

# Uticaj vlage i temperature na pritisnu čvrstoću paralelno s vlakancima drveta

## EFFECT OF MOISTURE AND TEMPERATURE UPON THE COMPRESSION STRENGTH PARALLEL TO GRAINS OF WOOD

Doc. dr **Branko Kolin**  
Šumarski fakultet Beograd

UDK 630\*812.7

Izvorni znanstveni rad

### Sažetak

U radu se prikazuju rezultati istraživanja utjecaja vlage i temperature na pritisnu čvrstoću paralelno sa vlakancima ( $\sigma_{\parallel}$ ) drveta kod bukve, hrasta, topole, jele i smrče. Istraživanja su sprovedena za opseg vlage od 4 ... 24% i opseg temperature od 20° ... 80° (90°) C.

Analizom rezultata utvrđeno je da pritisna čvrstoća zavisi od vlage u higroskopnom području, odnosno da se njeno opadanje sa povećanjem vlažnosti može opisati jednačinom oblika:

$$\sigma_{\parallel} = 10 a + bu + cu^2$$

S povišenjem temperature pri konstantnoj vlažnosti drveta pritisna čvrstoća opada i pri tom je ustanovljena veza

$$\sigma_{\parallel} = a + bt.$$

Pri jednovremenom delovanju vlage i temperature, vlaga pokazuje veći uticaj na smanjenje pritisne čvrstoće paralelno sa vlakancima drveta. Uticaj temperature izrazitiji je kod vrsta drva sa većom zapreminskom masom i smanjuje se sa smanjenjem zapreminske mase drveta.

**Ključne reči:** pritisna čvrstoća — vlaga drveta — temperatura

### Summary

This articles presents the results in the research into the effect of moisture and temperature upon the compression strength parallel to grains ( $\sigma_{\parallel}$ ) of wood for beech, oak, poplar, fir and spruce. The investigation have been conducted for moisture range between 4 ... 24% and temperature range between 20° and 80° (90°) C.

Estimated results show that the compression strength depends of moisture in the hygroscopic area, more exactly its decrease with increasing of moisture can be described by equotation in form.

$$\sigma_{\parallel} = 10 a + bu + cu^2$$

With increasing of temperature during constant moisture of wood, compression strength decreases and for that it have been estimated the equotation in form

$$\sigma_{\parallel} = a + bt.$$

During simultaneous influence, moisture of wood shows the higher effect to decreasing of compression strength parallel to grains of wood. Effect of temperature is more expressive for species with higher density and that effect decrease with decreasing the density of wood.

**Key words:** compression strength — moisture of wood — temperature (B. K.)

### 1.0 UVOD

Pritisna čvrstoća paralelno s vlakancima drveta je jedno od značajnijih mehaničkih svojstava drveta. Rezultati dosadašnjih istraživanja najčešće prikazuju podatke o pritisnoj čvrstoći za apsolutno suvo stanje i za standardnu vlažnost (12%) na temperaturi od oko 20° C. Krpan [7] je, istražujući tačku zasićenosti žice drveta hrasta, bukve i smrče metodom pritisne čvrstoće paralelno sa vlakancima drveta na temperaturi od 20° C, došao do zaključka da kod sve tri istraživane vrste postoji čvrsta veza između pritisne čvrstoće i vlažnosti dr-

veta u higroskopnom području. Istražujući uticaj vlage na modul elastičnosti i granicu čvrstoće pritiskom i istezanjem u sva tri anatomski pravca kod bukve, P. Misić [11] je zaključio da se u dijazonu vlage od 6% do 18% čvrstoća smanjuje s povećanjem vlage po linearnoj vezi, dok za vlagu veću od 18% u higroskopskom području autor iznosi samo pretpostavke o postojanju linearne veze. Istražujući uticaj temperature na pritisnu čvrstoću u sva tri anatomski pravca isti autor je utvrdio postojanje čvrste linearne zavisnosti.

U prikazu rezultata svojih istraživanja Fuchs [1] iznosi određene zaključke o delovanju temperature na pritisnu čvrstoću za vlage 0, 8 i 16% i za nadhigroskopno područje i za temperature 20°, 50° i 90° C kod bukve. Autor je utvrdio da se pri-

\* Rezultati saopšteni u ovom radu su deo doktorske disertacije pod naslovom: »UTICAJ TEMPERATURE NA PRITISNU ČVRSTOĆU I GRANIČNU HIGROSKOPNCST DRVETA«, koja je odbranjena na Šumarskom fakultetu u Beogradu, juna 1985. godine.

tisna čvrstoća paralelno s vlakancima drveta me-  
nja pod uticajem temperature po linearnom odno-  
su, odnosno po jednačini oblika  $\sigma = a - bt$ . Sano  
[14] je takođe, istražujući uticaj temperature u  
dijapazonu od  $-60^{\circ}$  do  $60^{\circ}$  C na pritisnu čvrstoću  
drveta smrče i jasena, ustanovio postojanje linear-  
ne zavisnosti. U radovima Leontijeva i Beljankina  
(prema Pereliginu [13], a takođe i Wangaarda [17]  
istraživani su uticaji temperature i vlage na pri-  
tisnu čvrstoću različitih vrsta drveća.

Iz ovog skraćenog prikaza rezultata iz litera-  
ture se vidi da ne postoji potpuna saglasnost o  
veličini i obliku uticaja vlage i temperature na  
pritisnu čvrstoću paralelno sa vlakancima drveta.

## 2. CILJ I PROGRAM ISTRAŽIVANJA

Istraživanja uticaja vlage i temperature na  
pritisnu čvrstoću paralelno s vlakancima drveta  
obuhvatilo je pet vrsta koje se kod nas najčešće  
industrijski prerađuju i to: bukvu, hrast i topolu  
od lišćarskih vrsta i smrču i jelu kao predstavnike  
četinarskih vrsta. Eksperimenti su obavljeni na  
vlažnostima od 4, 8, 12, 16, 20 i  $24\%$  i na tempe-

1) Vlažnost od  $24\%$  je za temperaturu od  $20^{\circ}$  C.

raturama  $20^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$  i  $80^{\circ}$  C kod lišćarskih vrsta,  
a najviša temperatura kod četinarskih vrsta bila  
je  $90^{\circ}$  C. Takođe će se istražiti i uticaj zapremin-  
ske mase drveta na pritisnu čvrstoću pri različi-  
tim temperaturama.

## 3. MATERIJAL ZA ISTRAŽIVANJE

Izabrane lišćarske vrste između sebe se veoma  
razlikuju, kako po svojoj anatomskoj građi tako  
i po fizičkim i mehaničkim svojstvima. Epruvete  
za ispitivanje uzete su za svaku vrstu drveta samo  
iz jednog modelnog trupčića. Podaci o sirovini  
za izradu epruveta prikazani su u tablici I.

## 4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

### 4.1 Izbor dimenzija epruveta

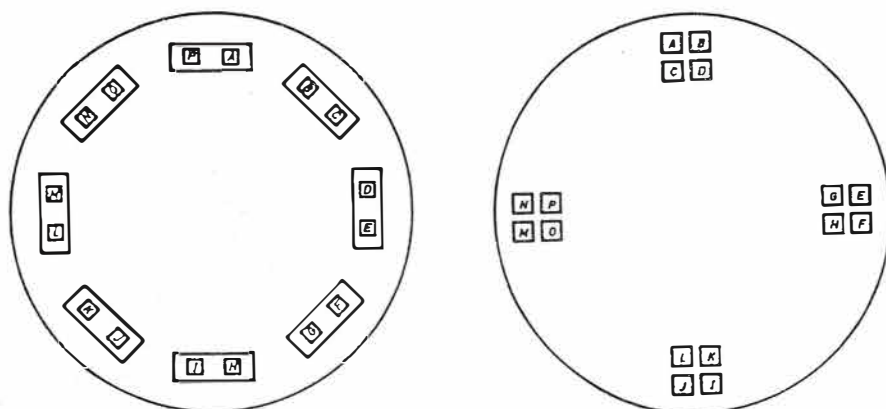
Po JUS.D.A1.045 pritisna čvrstoća paralelno s  
vlakancima drveta određuje se na epruvetama  
dimenzija  $20 \times 20 \times 40$  mm. U našem istraživanju  
dimenzije poprečnog preseka bile su  $15 \times 15$  i  
visina 30 mm. Zadržan je odnos visine prema di-  
menzijama poprečnog presjeka 2:1. Smanjivanjem

OSNOVNI PODACI O SIROVINI ZA IZRADU EPRUVETA  
BASIC DATA OF MATERIAL FOR SAMPLES

Tablica I  
Table I

Red. broj	Vrsta drveta	Botanički naziv	Poreklo	Starost (god.)	Prečnik (cm)*			Dužina trupčića (m)	Pad prečn. (cm/m)
					Tanji kraj	Deblji kraj	Sredina		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Hrast	Quercus pedunculata	Prijedor	44	45.5	50.5	48.00	2.30	2.174
2	Bukva	Fagus silvatica	Golija	84	45.0	47.5	46.25	2.72	0.900
3	Topola I-214	Populus spp.	Kovin	17	40.5	43.0	41.75	2.07	1.208
4	Jela	Abies alba	Golija	49	42.5	43.5	43.00	3.50	0.286
5	Smrča	Picea excelsa	Golija	116	46.0	48.0	47.00	4.35	0.460

\*) Unakrsno merenje čeličnom trakom (bez kore)



Slika 1: Shematski prikaz načina izreziivanja elemenata za izradu epruveta — (a) kod bukve, hrasta, jela i smrče; (b) kod topole  
Fig. 1: Scheme of a method of cutting out the elements for making test pieces — (a) for beech-wood, oak-wood, fir-wood and spruce-wood; (b) for poplar-wood

svih dimenzija nastojalo se da se spreče eventualno mogući uticaji gradijenta vlage i temperature na tačnost dobijenih rezultata. Bilo bi poželjno da dimenzije epruveta budu još manje.

#### 4.2 Položaj epruveta u modelnim trupčićima

Fizička i mehanička svojstva zavise od položaja epruveta u deblu, odnosno u trupcu. Na ovo ukazuju Krpan [7] i mnogi ostali istraživači (Benić, Simonović, Gvozdenović, Ugrenović).

Zbog potrebne homogenosti epruveta, osim njihove izrade iz samo jednog modelnog trupčića za jednu vrstu drveta, daske za izradu epruveta izrezane su tangencijalno, i to po izvodnici trupčića, da ne bi došlo do presecanja vlaknaca drveta. Shematski prikaz probnih dasaka i elemenata za izradu epruveta dat je na slici 1.

#### 4.3 Način izrade i označavanje epruveta

Tangencijalne daske (po osam za svaku vrstu drveta) prosušene su u sobnim uslovima na oko 12% vlažnosti za oko 4 mjeseca. Njihova vlažnost kontrolisana je elektrovlagomjerom. Iz prosušenih dasaka izrađeni su elementi poprečnog preseka  $15 \times 15$  mm, koji su na čelima označeni slovima od a do p. Tako izrađeni elementi su na kružnoj pili prikraćeni na potrebnu dužinu epruveta od 30 mm. Svaka epruveta dobila je oznaku slova (položaj epruvete na poprečnom preseku probnog trupčića) i broj (koji je označavao položaj te epruvete u longitudinalnom smeru). Brojevi epruveta rastu od tanjeg prema debljem kraju trupčića. Izrada epruveta vršena je na kružnoj pili sa blanjajućim rezom, čime je eliminisana potreba za njihovo naknado brušenje, jer bi se pri brušenju javljalo zagrevanje drveta, a što se ovom prilikom moralo sprečiti.

#### 4.4 Primarna klimatizacija epruveta

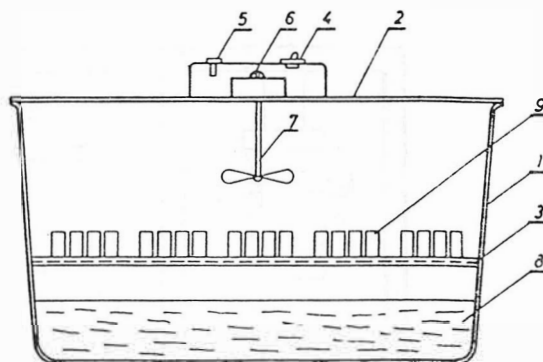
Za ovo istraživanje izabrana je metoda klimatizacije iznad prezasićenih rastvora soli. Soli, koje na temperaturi od  $20^{\circ}\text{C}$  obezbeđuju određene relativne vlažnosti vazduha, izabrane su na osnovu podataka Ilića [3] i prikazane u tablici II.

VRSTE SOLI I PARAMETRI KLIME ZA PRIMARNU KLIMATIZACIJU EPRUVETA **Tablica II**

KIND OF SALT AND CLIMATIC PARAMETERS FOR PRIMARY CLIMATISATION OF SAMPLES **Table II**

Vrsta soli	Relativna vlaga vazduha (%)	Vlaga ravnoteže (%)
1	2	3
$\text{LiCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$ i $\text{CaCO}_3$	14	4
$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	45	8
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	64	12
$\text{NH}_4\text{Cl}$	64	16
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \cdot \text{H}_2\text{O}$	90	20

Primarna klimatizacija obavljena je u plastičnim kadama (slika 2) u koje je prethodno na dno uliven prezasićen rastvor soli, a iznad rastvora je postavljena plastična žičana etaža s određenim grupama epruveta. Ceo ovaj sistem hermetički je zatvoren (uključujući i higrometar) poklopcem od akrilnog stakla [2]. Ventilator se [7] dva puta dnevno, u trajanju od po dva sata, automatski uključivao i mešao vazduh iznad rastvora soli. Ukupno trajanje primarne klimatizacije bilo je 25 dana.



- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| 1. PLASTIČNA KADA     | 6. ELEKTROMOTOR |
| 2. PLASTIČNI POKLOPAC | 7. VENTILATOR   |
| 3. ŽIČANA ETAŽA       | 8. SONI RASTVOR |
| 4. PREKIDAC           | 9. EPRUVETE     |
| 5. TINJALICA          |                 |

Slika 2: Presek kade za primarnu klimatizaciju epruveta  
Fig. 2: Cross-section of bath for primary climatization of samples

#### 4.5 Postupak laboratorijskog ispitivanja

Grupe od po 16 epruveta s oznakama od a do p, za svaku vlažnost i temperaturu, zagrevane su u termostatu »Vötech«, tako što je svaka epruveta prethodno hermetički zatvarana u polietilensku kesicu. Cilj ovog postupka je bio da ne dolazi do gubitka vlage u toku zagrevanja. Vreme zagrevanja svih grupa na svim temperaturama bilo je jednako i iznosilo je 1 sat i 45 minuta. Vreme zagrevanja određeno je kao optimalno u našem prethodnom istraživanju.

Posle izvršenog zagrevanja postupak s epruvetama bio je sledeći:

— merenje mase epruveta (digitalna vaga »Metler« PC 4110 sa tačnošću 1/100 g);

— merenje sve tri dimenzije epruveta (pomično merilo sa satom »Tessa« tačnosti 2/100 mm);

— merenje sile loma u smeru vlaknaca (na uređaju »Zwick« od 100 kN tačnosti 50 N na opsegu 20 kN, osim kod hrastovine na temperatura od  $20^{\circ}$  i  $35^{\circ}\text{C}$  i za vlažnost od 4%, gde je korišćen opseg od 50 kN s tačnošću od 100 N.

Kod temperatura viših od  $20^{\circ}\text{C}$  na »Zwick« postavljena je mala klima-komora (shematski prikaz na slici 3) čiji je zadatak bio da održava kon-

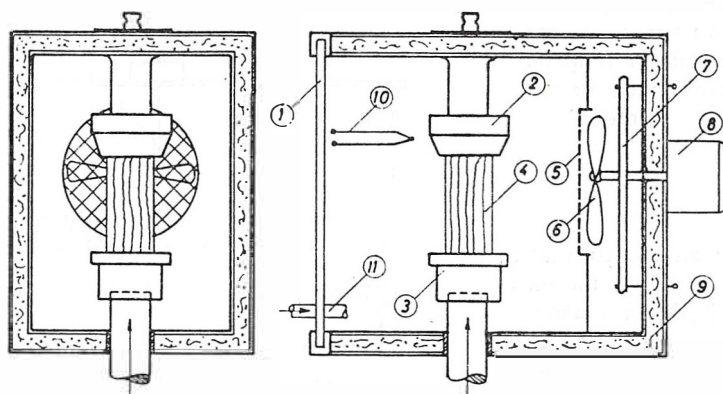


stantnom potrebnu temperaturu, odnosno da spreči nastajanje gradijenta temperature usled hlađenja epruveta u toku opterećenja. Takođe je na ovaj način stvorena mogućnost da se kontroliše relativna vlaga vazduha u zoni oko ispitivane epruvete, što je imalo za cilj da se spreči eventualno sušenje epruvete u toku opterećenja i nastanak gradijenta vlage. Temperatura u maloj klima-komori merena je tankim termoparom FeCt i instrumentom »Hartman & Braun«.

## 5. REZULTATI I ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

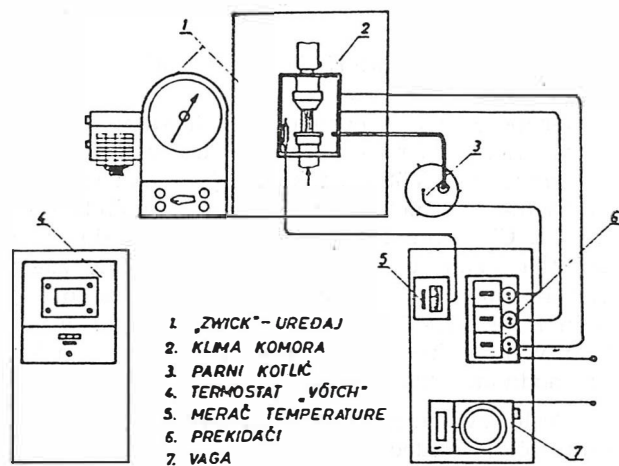
### 5.1 Zapreminska masa drveta

Za određivanje zapreminske mase drveta u apsolutno suvom stanju uzete su po 32 epruvete istih dimenzija kao i za određivanje pritiskne čvrstoće, sa oba kraja svakog od 16 elemenata. Epruvete su osušene do apsolutno suvog stanja stan-



Slika 3: Shematski prikaz male klima-komore  
Fig. 3: Scheme of a small air-condition chamber

Shematski prikaz načina povezivanja uređaja i instrumenata dat je na slici 4.



Slika 4: Shematski prikaz povezivanja laboratorijskih uređaja i instrumenata  
Fig. 4: Scheme of lab apparatus and instruments connection.

### 4.6 Statistička obrada rezultata

Statističke veličine i koeficijenti regresije izračunati su poznatim metodima matematičke statistike, pa ih nije potrebno na ovom mestu posebno prikazivati.

Obrada podataka izvršena je po programima koje smo sami sastavili na mikroracunaru »Sinclair — ZX 81, 16 kb«.

dardnim postupkom. Rezultati ispitivanja za sve vrste drva prikazane su u tablici III.

### ZAPREMINSKA MASA U APSOLUTNO SUVOM STANJU KOD ISPITIVANIH VRSTA DRVA

Tablica III

#### OVEN-DRY DENSITY FOR TESTED WOOD SPECIES

Table III

Vrsta drveta	Aritmetička sredina $r_0$	Standardna devijacija $\sigma_0$	Standardna greška $r_0$	Koeficijent varijacija $k_v$
Hrast	656.91	29.61	5.23	4.51
Bukva	668.01	22.18	3.92	3.32
Topola	321.28	15.51	2.74	4.83
Jela	413.34	15.65	2.77	3.79
Smrča	370.66	18.52	3.27	5.00

U tablici IV su prikazane razlike u zapreminskoj masi na debljem odnosno tanjem kraju trupčića. Smatra se da su one dovoljno male, te da nisu uticale na pritisnu čvrstoću.

Uspoređujući naše vrednosti zapreminske mase (tab. III) s vrednostima do kojih su dolazili drugi autori, može da se konstatuje da je naš u-

zorak reprezentativan u pogledu ovog svojstva za ispitivane vrste drva.

STATISTIČKI POKAZATELJI T-TESTA ZA ANALIZU ZAPREMINSKE MASE DRVETA U APOLUTNO SUVOM STANJU NA DEBLJEM I TANJEM KRAJU TRUPČICA

Tablica IV

STATISTICAL DATA OF T-TEST FOR OVEN-DRY DENSITY ANALYSIS FOR THICKER AND THINNER SIDE OF LOG

Table IV

Vrsta drveta	Broj epruveta	Aritmetička sredina $r_0$ u $\text{kg/m}^3$	
		Deblji kraj	Tanji kraj
1	2	3	4
Hrast	16+16	658.18	655.63
Bukva	16+16	670.08	665.94
Topola	16+16	321.31	321.25
Jela	16+16	416.00	410.69
Smrča	16+16	372.44	368.87

### 5.2 Uticaj vlage na pritisnu čvrstoću paralelno sa vlakancima drveta

Prema istraživanjima Krpana [7], Wangaarda [5], Kolina [5] i nekih drugih istraživača, dokazano je da u higroskopnom području vlažnosti čvrstoća je funkcija vlažnosti drveta i da se ta zavisnost može opisati jednačinom oblika:

$$\sigma_{,,} = 10^a + bu + cu^2 \quad (1)$$

gde je:  $\sigma_{,,}$  = pritisna čvrstoća paralelno sa vlakancima drveta ( $\text{N/mm}^2$ ),  $a$ ,  $b$ ,  $c$  = koeficijenti regresije,  $u$  = vlažnost drveta.

Parametri regresije prema jednačini (1), tj. koeficijenti, indeksi i standardne devijacije pri-

kazani su tabelarno u ukupno pet tablica (za svaku vrstu drveta po jedna), dok se na ovom mestu prikazuju podaci samo za bukvu u tablici V.

Generalno promatrajući podatke u tablicama, a što je takode prikazano i u tablici V, uočava se, pre svega, da su indeksi korelacije kod svih vrsta drva i na svim temperaturama veći od 0,9. To pokazuje da usvojen oblik zavisnosti pritisne čvrstoće od vlažnosti u higroskopnom području po jednačini (1) potpuno zadovoljava. Najbolje prilagođavanje eksperimentalnih podataka navedenim jednačinama je kod bukve gde je prosečna vrednost indeksa korelacije (prosek za sve temperature)  $r = 0,980$ , dok je najslabije kod hrasta —  $r = 0,939$ .

Vrednosti za standardne devijacije (kolone 7 u tablicama) pokazuju najveću disperziju rezultata kod hrasta ( $s = 5,842 \text{ N/mm}^2$ ), dok je po ovom pokazatelju disperzija najmanja kod topole ( $s = 1,941 \text{ N/mm}^2$ ).

Na osnovu prethodne diskusije može se zaključiti da je najveće odstupanje eksperimentalnih podataka od regresije kod hrasta. Razlog za ovo može se tražiti u činjenici da je u anatomskom pogledu ova vrsta najheterogenija.

Podaci za koeficijent  $a$  ukazuju da hrast u odnosu na ostale ispitivane vrste pokazuje najveće vrednosti pritisne čvrstoće paralelno sa vlakancima drveta, dok kod topole (prosečni  $a = 1,675$ ) pritisna čvrstoća je najmanja. Navedeni zaključak važi za higroskopno područje vlažnosti.

Na slici 5 grafički je prikazana zavisnost pritisne čvrstoće od vlažnosti drveta kod bukve.

### 5.3 Uticaj temperature na pritisnu čvrstoću paralelno sa vlakancima drveta

Podaci u našem istraživanju omogućili su, mada posredno, da se istraži i uticaj temperature na pritisnu čvrstoću. Fuchs [1], Sano [14] i Misilo [11] utvrdili su, ispitujući zavisnost pritisne čvr-

PARAMETRI REGRESIJE  $\sigma_{,,} = f(u)$  ZA BUKVU

Tablica V

PARAMETERS OF REGRESSION  $\sigma_{,,} = f(u)$  FOR BEECH

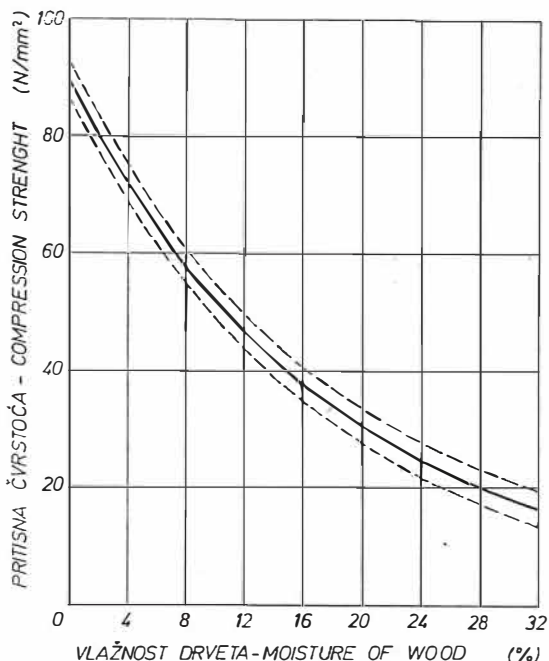
Table V

t	n	a	b	c	r	s
1	2	3	4	5	6	7
20	80	1.965	-0.0276	$2.90 \cdot 10^{-4}$	0.971	3.823
35	80	1.910	-0.0222	$0.16 \cdot 10^{-4}$	0.986	2.389
50	80	1.846	-0.0203	$-1.77 \cdot 10^{-4}$	0.972	3.013
70	80	1.831	-0.0226	$-2.43 \cdot 10^{-4}$	0.984	2.416
80	80	1.838	-0.0276	$-2.15 \cdot 10^{-4}$	0.986	2.182

Legenda za tab. V: t — temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), n — broj epruveta, a, b, c — koeficijenti regresije, r — indeks korelacije, s — standardna devijacija regresije.

stoće paralelno s vlakancima drveta od temperature pri konstantnim vlažnostima kod bukve, da je oblik ove zavisnosti linearan. To znači da pritisna čvrstoća opada s porastom temperature po jednačini pravca oblika:

$$\sigma_{,,} = a + bt \quad (2)$$



Slika 5: Zavisnost pritisne čvrstoće od vlažnosti drveta kod bukve

Fig. 5: Interdependence of compression strength and beech-wood moisture.

gde je:  $\sigma_{,,}$  = pritisna čvrstoća drveta paralelno sa vlakancima drveta, N/mm<sup>2</sup>, a i b = koeficijenti linearne regresije, t = temperatura °C.

Na osnovu podataka iz regresije  $\sigma_{,,} = f(u)$ , tj. jednačine (1) za vlažnosti od 4, 8, 12, 16, 20 i 24% izračunate su veličine ordinata koje odgovaraju pritisnim čvrstoćama pri tim vlažnostima. Na taj način dobijeni su parovi podataka: nezavisno promenljiva (temperatura) — zavisno promenljiva (pritisna čvrstoća) pri konstantnoj vlažnosti. Parametri regresije, tj. koeficijenti regresije i koeficijent korelacije izračunati su po standardnim formulama, a njihove vrednosti za ispitivane vrste drva prikazane su tabelarno. Na ovom mestu daje se prikaz dobijenih podataka samo za bukvu koji su sadržani u tabelici VI.

Apsolutne vrednosti koeficijenata korelacije (u tab. VI kolona 4) premašuju vrednost 0,9, a u nekim slučajevima se približavaju jedinici. Ovo ukazuje da je usvojeni model linearne regresije adekvatan, odnosno da se može tvrditi da postoji veoma jaka linearna zavisnost između pritisne čvrstoće paralelno s vlakancima drveta i temperature u istraživanim temperaturnim intervalima. Negativan predznak uz koeficijente korelacije u-

PARAMETRI LINEARNE REGRESIJE  $\sigma_{,,} = f(t)$  ZA BUKVU

Tablica VI

PARAMETERS OF LINEAR REGRESSION  $\sigma_{,,} = f(t)$  FOR BEECH

Table VI

u	a	b	r
1	2	3	4
4	77.213	-0.323	-0.969
8	63.626	-0.299	-0.990
12	53.347	-0.291	-0.994
16	45.445	-0.292	-0.995
20	38.031	-0.259	-0.986
24	34.563	-0.297	-0.991

Legenda za tab. VI: u = vlažnost drveta, %; a, b = koeficijenti linearne regresije; r = koeficijent korelacije.

kazuje da pritisna čvrstoća opada s povišenjem temperature kod svih vrsta drva i pri svim vlažnostima. Na slici 6 prikazana je grafička zavisnost pritisne čvrstoće i temperature pri konstantnim vlažnostima samo za jednu ispitanu vrstu drveta, a slični grafikoni dobijaju se i za ostale vrste drva.

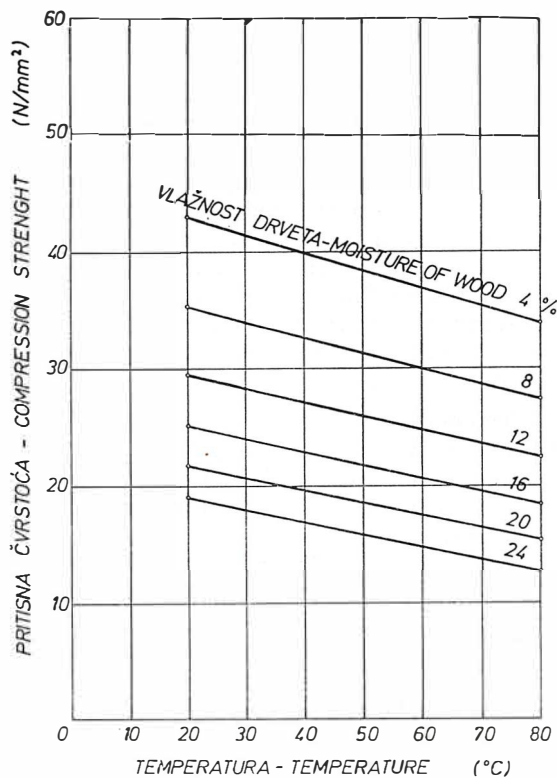
Ako se promatraju vrednosti koeficijenata a, koji ustvari predstavljaju presek regresionih pravaca i ordinatne osi, odnosno daju podatak za 0° C, može da se zaključi da je u našem eksperimentu hrast pri nižim vlažnostima pokazao najveću pritisnu čvrstoću u odnosu na ostale ispitivane vrste drva. Povećanjem vlažnosti u higroskopskom području razlika u čvrstoći između hrasta i bukve se smanjuje. Međutim, u odnosu na jelu, smrču i topolu, hrast i bukva pokazuju znatno veću pritisnu čvrstoću. Od svih vrsta koje su ispitivane, posmatrano na ovaj način, topola je pokazala najmanje vrednosti mehaničkog svojstva drveta.

Koeficijent linearne regresije b predstavlja brzinu smanjenja pritisne čvrstoće s povišenjem temperature, tj.  $b = \Delta\sigma_{,,}/\Delta t$ . Vrednosti ovog koeficijenta prilično variraju i kod ispitivanih vrsta drva najveće su u području vlažnosti između 12 i 20% osim kod bukve, gde su pri svim vlažnostima prilično ujednačeni. Ovo nam ukazuje da je temperatura najviše uticala na smanjenje pritisne čvrstoće u dijapazonu vlažnosti od 12... 20%.

Međutim, da bi se jasnije istakla značajnost uticaja temperature na pritisnu čvrstoću, a zbog heterogenosti podataka za koeficijent b, uzet će se njegova srednja vrednost za ispitivane vrste drva pri svim vlažnostima.

Izračunate srednje vrednosti za koeficijent b, koji iznose za hrast  $b = -0,272$ ; bukvu  $b = -0,294$ ; topolu  $b = -0,118$ ; jelu  $b = -0,200$ ; smrču  $b = -0,170$ , pokazuju da je najveći uticaj temperature na smanjenje pritisne čvrstoće dobio kod bukve, nešto manji kod hrasta, još





Slika 6: Zavisnost pritisne čvrstoće od temperature kod bukve

Fig. 6: Interdependence of compression strength and beech-wood temperature.

manji kod jele i smrče, a najmanji kod topole. Na osnovu gornjih vrednosti za koeficijente  $b$  i zapreminskih masa ispitivanih vrsta drva, izračunat je koeficijent korelacije i dobijena je vrednost 0,991. Na osnovu toga, može da se konstatuje, da je najizrazitiji uticaj temperature na smanjenje pritisne čvrstoće paralelno s vlakancima kod vrsta drva s većom zapreminskom masom u apsolutno suvom stanju, i da veličina tog uticaja opada sa smanjenjem zapreminske mase drveta.

### 5.3.1 Komparacija uticaja temperature na pritisnu čvrstoću

Na ovome će mestu biti uspoređeni rezultati naših istraživanja zavisnosti pritisne čvrstoće od temperature kod bukve, s podacima do kojih je došao Fuchs [1]. Istražujući zavisnost pritisne čvrstoće od temperature kod bukve za temperature 20°, 50° i 90° C, Fuchs [1] je zaključio da se čvrstoća smanjuje s povišenjem temperature po linearnom odnosu, koji je za istraživane vlage (preračunato u  $N/mm^2$ ) dan u ranijem pregledu.

$$8\% \text{ vlage } \sigma_{,,} = 62,0 - 0,323 t \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3)$$

$$16\% \text{ vlage } \sigma_{,,} = 42,3 - 0,336 t \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4)$$

Uzimajući vrednosti za koeficijente  $a$  i  $b$  za bukvu iz tablice VI, a za iste vlažnosti, dobija se zavisnost pritisne čvrstoće od temperature izražene jednačinama:

$$8\% \text{ vlage } \sigma_{,,} = 63,6 - 0,299 t \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (5)$$

$$16\% \text{ vlage } \sigma_{,,} = 45,4 - 0,292 t \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (6)$$

Upoređenjem vrednosti koeficijenata  $b$  iz jednačina (5) i (6) s onima iz jednačina (3) i (4) vidi se da su oni kod nas veći. To znači da je za posmatranu vrstu drveta, odnosno bukvu, temperatura pokazala manji uticaj na smanjenje pritisne čvrstoće nego kod Fuchsa.

### 5.4 Analiza jednovremenog uticaja vlage i temperature na pritisnu čvrstoću paralelno sa vlakancima drveta

U prethodnim izlaganjima prikazano je samo kako se menja pritisna čvrstoća paralelno s vlakancima drveta, i to:

— pri konstantnim temperaturama i promeni vlažnosti;

— pri konstantnim vlažnostima i promeni temperature.

Međutim, ovakve analize, i pored toga što pokazuju da postoji odgovarajući uticaj pojedinih faktora (vlažnosti i temperature) na pritisnu čvrstoću drveta, nisu omogućile da se utvrdi koji faktor ima veći značaj na promenu čvrstoće. Da bi se moglo doneti čvrste zaključke, verifikovane matematičkom statistikom, primenjena je analiza metodom potpunog faktornog eksperimenta (u daljem tekstu PFE) prema Vinarskom i Lurjeu [16]. Primenujući ovaj metod tipa  $n = q^p$  (za  $q = 2$  i  $p = 2$ ) usvojen je interval variranja vlažnosti od 4 ... 20% za sve ispitivane vrste drva, dok je interval variranja temperature za lišćarske vrste bio od 20° ... 80° C, a za četinarske vrste od 20° ... 90° C.

Planiranje, izvođenje i obrada rezultata PFE sastojala se iz: kodiranja faktora, sastavljanja plana-matrice, randomizacije, realizacije, provere uslova, provere adekvatnosti usvojenog modela i ocene vrednosti i značajnosti koeficijenata regresije. Usled obimnosti postupka i rezultata u PFE, na ovom mestu daje se samo kumulativni prikaz koji se odnosi na koeficijente regresije za ispitivane vrste drva, a podaci su prikazani u tablici VII.

Tablica VII

IZRAČUNATI KOEFICIJENTI REGRESIJE U POTPUNOM FAKTORNOM EKSPERIMENTU ZA ISPITIVANE VRSTE DRVA

Table VII

CALCULATED REGRESSION COEFFICIENTS IN A TOTAL FACTOR TEST FOR TESTED WOOD SPECIES

Vrsta drveta	Koeficijenti regresije			
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_{1,2}$
1	2	3	4	5
Hrast	50.612	-21.76	-5.75	0.156
Bukva	44.548	-21.39	-8.14	1.73
Topola	30.847	-10.20	-1.38	0.02
Jela	33.880	-16.06	-4.11	2.73
Smrča	29.610	-12.08	-2.52	1.86

Upoređenje veličina apsolutnih vrednosti koeficijenata regresije u PFE pokazuje koji od ispitivanih faktora značajnije utiče na funkciju odziva.

Posmatrajući koeficijente iz tablice VII i jednačinu regresije oblika:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{1,2}x_{1,2} \quad (7)$$

gde je:  $x_1$  = kodirani faktor vlage,  $x_2$  = kodirani faktor temperature, uočava se da su apsolutne vrednosti za koeficijente  $b_1$  uvek veće od apsolutnih vrednosti koeficijenata  $b_2$  kod svih ispitivanih vrsta drva. Iz ovog je vidljivo da je, u higroskopskom području vlažnosti, vlažnost pokazala značajniji uticaj na pritisnu čvrstoću paralelno s vlakancima od temperature.

Do istih zaključaka došao je i Misilo [11] koji je, upoređujući delovanje vlage i temperature na pritisnu čvrstoću kod bukve, koristio metod dvostrukog kompleksne analize.

## 6. ZAKLJUČCI

Rezultati i analiza rezultata istraživanja koji su saopšteni u ovom radu dozvoljavaju da se donesu sledeći zaključci:

1. Kod svih ispitivanih vrsta drva, kako lišćara (hrast, bukva i topola), tako i četinarara (jela i smrča) i na svim opitnim temperaturama, vlaga je pokazala znatan uticaj na pritisnu čvrstoću u higroskopskom području. Povišenjem vlage pritisna čvrstoća paralelno s vakancima drveta se smanjuje.

2. Na osnovu izvršenih i prikazanih analiza, dokazano je da je pritisna čvrstoća u funkciji od vlage u higroskopskom području. Ova funkcionalna veza može se predstaviti sledećom jednačinom:

$$\sigma_{,,} = 10^a + bu + cu^2$$

i važi za sve ispitivane vrste drva i sve opitne temperature. Izračunati indeksi korelacije u svim slučajevima prelaze vrednost 0,9, što ukazuje da je navedena funkcionalna veza između pritisne

čvrstoće i vlage u higroskopskom području veoma čvrsta.

3. Na osnovu rezultata o standardnim devijacijama regresije, za sve pojedinačne vlažnosti u higroskopskom području, uočena je pojava da se standardne devijacije smanjuju s povišenjem vlažnosti u higroskopskom području kod svih ispitivanih vrsta drva i na svim opitnim temperaturama. Apsolutne vrednosti standardnih devijacija pri istim vlažnostima u higroskopskom području i temperaturama ukazuju na najveće varijacije pritisne čvrstoće kod hrasta u odnosu na sve ostale ispitivane vrste drva.

4. Temperatura, kao što je slučaj i s vlagom, pokazala je znatan uticaj na pritisnu čvrstoću pri konstantnoj vlažnosti u higroskopskom području, odnosno s povišenjem temperature (u intervalima koji su primenjeni u istraživanju) pritisna čvrstoća se smanjila, a oblik zavisnosti kod svih ispitivanih vrsta drva i pri svim vlažnostima može se izraziti linearnom jednačinom oblika:

$$\sigma_{,,} = a + bt$$

gde su  $a$  i  $b$  izračunati koeficijenti linearne regresije, dok je  $t$  temperatura u  $^{\circ}\text{C}$ .

Na osnovu koeficijenata korelacije linearne regresije, koji su veoma visoki (u nekim slučajevima skoro 1), može se tvrditi da je utvrđena linearna zavisnost veoma čvrsta.

5. Brzina opadanja pritisne čvrstoće sa povišenjem temperature je najveća kod vrsta drva koje imaju veću zapreminsku masu, dok se taj uticaj smanjuje sa smanjenjem zapreminske mase drveta (u apsolutno suvom stanju).

6. Na osnovu analiza izvršenih pomoću potpunog faktorskog eksperimenta može se zaključiti da, pri jednovremenom delovanju vlage i temperature, veći uticaj na pritisnu čvrstoću u higroskopskom području pokazuje vlaga drveta. Ne može se reći da i temperatura ne utiče na pritisnu čvrstoću, ali je uticaj vlage dominantniji kod svih ispitivanih vrsta drva.

## LITERATURA

- [1] Fuchs, R. F.: Untersuchungen über den Einfluss von Temperatur und Holzfeuchtigkeit die elastischen und plastischen Formänderung von Buchenholz bei Zug und Druckbelastung (doktorska disertacija). Hamburg 1963.
- [2] Glavaški, L.: Istraživanje nekih fizičkih i mehaničkih svojstava drveta *Populus robusta*, *Populus ostia* i *Populus I-214* i mogućnosti njihove primene u pojedinim oblastima upotrebe (magistarski rad). Beograd, 1982.
- [3] Ilić, M.: Laboratorijski načini uspostavljanja željene relativne vlažnosti, Pregled, 3-4 (1964), s. 47-49.
- [4] Kokosinski, W., Raszkowski, J.: Einfluss der Reibung zwischen Prüfkörper und Druckplatten auf die Druckfestigkeit parallel zur Fasser. Holz als Roh- und Werkstoff, 6 (1987), s. 241-246.
- [5] Kolin, B.: Uticaj temperature na tačku zasićenosti žice, Pregled, 3-4 (1979), s. 11-19.
- [6] Koran, Z.: Tensile properties of Spruce under different conditions. Wood and Fiber, 1 (1979), p. 38-49.
- [7] Krpan, J.: Istraživanje tačke zasićenosti vlakancima važnijih domaćih vrsta drveća. Glasnik za šumske pokuse, Šum. fak. Zagreb, 13 (1967), s. 18-109.



- [8] Krpan, J.: Sušenje i parenje drva, Zagreb, 1965.
- [9] Lukić-Simonović, N.: Prilog poznavanju tehnoloških svojstava jelovine (*Abies alba* L.) sa Goča. Šumarstvo, 5 (1975), s. 9—17.
- [10] Lukić-Simonović, N.: Prilog ispitivanju tehnoloških svojstava bukovine u Jugoslaviji. Šumarstvo, 7—8 (1971).
- [11] Misilo, P.: Uticaj temperature i vlage drveta na veličinu modula elastičnosti i granicu čvrstoće u vlaknu i tlaku za sva tri anatomska pravca (doktorska disertacija). Sarajevo, 1979.
- [12] Nikolić, M.: Zavisnost fizičko-mehaničkih svojstava evroameričkih topola (*Populus robusta* i *Populus serotina*) i crne domaće topole od nekih spoljašnjih i unutrašnjih faktora (doktorska disertacija). Beograd, 1974.
- [13] Pereligin, L. M.: Drevesinovedenie. Lesnaja promislenost, Moskva, 1969.
- [14] Sano, E.: Effect of Temperature on Mechanical Properties of Wood, I. Compression Parallel to Grain. Journal of Japan Wood Research Society, Meguro, 4 (1961).
- [15] Ugolev, B. N.: Ispitania drevesini i drevesnih materialov. Lesnaja promislenost, Moskva, 1965.
- [16] Vinarskij, M. S., Lurje, N. V.: Planirovanie eksperimenta v tehnologičeskijh isledovanijah. Tehnika, Kiev, 1975. (prevod)
- [17] Wangaard, F. F.: A New Approach to the Determination of Fiber Saturation Point from Mechanical Test. Forest Products Journal, 11 (1957), p. 410—416.

Recenzirali: prof. dr Stanko Badun,  
prof. dr Vladimir Hitrec

STRUČNJACI U DRVNOJ INDUSTRIJI, PILANARSTVU, ŠUMARSTVU, POLJOPRIVREDI I GRAĐEVINARSTVU:

## ČUVAJTE DRVO JER JE ONO NAŠE NACIONALNO BOGATSTVO!

Sve vrste drva nakon sječe u raznim oblicima (trupci, piljena građa, građevna stolarija, krovne konstrukcije, drvene oplata, drvo u poljoprivredi itd.) izložene su stalnom propadanju zbog raznog djelovanja uzročnika truleži i insekata.

ZATO DRVO TREBA ZAŠTITITI jer mu se time vijek trajanja nekoliko puta produljuje u odnosu na nezaštićeno drvo.

ZAŠTITOM povećavamo ili čuvamo naš šumski fond, jer se produljenom trajnošću smanjuje sječa. Većom trajnošću ugrađenog drva smanjujemo troškove održavanja.

Zaštitom drva smanjuje se količina otpadaka. Zaštitom drva postiže se bolja kvaliteta, a time i povoljnija cijena.

U pogledu provođenja zaštite svih vrsta drva obratite se na Tehnički centar za drvo u Zagrebu.

Centar raspoložuje uvježbanim ekipama i pomagalima, te može brzo i stručno izvesti sve vrste zaštite drva, tj. trupaca (bukva, hrast, topola, četinjače, sve vrste piljene građe, parna bukovina, krovne konstrukcije, ugrađeno drvo, oplata, lampe, umjetnine itd.)

**TEHNIČKI CENTAR U SVOJIM LABORATORIJAMA OBAVLJA ATESTIRANJE I ISPITIVANJE SVIH SREDSTAVA ZA KONZERVIRANJE DRVA, POVRŠINSKU OBRADU, PROTUPOŽARNU ZAŠTITU DRVA I LJEPILA.**