

GDK 812.214 : 812.142 : 811.53 : 811.54 : 174.7 *Picea abies* (Karst.) : 174.7 *Abies alba* (Mill.)  
Prispelo / Received: 6. 10. 1997 Izvirni znanstveni članek  
Sprejeto / Accepted: 21. 11. 1997 Original scientific paper

## KRČENJE IN NABREKANJE TER DIMENZIJSKA STABILNOST JUVENILNEGA IN ADULTNEGA LESA SMREKE IN JELKE

Željko GORIŠEK\*, Milan KLINC\*\*

### Izvleček

Na vzporednih vzorcih petih starostnih skupin (centripetalno /A/ od 10. branike, /B/ od 20. in /C/ od 30., /D/ v jedrovini na meji z beljavo ter /E/ v beljavi na meji s kambijem) smrekovine (*Picea abies* Karst.) (11 debel) in jelovine (*Abies alba* Mill.) (7 debel) smo določili: gostoto v absolutno suhem stanju ( $r_0$ ), sušilnični in maksimalni skrček ( $\beta$ ), anizotropijo krčenja ( $A_n$ ) ter dimenzijsko stabilnost (diferencialno nabrekanje ( $q$ ), koeficient nabrekanja ( $h$ ) in njuno anizotropijo ter sorpcijski kvocient ( $s$ )). Gostota lesa v absolutno suhem stanju je bila vedno najvišja na periferiji (adultni les) in najnižja ob strženu (juvenilni les), pri jelki je bila razlika 34 %, pri smreki 15 %. Krčitvena anizotropija je bila obratno sorazmerna z gostoto lesa. Najvišja je bila v zgornjem higroskopskem območju. Dimenzijska stabilnost se je pri obeh drevesnih vrstah proti periferiji povečevala, vendar je bila tudi v beljavi neugodna, kar kaže na dimenzijsko in oblikovno stabilizirajoč učinek ojedritve. Razlike v krčenju in razlike sorpcijskih lastnosti je mogoče pojasniti z gostoto in ne toliko s starostno kategorijo lesa.

*Ključne besede:* gostota, krčenje in nabrekanje, dimenzijska stabilnost, adultni les, juvenilni les, smrekovina (*Picea abies* Karst.), jelovina (*Abies alba* Mill.)

## SHRINKAGE, SWELLING AND DIMENSIONAL STABILITY OF JUVENILE AND ADULT WOOD OF SPRUCE AND FIR

### Abstract

On parallel specimens of five age groups (centripetal from the border of (A) the 10th growth ring, (B) the 20th and (C) the 30th, (D) from the periphery of the heartwood and (E) from the periphery of sapwood) of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) and of silver fir (*Abies alba* Mill.) (11 stems and 7 stems respectively) the following characteristics were determined: the specific gravity ( $r_0$ ), drying and maximal shrinkage ( $\beta$ ), shrinking anisotropy ( $A_n$ ) and indicators of dimensional stability (the ratio of swelling ( $q$ ), coefficient of swelling ( $h$ ) and their anisotropy and the ratio of sorption ( $s$ )). Oven-dry density of wood was always the highest in the outer (adult) wood and the lowest in the core (juvenile) wood. The difference for silver fir was 34 % and for Norway spruce 15 %. Shrinkage anisotropy decreased with density. The highest value was in the upper hygroscopic range. Dimensional stability increased from pith to periphery, for both wood species, but was unfavourable specially in sap wood. Differences of shrinkage and difference of sorption properties can be explained well with density of wood, but not so efficient with age category of wood.

*Key words:* density, shrinkage and swelling, dimensional stability, adult wood, juvenile wood, spruce (*Picea abies* Karst.), fir (*Abies alba* Mill.)

\* Doc. dr., Biotehniška fakulteta, oddelek za lesarstvo, 1001 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34, SLO  
\*\* Dipl. inž. les., Biotehniška fakulteta, oddelek za lesarstvo, 1001 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34, SLO

**KAZALO / CONTENTS**

<b>1</b>	<b>UVOD / INTRODUCTION</b> .....	143
<b>2</b>	<b>OSNOVE / BASICS</b> .....	143
<b>3</b>	<b>MATERIAL IN METODE / MATERIALS AND METHODS</b> .....	145
<b>4</b>	<b>REZULTATI IN RAZPRAVE / RESULTS AND DISCUSSIONS</b> .....	147
4.1	GOSTOTA SMREKOVINE IN JELOVINE V RAZLIČNIH STAROSTNIH OBDOBJIH / DENSITY OF SPRUCEWOOD AND FIRWOOD IN DIFFERENT AGE PERIODS .....	148
4.2	ZVEZA MED GOSTOTO IN KRČENJEM SMREKOVINE TER JELOVINE / CONNECTION BETWEEN DENSITY AND SHRINKAGE OF SPRUCEWOOD AND FIRWOOD .....	150
4.3	VPLIV GOSTOTE NA PREČNO KRČITVENO ANIZOTROPIJO / INFLUENCE OF DENSITY ON TRANSVERSAL SHRINKAGE ANISOTROPY .....	151
4.4	KAZALNIKI DIMENZIJSKE STABILNOSTI / INDICATORS OF DIMENSIONAL STABILITY .....	152
4.5	OCENA DIMENZIJSKE IN OBLIKOVNE STABILNOSTI SMREKOVINE IN JELOVINE / ASSESSMENT OF STABILITY OF SPRUCEWOOD AND FIRWOOD REGARDING DIMENSION AND SHAPE .....	154
<b>5</b>	<b>SKLEPI / CONCLUSIONS</b> .....	156
<b>6</b>	<b>POVZETEK</b> .....	157
<b>7</b>	<b>SUMMARY</b> .....	159
<b>8</b>	<b>VIRI / REFERENCES</b> .....	161

## 1 UVOD

Povečan posek lesa v preteklosti in nenehno naraščajoče potrebe po lesu se odražajo v povečani predelavi drobnega lesa z manjšim srednjim premerom. Spremenjena struktura posekanega lesa se kaže v povečanem deležu mladostnega (juvenilnega) lesa, ki se po svojih anatomskih, fizikalnih in kemičnih lastnostih loči od zrelega (adultnega). Praviloma slabša kakovost juvenilnega lesa v primerjavi z adultnim lesom omejuje in otežuje njegovo uporabo. Natančnejše poznavanje zgradbe juvenilnega lesa omogoča napovedovanje njegovega obnašanja v predelavi in obdelavi, njegovo kakovostno razvrščanje ter namensko uporabo posameznih kakovostnih razredov, kar vodi k bistveno večjemu izkoristku surovine in prispeva k znatno manjšemu izmetu končnih izdelkov.

## 2 OSNOVE

Juvenilni ali mladostni les nastaja v zgodnjem obdobju rasti drevesa v fiziološki bližini krošnje in kot rezultat delovanja mladega kambija s krajšimi fuziformnimi inicialkami. Njegov nastanek usmerja proizvodnja avksina v listih in apikalnih meristemih (LARSON 1960). Ko se z rastjo drevesa njihov vpliv zmanjšuje, začne rasti zreli les (ZOBEL / VAN BUIJTENEN 1989). V lesni tehnologiji omejujemo juvenilnost z obdobjem, ko vlakna še ne dosežejo svoje "normalne", t.j. maksimalne in stabilne dolžine. Anatomska definicija bolj ali manj sovпада s širšo biološko definicijo juvenilnega obdobja, ki ga zaključuje prvo cvetenje in semenenje dreves.

Morfološke, anatomske in kemijske spremembe sekundarnega ksilema, ki ga kambij proizvaja v različnih starostnih obdobjih, so največje prav v juvenilni sredici, zaradi biološkega izvora pa se variabilna in heterogena zgradba ohranja tudi v zrelostnem obdobju (ZOBEL / VAN BUIJTENEN 1989, KUČERA 1994). Glede na odstopajočo zgradbo je juvenilni les anomalen in je z vidika tehnologije obdelave in predelave bolj problematičen. Iz fizioloških razlogov (apikalni in listni meristemi, ki producirajo avksin so blizu kambijeve cone) v juvenilnem lesu ni pravega kasnega lesa, temveč le rani in prehodni (intermediarni) les. Juvenilni les pri iglavcih je zato redkejši in manj trden, po nekaterih podatkih (c.f. MC MILLEN

1973, SKAAR 1988, MCALISTER / CLARK 1992) pa naj bi se tudi bolj krčil in nabrekal.

Poleg nizke gostote ima juvenilni les še naketere značilnosti, ki jih moramo pred uporabo kritično ovrednotiti.

- Za juvenilni les je značilna odstopajoča anatomska struktura na submikroskopskem nivoju (debeline posameznih slojev celične stene, zgradba in orientacija fibril oziroma večji mikrofibrilni kot, ki je vzrok večjemu longitudinalnemu skrčku, lignificiranost slojev celične stene), ki se odraža tudi v fizikalnih in mehanskih lastnostih (c.f. ZOBEL / VAN BUIJTENEN 1989).
- Na mikroskopskem nivoju se razlike v anatomski strukturi kažejo v različnem deležu, razporeditvi in dimenzijah posameznih tkiv, v deležu in debelini celičnih sten ter v dolžini vlaken. Posebno do 10. leta starosti rast vlaken hitra. Dolžina traheid v branikah blizu stržena pri večini iglavcev ni daljša od 1 mm. Med 10. in 30. letom, ko tehnološko še obravnavamo juvenilno obdobje, sledi obdobje počasnega podaljševanja, v kasnejšem adultnem obdobju pa je zaznati normalno nihanje dolžin.
- V juvenilni coni se zaradi potrebe po intenzivnih reorientacijah osi praviloma pojavlja veliko reakcijskega lesa (npr. kompresijski les pri iglavcih), ki ima z nekaterih vidikov podobne lastnosti kot juvenilni les. Kljub večji gostoti pa so trdnostne lastnosti slabše, krčenje in nabrekanje kompresijskega lesa je, predvsem v vzdolžni smeri, nekajkrat večje od normalnega lesa (BRENDTSEN / SENFT 1986).
- Juvenilni les se razlikuje od zrelega tudi kemijsko. Ima več lignina in ksilana ter manj celuloze in galaktoglukomanana. Kemijske razlike med juvenilnim in adultnim lesom vplivajo manj na kakovost proizvodov kot anatomske (po BYRD et al. 1965).
- Zaradi svoje središčne lege v deblu je vlažnost juvenilnega lesa praviloma nižja kot v perifernem adultnem lesu. Razlog je predvsem fiziološki, saj je

zunanji del udeležen pri prevajanju vode, medtem ko srednji ne opravlja več te funkcije. Izjema so mokrine in diskoloriran les.

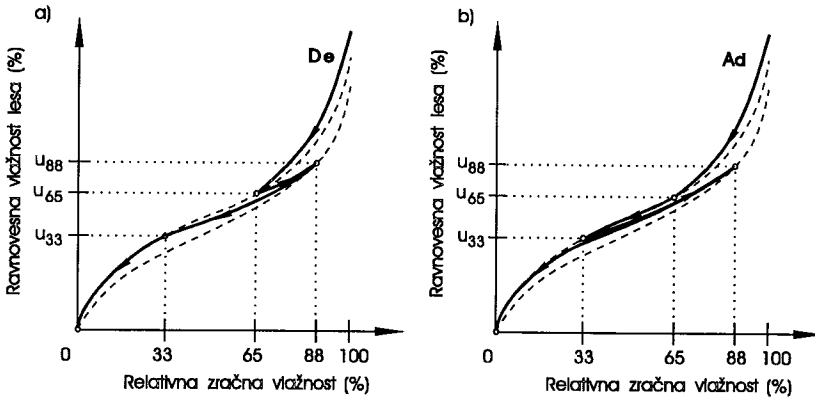
- Za juvenilni les je v primerjavi z adultnim značilna bolj ali manj izražena spiralna rast (NOSKOWAIK 1963, HAUKAL 1982, TREMBLAY 1995, HARRIS 1988), ki med sušenjem močno povečuje nevarnost veženja.

### 3 MATERIAL IN METODE

Za raziskavo smo odvzeti vzorce iz 11 smrekovih in 7 jelovih debel z območja Selške in Poljanske doline ter Jezerskega. Izbrali smo drevesa z enakomernim in relativno hitrim priraščanjem v prvih letih rasti, tako da je bilo mogoče izdelati primerno velike anatomsko usmerjene vzorce tudi iz juvenilnega obdobja. Od sredine debla smo v radialni smeri proti kambijevi coni vzorčili na petih mestih.

Največje spremembe je bilo pričakovati v juvenilnem obdobju do 10. leta starosti, zato so prvi vzorci zajemali zgodnji juvenilni les od 10. branike proti strženu (sekcija A). Ker so predhodne raziskave (LOGAR 1995) dolžin traheid nakazale trajanje juvenilnosti do 30. branike, smo odvzeli vzorci še iz srednjega juvenilnega obdobja, torej les od 20. branike proti strženu (sekcija B), in iz poznega juvenilnega obdobja z vključno 30. braniko (sekcija C). Iz adultnega obdobja smo vzeli vzorce na periferiji jedrovine, tik ob meji z beljavo (sekcija D), in na periferiji debla (beljava) centripetalno od kambijeve cone (sekcija E) (graf. 1).

Za določitev prečnih skrčkov in kazalnikov dimenzijske stabilnosti smo na vsaki strani debla izdelali po dva vzporedna vzorca 25,0 mm x 25,0 mm x 15,0 mm (RxTxL). Iz vsake sekcije na nasprotnih straneh debla smo dobili po dva para vzorcev. Vzorci uporabljeni za analizo vzdolžnih skrčkov, so imeli dimenzije 25,0 mm x 15,0 mm x 100,0 mm (RxTxL).

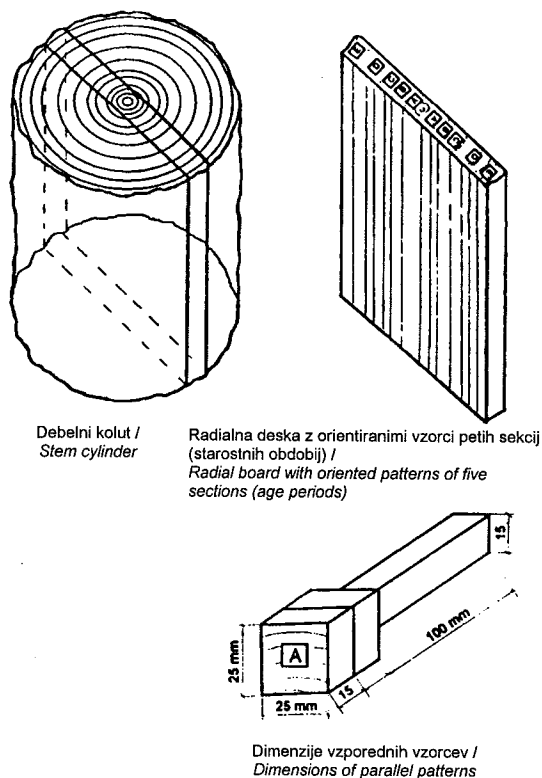


Grafikon 1: Vzorčenje po sekcijah (starostnih obdobjih) na prečnem preseku vzorčnega koluta in velikost vzorcev za določanje dimenzijske stabilnosti.

Graph 1: Sampling based on cross-sections (age periods) of wood disc specimens, and the dimension of samples for establishing dimensional stability (Relativna zračna vlažnost (%) - Relative air humidity (%), Ravnovesna vlažnost lesa (%) - Balanced humidity of wood (%)).

Vzorci smo izdelali iz svežega lesa tako, da je bila njihova začetna vlažnost nad vlažnostjo točke nasičenja celičnih sten. Po uravnovešenju v standardni (normalni) klimi ( $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\varphi = 65\%$ ) smo jih razdelili v dve skupini; prva skupina je bila uravnovešana v višji relativni zračni vlažnosti ( $\varphi = 86\%$ ), druga, vzporedna skupina pa v nižji ( $\varphi = 33\%$ ). Po meritvah smo vzorce iz obeh klim zamenjali (prvi, desorpcijski iz  $\varphi = 86\%$  v  $\varphi = 33\%$  in drugi, adsorpcijski iz  $\varphi = 33\%$  v  $\varphi = 86\%$ ) in jih po uravnovešenju ter meritvah v zadnji stopnji poskusa osušeni do sušilnično suhega stanja ( $u \approx 0\%$ ) (slika 1).

Uravnovešali smo v termostatiranih zatesnjenih kadeh nad nasičenimi solnimi raztopinami.



Slika 1: Potek uravnovešanja desorpcijskih (De) in adsorpcijskih (Ad) vzorcev.  
Figure 1: Course of balancing desorptive (De) and adsorptive (Ad) samples.

Iz meritev smo za vse vzorce izračunanli celotne volumenske in vse linearne skrčke, gostoto v absolutno suhem stanju, ravnovesne vlažnosti ter kazalniki dimenzijske stabilnosti (diferencialno nabrekanje in koeficient nabrekanja, oba za radialno in tangencialno smer, ter sorpcijski kvocient in anizotropijo).

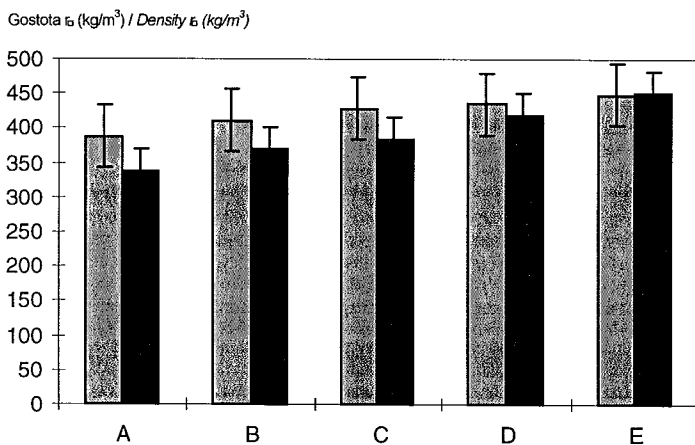
#### 4 REZULTATI IN RAZPRAVE

Najpomembnejše fizikalne in mehanske lastnosti lesa so v tesni korelaciji z njegovo gostoto. Potrdili smo največkrat navedene podatke iz literature (ZOBEL /

VAN BUIJTENEN 1989, KUČERA 1994), da je gostota juvenilnega lesa najnižja, proti periferiji pa nato narašča. V vseh starostnih obdobjih je prisotna močna variabilnost, tako da kljub razlikam v povprečju med nekaterimi kategorijami statistično nismo dokazali značilnih razlik.

#### 4.1 GOSTOTA SMREKOVINE IN JELOVINE V RAZLIČNIH STAROSTNIH OBDOBJIH

Gostota smrekovine in jelovine je bila najnižja v juvenilnem obdobju (graf. 2 in preg. 1). Vzorci zgodnjega juvenilnega obdobja (sekcija A) smrekovine se v gostoti razlikujejo od vseh ostalih sekcij, med katerimi pa so razlike neznačilne. Pri jelovini so razlike med gostotami očitnejše, saj ni značilnih razlik le med vzorci sekcij B in C. Gostotne razlike niso le posledica starosti kambija oziroma anatomskih razlik sekundarnega ksilema, ki ga proizvaja kambij v različnih starostnih obdobjih (v juvenilnem obdobju se tvori pedvsem rani in intermediarni - prehodni les), ampak tudi drugih dejavnikov (npr. širine branik, delež kasnega lesa kot posledica rastiščnih pogojev, klimatskih razmer ali socialnega statusa).



Grafikon 2: Gostota smrekovine in jelovine v absolutno suhem stanju po starostnih obdobjih.

Graph 2: Oven-dry density of spruce and firwood according to age periods.



Preglednica 1: Primerjave (F-test) gostot absolutno suhega lesa ( $r_0$ ) po posameznih starostnih obdobjih za vzorce smrekovine in jelovine pri tveganju 5 % (95 % zanesljivost).

Table 1: Correlation (F-test) of the oven-dry density ( $r_0$ ) according to individual age periods for spruce and firwood samples at 5 % risk (95 % reliability).

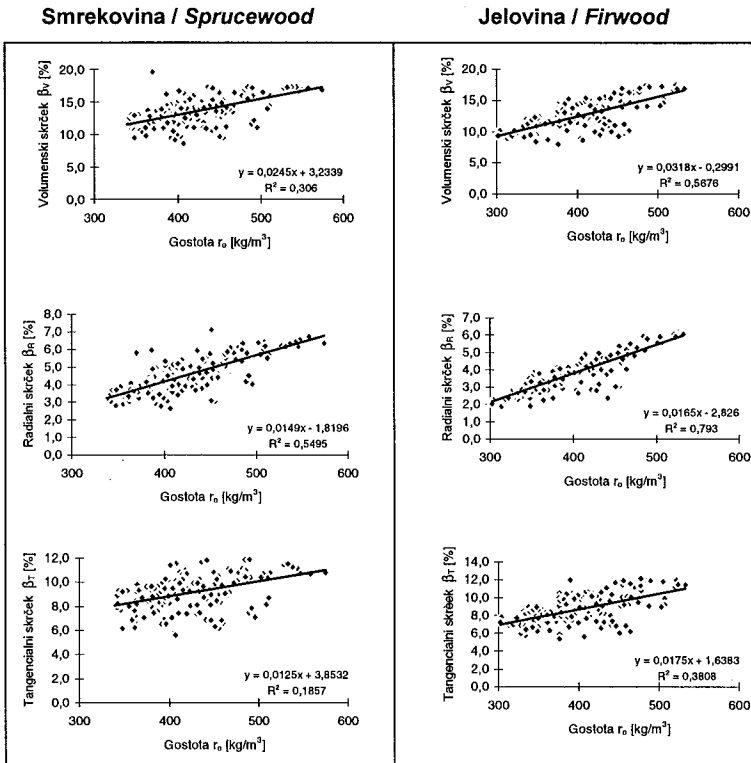
F - test	SMREKA / SPRUCE					Tveganje / Risk = 0,05
	A	B	C	D	E	
Povprečje / Average	388,0	411,1	428,1	435,3	448,3	
Varianca / Variance	881,85	2182,56	2193,62	1732,00	2060,73	
Prost. st. / Deg. of free.	65	65	65	47	65	
B	2,4750 0,0002 0,6630					F P(F<=f) enostransko F kritični enostranski
C	2,4875 0,0002 0,6630	1,0051 0,4919 0,6630				F P(F<=f) enostransko F kritični enostranski
D	1,9640 0,0059 0,6321	1,2601 0,2034 1,5821	1,2665 0,1983 1,5821			F P(F<=f) enostransko F kritični enostranski
E	2,3368 0,0004 0,6630	1,0591 0,4088 1,5084	1,0645 0,4009 1,5084	1,1898 0,2673 0,6440		F P(F<=f) enostransko F kritični enostranski
F - test	JELKA / FIR					Tveganje / Risk = 0,05
	A	B	C	D	E	
Povprečje / Average	337,0	369,1	385,5	418,6	452,0	
Varianca / Variance	295,14	958,96	953,09	1046,46	2143,24	
Prost. st. / Deg. of free.	41	41	41	23	41	
B	3,2492 0,0001 0,4402					F P(F<=f) enostransko F kritični enostranski
C	3,2293 0,0001 0,4402	1,0062 0,4922 2,2716				F P(F<=f) enostransko F kritični enostranski
D	3,5457 0,0002 0,3556	1,0912 0,3933 0,3556	1,0980 0,3869 0,3556			F P(F<=f) enostransko F kritični enostranski
E	7,2619 0,0000 0,4402	2,2350 0,0058 0,4402	2,2487 0,0055 0,4402	2,0481 0,0346 0,3988		F P(F<=f) enostransko F kritični enostranski

P(F<=f) enostransko / P(F<=f) oneway, F kritični enostranski / F critical oneway

## 4.2 ZVEZA MED GOSTOTO IN KRČENJEM SMREKOVINE TER JELOVINE

Volumenski, radialni in tangencialni skrčki pri smrekovini in jelovini so nakazovali sorazmerno odvisnost z gostoto.

Primerjava linearne regresijske odvisnosti skrčkov od gostote lesa  $v$  absolutno suhem stanju je bila najbolj očitna pri radialnem krčenju jelovine ( $R^2 = 0,79$ ) in smrekovine ( $R^2 = 0,54$ ) (graf. 3). Nekoliko šibkejša je zveza med gostoto in volumenskim krčenjem ( $R^2 = 0,57$  pri jelovini in  $R^2 = 0,31$  pri smrekovini), najmanj zanesljiva zveza pa obstaja med gostoto in tangencialnim skrčkom, kar še posebno velja za smrekovino (pri jelovini je  $R^2 = 0,38$  in pri smrekovini le  $R^2 = 0,19$ ). Rezultati so primerljivi z vrednostmi, ki jih navajajo Choong (1969), Skaar (1988), Choong in Fogg (1989), Wiedenbech in sod. (1990) in Gorišek (1992).



Grafikon 3: Odvisnost volumenskega skrčka ( $\beta_{vol}$ ), radialnega skrčka ( $\beta_R$ ) in tangencialnega skrčka ( $\beta_T$ ) od gostote lesa v absolutno suhem stanju ( $r_0$ ) za smrekovino in jelovino.

Graph 3: Dependence of volumetric shrinkage ( $\beta_{vol}$ ), radial shrinkage ( $\beta_R$ ) and tangential shrinkage ( $\beta_T$ ) on the oven-dry density of wood ( $r_0$ ) for spruce and firwood.

Statistična primerjava skrčkov med posameznimi sekcijami kaže na enake soodvisnosti, kot smo jih zasledili že pri gostoti, kar potrjuje domnevo, da lahko krčenje pojasnimo že z gostotnimi razlikami. Enake trditve veljajo tudi za volumensko krčenje ter za krčenje v radialni in tangencialni smeri tako pri smrekovine kot pri jelovini.

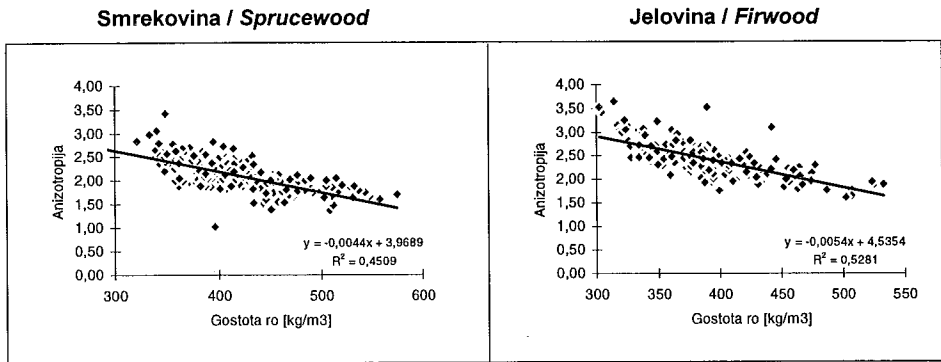
Močnega povečanja aksialnega krčenja juvenilnega lesa, kot navajajo v literaturi (SKAAR 1988, ZOBEL / VAN BUIJTENEN 1989, MCALISTER / CLARK 1992), z našimi rezultati ne moremo potrditi. Razlog manjšega krčenja je verjetno v mikrofibrilnem kotu, ki je nekoliko manjši od pričakovanega (med 8 in 25°). Po modelih Meylana (1968) ter Barbera in Meylana (1964) pa je ta vrednost še premajhna, da bi lahko vplivala na povečano logitudinalno krčenje juvenilnega lesa.

#### 4.3 VPLIV GOSTOTE NA PREČNO KRČITVENO ANIZOTROPIJO

Negativna korelacija med gostoto in prečno krčitveno anizotropijo je značilna za smrekovino ( $R^2 = 0,45$ ) in za jelovino ( $R^2 = 0,53$ ), kar kaže na nekoliko večjo oblikovno stabilnost adultnega lesa.

Intervalna prečna krčitvena anizotropija je bila vselej največja v zgornjem vlažnostnem območju (od vlažnosti pri točki nasičenja celičnih sten do ravnovesja pri relativni zračni vlažnosti  $\varphi = 88 \%$ ) in najnižja na spodnjem (od ravnovesja pri relativni zračni vlažnosti  $\varphi = 33 \%$  do  $\varphi = 0 \%$ ). To spoznanje lahko potrdimo tudi s primerjavo prečne krčitvene anizotropije sušilničnih in maksimalnih, totalnih skrčkov. Razlike anizotropij med zgornjim in spodnjim vlažnostnim območjem so se proti periferiji zmanjševale.

Povprečne vrednosti intervalnih anizotropij pri smrekovini in jelovini proti periferiji z naraščajočo gostoto padajo, kar potrjuje rezultate iz literature na drugih lesnih vrstah (BOSSHARD 1974, KOLLMANN 1981). Tako lahko potrdimo tudi za smrekovino in jelovino, da se radialno krčenje lesa z naraščajočo gostoto hitreje povečuje kot tangencialno krčenje (graf. 4).



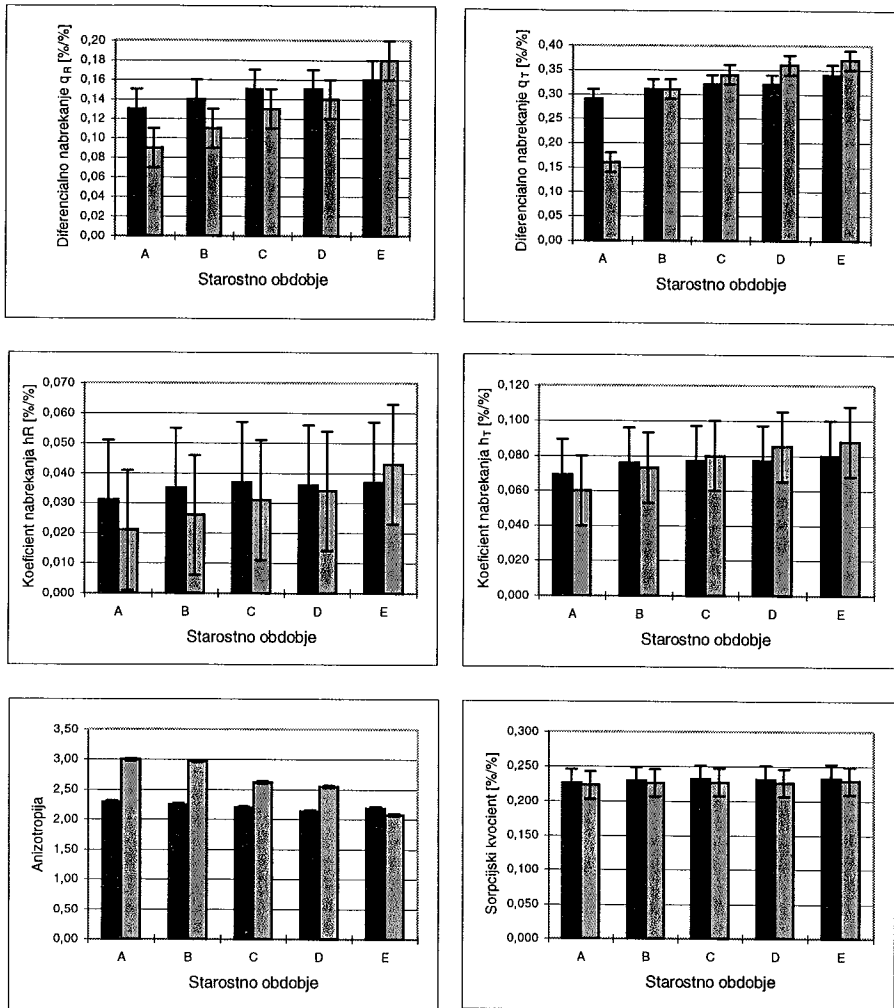
Grafikon 4: Prečna krčitvena anizotropija v odvisnosti od gostote lesa v absolutno suhem stanju pri smrekovini in jelovini.

Graph 4: *Transversal shrinkage anisotropy dependent on the oven-dry density ro in sprucewood and firwood.*

Tangencialne stene naj bi imele tudi več mikroprostorov kot radialne (BOYD 1977), zato je v primeru adsorpcije prodor vodnih molekul v tangencialne stene lažji, ker v procesu sušenja vsa prosta sorpcijska mesta niso tvorila medsebojnih vodikovih vezi, oziroma so jih tvorila manj kot v radialnih stenah.

#### 4.4 KAZALNIKI DIMENZIJSKE STABILNOSTI

Tudi razlike kazalnikov dimenzijske stabilnosti med posameznimi sekcijami lahko pojasnimo z gostotnimi razlikami med njimi (grafikon 5).



Grafikon 5: Kazalniki dimenzijske stabilnosti smrekovine in jelovine po starostnih obdobjih.

Graph 5: Indicators of dimensional stability of sprucewood and firwood according to age periods ( $q_r$ ,  $q_t$  - Differential swelling,  $h_r$ ,  $h_t$  - Swelling coefficient, Anizotropija / Anisotropy, Sorpcijski koeficient / Sorption quotient, Starostno obdobje / Age period).

Diferencialno nabrekanje v radialni smeri ( $q_R$ ) se je z naraščajočo gostoto povečevalo pri smrekovini in jelovini. Tudi diferencialno nabrekanje v tangencialni smeri je pri obeh drevesnih vrstah proti periferiji naraščalo, vendar bolj intenzivno

pri jelovini kot smrekovini, ni pa izkazovalo tolikšne povezanosti z gostoto kot nabrekanje v radialni smeri.

Nabrekovalni koeficienti ( $h$ ) so se pri jelki in smreki med sekcijami lesa v deblu in skupinami vzorcev desorpcije in adsorpcije spreminjali po pričakovanju, podobno kot diferencialno nabrekanje.

Sorpcijski kvocient ( $s$ ), ki neposredno označuje lesno higroskopnost, je pri smrekovini in jelovini proti periferiji naraščal. Najmanjšo vrednost je imel pri obeh drevesnih vrstah v zgodnjem juvenilnem obdobju, nato je vrednost sorpcijskega kvocienta proti koncu juvenilnega obdobja naraščala za jelovino in smrekovino ter padla pri adultnih jedrovinskih vzorcih, višek pa dosegla v beljavi obeh drevesnih vrst. Sorpcijski kvocient smrekovine je bil pri vseh sekcijah lesa za približno 0,002 %/% večji kot pri jelovini, verjetno zaradi večjega deleža higrofobne smole v lesu smrekovine, in drugih kemijskih razlik med lesnima vrstama. Večja odstopanja so bila pri jelovini. Pri obeh drevesnih vrstah so razlike sorpcijskih kvocientov padale proti periferiji, kar bi lahko potrjevalo higrofobnost jedrovinskih snovi tudi pri drevesnih vrstah z neobarvano jedrovino.

#### 4.5 OCENA DIMENZIJSKE IN OBLIKOVNE STABILNOSTI SMREKOVINE IN JELOVINE

Kazalniki dimenzijske stabilnosti uvrščajo smrekovino in jelovino med lesne vrste z neugodno dimenzijsko stabilnostjo (preg. 2).

Povprečno diferencialno nabrekanje v tangencialni smeri ( $q_T$ ) je bilo za smrekovino in jelovino normalno (v intervalu od 0,3 do 0,4 %/%) . Pri obeh lesnih vrstah so kazali vzorci sekcije A (zgodnje juvenilno obdobje) ugodno diferencialno nabrekanje v tangencialni smeri; pri ostalih sekcijah lesa je bilo diferencialno nabrekanje normalno.

Razlika diferencialnega nabrekanja v tangencialni in radialni smeri ( $q_T - q_R$ ) uvršča proučevani lesni vrsti med normalno stabilne lesove, neugodno stabilnost so izkazovali le vzorci jelovine sekcij C in D (pozno juvenilno obdobje in adultni jedrovinski vzorci).

Koeficient nabrekanja je bil v povprečju za obe drevesni vrsti neugoden. Normalni koeficient nabrekanja sta imeli le sekciji A smrekovine in jelovine.

Vsi ostali kriteriji, razlika koeficientov nabrekanja ( $h_T - h_R$ ), njuna anizotropija ( $h_T / h_R$ ) in še posebej sorpcijski kvocient ( $s$ ), so za obe drevesni vrsti neugodni z vidika stabilnosti lesa.

Preglednica 2: Ovrednotenje dimenzijske stabilnosti smrekovine in jelovine v povprečju in po sekcijah lesa (kriteriji po TORELLIJU, 1983).

Table 2: Assessment of average dimensional stability of spruce and firwood according to sections (criteria according to TORELLI, 1983).

	$q_T$ [%/%]	$q_T - q_R$ [%/%]	$h_T$ [%/%]	$h_T - h_R$ [%/%]	An	s [%/%]
Smreka / Spruce	o	o	-	-	-	-
A	+	o	o	-	-	-
B	o	o	-	-	-	-
C	o	o	-	-	-	-
D	o	o	-	-	-	-
E	o	o	-	-	-	-
Jelka / Fir	o	o	-	-	-	-
A	+	o	o	-	-	-
B	o	o	-	-	-	-
C	o	-	-	-	-	-
D	o	-	-	-	-	-
E	o	o	-	-	-	-

Ocene kriterijev dimenzijske stabilnosti: + ugodno, o normalno, - neugodno.  
Assessment of the dimensional stability parameters: + favourable, o normal, - unfavourable.

Relativno velika razlika med diferencialnim nabrekanjem v tangencialni in radialni smeri ( $q_T - q_R$ ), med koeficientom nabrekanja v tangencialni in radialni smeri ( $h_T - h_R$ ) ter neugodna anizotropija (An) nakazujejo slabo oblikovno stabilnost preučevanih lesnih vrst oziroma visoko nagnjenost h koritavosti.

Tudi po kriterijih, ki jih navajata Hsu in Tang (1975), ima preučevana smrekovina in jelovina pri vseh sekcijah lesa visoko nagnjenost h koritavosti, kar pomeni nizko in neugodno oblikovno stabilnost.

## 5 SKLEPI

Primerjave so potrdile razlike v krčitvenih lastnostih in dimenzijski stabilnosti lesa iz različnih starostnih obdobji oziroma med juvenilnim in adultnim lesom, kar nakazuje omejeno uporabnost juvenilnega lesa.

Volumenski, radialni in tangencialni skrčki pri smrekovini in jelovini so bili na juvenilnih vzorcih najmanjši zaradi nižje gostote teh sekcij lesa. Povečanje volumenskega in linearnih skrčkov po starostnih kategorijah lesa je bilo pri jelovini izrazitejše kot pri smrekovini. Gostota smrekovine in jelovine je proti periferiji naraščala. Pri smrekovini je bila gostota lesa na periferiji za 15 % višja kot v centru debla, naraščanje se je umirilo pred trideseto braniko. Pri jelovini je gostota narasla za 34 %, naraščanje pa je bilo preko celotnega preseka enakomerno.

Pričakovanega večjega aksialnega krčenja juvenilnega lesa, kot se največkrat navaja v literaturi, nismo ugotovili. Razlog je verjetno v mikrofibrilnem kotu, ki je sicer v juvenilnem lesu (od 6° do 25°) večji kot v adultnem (do 10°), vendar po Barberjevem modelu (BARBER / MEYLAN 1964, MEYLAN 1968) še ne prispeva k povečanju skrčka. Splošno mnenje o večjem aksialnem krčenju bolj pripisujemo kompresijskemu lesu, ki se pogosteje pojavlja v juvenilnem odbobju.

Prečna krčitvena anizotropija je pri obeh drevesnih vrstah proti periferiji z naraščajočo gostoto padala. Anizotropija je bila vselej največja v zgornjem higroskopskem območju in v procesu adsorpcije višja kot v procesu desorpcije, kar je verjetno posledica številnejših mikroprostorov v tangencialnih stenah v primerjavi z radialnimi (BOYD 1977) in večje energijske zahtevnosti adsorpcije od desorpcije.



Kazalniki dimenzijske stabilnosti: diferencialno nabrekanje ( $q$ ), nabrekovalni koeficient ( $h$ ) in sorpcijski kvocient ( $s$ ) so naraščali proti periferiji, anizotropija pa se je manjšala. Ugotovitve lahko pripišemo gostotnim razlikam med posameznimi sekcijami ne pa njihovim starostnim kategorijam. Kazalniki uvrščajo smrekovino in jelovino med dimenzijsko in oblikovno neugodne ali celo zelo neugodne vrste. Proučevani drevesni vrsti izkazujeta tudi veliko nagnjenost h koritavosti.

## 6 POVZETEK

Sekundarni ksilem, ki ga proizvaja kambij v različnih starostnih obdobjih, se anatomsko in kemijsko loči, kar vpliva na razlike v fizikalnih in mehanskih lastnostih. Praviloma slabše lastnosti juvenilnega lesa v primerjavi z adultnim lesom omejujejo in otežujejo njegovo predelavo in uporabo. Razlike so izrazite predvsem v postopku sušenja, sorpcijske in mehanske lastnosti ter dimenzijska stabilnost pa vplivajo tudi na že vgrajen les.

Za pet starostnih obdobj smrekovine (*Picea abies* Karst.) in jelovine (*Abies alba* Mill.) smo določili gostoto lesa, volumenske in linearne skrčke ter kazalnike dimenzijske stabilnosti. Proučevli smo vpliv gostote in starosti lesa na krčenje ter ovrednotili dimenzijsko stabilnost.

Vsa potrebna intervalna uravnovešanja smo opravili nad nasičenimi raztopinami soli ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \phi=88 \%$ ,  $\text{NaNO}_2 \Rightarrow \phi=65 \%$ ,  $\text{MgCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \phi=33 \%$ ) v termostahiranih zasteklenih kadeh s prisilno cirkulacijo atmosfere.

Gostota proučevane smrekovine in jelovine je proti periferiji naraščala. Povprečna gostota beljave pri smrekovini je bila  $448 \text{ kg/m}^3$ , kar je za 15 % več kot ob strženu, kjer je bila gostota  $388 \text{ kg/m}^3$ . Najhitreje je bilo naraščanje gostote v juvenilnem obdobju, po trideseti braniki pa se je ustalila. Tudi gostota jelovine je bila največja na periferiji ( $452 \text{ kg/m}^3$ ), razlike pri juvenilnem lesu pa še večje kot pri smrekovini, saj je bila gostota ob strženu povprečno le  $337 \text{ kg/m}^3$ . Naraščanje gostote jelovine je bilo po celotnem preseku linearno.

Volumenski, radialni in tangencialni skrčki pri smrekovini in jelovini so bili na juvenilnih vzorcih najmanjši, kar lahko pojasnimo z nižjo gostoto teh sekcij lesa. Povečanje volumenskega in linearnih skrčkov po starostnih kategorijah lesa je bilo pri jelovini izrazitejše kot pri smrekovini, verjetno zaradi večjih razlik gostot jelovine.

Pričakovanega večjega aksialnega krčenja juvenilnega lesa, kot ga navajajo v literaturi (ZOBEL / VON BUIJTENEN 1989, MCALISTER / CLARK 1992), nismo ugotovili. Razlog je verjetno v mikrofibrilnem kotu, ki je sicer v juvenilnem lesu večji kot v adultnem, vendar po Barberjevem modelu (BARBER / MEYLAN 1964, MEYLAN 1968) še ne prispeva k povečanju aksialnega skrčka lesa. Večji longitudinalni skrček je lahko tudi posledica kompresijskega lesa z večjim mikrofibrilnim kotom (pribl.  $40^\circ$ ), ki se pogosteje pojavi v juvenilnem obdobju.

Odvisnost krčenja lesa od njegove gostote je bila najbolj očitna pri radialnih skrčkih smrekovine in jelovine; manj tesna je bila zveza med gostoto in volumenskim skrčkom ter najmanjša s tangencialnim krčenjem. Prečna krčitvena anizotropija je pri obeh drevesnih vrstah proti periferiji, t.j. z naraščajočo gostoto, padala. Anizotropija je bila vselej največja v zgornjem higroskopskem območju in v procesu adsorpcije višja kot v procesu desorpcije, kar je verjetno posledica številnejših mikroprostorov v tangencialnih stenah v primerjavi z radialnimi (BOYD 1977) in večje energijske zahtevnosti adsorpcije od desorpcije.

Kazalniki dimenzijske stabilnosti: diferencialno nabrekanje ( $q$ ), nabrekovalni koeficient ( $h$ ) in sorpcijski kvocient ( $s$ ) so naraščali proti periferiji, anizotropija pa se je manjšala.

Diferencialno nabrekanje v tangencialni smeri ( $q_T$ ) ter razlika diferencialnih nabrekanj v tangencialni in radialni smeri ( $q_T - q_R$ ) so uvrščali proučevani lesni vrsti med lesove z ugodno dimenzijsko stabilnostjo, nabrekovalni koeficient v tangencialni smeri ( $h_T$ ) in razlika nabrekovalnih koeficientov ( $h_T - h_R$ ), anizotropija ( $A_n$ ), še posebej sorpcijski kvocient ( $s$ ), pa so bili za smrekovino in jelovino preko celotnega preseka debla z vidika dimenzijske stabilnosti zelo neugodni. Proučevani drevesni vrsti sta izkazovali tudi veliko nagnjenost h koritavosti.

Raziskava je potrdila razlike med juvenilnim in adultnim lesom, ki nakazujejo predvsem slabše lastnosti in omejeno uporabnost juvenilnega lesa.

## 7 SUMMARY

Secondary xylem, produced by the cambium in different age periods, is separated both anatomically and chemically, which has an impact on the wood's physical and mechanical properties. The generally worse qualities of juvenile wood - compared to adult wood - restrict and hinder its processing and use. The differences are particularly marked in the process of drying, but sorption, mechanical and dimensional qualities also influence built-in wood.

For five age periods of the Norway spruce (*Picea abies*, Karst) and silver fir (*Abies alba* Mill.), the wood density, volume and linear shrinkage as well as the indicators of dimensional stability were established. The impact of wood density and age was studied regarding shrinkage, and dimensional stability was assessed.

All the necessary interval balances were performed with saturated salt solutions ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \varnothing=88\%$ ,  $\text{NaNO}_2 \Rightarrow \varnothing=65\%$ ,  $\text{MgCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \varnothing=33\%$ ) in thermostated glazed vats with artificial ventilation.

The density of the tested spruce and fir wood increased towards the periphery. The average density of the sapwood with the spruce wood was  $448 \text{ kg/m}^3$ , which is 15 % more than in the heartwood, where the density was  $388 \text{ kg/m}^3$ . The density increased most rapidly in the juvenile period; after the 30<sup>th</sup> annual ring, it levelled off. The density of the spruce was highest at the periphery ( $452 \text{ kg/m}^3$ ), and the differences with juvenile wood were even more pronounced, because the density in the heartwood was only  $337 \text{ kg/m}^3$ . The increase of the firwood was linear in the entire cross-section.

The volumetric, radial and tangential shrinkage with spruce and firwood were smallest in the juvenile samples, which can be explained by the lower density of these wood sections. The increase in the volume and linear shrinkage according to the age categories of wood was more marked with firwood than with spruce - probably due to greater differences in density of the firwood.

We did not establish the expected greater axial shrinkage of juvenile wood, as stated in the literature (ZOBEL / VON BUIJTENEN 1989, MC ALISTER / CLARK 1992). The reason for this can probably be found in the microfibril angle, which is larger in juvenile wood than in adult wood, but, according to Barber's model, (BARBER / MEYLAN 1964, MEYLAN 1968) does not contribute to an increase of the axial shrinkage of the wood. An increased longitudinal shrinkage may also be the result of tension wood with a larger microfibril angle (appr. 40°), which is often found in the juvenile period.

The correlation between shrinkage and density was most obvious with radial shrinkage, both in spruce and firwood; by contrast, the connection between density and shrinkage in volume was less marked, and was least noticeable with tangential shrinkage. In both wood species, the transversal shrinkage anisotropy decreased towards the periphery, i.e. with increasing density. Anisotropy was always largest in the upper hygroscopic area, and in the adsorption process, it was larger than in the desorption process, which is probably due to the fact that there are more micro-areas in the tangential walls than in the radial walls, and, that adsorption consumes more energy than desorption does.

Indicators of the dimensional stability: differential swelling ( $q$ ), the swelling coefficient ( $h$ ) and the sorption coefficient ( $s$ ) all increased towards the periphery, while anisotropy decreased.

According to differential swelling in tangential direction ( $q_T$ ) and the difference of differential swelling in tangential and radial direction ( $q_T - q_R$ ), the studied wood species can be classified among the wood with favourable dimensional stability, while the swelling coefficient in tangential direction ( $h_T$ ) and the difference between the swelling coefficients ( $h_T - h_R$ ), anisotropy ( $A_n$ ), and, in particular, the sorption quotient ( $s$ ) were very unfavourable from the perspective of dimensional stability, for both spruce and firwood throughout the cross-section of the stem. The two studied species showed strong tendencies to warp.

The study proved the existence of differences between juvenile and adult wood, with juvenile wood having worse qualities and a limited range of applications.

## 8 VIRI

- BARBER, N. F. / MEYLAN, B. A., 1964. The anisotropic shrinkage of wood.- A theoretical model. *Holzforschung*, 18, 5, s.146-156.
- BOSSHARD, H. H., 1974. *Holzkunde. Zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes*. Birkhaeuser Verlag, Basel, Boston, Stuttgart.
- BOYD, J. D., 1977. Relationship between fibre morphology and shrinkage of wood.- *Wood science and Technology*, 11, 1, s. 3-22.
- BRENDTSEN A. B. / SENFT, J., 1986. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine.- *Wood and Fiber Science*, 18, 1, s. 23-38.
- BYRD, V. L. / ELLWOOD, E. L. / HITCHINGM R. G. / BAREFOOT, A. C., 1965. Wood characteristics and kraft paper properties of four selected loblolly pines. Wood chemical constituents and their relationship to fiber morphology.- *Forest Products Journal*, 15, s. 313-320.
- CHOONG, E. T., 1969. Effect of extractives on shrinkage and other hygroscopic properties of ten southern pine woods.- *Wood Fibre* 1, 1, s 124-133.
- CHOONG, E. T. / FOGG, P. J., 1989. Differences in moisture content and shrinkage between innerwood and outerwood of two shortleaf pine trees.- *Forest Products Journal*, 39, 3, s. 13-18.
- GORIŠEK, Ž., 1992. Vpliv prečne krčitvene anizotropije lesa na sušenje in stabilnost.- Doktorska disertacija, Ljubljana, VDO Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 1992, 120 s.
- HARRIS, J. M., 1988. *Spiral grain and wave Phenomena in wood formation*. Giessen, Springer,- Brühlsche Universitätsdruckerei, 214 s.
- HAUKAL, D., 1982. Spiral grain in *Pinus occarpa*.- *Wood and Fibre* 14, 4, s. 320-330.
- HSU, N. N. / TANG, R. C., 1975. Distortion and internal stresses in lumber due to anisotropic shrinkage.- *Wood science*, 7, 4, s. 198-307.
- KOLLMANN, F., 1981. Neues zur Anisotropie der Schwindung und Quellung von Holz.- *Holz als Roh-und Werkstoff*, 39, s. 357-260.
- KUČERA, B., 1994. A hypothesis relating current annual height increment to juvenile wood formation in norway spruce.- *Wood and fibre science*, 26, 1, s. 152-167.
- LARSON, P. R., 1969. Wood formation and the concept of wood quality.- *Yale Univ. Sch. For. Bull.*, 74, 54 s.

- LOGAR, T., 1995. Histometrična določitev trajanje juvenilnega obdobja pri smreki (*Picea abies* Karst.) in jelki (*Abies alba* Mill.).- Višješolska diplomska naloga, Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 29 s.
- MEYLAN, B. A., 1968. Cause of high longitudinal shrinkage in wood.- Forest Product Journal, 18, 2, s. 75-78.
- MCALISTER, R. / CLARK, A., 1992. Shrinkage of juvenile and mature wood of loblolly pine from three locations.- Forest Products Journal, 47, 7/8, s. 25-28.
- MCMILLIN, C. W., 1973. Fibril angle of loblolly pine wood as related to specific gravity, growth rate and distance from pith.- Wood science and technology, 7, 4, s. 251-255.
- NOSKOWAIK, A. F., 1963. Spiral Grain in trees: a review.- Forest Product Journal, 13, 3, s. 266-275.
- SKAAR, C., 1988. Wood-Water Relation.- Berlin, Heilderberg, New York, Tokyo, Springer-Verlag, 283 s.
- TORELLI, N., 1983. Sorpcija in stabilnost lesa.- Les, 35, 5-6, s. 101-106.
- TREMBLAY, C., 1995. Longitudinal and radial variation of slope of grain in block spruce lumber.- Forest Product Journal, 45, 1, s. 79-83.
- WIEDENBECK, J. K. / HOFMANN, K. / PERALT, P. / SKAAR, C., 1990. Air permeability, shrinkage and moisture sorption of lodgepole pine stemwood.- Wood and Fiber Science, 22, 3, s. 229-245.
- ZOBEL, B. J. / BUIJTENEN, VAN J. P., 1989. Wood Variation Its Causes and Control.- Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Springer-Verlag, 362 s.