

Mr. sc. Tomislav Sinković, Šumarski fakultet Zagreb

# Mehanička svojstva juvenilnog drva jele (*Abies alba* Mill.) iz Gorskog Kotara

## Mechanical properties of juvenile wood of fir-wood (*Abies alba* Mill.) from Gorski Kotar

*Izvorni znanstveni rad*

Prispjelo: 12. 05. 1995. • Prihvaćeno: 08. 06. 1995. • UDK 630\*812

**SAŽETAK** • U ovom radu obrađena su mehanička svojstva juvenilnog i zrelog drva jele. Istraživana su slijedeća mehanička svojstva jelovine: statička čvrstoća na svijanje, modul elastičnosti pri statičkom svijanju, čvrstoća na udarac, čvrstoća na tlak u longitudinalnom smjeru, čvrstoća na tlak u radijalnom smjeru, čvrstoća na tlak u tangentskom smjeru i tvrdoća prema Janki u longitudinalnom smjeru. Od navedenih svojstava statička čvrstoća na svijanje, čvrstoća na tlak u longitudinalnom smjeru i čvrstoća na tlak u tangentskom smjeru pokazuju statistički signifikantnu razliku juvenilnog i zrelog drva jele. Glede tih svojstava juvenilno drvo ima slabija mehanička svojstva od zrelog drva jele.

**Ključne riječi:** jelovina (*Abies alba* Mill.), juvenilno drvo, čvrstoća na svijanje, i čvrstoća na tlak.

**SUMMARY** • In this paper we discuss mechanical properties of juvenile wood and mature wood of firwood. Following mechanical properties have been investigated: static bending strength, modulus of elasticity in static bending, impact bending, compression strength parallel to the grain, compression strength perpendicular to the grain in radial direction, compression strength perpendicular to the grain in tangential direction and hardness per Janka in longitudinal direction. Bending strength, compression strength parallel to the grain and compression strength perpendicular to the grain in tangential direction show significant difference between juvenile and mature wood, the former being weaker than the latter.

**Key words:** fir-wood (*Abies alba* Mill.), juvenile wood, bending strength, compression strength.

## 1. UVOD

### 1. Introduction

Upotreba jelovine najčešća je u građevnim konstrukcijama. Mehanička svojstva sirovine (Buckman, 1985) imaju presudno značenje za racionalno dimenzioniranje građevnih konstrukcija. Sušenje jelovih stabala i povećana potreba za drvom pridonosi opsežnijoj sječi stabala manjeg, prsnog promjera. Takva stabla imaju veći udio juvenilnog drva. Dosadašnje spoznaje o mehaničkim svojstvima juvenilnog drva (Petrić, Bađun, 1985, Senft, 1986; Zobel, 1989) pokazuju da su ona smanjena u odnosu prema mehaničkim svojstvima zrelog drva jelovine. Na smanjena mehanička svojstva juvenilnog drva upućuju i smanjena fizička svojstva, specijalno gustoća kao jedan od najbitnijih činitelja koji utječe na veličinu mehaničkih svojstava (Lewark, 1986; Meaglin, 1987; Petrić, 1983; Petrić, Bađun, 1985; Petrić, 1990; Sinković, 1995; Zobel, 1989). Poznavanje mehaničkih svojstava juvenilnog i zrelog drva jele omogućilo bi racionalniju uporabu jelovine na svim poljima njezine primjene, osobito u građevnim konstrukcijama.

## 2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

### 2. Aims of research

Cilj ovog istraživanja je bilo unutar debla određivanje rasporeda statičke čvrstoće na svijanje (čvrstoća na svijanje), modul elastičnosti pri statičkom svijanju (modul elastičnosti), čvrstoće na udarac, čvrstoće na tlak u longitudinalnom smjeru, čvrstoće na tlak u radijalnom smjeru, čvrstoće na tlak u tangentnom smjeru i tvrdoće po Janki u longitudinalnom smjeru. Dobivanjem rasporeda mehaničkih svojstava u radijalnom smjeru bit će moguće postaviti granicu između juvenilnog i zrelog drva, a time i provesti usporedbu mehaničkih svojstava između te dvije zone. Određivanje granice između juvenilnog i zrelog drva omogućit će kvantificiranje vrijednosti mehaničkih svojstava u te dvije zone.

## 3. OBJEKT ISTRAŽIVANJA

### 3. Object of research

Najvažniji podaci o modelnim stablima prikazani su u članku (Sinković, 1995). Navedena četiri debljinska razreda izabrana su kako bi se u prvom debljinskom razredu dobio što veći udio juvenilnog drva, drugom i trećom podjednak udio juvenilnog

i zrelog drva i četvrtom debljinskom razredu veći udio zrelog drva. Takav raspored udjela juvenilnog i zrelog drva treba omogućiti ispunjavanje postavljenih ciljeva ovog istraživanja.

## 4. METODE ISTRAŽIVANJA

### 4. Research methods

Od modelnih stabala, na prsnoj visini, izrađeni su trupčići. Od trupčića su izrađene srednjače u smjerovima strana svijeta tako da su dobivene četiri srednjače od jednog trupčića. Srednjače su prirodno sušene kako bi postigle vlažnost od približno 12% sadržaja vode. Od srednjača su izrađeni uzorci za određivanje mehaničkih svojstava drva. Izrađen je najveći mogući broj uzoraka za svako mehaničko svojstvo kako bi se dobio što veći broj uzoraka odnosno što točniji raspored mehaničkih svojstava u radijalnom smjeru. Mehanička svojstva određivana su prema važećim normama u Hrvatskoj, koje su navedene u referencama. Nakon definiranja pozicije uzoraka i pridruživanja razine mehaničkog svojstva svim godovima koji su bili na tom uzorku izračunane su srednje vrijednosti svojstava po godovima za svako stablo, a nakon toga i za svaki debljinski razred. Pošto je utvrđeno da podaci svih četiriju debljinskih razreda pripadaju istom skupu, podaci su izjednačeni metodom minimalnih kvadrata kako bi se dobila izjednačena krivulja trećeg stupnja s pripadnim indeksom korelacije. Na temelju promjene trenda rasporeda svojstava u radijalnom smjeru po godovima određena je granica između juvenilnog i zrelog drva. Nakon utvrđivanja granice uspoređene su srednje vrijednosti svojstava između zone juvenilnog i zrelog drva po debljinskim razredima. Statistička obrada obavljena je standardnim statističkim metodama (Hitrec, 1977).

## 5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I

### RASPRAVA

### 5. Results and discussion

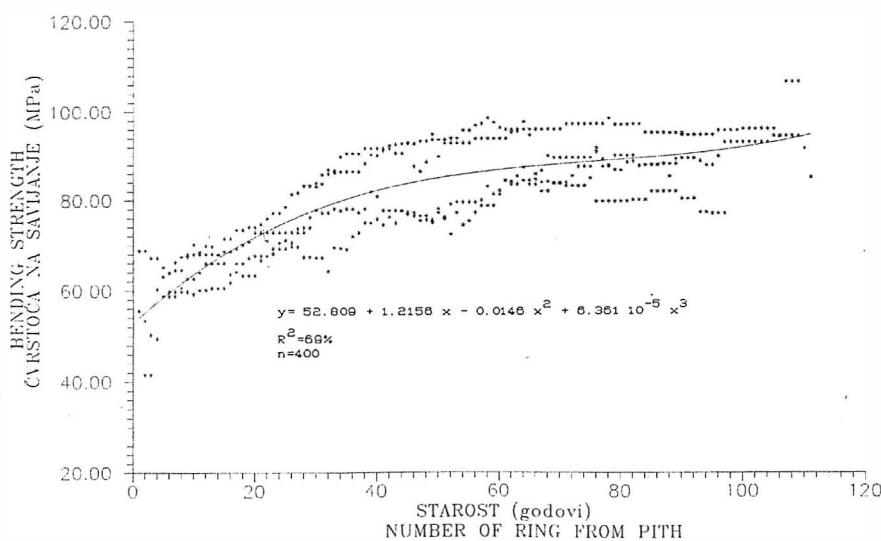
Rezultati istraživanja po debljinskim razredima prikazani su u tablici 1.

Rezultati istraživanja prikazani u tablici 1. daju varijabilnost mehaničkih svojstava, ali za što zorniji prikaz rasporeda svojstava u radijalnom smjeru načinjeni su grafički prikazi na slikama 1-7. Na svakoj slici naznačena je i jednadžba izjednačene krivulje trećeg stupnja, kao i broj uzoraka te indeks korelacije.

Svojstvo Property	Debljinski razred Diameter classes	Broj uzoraka Number of samples	Srednja vrijednost Average value	Varijanca (N-1) Variance
Čvrstoća na svijanje (MPa) Bending strength	I.	90	86.01	127.522
	II.	105	86.31	75.84
	III.	97	74.40	89.38
	IV.	108	79.38	149.98
Modul elastičnosti (GPa) Modulus of elasticity	I.	90	13.90	13.12
	II.	105	22.60	90.04
	III.	97	4.24	0.39
	IV.	108	6.30	11.20
Čvrstoća na udarac (KJ/m <sup>2</sup> ) Impact bending strength	I.	90	46.84	76.04
	II.	109	30.25	60.10
	III.	94	44.83	82.94
	IV.	108	47.02	96.10
Čvrstoća na tlak u longitudinalnom smjeru (MPa) Compression strength parallel to the grain	I.	90	39.47	21.95
	II.	111	37.09	22.22
	III.	97	33.28	6.65
	IV.	109	33.95	13.38
Čvrstoća na tlak u radijalnom smjeru (MPa) Compression strength perpendicular to the grain in radial direction	I.	85	3.33	0.018
	II.	109	3.15	0.094
	III.	100	3.76	0.094
	IV.	114	3.68	0.013
Čvrstoća na tlak u tangentnom smjeru (MPa) Compression strength perpendicular to the grain in tangential direction	I.	96	3.57	0.223
	II.	112	3.49	0.453
	III.	98	4.15	0.265
	IV.	114	3.81	0.586
Tvrdoća prema Janki u longitudinalnom smjeru (MPa) Hardness per Janka in longitudinal direction	I.	96	36.34	3.204
	II.	112	28.85	4.320
	III.	100	30.81	3.717
	IV.	114	31.58	3.141

**Tablica 1.** Pregled statičkih parametara rezultata istraživanja po debljinskim razredima • Review of statistical data-test results per diameter classes.

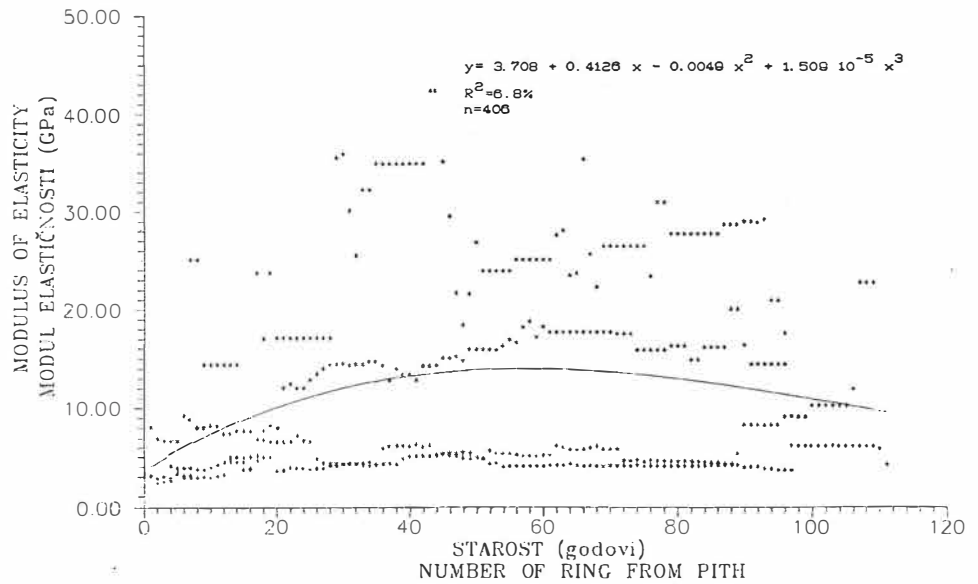
Legenda: I-stabla prsnog promjera 25-30 cm  
 II-stabla prsnog promjera 31-40 cm  
 III-stabla prsnog promjera 41-50 cm  
 IV-stabla prsnog omjera 60 cm  
 Legend: I-trees of mean diameter at breast high 25-30 cm  
 II-trees of mean diameter at breast high 31-40 cm  
 III-trees of mean diameter at breast high 41-50 cm  
 IV-trees of mean diameter at breast high 60 cm



**Slika 1.** Raspored srednjih vrijednosti čvrstoće na svijanje za sve debljinske razrede • Distribution of bending strength average values for all diameter classes

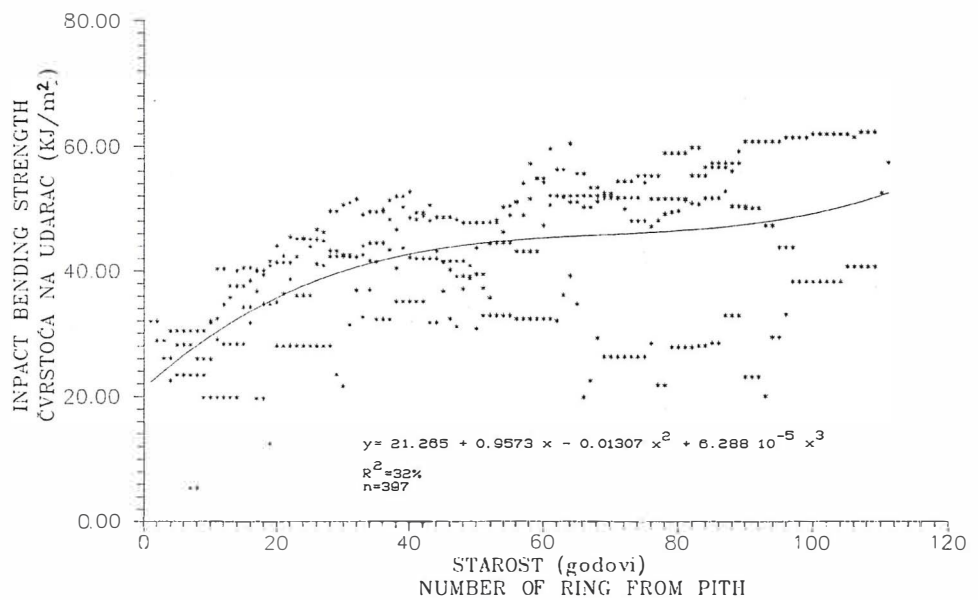
**Slika 2.**

Raspored srednjih vrijednosti modula elastičnosti za sve debljinske razrede • Distribution of modulus of elasticity average values for all diameter classes



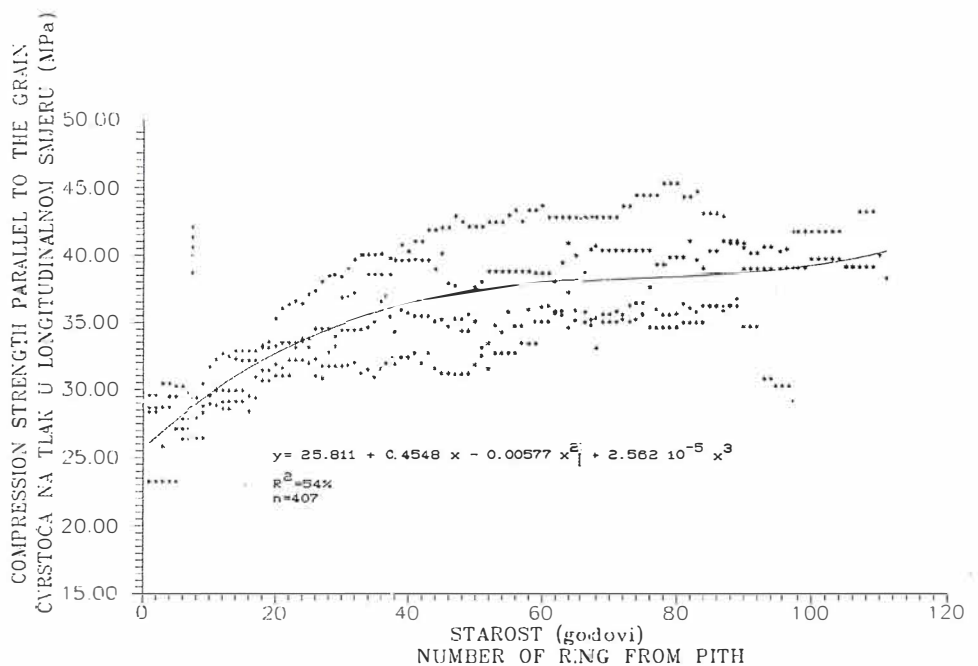
**Slika 3.**

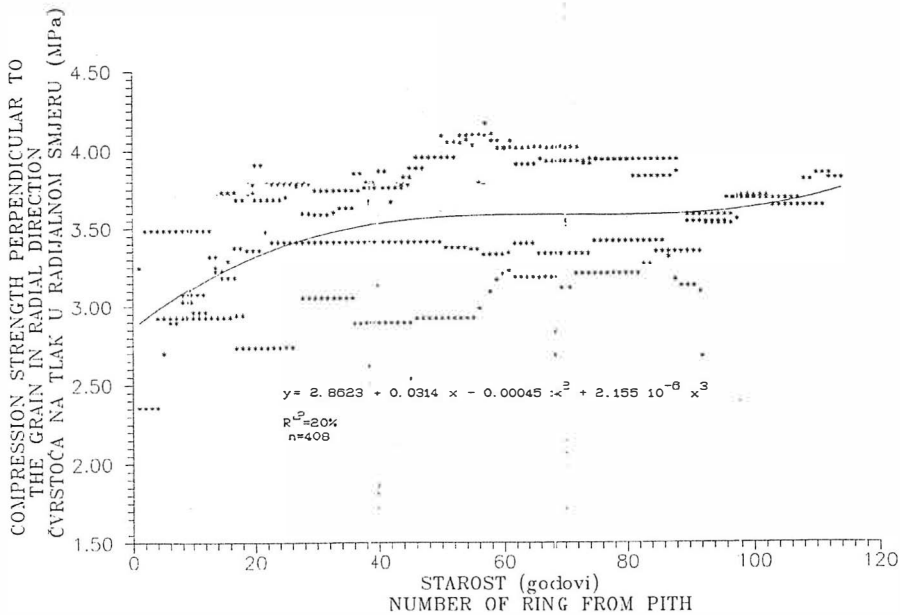
Raspored srednjih vrijednosti čvrstoće na udarac za sve debljinske razrede • Distribution of impact bending strength average values for all diameter classes



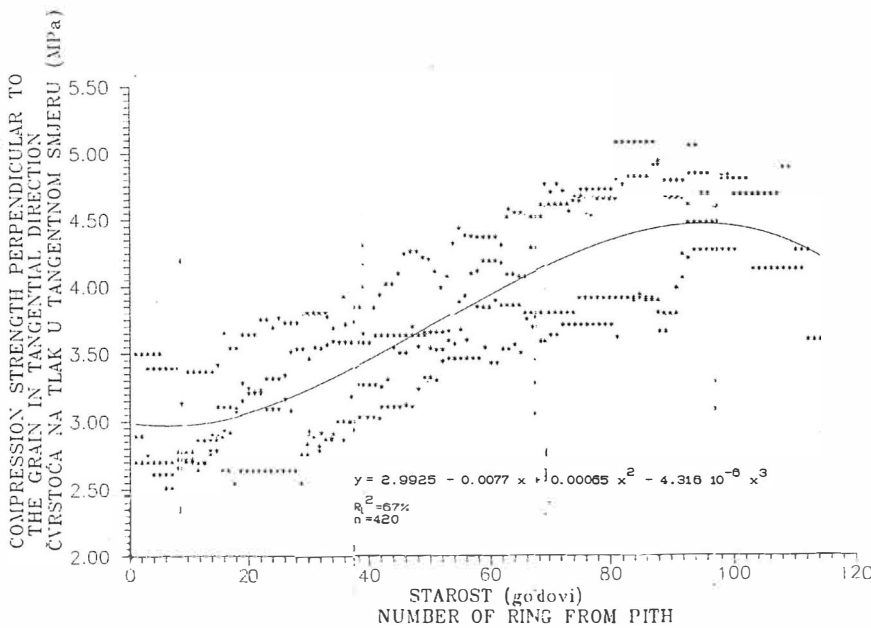
**Slika 4.**

Raspored srednjih vrijednosti čvrstoće na tlak u longitudinalnom smjeru za sve debljinske razrede • Distribution of compression strength parallel to the grain average values for all diameter classes

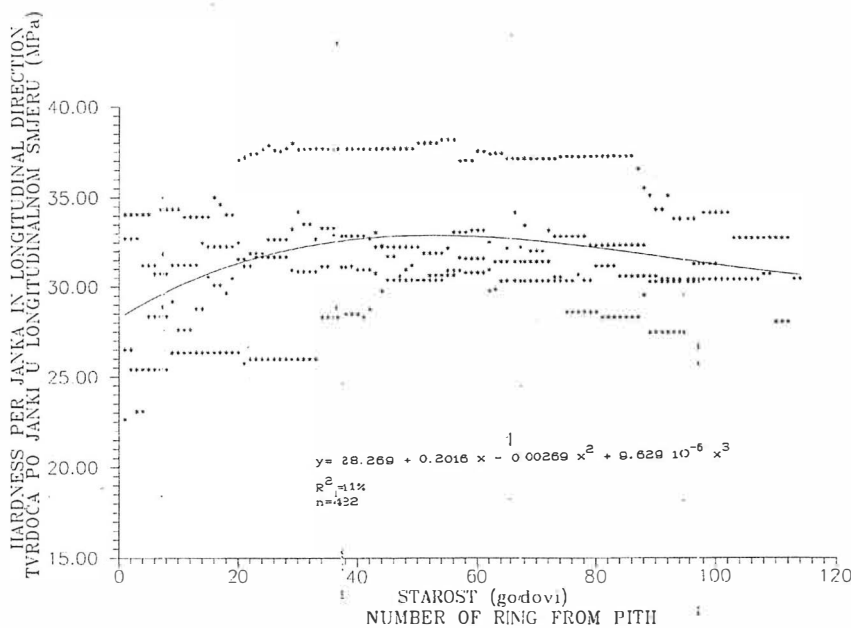




**Slika 5.** Raspored srednjih vrijednosti čvrstoće na tlak u radialnom smjeru za sve debljinske razrede • Distribution of compression strength perpendicular to the grain in radial direction average values for all diameter classes



**Slika 6.** Raspored srednjih vrijednosti čvrstoće na tlak u tangentnom smjeru za sve debljinske razrede • Distribution of compression strength perpendicular to the grain in tangential direction average values for all diameter classes



**Slika 7.** Raspored srednjih vrijednosti tvrdoće prema Janki u longitudinalnom smjeru za sve debljinske razrede • Distribution of hardness per Janka in longitudinal direction average values for all diameter classes

**Tablica 2.**

*Pregled statističkih parametara čvrstoće na svijanje juvenilnog i zrelog drva • Review of bending strength statistics for juvenile and mature wood*

Debljinski razred Diameter class	Broj godina od srca Rings from pith	Broj uzoraka Number of samples	Srednja vrijednost Average value (g/cm <sup>3</sup> )	Standardna devijacija (N-1) Standard deviation (g/cm <sup>3</sup> )	"u" Value
I.	1-40	335	78.29	11.14	-3.93
	41-96	486	95.11	8.35	
	1-50	475	78.29	11.14	-4.95
	51-96	346	96.06	7.61	
II.	1-40	121	79.64	10.01	-1.57
	41-113	413	90.98	10.84	
	1-50	176	79.64	10.01	-1.90
	51-113	358	91.06	10.71	
III.	1-40	226	68.89	14.57	-2.43
	41-106	348	80.02	11.01	
	1-50	304	68.89	14.57	-3.04
	51-106	270	80.92	10.65	
IV.	1-40	210	67.51	11.09	-3.77
	41-125	441	85.06	12.02	
	1-50	286	67.51	11.09	-4.86
	51-125	365	86.91	10.50	

**Tablica 3.**

*Pregled statističkih parametara čvrstoće na tlak u longitudinalnom smjeru juvenilnog i zrelog drva • Review of statistical data on compression strength parallel to the grain for juvenile and mature wood*

Debljinski razred Diameter class	Broj godina od srca Rings from pith	Broj uzoraka Number of samples	Srednja vrijednost Average value (g/cm <sup>3</sup> )	Standardna devijacija (N-1) Standard deviation (g/cm <sup>3</sup> )	"u" Value
I.	1-30	539	40.87	6.15	-4.88
	31-96	1180	49.46	7.58	
	1-40	798	42.80	6.23	-4.89
	41-96	921	50.21	8.14	
II.	1-30	255	42.44	5.72	-1.50
	31-113	701	46.42	6.41	
	1-40	369	43.11	6.45	-1.63
	41-113	587	46.77	6.09	
III.	1-30	272	35.99	6.52	-2.29
	31-106	725	40.99	6.09	
	1-40	387	37.53	6.84	-1.79
	41-106	610	40.95	6.08	
IV.	1-30	265	35.96	5.83	-2.18
	31-125	984	40.77	5.97	
	1-40	397	36.40	5.69	-2.69
	41-125	852	41.31	5.89	

Pregledom trendova krivulja na slikama 1-7. uočeno je da se ne može jednoznačno odrediti granica između zone juvenilnog i zrelog drva. Budući da je proces porasta dimenzija gradbenim elemenata postupan, i prijelaz zone juvenilnog u zonu zrelog drva također je postupan. Uočeno je da se pri ispitivanju čvrstoće na svijanje granica između zone juvenilnog i zrelog drva nalazi između 40-og i 50-og goda od srca. Za čvrstoću na tlak u longitudinalnom i tangentnom smjeru granica između zone juvenilnog i zrelog drva nalazi se između 30-og i 40-og goda od srca. Krivulje za ta tri mehanička

svojstva također zadovoljavaju uvjet da se prema indeksu korelacije nalaze u području jakih korelacija prema Roemer-Orphalovoj tablici (jaka korelacija = indeks korelacije 0,5-0,75). Za ostala mehanička svojstva indeks korelacije je relativno malen, pa i u daljnjim razmatranjima ona nisu uzeta u obzir. U tablici 2. prikazani su statistički parametri čvrstoće na svijanje zone juvenilnog (od 1-40-og goda i 1-50-og goda) i zrelog (od 41- posljednjeg goda i 51- posljednjeg goda) drva po debljinskim razredima. U tablicama 3. i 4. prikazani su statistički parametri zone juvenilnoga (od 1-30-og goda i 1-

Debljinski razred Diameter class	Broj godina od srca Rings from pith	Broj uzoraka Number of samples	Srednja vrijednost Average value (g/cm <sup>3</sup> )	Standardna devijacija (N-1) Standard deviation (g/cm <sup>3</sup> )	"u" Value
I.	1-30	170	3.22	0.38	-2.01
	31-96	642	3.72	0.55	
	1-40	313	3.38	0.43	-2.00
	41-96	499	3.76	0.57	
II.	1-30	83	2.71	0.32	-3.13
	31-113	482	3.64	0.74	
	1-40	138	2.82	0.36	-3.78
	41-113	427	3.73	0.74	
III.	1-30	96	3.61	0.70	-1.99
	31-106	402	4.35	0.79	
	1-40	166	3.68	0.80	-2.72
	41-106	332	4.46	0.72	
IV.	1-30	117	2.93	0.36	-4.44
	31-125	508	4.14	0.94	
	1-40	186	2.97	0.43	-6.17
	41-125	439	4.31	0.86	

**Tablica 4.**  
Pregled statističkih parametara čvrstoće na tlak u tangentalnom smjeru juvenilnog i zrelog drva • Review of statistical data on compression strength perpendicular to the grain in tangential direction for juvenile and mature wood

40-og goda) i zrelog (od 31-posljednjeg goda i 41-posljednjeg goda) drva po debljinskim razredima za čvrstoću na tlak u longitudinalnom i tangentalnom smjeru.

Statistički parametri u tablicama 2-4. pokazuju da postoji signifikantna razlika pri uspoređivanju srednjih vrijednosti čvrstoće na svijanje, čvrstoće na tlak u longitudinalnom smjeru i čvrstoće na tlaku tangentalnom smjeru. Pri čvrstoći na svijanje signifikantnost razlika uočava se za zonu od prvih 40 odnosno 50 godina, a glede čvrstoće na tlak u longitudinalnom i tangentalnom smjeru zona u kojoj je razlika signifikantna u usporedbi s ostalim godovima jest prvih 30 odnosno 40 godina od srca. Prema promjeni mehaničkih svojstava nemoguće je jednoznačno odrediti granicu zone juvenilnog i zrelog drva.

## 6. ZAKLJUČCI 6. Conclusions

1. Na osnovi promjena mehaničkih svojstava nije moguće odrediti oštru granicu između juvenilnog i zrelog drva.

2. U području od 30-40 godina udaljenosti od srca nastaje promjena čvrstoće na tlak u longitudinalnom i tangentalnom smjeru.

3. U području 40-50 godina udaljenosti od srca mijenja se čvrstoća na svijanje.

4. Čvrstoća na svijanje juvenilnog drva jelovine manja je od čvrstoće na svijanje zrelog drva. Uz pretpostavku da zonu juvenilnog drva čini prvih 40 godina od srca,

srednja vrijednost čvrstoće na svijanje juvenilnog drva iznosi 73,58 MPa, a zrelog drva 87,79 MPa, što pokazuje da je čvrstoća na svijanje juvenilnog drva cca 84% čvrstoće na svijanje zrelog drva. Uz pretpostavku da zonu juvenilnog drva čine prvih 50 godina od srca srednja vrijednost čvrstoće na svijanje juvenilnog drva iznosi 73,58 MPa, a zrelog drva 88,74 MPa, što pokazuje da je čvrstoća na svijanje juvenilnog drva oko 93% čvrstoće na svijanje zrelog drva.

5. Čvrstoća na tlak u longitudinalnom smjeru juvenilnog drva jelovine manja je od čvrstoće na tlak u longitudinalnom smjeru zrelog drva. Uz pretpostavku da zonu juvenilnog drva čini prvih 30 godina od srca, srednja vrijednost čvrstoće na tlak u longitudinalnom smjeru juvenilnog drva iznosi 38,82 MPa, a zrelog drva 44,41 MPa, što pokazuje da je čvrstoća na tlak u longitudinalnom smjeru juvenilnog drva oko 87% čvrstoće na tlak u longitudinalnom smjeru zrelog drva. Uz pretpostavku da zonu juvenilnog drva čini prvih 40 godina od srca, srednja vrijednost čvrstoće na tlak u longitudinalnom smjeru juvenilnog drva iznosi 39,96 MPa, a zrelog drva 44,81 MPa, što pokazuje da je čvrstoća na tlak u longitudinalnom smjeru juvenilnog drva oko 89% čvrstoće na tlak u longitudinalnom smjeru zrelog drva.

6. Čvrstoća na tlak u tangentalnom smjeru juvenilnog drva jelovine manja je od čvrstoće na tlak u tangentalnom smjeru zrelog drva. Uz pretpostavku da zonu juvenilnog drva čini prvih 30 godina od srca, srednja vrijednost čvrstoće na tlak u tangentalnom

