

Stjepan Pervan, dipl. inž.
Šumarski fakultet - Zagreb

Sušenje hrastovine debljine 32 mm - usporedba proizvodnoga s eksperimentalnim režimom

Drying of 32 mm oak-wood boards - comparison of the experimental and production kiln-drying schedules

Prethodno priopćenje

*Prispjelo: 11. 02. '95 • Prihvaćeno: 30. 03. '95. • UDK 630*847*

SAŽETAK • Karakteristike ponašanja domaćih vrsta drva tijekom sušenja, posebice hrastovine, bile su povod izrade analize režima sušenja hrastovine debljine 32 mm provedenoga u proizvodnim uvjetima i usporedbi rezultata analize s dosadašnjim eksperimentalnim spoznajama stečenim istraživanjima i praksom u svijetu.

Istraživanje režima sušenja provedeno je u klasičnoj komornoj sušionici, na složaju hrastovih piljenica debljine 32 mm. Temperatura suhog termometra analiziranog režima na početku sušenja (30 °C) bila je preniska sa stajališta energetske iskoristivosti, a psihometrijska razlika od 2 °C u početnoj je fazi bila zadovoljavajuća sa stajališta sprečavanja nastanka pukotina.

U daljnjim fazama sušenja pri sadržaju vode približno jednakome točki zasićenosti vlakancu psihometrijska se razlika od 5 °C i temperatura od 48 °C u usporedbi s uvjetima sušenja navedenima u literaturi mogu smatrati niskima. Sušenje od 30 postotnoga do konačnog sadržaja vode zbivalo se pri niskoj temperaturi suhog termometra, osim pri sušenju od 30 do 25 postotnoga sadržaja vode, kada je temperaturi suhog termometra bila povišena (za 3 °C). Psihometrijska razlika je odgovarajuća za sušenje od 30 do 10 postotnoga sadržaja vode u hrastovini, a pri sušenju ispod te vrijednosti do kraja bila je prevelika, usporede li se te vrijednosti s onima iz literature.

utvrđenim istraživanjima u V. Britaniji i SAD te na iskustvu i znanju osobe (sušioničara) zadužene za provođenje sušenja (koje nije uvijek zadovoljavajuće) u pojedinome drvnoindustrijskom poduzeću.

CILJ RADA

Aim of research

Nedostatak odgovarajuće sistematizacije teorijskih režima i njihovih modifikacija u proizvodnji kojima bi se obuhvatile vrste drva karakteristične za Hrvatsku rezultiralo je potrebom izrade ove analize režima provedene u proizvodnim uvjetima našeg područja.

Cilj rada bila je usporedba primijenjenog režima sušenja hrastovine debljine 32 mm s dosadašnjim spoznajama o režimima sušenja navedenih vrsta i debljina drva, uz uočavanje pojave i uzroka eventualnih razlika.

MATERIJAL I METODA RADA

Materials and methods

U sušionici je sušeno 30 m³ piljenica najveće duljine 4 m i debljine 32 mm. S obzirom na volumen građe u sušionici, za izabranu gravimetrijsku kontrolu procesa sušenja slučajno su odabrane tri piljenice i iz svake je pojedine nakon uklanjanja čeonog dijela izrađen po jedan kontrolni uzorak za provođenje sušenja i po dvije tzv. male probe pomoću kojih je određen početni sadržaj vode u drvu.

Nakon čišćenja od ostataka kore i piljevine označene male probe osušene su u sušioniku do konstantne mase, a kontrolni su uzorci stavljeni u složajevе.

Početni sadržaj vode određen na temelju šest malih proba (po dvije za svaki uzorak) iznosio je 29,4 % za prvi kontrolni uzorak, 39,7 % za drugi kontrolni uzorak, te 27,3 % za treći kontrolni uzorak.

Prema najvećem početnom sadržaju vode u drugome kontrolnom uzorku određen je i vođen režim za sušenje hrastovine debele 32 mm, i to od početnog sadržaja vode u iznosu 40 %. Prema tome su izabrani i režimi utemeljeni na podacima iz literature.

Opis sušionice

U provedenom ispitivanju piljenice su sušene u klasičnoj komornoj sušionici s izmjenom zraka, kapaciteta 35 m³ drvene građe, izrađenoj od aluminiја i s ispunama od staklene vune kao izolatorom.

U komandnom prostoru smještenome pokraj sušionice nalazi se razvod ogrjevnog medija, instrumenti za kontrolu procesa, razvod električne energije te ostala oprema (vaga, računalo itd.).

Vođenje sušenja potpuno je automatizirano, a u sušionici su postavljeni dodatni psihrometri pomoću kojih se provjerava preciznost rada kontrolnog sustava podržanog računalom.

S vanjske strane sušionice postavljeni su ručni ventili za slučaj pojave poteškoća u radu glavnog sustava kontrole.

Za strujanje zraka kroz sušionicu upotrebljava se 16 aksijalnih ventilatora promjera 0,7 m, s mogućnošću promjene smjera vrtnje.

Za pokretanje svakog ventilatora služe trofazni elektromotori snage 3 kW. U cijevima za odvodnju zasićenog zraka smještena su dva dodatna ventilatora.

REZULTATI

Results

Na temelju vaganja malih proba obavljen je proračun početnog sadržaja vode prema gravimetrijskoj metodi. Na temelju određenoga početnog sadržaja vode i izvađenih kontrolnih uzoraka tijekom sušenja obavljana je kontrola procesa.

Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 1.

Na slici 1. predočene su vrijednosti smanjenja sadržaja vode kontrolnih uzoraka tijekom sušenja.

Prema vrijednostima temperatura provedenoga proizvodnog režima postignuti su sadržaj vode navedeni u tablici 2.

DISKUSIJA

Discussion

Tablica 3 sadrži vrijednosti eksperimentalnih režima koji bi prema literaturi odgovarali sušenju hrastovine debljine 32 mm.

U tablici 3. navedeni su podaci za sušenje hrastovine debljine prema literaturi 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 13 i 16.

Radi usporedbe tablica 4. sadrži srednje vrijednosti temperatura suhoga i vlažnog termometra svih eksperimentalnih režima i vrijednosti obaju tih termometara ispitivanoga proizvodnog režima.

Drvo s visokim sadržajem vode ne suši se od početka procesa u sušionicama jer bi to s energetskeg stajališta bilo preskupo, već se najprije suši prirodnim načinom, uz kasnije dosušivanje u sušionici. Taj je način upotrijebljen i u ovom ispitivanju jer je sadržaj vode prilikom započinjanja procesa iznosio najviše oko 40%.

Pri analizi opisanoga proizvodnog režima može se provesti podjela cjelovitog postupka sušenja na četiri dijela.

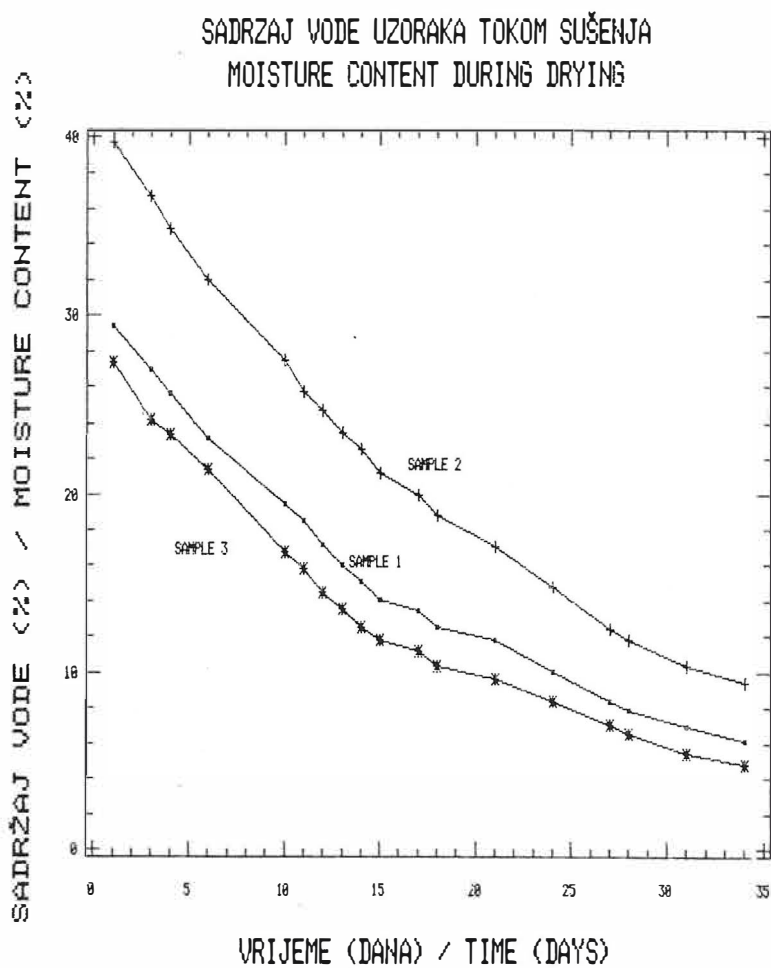
Tablica 1.

Sadržaj vode (%)
kontrolnih uzoraka
tijekom procesa sušenja
• Moisture content (%)
during drying process

Vrijeme (Time) dani (days)	Uzorak 1 (Sample 1)	Uzorak 2 (Sample 2)	Uzorak 3 (Sample 3)
	Sadržaj vode (Moisture content)		
	(%)	(%)	(%)
1	29,40	39,70	27,30
3	26,90	36,70	24,20
4	25,60	34,80	23,30
6	23,10	32,00	21,40
10	19,40	27,50	16,80
11	18,50	25,70	15,80
12	17,20	24,70	14,50
13	16,00	23,40	13,60
14	15,10	22,50	12,60
15	14,10	21,20	11,80
17	13,50	20,00	11,20
18	12,60	18,80	10,40
21	11,80	17,10	8,70
24	10,10	14,80	8,40
27	8,40	12,50	7,10
28	7,90	11,80	6,60
31	7,00	10,40	5,50
34	6,20	9,50	4,80

Slika 1.

Sadržaj vode
kontrolnih uzoraka
tijekom sušenja •
Moisture content of
samples during drying



Prvi dio obuhvaća sušenje od početnog sadržaja vode do točke zasićenosti vlakanaca (približno 30%). Drugi dio obuhvaća razdoblje sušenja od točke zasićenosti vlakanaca do sadržaja vode što ga drvo ima na mjestu uporabe, a treći dio sušenja obuhvaća vrijeme od upotrebnog sadržaja vode do sadržaja vode od približno 6%, do kojega su bili osušeni pojedini kontrolni uzorci.

Radi ujednačavanja sadržaja vode u pojedinim piljenicama i gradijenta sadržaja vode unutar svake pojedine piljenice, primjenjena je i četvrta faza sušenja - izjednačavanje i kondicioniranje.

Posljednja faza nije bila predmetom proučavanja ovog rada jer se analizom režima prema navodima literature nisu uvijek mogli utvrditi uvjeti izjednačavanja i kondicioniranja prema pojedinim istraživanjima ili se nisu mogli precizno razlučiti od ostalog dijela režima za sušenje hrastovine debljine 32 mm.

Sušenje tijekom prvog razdoblja od početnog sadržaja vode do točke zasićenosti vlakanaca, teklo je prema podacima iz tablice 2, uz vrlo nisku početnu psihrometrijsku razliku od 2 °C bez obzira na to što je početni sadržaj vode bio približno jednak 40% za piljenice s najvećim sadržajem vode u složaju. Prema tablici 1, ostala dva uzorka imala su niži sadržaj vode (približno oko točke zasićenosti vlakanaca), ali je sušioničar

Proizvodni režim		Sadržaj vode
ts	tv	
Tested Schedule		Moisture content
Dry-bulb temp.	Wet-bulb temp.	
(°C)	(°C)	(%)
30,00	28,00	40
40,00	36,00	37
40,00	36,00	35
48,00	43,00	30
48,00	43,00	28
48,00	43,00	26
53,00	47,00	25
53,00	47,00	23
53,00	47,00	21
53,00	47,00	20
59,00	50,00	19
60,00	48,00	17
60,00	48,00	16
62,00	48,00	15
62,00	48,00	14
62,00	44,00	13
64,00	44,00	11
64,00	42,00	10
65,00	40,00	9
65,00	40,00	8

Tablica 2.

Proizvodni režim s pripadajućim postignutim sadržajima vode • Tested kiln-drying schedule and average moisture content value of samples

Sadržaj vode	SR. Vrijednost		Izmjerena vrijednost	
	ts	tv	ts	tv
Moisture content	Average value		Tested value	
	Dry-bulb temp.	Wet-bulb temp	Dry-bulb temp.	Wet-bulb temp
(5)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
40	41,10	37,40	30,00	28,00
37	41,10	37,40	40,00	36,00
35	41,60	37,00	40,00	36,00
30	44,60	37,40	48,00	43,00
28	45,10	37,20	48,00	43,00
26	45,10	37,20	48,00	43,00
25	55,80	43,50	53,00	47,00
23	55,80	43,40	53,00	47,00
21	55,80	43,40	53,00	47,00
20	59,50	46,30	53,00	47,00
19	61,50	46,00	59,00	50,00
17	61,50	45,60	60,00	48,00
16	61,80	45,60	60,00	48,00
15	67,60	49,60	62,00	48,00
14	67,80	49,60	62,00	48,00
13	67,80	49,10	62,00	44,00
11	67,80	48,50	64,00	44,00
10	68,50	48,00	64,00	42,00
9	68,50	48,00	65,00	40,00
8	68,50	48,00	65,00	40,00

Tablica 4.

Srednja vrijednost eksperimentalnih režima i proizvodnoga režima za sušenje hrastovine debljine 32 mm • Average value of experimental schedules and tested schedules for drying of 32 thick oakwood

Tablica 3.
 Vrijednosti
 eksperimentalnih režima
 sušenja hrastovine •
 Experimental schedule
 values for drying of 32 mm
 thick oakwood

SADRŽAJ VOUDE MOISTURE CONTENT	Vrijednosti temperature suhog i vlažnog termometra za režime prikazane u referencama pod navedenim rednim brojevima Dry-bulb and wet-bulb temperatures for schedules published in the references with following reference numbers																							
	1; 12		2		4		4		4		6		6		6		8		10; 13		12		16	
	Dry-bulb temp. (ts) (oC)	Wet-bulb temp. (tw) (oC)	Dry-bulb temp. (ts) (oC)	Wet-bulb temp. (tw) (oC)	Dry-bulb temp. (ts) (oC)	Wet-bulb temp. (tw) (oC)	Dry-bulb temp. (ts) (oC)	Wet-bulb temp. (tw) (oC)	Dry-bulb temp. (ts) (oC)	Wet-bulb temp. (tw) (oC)	Dry-bulb temp. (ts) (oC)	Wet-bulb temp. (tw) (oC)	Dry-bulb temp. (ts) (oC)	Wet-bulb temp. (tw) (oC)	Dry-bulb temp. (ts) (oC)	Wet-bulb temp. (tw) (oC)	Dry-bulb temp. (ts) (oC)	Wet-bulb temp. (tw) (oC)	Dry-bulb temp. (ts) (oC)	Wet-bulb temp. (tw) (oC)	Dry-bulb temp. (ts) (oC)	Wet-bulb temp. (tw) (oC)	Dry-bulb temp. (ts) (oC)	Wet-bulb temp. (tw) (oC)
40	43,5	39	40,5	35,5	48,4	43,9	46,1	42,7	42,7	43,3	40	30	27	30	26	43,3	38,9	43	39	43	40	40,5	39	
37	43,5	39	40,5	35,5	48,4	43,9	46,1	42,7	42,7	43,3	40	30	27	30	26	43,3	38,9	43	39	43	40	40,5	39	
35	43,5	38	43,5	36	48,4	43,9	46,1	42,7	42,7	43,3	40	30	27	30	26	43,3	41,1	43	35	43	39	43,5	38	
30	46	39,5	46	36	51,2	45,6	48,4	43,9	43,9	46,1	41,7	30	27	30	25	48,9	37,8	49	32	49	41	46	40	
28	46	39,5	46	36	51,2	45,6	48,4	43,9	43,9	46,1	41,7	30	27	30	25	48,9	37,8	49	32	49	41	46	40	
26	46	39,5	46	36	51,2	45,6	48,4	43,9	43,9	46,1	41,7	30	27	30	25	48,9	37,8	49	32	49	41	46	40	
25	49	41	51,5	38	54,4	46,7	51,2	44,4	44,4	48,4	42,7	70	66	70	64	60	32,2	54	26	54	37	51,5	43	
23	49	41	51,5	38	54,4	46,7	51,2	44,4	44,4	48,4	42,7	70	65	70	63	60	32,2	54	26	54	37	51,5	43	
21	49	41	51,5	38	54,4	46,7	51,2	44,4	44,4	48,4	42,7	70	64	70	62	60	32,2	54	26	54	37	51,5	43	
20	51,5	42	60	40,5	57,1	46,7	54,4	44,4	44,4	51,2	43,3	70	64	70	62	60	54,4	60	32	60	32	60	48	
19	51,5	42	60	40,5	57,1	46,7	54,4	44,4	44,4	51,2	43,3	70	63	70	60	82,2	54,4	60	32	60	32	60	48	
17	51,5	42	60	40,5	57,1	46,7	54,4	44,4	44,4	51,2	43,3	70	61	70	58	82,2	54,4	60	32	60	32	60	48	
16	54,5	43	60	40,5	57,1	46,7	54,4	44,4	44,4	51,2	43,3	70	61	70	58	82,2	54,4	60	32	60	32	60	48	
15	54,5	43	60	40,5	57,1	46,7	54,4	44,4	44,4	51,2	43,3	70	61	70	58	82,2	54,4	60	32	60	32	60	48	
14	57	43,5	65,5	44,5	60	46,1	57,1	43,9	43,9	54,4	42,7	70	59	70	55	82,2	54,4	82	54	82	54	65,5	49	
13	57	43,5	65,5	44,5	60	46,1	57,1	43,9	43,9	54,4	42,7	70	59	70	55	82,2	54,4	82	54	82	54	65,5	49	
11	57	43,5	65,5	44,5	60	46,1	57,1	43,9	43,9	54,4	42,7	70	56	70	52	82,2	54,4	82	54	82	54	65,5	49	
10	57	43,5	65,5	44,5	62,7	42,2	60	42,2	42,2	57,1	41,7	70	52	70	50	82,2	54,4	82	54	82	54	65,5	49	
9	57	43,5	65,5	44,5	62,7	42,2	60	42,2	42,2	57,1	41,7	70	52	70	50	82,2	54,4	82	54	82	54	65,5	49	
8	57	43,5	65,5	44,5	62,7	42,2	60	42,2	42,2	57,1	41,7	70	52	70	50	82,2	54,4	82	54	82	54	65,5	49	

cjelokupni režim prilagođavao prema najvlažnijemu pokusnom uzorku.

Prema podacima iz literature, danima u tablici 3. i 4., vrijednosti temperatura suhog termometra se pri 40 postotnom sadržaju vode kreću u granicama od 30 °C [6] do 48,4 °C [4 - režim 6], a psihometrijske razlike u granicama od 3 do 5 °C. Vrijednost temperature suhog termometra analiziranoga proizvodnog režima od 30 °C odgovara doljnjoj vrijednosti temperature sušenja koja se može tolerirati.

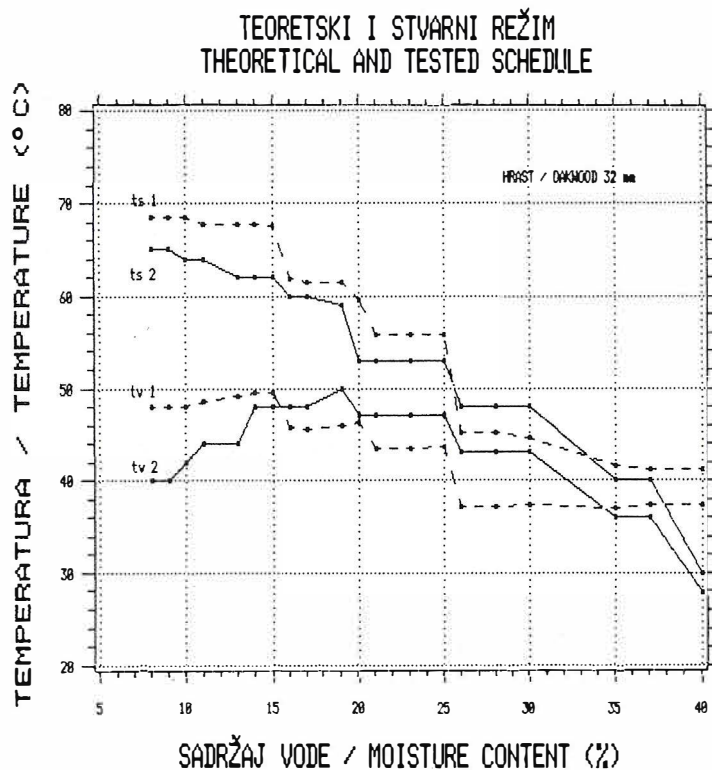
Psihometrijska razlika proizvodnog režima pri 40 postotnom sadržaju vode bila je preniska (2 °C) uspoređi li se s vrijednostima iz literature, ali je odgovarajuća s obzirom na to da je to bila samo početna faza sušenja, pa je bio potreban oprez zbog mogućnosti nastanka pukotina.

Pri sušenju piljenica u trenutku kada je sadržaj vode bio oko točke zasićenosti vlaknaca (tzv. kritična točka sušenja) za najvlažnije je komade primjenjivana psihometrijska razlika od 5 °C, uz povećanje temperature za 8 °C pri vrijednosti 48 °C, što je u usporedbi s uvjetima sušenja iz literature (temperatura suhog termometra od 30 do 51,2 °C i psihometrijska razlika od 3 do čak

17 °C) relativno malen iznos u usporedbi s iznosima što se pojavljuju kao granični gornji iznosi.

U trećoj fazi, poznatoj kao razdoblje brzog sušenja potrebno je pridodati pozornost maksimalnoj psihometrijskoj razlici kojoj se može podvrgnuti drvo prilikom sušenja. Stoga je u tablici 5. dan prikaz navedenoga analiziranog proizvodnog režima zajedno sa srednjim vrijednostima temperatura suhoga i vlažnog termometra svih režima prema navodima literature (podaci prema tablici 3. i 4), što je predočeno na dijagramu na slici 2.

Prema podacima iz tablice 4. i dijagramu na slici 2. očito je da su u trećoj fazi sušenja, od 30% sadržaja vode prema konačnom sadržaju vode, primjenjene temperature suhog termometra bile preniske, osim u fazi sušenja sa 30 do 25% sadržaja vode, kada je temperatura bila viša od dopuštene granice (48 °C umjesto 45 °C). Za razliku od temperature suhog termometra psihometrijska bi se razlika mogla smatrati odgovarajućom za fazu sušenja od 30 do 10% sadržaja vode, ali se ta razlika ispod tog iznosa povećala iznad dopuštene granice, do iznosa od 25 °C, što



t_{m1} - temperatura suhog termometra eksperimentalnog režima

t_{m1} - dry-bulb temperature of the experimental schedule

t_{m2} - temperatura suhog termometra proizvodnog režima

t_{m2} - dry-bulb temperature of the tested schedule

t_{v1} - temperatura vlažnog termometra eksperimentalnog režima

t_{v1} - wet-bulb temperature of the experimental schedule

t_{v2} - temperatura vlažnog termometra proizvodnog režima

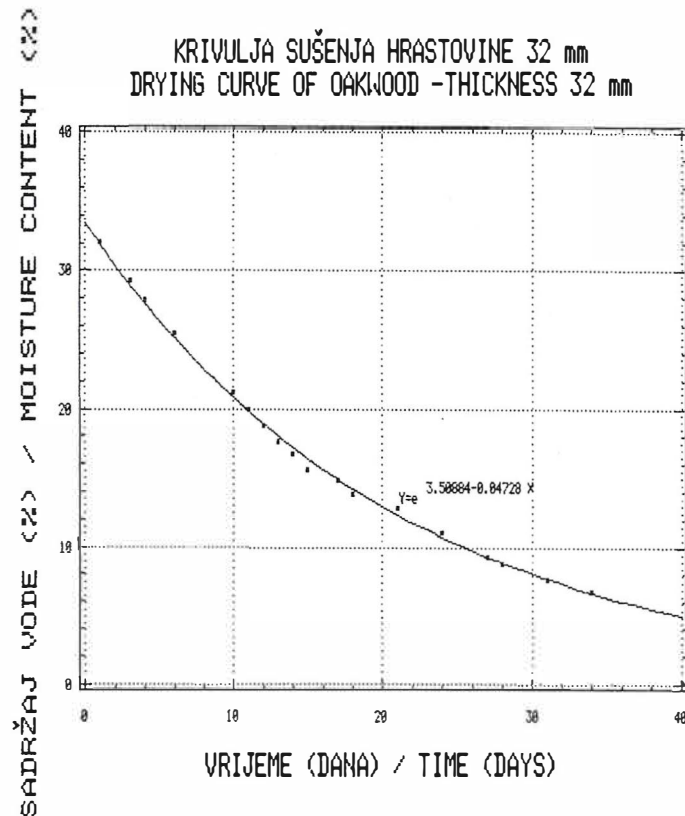
t_{v2} - wet-bulb temperature of the tested schedule

Slika 2.

Prikaz proizvodnog režima i srednjih vrijednosti eksperimentalnih režima za sušenje hrastovine debljine 32 mm • Tested schedule and average value of experimental schedules for drying of 32 mm thick oakwood

Slika 3.

Krivulja sušenja hrastovine debljine 32 mm • Drying curve of 32 mm thick oakwood



u promatranom slučaju sušenja hrastovine debljine 32 mm nije rezultiralo pogreškom, ali je sigurno uzrokovalo naprezanja u drvu.

Provedena analiza režima mora biti promatrana kao dio budućeg istraživanja režima sušenja drva na području Hrvatske.

ZAKLJUČAK Conclusion

Na temelju rezultata ovog rada mogu se izvesti sljedeći zaključci:

Broj stupnjeva psihometrijskih razlika u primijenjenom režimu višestruko je veći od broja stupnjeva psihometrijskih razlika u režimima navedenim u tablicama 3. i 4.

Primjenom izrazito stupnjevanog režima smanjuje se ekonomičnost sustava zbog produžavanja ciklusa sušenja.

Pri vođenju sušenja u više stupnjeva psihometrijske razlike manja je mogućnost pojave grešaka u vođenju sušenja, a time i grešaka na piljenicama.

Psihometrijske razlike primijenjenog režima su postupne i nema velikih razlika između stupnjeva.

Temperatura suhog termometra analiziranog režima od 30 °C na početku sušenja donja je vrijednost dopuštene temperature sušenja, ali se sa stajališta energetske iskoristivosti može smatrati pre niskom.

Psihometrijska razlika od 2 °C u toj je početnoj fazi odgovarajuća sa stajališta sprečavanja pojave pukotina.

Pri sadržaju vode približnome točki zasićenosti vlaknaca psihometrijska razlika od 5 °C i temperatura od 48 °C mogu se u usporedbi s uvjetima sušenja iz literature smatrati niskima.

U trećoj fazi sušenja, od 30 postotnog sadržaja vode do konačnog sadržaja vode, primjenene su temperature suhog termometra bile preniske, osim u fazi sušenja od 30 postotnog do 25 postotnog sadržaja vode, kada je temperatura suhog termometra bila povišena (za 3 °C).

Psihometrijska je razlika bila primjerena pri sušenju od 30 do 10% sadržaja vode u hrastovini, a ispod te vrijednosti do kraja sušenja bila je prevelika.

Iz analize opisanog režima vidljivo je da režime prije početka sušenja treba prilagoditi stvarnim uvjetima, ali ih je tijekom sušenja potrebno pomnjivo pratiti i korigirati jer su eksperimentalni režimi rađeni za idealne uvjete, koji gotovo nikad nisu jednaki proizvodnima.

Sušenje hrastovine debljine 32 mm teklo je prema krivulji prikazanoj na slici 3. Krivulja je eksponencijalnog oblika i glasi: $Y = e^{3.58884 - 0.04728 X}$, pri čemu Y označava sadržaj vode u postocima, a X trajanje sušenja u danima.

LITERATURA

1. Bateson, R.G. 1952.: Timber Drying and the Behaviour of Seasoned Timber in Use. Crosby Lockwood & Son, Ltd. London.
2. Brown, W.H. 1965.: An Introduction to the Seasoning of Timber. Pergamon Press. Oxford.
3. Dennis, K.M., Blankenhorn, P.R., Labosky, P. i Rishel, L.E. 1986.: A Drying Study of 4/4 Lumber from Gypsy Moth-killed Red and White Oak. Forest Prod. J. Vol. 36, No. 10.
4. Henderson, H.L. 1947.: The Air Seasoning and Kiln Drying of Wood. New York.
5. Krpan, J. 1965.: Sušenje i parenje drva. Zagreb.
6. Lempelius, J. 1969.: Die Schnittholz-trocknung. Robert Hildebrand Maschinenbau GmbH. Oberboihingen.
7. McMillen, J.M. i Baltes, R.C. 1972.: New Kiln Schedule for Presurfaced Oak Lumber. Forest Prod. J. Vol. 22, No. 5.
8. Rasmussen, E.F. 1961.: Dry kiln operator's manual. USDA, Agricultural Handbook 188.
9. Rietz, R.C. 1950.: Accelerating the Kiln-drying of Hardwoods. Southern Lumberman.
10. Simpson, W.T. 1980.: Accelerating the Kiln Drying of Oak. U.S.D.A., Forest Products Laboratory. FPL-378, Madison, Wisconsin.
11. Simpson, W.T. i Tschernitz, J.L. 1980.: Time, Costs and Energy Consumption for Drying Red Oak Lumber as Affected by thickness and Thickness Variation. Forest Products Journal Vol. 30, No. 1, Madison, Wisconsin.
12. Stevens, W.C. i Pratt, G.H. 1952.: Kiln Operator's Handbook. Department of Scientific and Industrial Research, Forests Products Research. London.
13. Torgeson, O.W. 1948.: Schedules for the Kiln Drying of Wood. U.S.D.A., Forest Products Laboratory. Report No. D1791, Madison, Wisconsin.
14. Tschernitz, J.L. i Simpson, W.T. 1979.: Drying Rate of Northern Red Oak Lumber as an Analytical Function of Temperature, Relative Humidity, and Thickness. Wood Science, Vol. 11, No. 4.
15. * * * 1965.: Holztrocknung. Holzwirtschaftliches Jahrbuch Nr. 15. DRW - Verlag GmbH. Stuttgart.
16. * * * 1948.: Kiln-drying Schedules. Forest Products Research Laboratory, Leaflet No. 42. Princes Risborough, Aylesbury.
17. * * * 1969.: Kiln-drying Schedules. Forest Products Research Laboratory, Technical note No. 37. Princes Risborough, Aylesbury.