5, v kasnem lesu pa mladostni les evropskega macesna 9,8 (pregl. 2).

Preglednica 2: Povprečna ( $X_p$ ) širina ranega in kasnega lesa, število smolnih kanalov v pasu 35 mm x 15 mm (R x T) v ranem in kasnem lesu ter skupna širina branike pri evropskem macesnu v jedrovini (J), mladostnem lesu (M) in beljavi (B) ter v sibirskem macesnu (S) (KV – koeficient variacije)

kategorija lesa	rani les				kasni les				širina branike	
	širina		št. smolnih kanalov		širina		št. smolnih kanalov		$X_p$ [mm]	KV [%]
	$X_p$ [mm]	KV [%]	$X_p$	KV [%]	$X_p$ [mm]	KV [%]	$X_p$	KV [%]		
J	<b>1,1</b>	38,0	<b>0,7</b>	64,4	<b>0,6</b>	50,0	<b>4,5</b>	47,7	<b>1,6</b>	41,0
M	<b>2,4</b>	19,3	<b>1,7</b>	80,9	<b>1,0</b>	16,5	<b>9,8</b>	31,0	<b>3,3</b>	15,6
B	<b>1,4</b>	32,1	<b>0,7</b>	92,4	<b>1,0</b>	54,1	<b>2,6</b>	35,6	<b>2,4</b>	40,4
S	<b>0,8</b>	24,9	<b>1,5</b>	36,3	<b>0,3</b>	39,6	<b>2,4</b>	59,0	<b>1,1</b>	24,2

## 4.2 RAVNOVESNA VLAŽNOST

Razlike med ravnovesnimi vlažnostmi preizkušancev v povprečju niso bile velike. Višje ravnovesne vlažnosti je pri večini preizkušancev imel les sibirskega macesna. Najbolj podobne vlažnosti pa sta imela v večini primerov jedrovina in mladostni les evropskega macesna. Beljava evropskega macesna je imela med vsemi najbolj raznolike vrednosti (pregl. 3).

Preglednica 3: Začetne vlažnosti in ravnovesne vlažnosti pri treh relativnih zračnih vlažnostih ( $\varphi$ ) in temperaturi 20 °C za evropski macesen: jedrovino (J), mladostni les (M) in beljavo (B) ter sibirski macesen (S).  $X_p$  – povprečna vrednost,  $X_{min}$  – minimalna vrednost,  $X_{maks}$  – maksimalna vrednost,  $KV\%$  – koeficient variacije in  $\sigma$  – standardni odklon

kategorije lesa	std. pod.	ravnovesna vlažnost (%) pri različnih pogojih			
		začetno stanje	$\varphi=85\%$	$\varphi=61\%$	$\varphi=33\%$
J	$X_p$	<b>82,3</b>	<b>18,2</b>	<b>13,5</b>	<b>8,8</b>
	$X_{min}$	24,9	16,4	6,4	8,5
	$X_{maks}$	103,7	18,9	22,0	9,3
	$KV\%$	18,1	3,5	30,9	2,7
	$\sigma$	14,57	0,6	4,11	0,2
M	$X_p$	<b>96,0</b>	<b>17,9</b>	<b>12,0</b>	<b>8,6</b>
	$X_{min}$	77,5	17,4	5,0	6,5
	$X_{maks}$	119,4	18,5	40,6	9,2
	$KV\%$	14,6	1,7	44,3	6,3
	$\sigma$	13,62	0,3	5,25	0,5
B	$X_p$	<b>107,4</b>	<b>17,1</b>	<b>8,2</b>	<b>9,0</b>
	$X_{min}$	85,4	16,1	3,8	8,3
	$X_{maks}$	128,2	18,0	12,0	9,4
	$KV\%$	12,5	3,6	38,3	3,4
	$\sigma$	12,81	0,6	3,06	0,3
S	$X_p$	<b>104,7</b>	<b>18,4</b>	<b>14,7</b>	<b>9,2</b>
	$X_{min}$	75,6	16,5	9,0	8,2
	$X_{maks}$	133,5	19,8	31,8	10,2
	$KV\%$	14,5	3,5	31,2	4,7
	$\sigma$	14,97	0,6	4,55	0,4

### 4.3 KRČENJE IN NABREKANJE

Največje skrčke tako v radialni kot tudi v tangencialni smeri smo izmerili pri sibirskem macesnu. Pri domačem macesnu smo primerljivo krčenje ugotovili pri mladostnem lesu. Presenetljivo smo najnižje vrednosti dobili pri beljavi evropskega macesna (pregl. 4).

Preglednica 4: Skrčki ( $\beta$ ) in nabreki ( $\alpha$ ) v radialni (R) in tangencialni (T) smeri, prečna krčitvena anizotropija ( $\beta_T/\beta_R$  in  $\alpha_T/\alpha_R$ ) ter gostota ( $\rho_0$ ) v absolutno suhem stanju za evropski macesen: jedrovino (J); mladostni les (M) in beljavo (B) ter sibirski macesen (S).  $X_p$  – povprečna vrednost,  $X_{min}$  – minimalna vrednost,  $X_{maks}$  – maksimalna vrednost,  $KV\%$  – koeficient variacije in  $\sigma$  – standardni odklon

kategorije lesa	std. pod.	skrček			nabrek			gostota $\rho_0$ [kg/m <sup>3</sup> ]
		$\beta_R$ [%]	$\beta_T$ [%]	$\beta_T/\beta_R$	$\alpha_R$ [%]	$\alpha_T$ [%]	$\alpha_T/\alpha_R$	
J	$X_p$	<b>2,9</b>	<b>6,7</b>	<b>2,5</b>	<b>3,5</b>	<b>7,7</b>	<b>2,4</b>	<b>557</b>
	$X_{min}$	1,0	3,8	1,9	1,1	4,3	1,2	521
	$X_{maks}$	4,3	9,3	3,8	6,0	10,7	3,8	600
	$KV\%$	41,6	31,3	21,0	44,5	28,2	27,1	4
	$\sigma$	1,2	2,0	0,5	1,5	2,1	0,6	20
M	$X_p$	<b>3,4</b>	<b>7,7</b>	<b>2,0</b>	<b>3,6</b>	<b>9,4</b>	<b>2,6</b>	<b>521</b>
	$X_{min}$	2,4	5,9	2,5	2,5	7,0	1,9	485
	$X_{maks}$	4,2	9,2	7,8	4,8	13,3	3,6	574
	$KV\%$	18,1	15,8	0,2	17,4	20,2	16,6	5
	$\sigma$	0,6	1,2	0,2	0,6	1,8	0,4	28
B	$X_p$	<b>1,9</b>	<b>5,8</b>	<b>3,5</b>	<b>2,5</b>	<b>6,2</b>	<b>2,6</b>	<b>547</b>
	$X_{min}$	0,8	3,8	2,3	1,6	4,3	2,2	502
	$X_{maks}$	4,5	10,2	5,6	5,1	10,9	2,8	590
	$KV\%$	68,1	41,5	39,4	51,8	40,4	9,1	5
	$\sigma$	1,2	2,2	1,2	1,2	2,3	0,2	28
S	$X_p$	<b>3,5</b>	<b>8,6</b>	<b>2,5</b>	<b>4,1</b>	<b>9,8</b>	<b>2,4</b>	<b>528</b>
	$X_{min}$	2,5	6,4	2,0	2,9	7,6	2,0	477
	$X_{maks}$	4,4	10,0	3,1	4,7	11,5	3,2	616
	$KV\%$	14,7	10,5	13,8	10,7	11,7	12,7	8
	$\sigma$	0,5	0,9	0,3	0,4	1,1	0,3	43

#### 4.4 DIMENZIJSKA IN OBLIKOVNA STABILNOST MACESNOVINE

Najmanjšo stabilnost smo izmerili pri sibirskem macesnu ( $q_R = 0,20 \text{ \%/\%}$ ), nižje povprečne vrednosti in s tem boljšo dimenzijsko stabilnost pa so izkazovali preizkušanci iz domačega macesna ( $q_R = 0,17 \text{ \%/\%}$ ). Največje povprečne vrednosti kazalnikov dimenzijske stabilnosti je imel sibirski macesen in najmanjše vrednosti beljava evropskega macesna. Jedrovina in mladostni les evropskega macesna imata podobne povprečne vrednosti. Njune vrednosti so pri večini nekoliko nižje od povprečnih vrednosti pri sibirskem macesnu. Kljub najmanjšim kazalnikom dimenzijske stabilnosti je imela beljava evropskega macesna največjo anizotropijo kazalnikov v kvazilinearnem območju. Ostale kategorije so si bile pri anizotropiji podobne in med njimi ni bilo velikih razlik (pregl. 5).

Preglednica 5: Diferencialni nabrek ( $q$ ), koeficient nabreka ( $h$ ), anizotropija ( $q_T/q_R$ ), sorpcijski kvocient ( $s$ ) ter gostota ( $\rho_0$ ) za evropski macesen: jedrovino (J), mladostni les (M) in beljavo (B) ter sibirski macesen (S).  $X_p$  – povprečna vrednost,  $X_{min}$  – minimalna vrednost,  $X_{maks}$  – maksimalna vrednost,  $KV\%$  – koeficient variacije in  $\sigma$  – standardni odklon

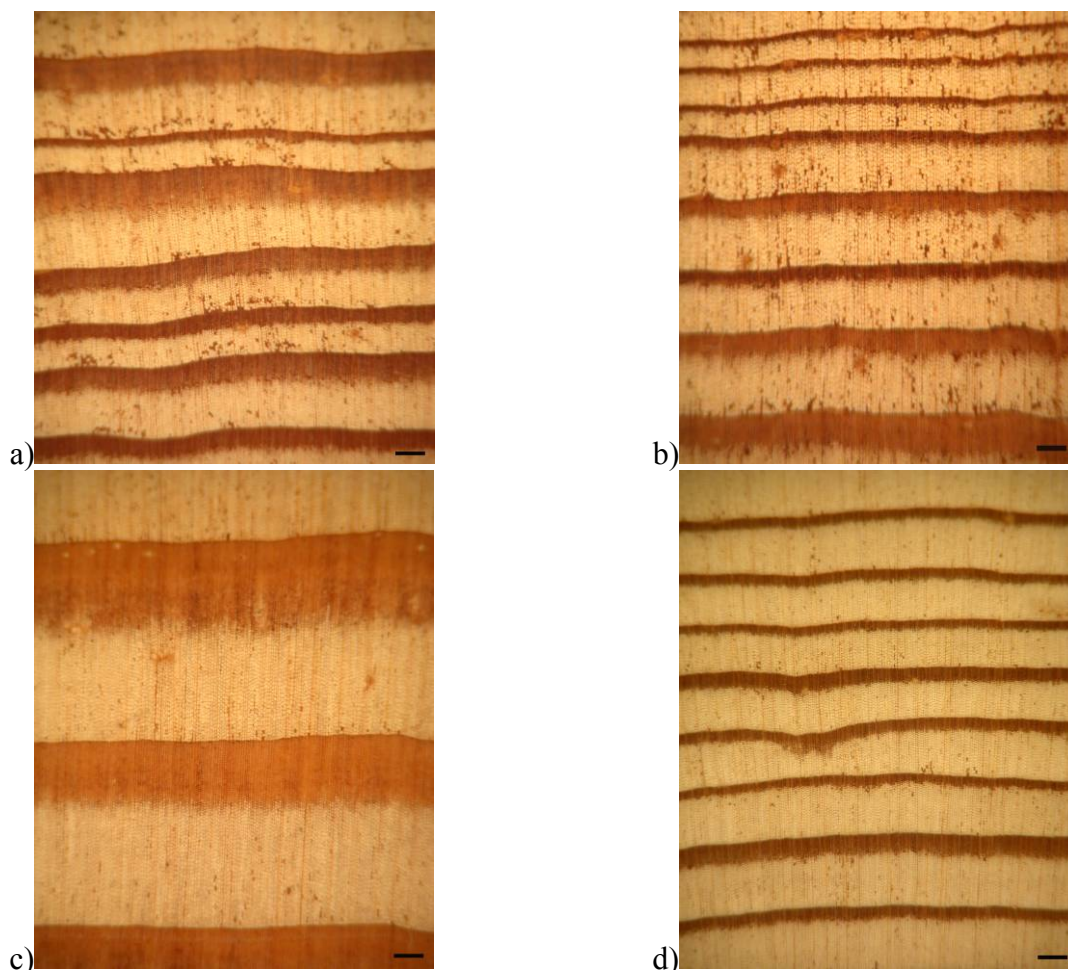
kategorije lesa	std. pod.	diferencialni nabrek		koeficient nabreka		anizotropija $q_T/q_R$	sorpcijski kvocient $s \text{ [\%/\%]}$	gostota $\rho_0 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
		$q_R \text{ [\%/\%]}$	$q_T \text{ [\%/\%]}$	$h_R \text{ [\%/\%]}$	$h_T \text{ [\%/\%]}$			
J	$X_p$	<b>0,17</b>	<b>0,37</b>	<b>0,030</b>	<b>0,067</b>	<b>2,3</b>	<b>0,18</b>	<b>594</b>
	$X_{min}$	0,10	0,23	0,018	0,034	1,7	0,17	531
	$X_{maks}$	0,24	0,50	0,044	0,091	2,7	0,19	656
	$KV\%$	26,2	21,7	27,8	23,8	11,4	3,5	6
	$\sigma$	0,04	0,08	0,008	0,015	0,3	0,006	36
M	$X_p$	<b>0,17</b>	<b>0,39</b>	<b>0,031</b>	<b>0,068</b>	<b>2,4</b>	<b>0,17</b>	<b>538</b>
	$X_{min}$	0,11	0,27	0,018	0,048	2,0	0,17	494
	$X_{maks}$	0,23	0,48	0,049	0,085	3,1	0,18	604
	$KV\%$	19,2	16,5	23,7	16,7	15,0	2,5	7
	$\sigma$	0,03	0,06	0,007	0,011	0,3	0,004	37
B	$X_p$	<b>0,11</b>	<b>0,26</b>	<b>0,017</b>	<b>0,040</b>	<b>2,7</b>	<b>0,15</b>	<b>526</b>
	$X_{min}$	0,05	0,22	0,006	0,030	1,8	0,13	476
	$X_{maks}$	0,18	0,36	0,028	0,056	5,5	0,16	571
	$KV\%$	37,5	18,4	40,4	21,7	42,4	6,9	6
	$\sigma$	0,04	0,05	0,007	0,008	1,1	0,01	32
S	$X_p$	<b>0,20</b>	<b>0,44</b>	<b>0,035</b>	<b>0,077</b>	<b>2,2</b>	<b>0,18</b>	<b>581</b>
	$X_{min}$	0,13	0,34	0,021	0,057	1,6	0,15	507
	$X_{maks}$	0,28	0,55	0,048	0,095	4,1	0,19	693
	$KV\%$	16,6	10,0	17,2	12,7	21,0	5,2	10
	$\sigma$	0,03	0,04	0,006	0,01	0,5	0,009	57



## 5 RAZPRAVA

### 5.1 PRIMERJAVA ANATOMSKIH ZNAČILNOSTI LESA DOMAČEGA IN SIBIRSKEGA MACESNA

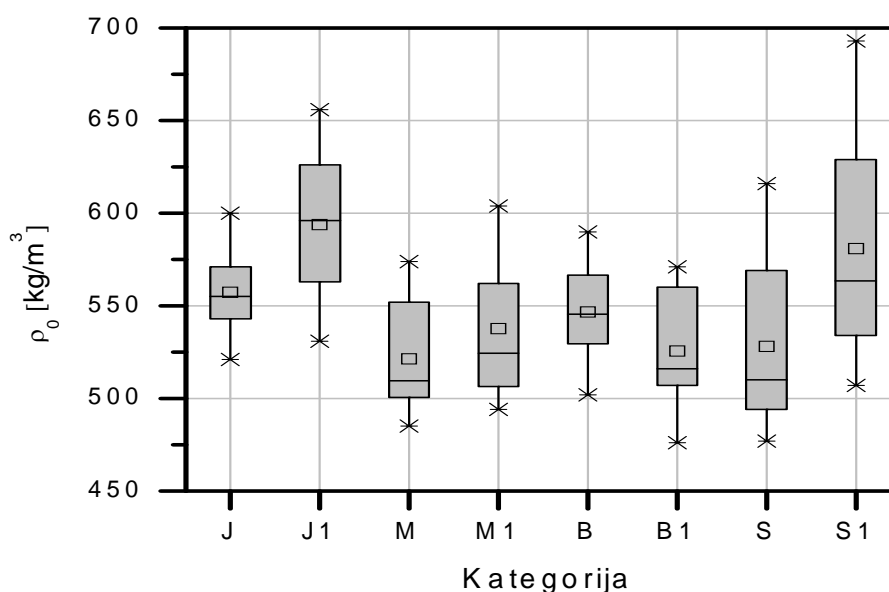
S primerjavo anatomskih značilnosti lesa domačega in sibirskega macesna smo hoteli ugotoviti, kakšen vpliv imajo širine ranega in kasnega lesa ter število smolnih kanalov na dimenzijske in oblikovne spremembe. Sibirski macesen je imel širine ranega in kasnega lesa vedno ožje od evropskega macesna, kar je posledica slabših rastnih razmer (sl. 8). Poleg tega je imel les sibirskega macesna v vseh primerih slabšo dimenzijsko stabilnost kot les evropskega macesna, hkrati je imel sibirski macesen manjše vrednosti koeficienta variacije in standardnega odklona kot evropski macesen.



Slika 8: Prečni prerezi: a) jedrovine, b) mladostnega lesa, c) beljave evropskega macesna in d) sibirskega macesna

## 5.2 GOSTOTA LESA

Gostota lesa v absolutno suhem stanju je variirala znotraj primerjalnih kategorij za spremljanje dimenzijskih kazalnikov in krčenja ter nabrekanja macesnovine. Gostota je bila najvišja pri preizkušancih, ki smo jih uporabili za spremljanje dimenzijskih kazalnikov pri tem je največjo vrednost gostote imela jedrovina evropskega macesna (J1). Nižje vrednosti gostote so zavzemali preizkušanci, ki smo jih uporabili za spremljanje krčenja in nabrekanja (sl. 9).

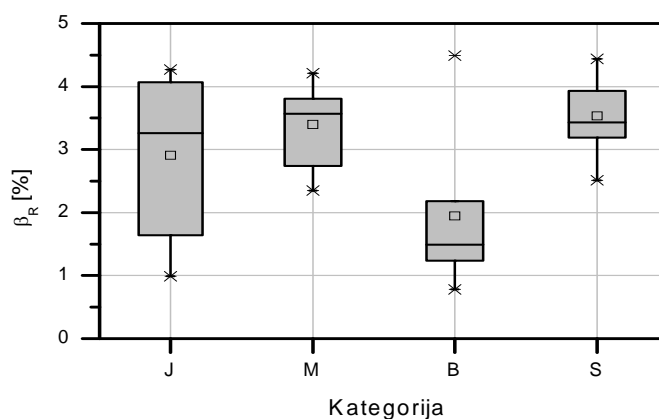


Slika 9: Gostota vseh vzorcev: za spremljanje krčenja in nabrekanja evropski macesen (jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B)) ter sibirski macesen (S) in za spremljanje dimenzijskih kazalnikov evropski macesen (jedrovina (J1), mladostni les (M1) in beljava (B1)) ter sibirski macesen (S1)

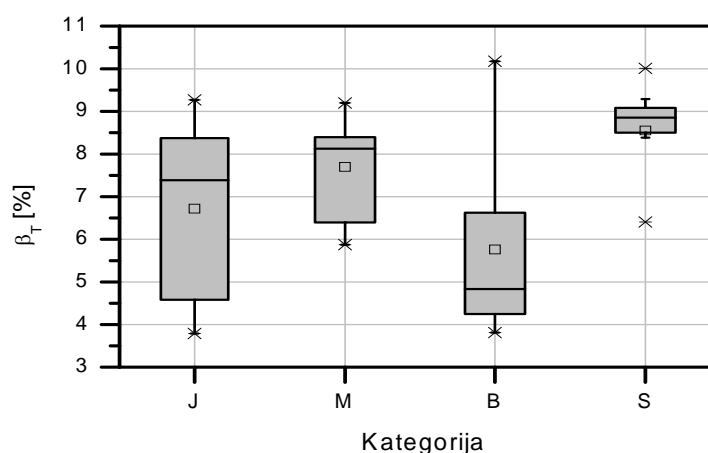
## 5.3 PRIMERJAVA KRČITVENIH LASTNOSTI MACESNOVINE

### 5.3.1 Krčenje

Pri krčenju v radialni smeri sta si najbolj podobna mladostni les evropskega in les sibirskega macesna, beljava evropskega macesna ima najmanjše skrčke, jedrovina evropskega macesna pa ima največjo variabilnost (sl. 10). Pri skrčkih v tangencialni smeri so razlike med kategorijami večje. Največje krčenje je imel sibirski macesen z najmanjšo variabilnostjo preizkušancev, najmanjše krčenje pa je imela beljava evropskega macesna z večjo variabilnostjo preizkušancev (sl. 11).



Slika 10: Krčenje v radialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S)



Slika 11: Krčenje v tangencialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S)

Za macesnovino velja, da so skrčki v radialni smeri od 3,3 % do 4,3 % (Wagenführ in Scheiber, 1996). V našem primeru pa sta bila v tem okviru skrčkov le mladostni les evropskega macesna s povprečnim skrčkom 3,4 % in sibirski macesen s skrčkom 3,5 %. Pri jedrovini in beljavi evropskega macesna so bili skrčki manjši.

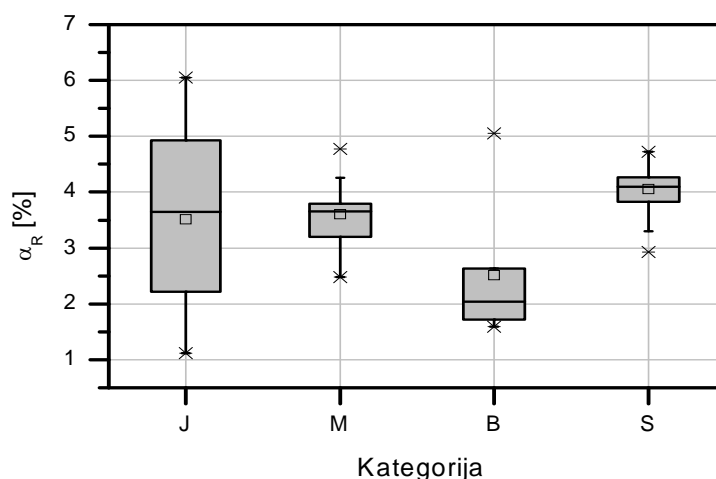
Podobno velja tudi v tangencialni smeri, kjer v literaturi najdemo podatek, da je krčenje v tangencialni smeri macesnovine od 7,8 % do 10,4 % (Wagenführ in Scheiber, 1996). V našem primeru je imel povprečno krčenje v tem območju le sibirski macesen s skrčkom 8,6 %, mladostni les evropskega macesna je imel za 0,1 % manjši skrček od podatkov iz literature. Skrčki pri jedrovini in beljavi evropskega macesna pa so bili bistveno manjši od 7,8 %.

Iz literature je znano, da se krčenje lesa z naraščajočo gostoto povečuje, medtem ko se krčitvena anizotropija manjša. V našem primeru te zakonitosti nismo potrdili. Gostejši les je imel manjše krčenje kot redkejši. Vpliv gostote na krčitveno anizotropijo tudi ni ustrezal podatkom iz literature, ki navajajo, da se z naraščajočo gostoto krčitvena anizotropija manjša. Ker je prišlo do takih odstopanj, lahko sklepamo, da na krčenje in krčitveno anizotropijo vplivajo tudi drugi dejavniki, ne le gostota. Gostejša in stabilnejša jedrovina in beljava

evropskega macesna sta imeli v ranem lesu manj smolnih kanalov kot pa mladostni les evropskega macesna in les sibirskega macesna. Na dimenzijsko stabilnost vplivajo tudi: orientacija mikrofibril, debelina in kemična sestava srednje lamele, stopnja lignifikacije in stopnja ojedritve, ki jih v naši študiji nismo raziskali.

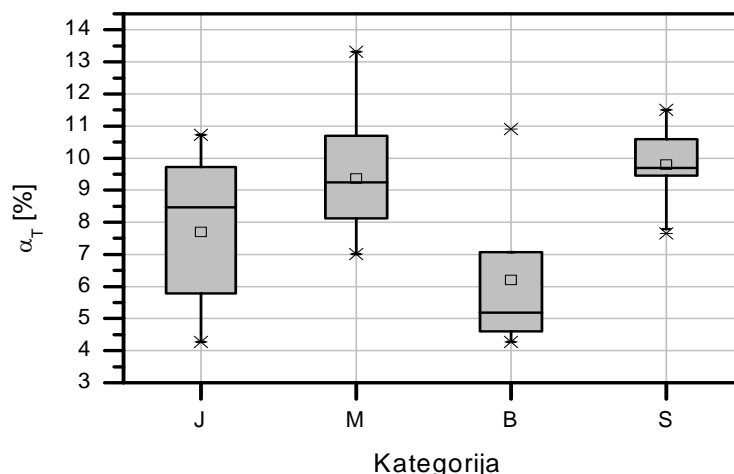
### 5.3.2 Nabrekanje

Nabrekanje v radialni in tangencialni smeri zaradi specifične zgradbe lesa ni enako. Srednje vrednosti nabreka v radialni smeri so bile v povprečju najbolj podobne pri jedrovini in mladostnem les evropskega macesna, vendar je bila pri slednji variabilnost rezultatov večja. Najmanjši povprečni nabrek je bil zabeležen pri beljavi evropskega macesna, največji pa pri lesu sibirskega macesna (sl. 12).



Slika 12: Nabrek v radialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S)

Drugače pa je pri nabrekanju v tangencialni smeri. Tu sta največje vrednosti dosegala mladostni les evropskega in les sibirskega macesna ter manjše vrednosti nabreka jedrovina in beljava evropskega macesna (sl. 13).



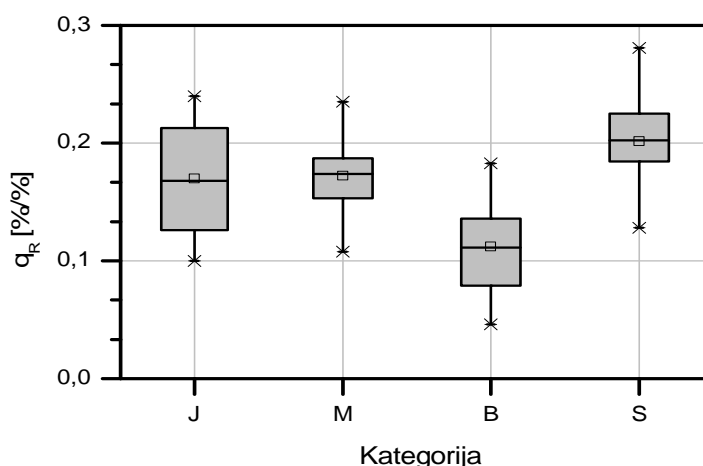
Slika 13: Nabrek v tangencialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S)

V literaturi najdemo zapis, da je maksimalen nabrek macesnovine v radialni smeri 3,4 % ter v tangencialni smeri 8,5 % (Ugrenović, 1950). V našem primeru je v radialni smeri imela manjši nabrek le beljava evropskega macesna, vsi ostali pa so to vrednost presegli. V tangencialni smeri je poleg sibirskega macesna maksimalni nabrek presegel tudi mladostni les evropskega macesna.

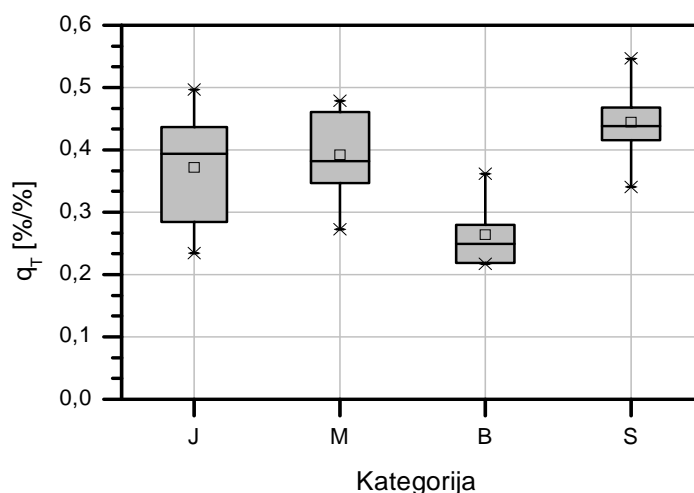
Podobno kot se je izkazalo pri krčenju, se je izkazalo tudi pri nabreku. Gostota ni imela jasnega vpliva na nabrek in krčitveno anizotropijo. Vpliva na nabrek v radialni smeri se ne da povezati z vplivom širine ranega ali kasnega lesa ter številom smolnih kanalov. Pri nabreku v tangencialni smeri je enako kot pri krčenju, kjer se je izkazalo, da je imel manjše dimenzijske spremembe les z višjo gostoto in manjšim številom smolnih kanalov v ranem lesu. Tudi v tem primeru lahko sklepamo, da so dimenzijske spremembe odvisne tudi od drugih dejavnikov, kot so: orientacija mikrofibril, debelina in kemična sestava srednje lamele, stopnja lignifikacije in stopnja ojedritve, ki jih nismo raziskali.

#### 5.4 KAZALNIKI DIMENZIJSKE STABILNOSTI

Diferencialno nabrekanje v radialni in tangencialni smeri imata v povprečju najbolj podobno jedrovina in mladostni les evropskega macesna (sl. 14 in sl. 15). Sibirski macesen ima v obeh smereh večje diferencialni nabrek, beljava evropskega macesna pa manjšega.



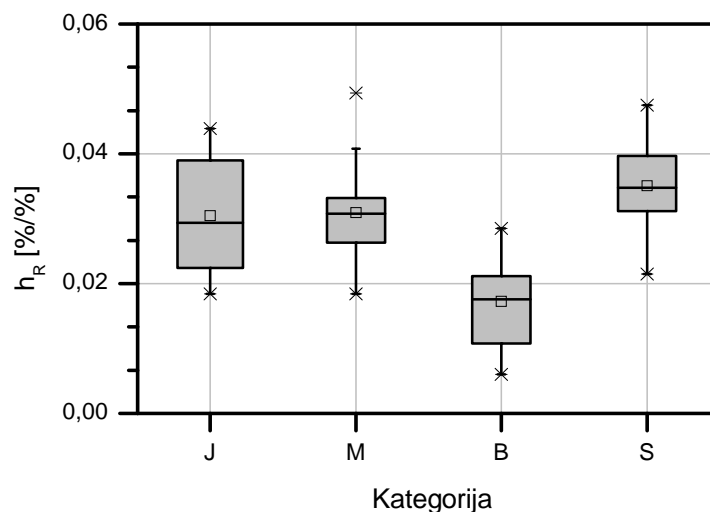
Slika 14: Diferencialni nabrek v radialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S)



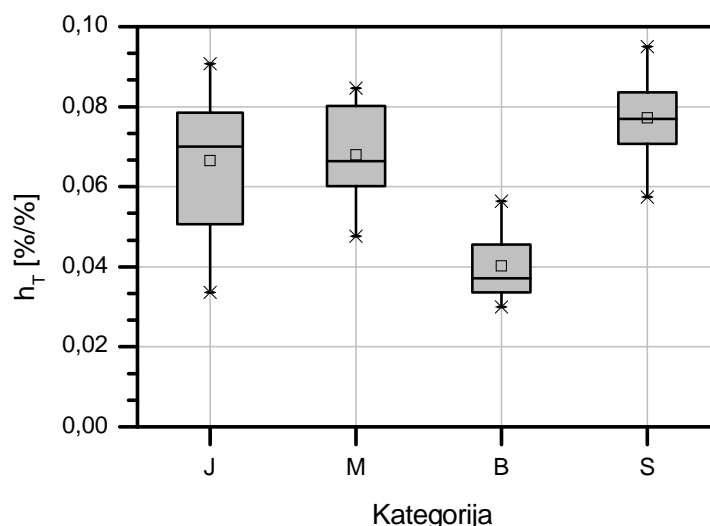
Slika 15: Diferencialni nabrek v tangencialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S)

Po kriterijih za oceno diferencialnega nabreka (pregl. 1), jedrovina in mladostni les evropskega macesna ustrezata kriteriju normalnega krčenja, krčenje pri beljavi pa ustreza kriteriju ugodnega krčenja. Najmanj ugoden diferencialni nabrek ima sibirski macesen. Glede na pridobljene rezultate krčenja v tangencialni smeri ima sibirski macesen med vsemi najbolj neugoden diferencialni nabrek. Kljub temu pa imajo vrednosti diferencialnega nabreka za sibirski macesen med vsemi kategorijami najmanjšo variabilnost.

Pri koeficientu nabreka med kategorijami sta si v povprečju najbolj podobna jedrovina in mladostni les (sl. 16 in sl. 17). V obeh primerih je beljava evropskega macesna imela manjše vrednosti koeficienta nabreka, vrednosti pri sibirskem macesnu pa so bile v obeh primerih višje.



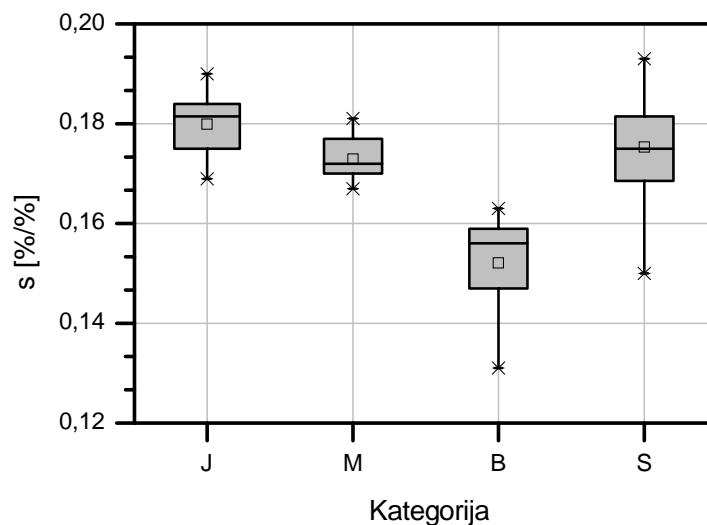
Slika 16: Koeficient nabreka v radialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S)



Slika 17: Koeficient nabreka v tangencialni smeri pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S)

Pri primerjavi pridobljenih podatkov z drugimi podatki opazimo, da nekateri vzorci presegajo vrednosti koeficienta nabreka. V literaturi najdemo, da je maksimalni koeficient nabreka v radialni smeri za macesnovino 0,027 %/% (Ugrenović, 1950; Gorišek, 1992). Pod to vrednostjo je v našem primeru le beljava evropskega macesna, ostale kategorije pa to vrednost presegajo. Podobno je tudi v tangencialni smeri. Od pridobljenih rezultatov ima le beljava evropskega macesna ugoden koeficient nabreka. Ostale kategorije pa imajo neugodne koeficiente nabreka.

Sorpcijski kvocient je ugoden le pri beljavi evropskega macesna vendar, je koeficient variacije večji kot pri ostalih kategorijah (sl. 18). Pri ostalih kategorijah je vrednost sorpcijskega kvocienta večja, zato je njen učinek neugoden.



Slika 18: Sorpcijski kvocient pri evropskem macesnu: jedrovina (J), mladostni les (M) in beljava (B) ter sibirski macesen (S)

Tako kot pri krčenju in nabrekanju se je izkazalo, da na kazalnike dimenzijske stabilnosti nima vpliva le gostota in anatomski kazalniki, ki smo jih v nalogi preučili. Na dimenzijske spremembe imajo domneven vpliv tudi kemična sestava lesa in deleži ekstraktivnih snovi.

Večjim dimenzijskim spremembam lesa se lahko izognemo s tem, da izberemo pravilno lesno vrsto ter s pravilnim postopkom vgradnje omejimo delovanje lesa. Še dodatno pa lahko lesu izboljšamo dimenzijsko stabilnost s pomočjo modifikacije. Samo modifikacijo pa lahko izvedemo s pomočjo toplote, kemično, encimsko in fizično.



## 6 SKLEP

V raziskavi vpliva variabilne zgradbe macesnovine na njene dimenzijske in oblikovne spremembe se ni jasno pokazalo, kakšen skupni vpliv imajo pri tem: gostota lesa, širina ranega in kasnega lesa ter število smolnih kanalov v ranem in kasnem lesu. Vpliv teh dejavnikov se je v določeni meri pokazal le pri skrčkah mladostnega lesa evropskega macesna in lesu sibirskega macesna.

Vpliv rastišča se močno pokaže pri širinah ranega in kasnega lesa. Les sibirskega macesna ima ožje širine ranega in kasnega lesa kot pa naš domači evropski macesen. Nasprotno pa ne moremo trditi, da ima rastišče vpliv pri gostoti smolnih kanalov v ranem in kasnem lesu. Gostota smolnih kanalov v ranem in kasnem lesu pri sibirskem macesnu ni izrazito odstopala od gostote smolnih kanalov v ranem in kasnem lesu domačega macesna.

Dejavniki, ki so bili predmet raziskave, niso pokazali večjih vplivov na variabilno zgradbo macesnovine na njene dimenzijske in oblikovne spremembe. Obstaja verjetnost, da poleg teh dejavnikov vplivajo tudi drugi dejavniki, ki niso bili predmet te raziskave.

## 7 POVZETEK

Macesnovina je v praksi zelo cenjena, v zadnjem času pa se je za zunanjo uporabo (talne in stenske obloge) še posebno uveljavil les sibirskega macesna (*Larix sibirica* (Münch) Ledeb.). Prevladuje mnenje o boljši oblikovni in dimenzijski stabilnosti sibirskega macesna, vendar so dosedanje raziskave, ki bi to potrdile, zelo skope. V raziskavi smo te trditve skušali preveriti in ugotoviti vpliv zgradbe lesa in gostote na sorpcijske ter krčitvene lastnosti evropskega (*Larix decidua* Mill.) in sibirskega macesna.

Pri evropskemu macesnu smo ločeno opazovali jedrovino, mladostni les in beljavo, les sibirskega macesna smo spremljali kot celoto, v katerem je prevladovala jedrovina adultnega lesa. Za vsako kategorijo lesa smo imeli od 6 do 11 preizkušancev, ki so bili pravilno orientirani z dimenzijami 35 mm x 35 mm x 7 mm (R x T x L). Primerjave smo izvedli na petih vzporednih skupinah. Na prvi skupini vzporednih preizkušancev smo merili širine ranega in kasnega lesa ter gostoto smolnih kanalov, saj smo želeli ugotoviti, kakšen vpliv ima variabilna zgradba na dimenzijske in oblikovne spremembe. Na preostalih štirih skupinah preizkušancev smo določali sorpcijske in krčitvene lastnosti.

Dimenzijsko stabilnost smo nato preverjali z dvema metodama v parih, tako da smo spremljali delovanje lesa v adsorpciji in desorpciji. Po uravnovešanju v normalni klimi smo vzorce razdelili na polovico. Prva metoda je bila, da smo dali ene vzorce na absolutno suho stanje, druge pa smo potopili v vodo. Pri drugi metodi smo dali vzorce v dve različni klimi, eno z višjo 86 % in drugo z nižjo 33 % relativno zračno vlažnostjo. Po uravnovešanju v neki klimi smo vzorce zamenjali med seboj. Na koncu smo jih osušili na absolutno suho stanje. Po vsakem uravnovešanju smo jih stehali in premeril dimenzije.

Pri vzorcih, ki so bili izpostavljeni absolutno suhemu stanju ali potapljanju v vodi, smo izračunali skrčke ali nabreke v radialni in tangencialni smeri. Pri vzorcih, ki so bili v različnih klimah v komorah, pa smo izračunal diferencialno nabrekanje, koeficient nabrekanja, sorpcijski koeficient v radialni in tangencialni smeri.

V raziskavi vpliva variabilne zgradbe macesnovine na njene dimenzijske in oblikovne spremembe se ni jasno pokazalo, kakšen vpliv imajo pri tem: gostota lesa, širina ranega in kasnega lesa ter število smolnih kanalov v ranem in kasnem lesu. Vpliv teh dejavnikov se je v določeni meri pokazal le pri skrčkih mladostnega lesa evropskega macesna in lesu sibirskega macesna.

Vpliv rastišča se močno pokaže pri širinah ranega in kasnega lesa. Les sibirskega macesna ima ožje širine ranega in kasnega lesa kot pa naš domači evropski macesen. Nasprotno pa ne moremo trditi, da ima rastišče vpliv pri gostoti smolnih kanalov v ranem in kasnem lesu. Gostota smolnih kanalov v ranem in kasnem lesu pri sibirskem macesnu ni izrazito odstopala od gostote smolnih kanalov v ranem in kasnem lesu domačega macesna.

Dejavniki, ki so bili predmet raziskave, niso pokazali večjih vplivov na variabilno zgradbo macesnovine na njene dimenzijske in oblikovne spremembe. Obstaja verjetnost, da poleg teh dejavnikov vplivajo tudi drugi dejavniki, ki niso bili predmet te raziskave.

## 8 VIRI

- Brus R. 2008. Dendrologija za gozdarje. 2. natis. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 408 str.
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
- EUFORGEN. 2009. *Larix decidua*. Rome. EUFORGEN Secretariat c/o Bioversity Internacional.  
[http://www.euforgen.org/distribution\\_maps.html](http://www.euforgen.org/distribution_maps.html) (20. dec. 2010)
- Gorišek Ž. 1992. Vpliv prečne krčitvene anizotropije lesa na sušenje in stabilnost. Doktorska disertacija. Ljubljana, VDO Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 120 str.
- Gorišek Ž. 2009. Les: zgradba in lastnosti: njegova variabilnost in heterogenost. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str.
- Grosser D., Teetz W. 1985. Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung). Vorkommen, Baum und Stammform, Holzbeschreibung, Eigenschaften, Verwendung. Central Marketinggesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft m.b.H. und Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. Nr. 11: Rüster – Bonn, 6 str.
- Malyshev L.L. 2008. Range of distribution of Siberian Larch (*Larix sibirica*). Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries.  
[http://www.agroatlas.ru/en/content/related/Larix\\_sibirica/map/](http://www.agroatlas.ru/en/content/related/Larix_sibirica/map/) (20. dec. 2010)
- Noack D., Schwab E., Bartz A. 1973. Characteristics for a judgment of the sorption and swelling behaviour of wood. Wood Science and technology, 7, 4: 218-236
- SIST EN 13183-1:2002. Vlažnost lesa – Gravimetrična metoda določanja vlažnosti lesa, 8 str.
- Torelli N. 1983. Sorpcija in stabilnost lesa. Les, 35, 4-5:101-106
- Ugrenović A. 1950. Tehnologija drveta. Zagreb, Nakladni zavod Hrvatske: 508 str.
- Wagenführ R., Scheiber Ch. 1996. Holzatlas. Leipzig, VEB Fachbuchverlag: 720 str.
- Wangaard F. F., Granados L. A. 1967. The effect of extractives on water–vapor sorption of wood. Wood Science and Technology, 1, 4: 253-277

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se prof. dr. Željku Gorišku za mentorstvo in pomoč pri izdelavi diplomskega projekta in recenzentki prof. dr. Katarini Čufar.

Zahvala gre tudi asistentu dr. Alešu Stražetu in tehničnemu sodelavcu Luki Kržetu, dipl. inž. les. za pomoč pri izvajanju meritev.

Zahvaljujem se tudi vsem, ki so mi kakor koli pomagali v času mojega izobraževanja.