

Mogućnost određivanja unutrašnjih napreznja u longitudinalnom pravcu u toku sušenja drva

DETERMINATION OF INTERNAL STRESSES IN LONGITUDINAL DIRECTION DURING KILN DRYING OF TIMBER

Prof. dr. *Mirko Ilić*
Mašinski fakultet, Sarajevo

UDK 630*847:630*812.7

Prispjelo: 15. lipnja 1988.
Prihvaćeno: 16. srpnja 1988.

Prethodno priopćenje

Sažetak

U članku se izlažu rezultati pilotnih ispitivanja, mogućnosti određivanja unutrašnjih napreznja u longitudinalnom pravcu koja se javljaju prilikom sušenja drva.

Na osnovi rezultata može se zaključiti da uobičajena tehnika lameliranja daje zadovoljavajuće pokazatelje i pri primjeni u longitudinalnom pravcu. Maksimalne vrijednosti napreznja, ustanovljene u istezanju, iznosile su 4,43 MPa, dok su u pritisku iste bile 6,96 MPa.

Ključne riječi: unutrašnja napreznja — longitudinalni pravac.

Summary

This paper gives results of a pilot testing of possibilities to determine internal stresses in longitudinal direction showing up during kiln drying of timber.

On the basis of the results obtained it has been concluded that the standard technique of lamination gives satisfactory indicators also if applied in longitudinal direction. Maximum values of the stresses established in tension amounted to 4.43 MPa and in pressure amounted to 6.96 MPa.

Key words: internal stresses — longitudinal direction (A. M.)

UVOD

U mnogim radovima [1, 2, 3, 4, 5, 9] istraživana su unutrašnja napreznja koja se javljaju pri sušenju drva u transverzalnom pravcu. Pri tom su češće ispitivana napreznja po debljini materijala koji se suši (lamelle po široj stranici), a rjeđe po širini materijala. Rijetko su istovremeno ispitivana napreznja po oba pravca [8].

Pri sušenju drva, promjenama su izložene tri njegove dimenzije. Promatrano u transverzalnom pravcu, razvijaju se unutrašnja napreznja po širini i debljini. Ta dva pravca u interakciji daju neka posmična napreznja u materijalu koji se suši. Nema nikakva razloga da takva napreznja ne nastaju i u longitudinalnom (uzdužnom) pravcu, te da i ona ne sudjeluju u stvaranju opće slike napreznja u drvu. Zapravo, ako se želi imati zaista točna predodžba o napreznjima u drvu u toku sušenja, mora se uzeti u obzir i taj pravac.

Pri promatranju razvoja unutrašnjih napreznja, te i u mnogim drugim pitanjima, longitudinalni pravac je često zanemaran s motivacijom da su utezanja u tom pravcu i inače vrlo male, te da je njihovo mjerenje vrlo problematično. Pritom se zanemaruje činjenica da su vrijednosti modula elastičnosti paralelne s vlakancima neus-

poredivo veće od odgovarajućih transverzalnih modula. Slijedi da i mala vrijednost relativne deformacije može rezultirati znatnim napreznjima.

Ispitivanje unutrašnjih napreznja u transverzalnim pravcima provodi se uobičajenim metodama lameliranja. Pitanje je da li je ta metoda prihvatljiva i za ispitivanja u longitudinalnom pravcu, s obzirom na male ukupne dimenzionalne promjene, da li se uopće mogu dobiti upotrebljivi rezultati, kao i kolika bi trebala biti dimenzija probe (dužina) da bi se takvi rezultati eventualno dobili.

Da bi dobio odgovor na ta pitanja, autor članka proveo je pilotna ispitivanja u FPL Madison, USA, za vrijeme svog boravka u tom Institutu.

1. METODOLOGIJA ISPITIVANJA

1.1. Materijal ispitivanja

Ispitivanje je izvršeno na drvu američkog brijesta (*Ulmus americana*), jer ta vrsta pokazuje relativno veliko longitudinalno utezanje od 0,6%. Na osnovi toga, moglo se pretpostaviti da će dobro poslužiti kao pilotna vrsta za provjeru mogućnosti ispitivanja.

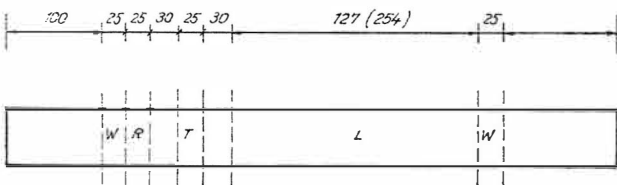
Iz dva trupca promjera 21" (53 cm), dužine 10' (3 m) izrezane su četvrtiće dimenzija 2" × 2" × 25" (50,8 × 50,8 × 635 mm), sa što je bilo moguće pravilnijim položajem godova, pravih vlaknaca, bez vidljivih kvrga i kvržica na površini drva. Za dalje ispitivanje odabrano je 45 četvrtića.

Odabrani je materijal umjetno sušen u eksperimentalnoj sušionici uz primjenu režima T₅D₃. Prije početka sušenja čela četvrtića premazana su da bi se spriječilo longitudinalno izlaženje vode. Proces sušenja vođen je praćenjem promjene mase šest ostalih četvrtića koje nisu služile za određivanje naprežanja.

1.2. Mjerenje

Za određivanje unutrašnjih naprežanja primijenjena je standardna tehnika lameliranja.

Pri približnim prosječnim sadržajima vode od 45⁰/₀, 30⁰/₀, 18⁰/₀ i 6⁰/₀, te nakon kondicioniranja, trebalo je ustanoviti deformacije, odnosno naprežanja. Odabrane četvrtiće s približno željenim sadržajem vlage vađene su iz sušionice i razrezivane prema shemi na slici 1.



Slika 1. Shema uzimanja proba
Fig. 1. Scheme of test pieces

Jedna je četvrtića služila za određivanje deformacije — naprežanja samo pri jednom sadržaju vode. Dužina probe za longitudinalne deformacije jedne četvrtiće iznosila je 5" (127 mm), a druge 10" (254 mm). Uz pretpostavku da je longitudinalno utezanje američkog brijesta 0,6⁰/₀, to za dužinu od 127 mm znači ukupnu promjenu dužine od 0,762 mm za cijelo higroskopsko područje, a na dužinu od 254 mm promjenu dužine za 1,524 mm, što bi trebalo da osigura mjerenje razlika između dužine lamela i pri manjim razlikama u sadržaju vlage.

Postupak mjerenja bio je slijedeći:

— od čela proba odrezan je komad od 100 mm i odbačen,

— potom je odrezana proba širine 25 mm radi određivanja prosječne vlažnosti (gravimetrijska metoda),

— potom je odrezana slijedeća proba širine 25 mm za određivanje deformacija — naprežanja u radialnom pravcu,

— ostatku obratka premazano je novootvoreno čelo i vraćen je u sušionicu,

— obavljeno je mjerenje i lameliranje za radialni pravac,

— ostatak probe izvađen je iz sušionice, odrezano je oko 30 mm i odbačeno te odrezana proba širine 25 mm za određivanje deformacija — naprežanja u tangencijalnom pravcu,

— ostatku obratka premazano je novootvoreno čelo i vraćen je u sušionicu,

— provedena su mjerenja i lameliranja za tangencijalni pravac,

— ostatak probe izvađen je iz sušionice, odrezano je oko 30 mm i odbačeno te izrezana proba dužine 127 ili 254 mm,

— odrezana proba širine 25 mm za određivanje vlažnosti,

— oba su čela probe za longitudinalno mjerenje obrušena da bi se izbjegao utjecaj neravnine površine na točnost mjerenja,

— obavljeno je mjerenje i lameliranje u longitudinalnom pravcu.

Mjerenje dužine lamela prije i poslije lameliranja obavljeno je odgovarajućim pristrojem, i to za transverzalne pravce s točnošću od 0,001" (0,0254 mm), a za longitudinalni pravac s točnošću od 0,0001" (0,0025 mm).

S obzirom na pet različitih stanja vlažnosti i dvije dužine proba u longitudinalnom pravcu, kao i zbog želje da se za svako stanje ispitaju po tri probe, bilo je potrebno 30 ispravnih četvrtića bez vidljivih grešaka sušenja.

3. REZULTATI ISPITIVANJA

3.1. Tok sušenja

Provedeni režim i tok sušenja prikazan je u tablici I. Sušenje je vođeno na šest kontrolnih proba na standardan način.

REŽIM I TOK SUŠENJA
KILN DRYING METHODS AND COURSE

Tablica 1.
Table I

Datum	Sat	t _s °C	t _m °C	Δt °C	u _{max}	u _{min}	prosječno u
6.07	14,30	54	52,0	2,0	96,1	80,5	87,4
9.07	12,30	54	50,5	3,5	63,5	54,6	59,1
11.07	11,20	54	48,5	5,5	50,7	37,3	42,3
13.07	10,00	54	44,0	10,0	40,9	25,1	32,1
14.07	11,30	60	40,5	19,5	35,8	20,6	27,1
15.07	11,30	66	40,0	22,5	30,1	15,7	21,9
16.07	10,30	71	43,5	27,5	24,5	11,8	17,3
19.07	10,30	71	43,5	27,5	10,8	5,4	8,6
19.07	10,30	71	50,0	21,0	izjednačavanje 24 h		
20.07	10,30	71	66,0	5,0	kondicioniranje 24 h		
21.07	10,30	71	66,0	5,0	11,3	7,5	9,8

3.2. Deformacije

Rezultati mjerenja deformacija dani su u tablici II, i to u obliku relativnih deformacija

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

U navedenoj tablici relativne su defor-

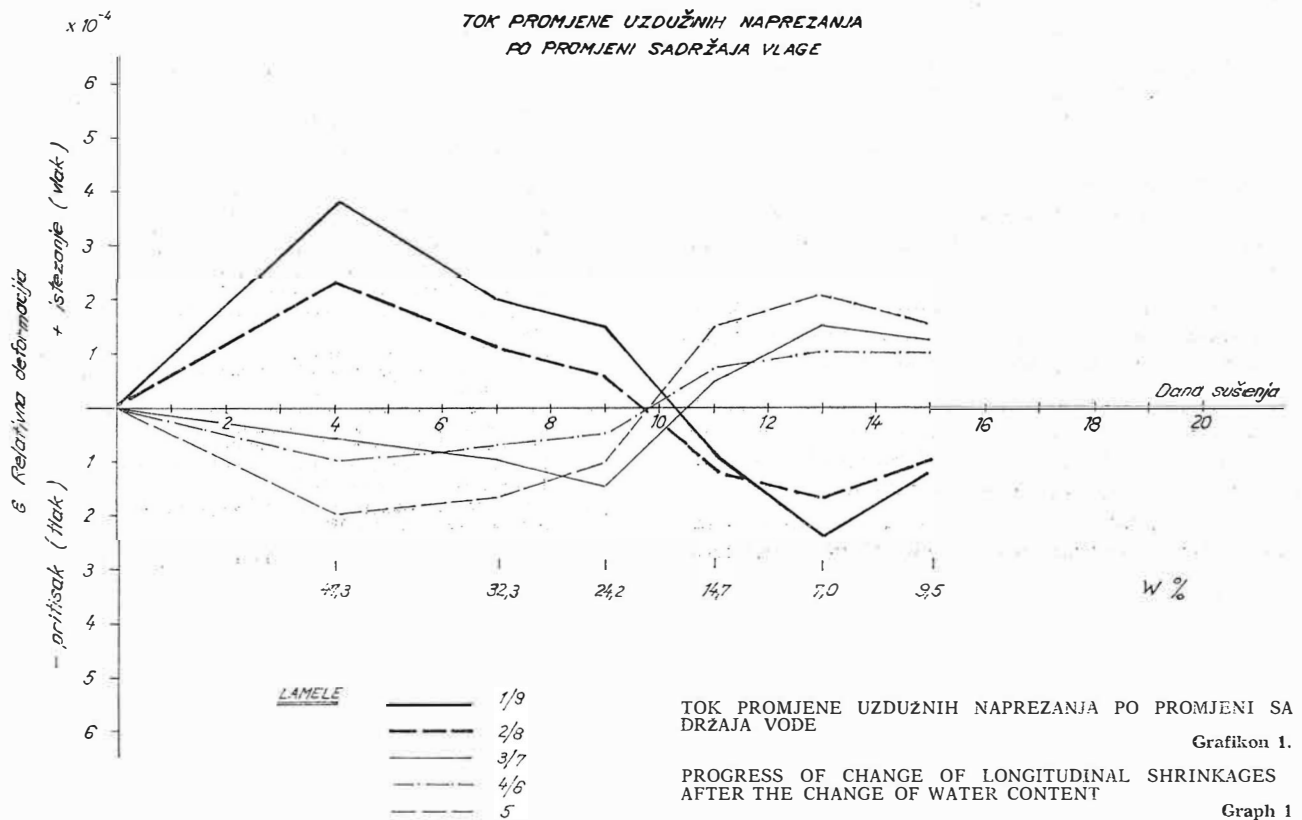
RELATIVNA DEFORMACIJA
RELATIVE DEFORMATION

Tablica II.
Table II

Prosječna vlažnost	49,2%				33,9%				22,8%			
Lamela	R	T	L ₅	L ₁₀	R	T	L ₅	L ₁₀	R	T	L ₅	L ₁₀
1/9	+23,0	+26,5	+3,91	+4,52	+21,50	+21,7	+1,31	+1,56	+9,0	+25,80	+2,63	+3,14
2/8	+ 4,0	+13,8	+2,74	+3,11	+ 3,60	+4,95	+1,26	+2,03	+7,95	+11,0	+1,02	+1,12
3/7	- 4,0	- 4,5	-0,33	-0,53	- 3,80	-3,70	+0,60	+0,12	-5,40	- 3,65	+1,36	-0,14
4/6	- 5,0	- 8,5	-0,64	-0,78	- 6,70	-5,80	-2,37	-2,58	-9,80	- 6,0	-1,16	-2,25
5	0	- 8,0	-3,31	-2,89	- 7,9	-6,60	-6,81	-5,94	-17,90	- 8,1	-7,1	-6,05

Prosječna vlažnost	13,20%				6,75%				8,81%			
Lamela	R	T	L ₅	L ₁₀	R	T	L ₅	L ₁₀	R	T	L ₅	L ₁₀
1/9	-16,4	-11,9	-0,95	-1,35	-21,5	-25,1	-0,82	-0,93	-11,7	- 1,53	-0,75	-0,90
2/8	- 9,1	-15,7	-0,70	-0,97	-15,9	-15,4	-0,52	-0,74	- 8,7	- 5,0	-0,77	-0,65
3/7	+ 2,6	+ 2,6	-0,55	-0,14	- 3,5	-0,85	+0,92	+1,13	- 1,8	- 0,15	+0,53	+1,07
4/6	+10,9	+ 4,9	+2,0	+2,20	+ 8,4	+13,5	+4,32	+3,98	+ 5,6	+ 8,7	+0,53	+2,33
5	+10,9	+ 8,8	+2,51	+3,41	+10,6	+30,8	+4,27	+5,12	+ 8,5	+ 3,9	+0,58	+0,70

+ = istežanje (vlak), - = pritisak (tlak), R = radijalni pravac, T = tangencijalni pravac, L₅ = longitudinalni pravac, dužina 5" (127 mm), L₁₀ = longitudinalni pravac, dužina 10" (254 mm)



Grafikon 1.

Graph 1

macije dane bez ikakvih izravnavanja — kao prosječne vrijednosti triju mjerenja.

Radi bolje preglednosti, obavljeno je spajanje odgovarajućih lamela (prva s posljednjom, dru-

ga s pretposljednjom itd.), a one su prikazane svojim prosječnim vrijednostima.

Naprežanje nije izračunavano, ali se može dobiti primjenom Hookova zakona ($\sigma = E \cdot \epsilon$).

Za američki brijest [10, 11] vrijednosti E modula iznose:

— za pravac paralelan sa vlakancima	9806 MPa
— za pravac okomit na vlakanca, radijalno	912 MPa
— za pravac okomit na vlakanca, tangencijalno	559 MPa.

Da bi se stekao vizualan uvid u razvoj deformacija-naprežanja u longitudinalnom pravcu, na grafikonu 1. dan je karakterističan prikaz razvoja po trajanju sušenja odnosno promjeni sadržaja vode.

4. ZAKLJUČCI

Na osnovi rezultata provedenih pilotnih ispitivanja, mogu se dati ovi zaključci:

— u toku sušenja drva nastaju unutrašnja naprežanja i u longitudinalnom pravcu. Ukupna deformacija oblika drva koje se suši rezultat je interakcije naprežanja koja djeluju u sva tri pravca. Krivljenje ili vitoperenje komada koji se suši, pogotovo ako je slobodan, ne mora biti samo posljedica lošeg slaganja, već i posljedica naprežanja stvorenih u longitudinalnom pravcu;

— tehnika lameliranja može se primijeniti i za mjerenje deformacija te za izračunavanje relativnih deformacija i u longitudinalnom pravcu. Promjene dimenzija su dovoljne da mogu biti obuhvaćene mjerenjem pri upotrebi mjernog sata s točnošću od 1/1000 mm;

— radi veće preciznosti mjerenja, vrijedilo bi pokušati primijeniti i druge tehnike mjerenja (laserseke);

— brušenje čela longitudinalnih proba prije mjerenja i lameliranja pokazalo se vrlo korisnim za postizanje istovjetnosti točke mjerenja.

Brušenjem se svakako drvu privodi toplina, zbog čega se može promijeniti sadržaj vode u blizini tih zona. Zbog velike duljine probe smatramo da se taj utjecaj može zanemariti;

— veći problem s obzirom na promjene vlažnosti stvara razrezivanje lamele. U svim ispitiva-

njima radilo se s probama površine 50×127 odnosno 50×254 mm. Lameliranje se nije moglo obavljati rezanjem nožem, već razrezivanjem tračnom pilom, što je neminovno moralo rezultirati promjenom sadržaja vode u lameli;

— izloženi rezultati pokazuju da se za ispitivanja longitudinalnih naprežanja mogu upotrebljavati probe duge 127 umjesto 254 mm. Razlike u izračunatim relativnim deformacijama nisu velike. Postojeće se razlike ne moraju pripisati samo veličini probe, već i stvarnim razlikama u deformacijama s obzirom na to da su probe potjecale iz dvije različite četvrtače. U principu, kod dužih proba pojavljuje se problem njihova ispravljanja pri mjerenju dužine lamela jer se one poslije dorezivanja to više iskrive što je proba duža;

— ne ulazeći u pitanje koliko su dobiveni podaci točni zbog primijenjene tehnike mjerenja, i-pak možemo ustanoviti da su u provedenim ispitivanjima maksimalne vrijednosti naprežanja na istezanje iznosile 4,43 MPa, a naprežanja na pritisak 6,96 MPa. Naprežanja po svojim vrijednostima nisu beznačajna i zanemariva, jednaka su ili slična naprežanjima u transverzalnim pravcima.

LITERATURA

- [1] Mc Millen, J.: Drying Stresses in Red oak. F. P. Journal, 1955 (2)
- [2] Mc Millen, J.: Drying Stresses in Red oak. Effect of Temperature. F. P. Journal, 1955 (8)
- [3] Mc Millen, J.: Stresses in Wood During Drying. U. S. FPL Rept. 1652 (1958)
- [4] Ugoljev, B. N.: Vnutrenja napreženija v devesini pri jejo suške. Goslesbumizdat, Moskva, 1959.
- [5] Kübler, H.: Drying Stresses and Stress Relief in Thin Section of Wood. U. S. FPL Rept. 2164 (1960)
- [6] Ugoljev, B. N.: Ispitanija drevesini i drevesinih materialov. Goslesbumizdat, Moskva, 1965.
- [7] Krečeto, I. V.: Suška drevesini. Goslesbumizdat, Moskva, 1972.
- [8] Ilić, M.: Promjena dimenzija i unutrašnja naprežanja pri prirodnom sušenju bukovih obradaka. ZTD »Pregled« br. 1—2, Sarajevo, 1974.
- [9] Ilić, M.: Upotreba različitih metoda mjerenja unutrašnjih naprežanja koja se javljaju u drvetu u toku sušenja. ZTD »Pregled« br. 1—2, Sarajevo, 1977.
- [10] Brown, Panshin, Forsaith: Textbook of Wood Technology. New York, 1979.
- [11] * * *: Wood Handbook. U. S. Dept of Agr., U. S. Forest Service F. P. L., 1955.

Recenzirao prof. dr Z. Pavlin