

# Istraživanja na području hidrotermičke obrade drva

Prof. dr ZDENKO PAVLIN, dipl. ing.  
Sumarski fakultet  
Sveučilišta u Zagrebu

UDK 634.0.847

Primljeno: 25. veljače 1981.  
Prihvaćeno: 30. travnja 1981.

Pregledni rad

## Sažetak

U ovom su pregledu dani sažeti podaci istraživačkih centara o rezultatima, sadašnjim programima, te o istraživanjima koja se tek predlažu. Njegova je svrha da se drvnotehnološki stručnjaci upoznaju sa suvremenim smjernicama istraživanja na području hidrotermičke obrade drva.

Ključne riječi: sušenje i predsušenje drva

## RESEARCHES IN THE FIELD OF HYDROTHERMAL PROCESSING OF WOOD

### Summary

This is only a brief survey on data of research centres about the results, present programs and the researches only proposed to be carried out. Their purpose is for the wood technologists to get familiar with the contemporary trends of researches in the field of hydrothermal processing of wood.

Key words: drying and predrying of wood (A. M.)

Rezultati istraživanja pojedinih istraživačkih centara u svijetu, kao i njihov sadanji program rada, upućuju na bitne karakteristike daljeg interesa na području hidrotermičke obrade drva.

Prije nekog vremena u literaturi se raspravljalo o potrebi za sortiranjem drva prije hidrotermičke obrade. Rezultati su potvrdili da je potreba za sortiranjem bila donekle opravdana samo za tvrde vrste drva, sklone degradaciji. Poteškoće su nastajale iz razlika svojstava i osobina samog materijala, kao npr. sadržaja vode, gustoće, udjela ranog i kasnog drva. Tražena su rješenja za način obrade koji garantira smanjenje pojave grešaka od sušenja, kako kod tvrdog tako i kod mekog drva. Vršena su istraživanja s predušenjem, sušenjem drva pomoću sunčane energije itd.

S obzirom na nastalu situaciju u pogledu potrebe za racionalnim korišćenjem energijom, sve je više istraživačkih organizacija u svijetu koje su u svoj program uključile rješavanje problematike sušenja drva pomoću sunčane energije.

U svoj program utvrdio je Ottawa Laboratory (Kanada) istraživanja o ekonomičnosti upotrebe toplinske energije (vodene pare, zemnog plina, električne struje) za sušenje drva u sušionicama, a Vancouver Laboratory (Kanada), uz istraživanja o karakteristikama sušenja i sušionica, i studiju o ekonomičnosti primijenjene toplinske energije kod sušenja drva, te njeno dobivanje iz drvnih otpadaka.

U svoja istraživanja uvrstili su francuski istraživači (Centre Technique du Bois) problematiku o smanjenju utroška toplinske energije kod sušenja drva u sušionicama, kao i eksperimente u vezi u potrebe sunčane energije za sušenje drva.

Istraživanja u Indiji (Forest Research Institute) obuhvatila su, uz vrste sušionica i njihove karakteristike, također i probleme indirektnog zagrijavanja (nastojanja za ekonomičnim zagrijavanjem sušionice upotrebom najpovoljnijeg raspoloživog goriva). Uvedena su i istraživanja sušenja drva sunčanom energijom, kao i kombinacija predušare koja se može koristiti sunčanom energijom kao dodatnim izvorom.

Program istraživanja u SAD-u (Southern Forest Experiment Station) obuhvaća problematiku utroška energije za sušenje drva, a u Madisonu (Forest Products Laboratory) primjenu sunčane energije u sušenju drva (projekt sušionica s izvođenjem za zemlje u razvoju).

U Zapadnoj Njemačkoj (Institut für Holzforschung, München) također se radi na primjeni sunčane energije u sušenju drva. Istraživanja treba da dadu podatke o sušenju pomoću energije sunca u sredjoevropskim uvjetima, kao i usporedbu rezultata dobivenih atmosferskim sušenjem, na osnovu vaganja čitavog složaja drva. Podaci ukazuju na prednost sušenja drva pomoću sunčane energije, zbog nižeg konačnog sadržaja vode. Prirodnim sušenjem može se, prema podacima istra-

živača, postići konačni sadržaj vode od 15%, dok se sušenjem drva sunčanom energijom postiže od 8%.

Pred dvije godine u Australiji (CSIRO)\* izgrađene su sušionice na bazi sunčane energije. Sušionice za sušenje s kapacitetom od 12 m<sup>3</sup> ušle su u upotrebu. Interes drvno-industrijskih poduzeća je velik.

Studije o sušenju drva pomoću sunčane energije u Indiji baziraju se na podacima različitih klimatskih uvjeta (vruća i suha, topla i vlažna). Maksimalne temperature iznose od 45° C na početku sušenja (za sirovo drvo) do 60° C pred kraj sušenja (osim za vrijeme monsun). Vrijeme sušenja od sirovog stanja na sadržaj vode od 12% u ovakvim uvjetima iznosilo je 10 do 14 dana (za *Tectona grandis* i *Adina cordifolia*, debljine 19 mm).

U Novom Zelandu vrše usporedbu utroška toplinske energije kod sušenja pri visokim temperaturama, sa sušenjem u konvencionalnim sušionicama i sušenjem u predušarama. Disertacijske radnje u SAD razmatraju i uspoređuju ekonomičnost raznih načina sušenja. U Madisonu je izvršena studija provedbe sušenja energijom sunca. Između ostalog, predlaže se dva tipa sušionica za sušenje drva na Filipinima, koje su podesne za sušenje i u drugim područjima. U Južnoj Africi (Universitet Stellenbosch) konstruirane su sušionice za sušenje pomoću sunčane energije s kolektorom od 4,2 m za složaj drva od 0,6 m<sup>3</sup>. Istražuju se iznosi potrebne energije za predušenje drva u ovakvim sušionicama s obzirom na uobičajeno vrijeme sušenja.

Programi istraživanja u CSIRO (Australija) obuhvatili su sušenje mekog drva (borovine) kod temperature do 180° C, uz podatke o utjecaju uvjeta na čvrstoću i mogućnosti lijepljenja osušenog drva. Tvrde vrste drva koje nisu sklone kolapsu uspješno se suše i od sirovog stanja pri temperaturi od 180° C, dok se vrste drva sklone kolapsu mogu sušiti tek nakon prethodnog prirodnog sušenja na sadržaj vode od 30 do 40%. Dosađnji rezultati pokazuju da sušenje drva pri temperaturama do 180° C nema ozbiljnijeg utjecaja na čvrstoću borovine, pa se primjenjuje i u industriji. Navedena istraživanja nastavljaju se kao dio rada grupe za preradu drva. Program pokriva dva glavna područja interesa: sušenje borovine kod visokih temperatura, čime je povezan razvoj kanalnih sušionica s primjenom temperatura od 180° C, kao i istraživanje sušenja eukaliptusovine (drvo sklono pojavi kolapsa). Istraživanja u kanalnim sušionicama pokazuju da se vitoperenje drva može skoro isključiti. U istraživanja je uključena tehnika poprečnog pritiska i ultrazvučne vibracije, no rezultati nisu potvrdili očekivanja. Primjenjuje se identifikacija materijala sklonog kolapsu prije procesa sušenja drva. Isto tako vrše se pokusi (za primjenu u industriji) sušenja plantažirane boro-

\* Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization

vine pri visokim temperaturama, kao i ispitivanja sa zaštitnim sredstvima (na bazi bakra, kroma i arsena).

Istraživanja u Kanadi (Ottawa Laboratory) obuhvatila su ubrzano sušenje hrastovih i javorovih piljenica debljine 25 mm, s usporedbom kvalitete u odnosu na klasičan način sušenja. Dalji projekt uključuje sušenje smrekovine, borovine i jelovine namijenjene konstrukcijama u građevinarstvu i utjecaj takvog sušenja na čvrstoću osušenog drva.

Radovi s topolovinom kanadskih laboratorija (Vancouver Laboratory i Western Forest Products Laboratory) usmjereni su na istraživanja režima i postupaka za smanjenje naprezanja koja uzrokuju pojavu pukotina.

Današnji istraživački program — Western Forest Products Laboratory, Kanada — obuhvaća utjecaj sušenja kod visokih temperatura na svojstva drva. Ovim se istraživanjima želi ustanoviti najkraće potrebno vrijeme za sušenje drva, uz istovremeno dozvoljeno smanjenje kvalitete. Poseban interes istraživanja pridaju primjeni matematičkog modela, koji obuhvaća mala odstupanja od prosječnog sadržaja vode i temperature tokom procesa sušenja unutar širokog područja režima.

Istraživači u Južnoj Africi počeli su također s istraživanjima utjecaja sušenja kod visokih temperatura na svojstva drva. Vrše se ispitivanja kombinacijom visoko-frekventne struje i visokih temperatura, kao i sušenje borovine debljine 75 mm pri visokim temperaturama.

Istraživanja na sušenju mekog drva pri visokim temperaturama bila su u programu Government Forest Experiment Station — Meguro, Japan, a nastavljaju se i danas s naglaskom na utvrđivanju utjecaja na mehanička svojstva, promjenu boje, grešaka od sušenja i druge oblike kvalitete drva.

U Nagoya University vrše se istraživanja pogodnosti sušenja visokim temperaturama različitih vrsta drva. Postupak je prihvatljiv za većinu mekih vrsta drva, dok se kod tvrdih vrsta, koje su sklone kolapsu, sadržaj vode mora prethodno sniziti ispod točke zasićenosti vlakana. Uzroci kolapsa svrha su istraživanja koja nastoje odrediti naprezanja, koja se javljaju s pojavom kolapsa u tangencijalnom smjeru.

Istraživanja ukazuju da kolabirane stanice postoje u parenhimatskim stanicama trakova drva gotovo svih vrsta. Stupanj pojave kolapsa uvjetovan je vrstom drva i oštrinom sušenja. Zbog povećanih utezanja (koja se javljaju s kolapsom stanica), pretpostavljalo se da je kod sušenja pojedinih vrsta tvrdog drva opasno temperaturno područje od 50 do 60° C. To je razlog da su dalja istraživanja povezana s istraživanjima režima sušenja. Sušenje u vakuumu je slijedeće područje interesa. Istraživanja obuhvaćaju prijenos topline na površinu drva (između ostalih i visoko-frekventno zagrijavanje za vrijeme uspostavljanja vakuuma). Na

ovaj se način drvo od 3 do 5 cm debljine može osušiti umjetnim sušenjem za 30% uobičajenog vremena. Kraća vremena postižu se kod drva veće propusnosti (početna vlaga, bijel, srč itd.).

U Novom Zelandu uvedene su sušionice za sušenje drva pri visokim temperaturama. Istraživanja su usmjerena i na usporedbu u kvaliteti drva osušenog u ovim sušionicama, pri temperaturama do 120° C, s drvom osušenim klasičnim načinom, kod temperature od 70° C. Između ostalog, prati se i utrošak energije kod navedenih načina, kao i kod sušenja drva u zatvorenom kružnom sistemu, smanjenjem relativne vlage zraka kondenzacijom. Sve je veći interes industrije za sušenje drva visokim temperaturama i smanjenjem relativne vlage zraka.

U Southern Forest Experiment Station, SAD, nastavljena su istraživanja sušenja borovine pri visokim temperaturama. Borovina debljine 45 mm osušena je za 10 sati. U Madisonu, kao i u Vancouveru vršena su istraživanja pri sušenju s obzirom na utjecaj različitih režima na kvalitetu i čvrstoću drva.

Kretanje vodene pare kroz drvo (utjecaj debljine, smjera, vrste i propusnosti) u području temperature do 135° C, razmatrano je na Forest Products Laboratory University of California. Započeta su fundamentalna istraživanja sušenja drva pri visokim temperaturama (pojava grešaka kod različitih vrsta drva), kao i računanje analize varijance unutar i između piljenica poslije sušenja drva pri visokim temperaturama, u usporedbi s klasičnim sušenjem, za različite debljine. U radu su studije o: prednostima i nedostacima kontrolera i registra (obzirom na vrijeme sušenja, kvalitet osušenog drva i razvoj režima); upotrebi mikro-komputora kod sušenja drva, uključujući njihovu primjenu u procesu kontrole uređaja, odnosno kontrole kvalitete; utjecaju vremenskog povećanja suhe i vlažne temperature na brzinu sušenja, vrijeme sušenja, raspored sadržaja vode i utezanje drva; gubitku topline provođenjem (teorijske, proračunske i mjerne veličine).

U Madisonu istražuju mogućnost sušenja 10 do 12 vrsta sirovog tvrdog drva, pri visokim temperaturama, kao i sušenja drva napadnutog bakterijama, te ubrzanog sušenja deblje hrastovine. Na sastanku istraživača u raspravi o utjecaju sušenja pri visokim temperaturama na mehanička svojstva mekog drva, a na osnovu rezultata, rečeno je da je potrebno još mnogo studija i fundamentalnih istraživanja o utjecaju trajanja sušenja, temperature i sadržaja vode kao i aerodinamike sušionice na mehanička svojstva drva.

U zapadnonjemačkom institutu (Institut für Holzforschung) vršena su istraživanja konvektivskog sušenja s mješavinom vodene pare i zraka u području temperatura od 95° C do 115° C. Potvrđeno je da, kod sušenja drva s visokim temperaturama, nije potrebno sortiranje materijala prije pro-

cesa sušenja. Također je završena studija o sorpciji kod sušenja drva pri visokim temperaturama (od 110° do 170° C).

TRADA (Timber Research and Development Association) Velika Britanija radi na projektu određivanja količine energije upotrebljene kod sušenja drva, procjene energetske sposobnosti i preporuka za moguća poboljšanja. U istraživanja je uključeno odabiranje sušionice, način zagrijavanja i ekonomičnosti. Razmatra se i mogućnosti izrade opreme za sušionice sa zatvorenim kružnim sistemom i smanjenjem relativne vlage zraka kod temperature do 80° C. Proces je ekonomičniji kod sušenja drva od sirovog stanja na otprilike 20% sadržaja vode. Ovdje je ukupna potrošnja energije manja u usporedbi s klasičnim načinom sušenja (kondenzaciona rekuperacija nadoknađuje toplinu).

Istraživanja u Australiji, Kanadi i SAD-u uključuju razmatranja utjecaja temperature sušenja na čvrstoću, pojavu kolapsa, utezanja i promjene u sadržaju vode drva, nakon završenog procesa sušenja. U pojedinim zemljama (Australija, Austrija, Indija i Tajland) sabiru se osnovne informacije o promjenama u ravnotežnom sadržaju vode, dok se u Australiji, Kanadi, Novom Zelandu, SAD-u (Madison) i Tajlandu, iznalaze korekcionni faktori za vlagomjere.

U SAD se upravo počelo koristiti drvo proizvedeno na plantažama. Istraživanja na tom materijalu dat će interesantne pokazatelje za komparaciju s podacima provedenim na drvu iz prirodne šume.

Vrše se istraživanja nedestruktivnih načina određivanja sadržaja vode u drvu za vrijeme čitavog procesa (prije, za vrijeme i nakon sušenja). Bilo je pokušaja indirektnog određivanja sadržaja vode u

drvu tokom procesa (prvenstveno kod visoko frekventnog sušenja) na osnovu mjerenja dielektričnih veličina.

## LITERATURA

- [1] ARGANBRIGDH, D. G.: The segregation of green lumber for optimisation of drying efficiency. Paper presented to the Meeting of IUFRO at South Africa 1973. (Referat objavljen na sastanku IUFRO u Južnoj Africi 1973.).
- [2] SHARMA, S. N. and D. P. KURKRETI: Low-cost methods for drying timber. Paper presented to the Meeting of IUFRO at South Africa 1973. (Referat objavljen na sastanku IUFRO u Južnoj Africi 1973.).
- [3] NISHIO, S.: Estimation of drying stresses in Wood by the cup method. *J. Jap. Wood Res. Soc.* 22(11), 1976, 626—31.
- [4] SUMI, H. and J. M. Mc MILLEN: High temperature drying of Douglas for dimension lumber. *Wood Ind.* 36 (6), 1976, 240—244.
- [5] KININMONTH, J. A.: Potential for high temperature drying in New Zealand. *For. Ind. Rev.* 2 (7), 1977, 21—25.
- [6] MILLER, W. R.: Energy conservation in timber-drying kilns by vapour recompression. *For. Prod. J.* 27 (9), 1977, 54—58.
- [7] CAMPBELL, G. S.: Drying of ash-type eucalypts. *Aust. For. Ind. J.* 44(7), 1978.
- [8] CECH, M. Y. and F. PFAFF: Dehumidification drying of spruce studs. *For. Prod. J.* 28(3), 1978, 22—6.
- [9] CECH, M. Y. and F. PFAFF: Dehumidification drying of maple. *Cand. For. Ind.*, August 1978.
- [10] CRISTENSEN, F. J. and R. L. NORTHWAY: Development of the CSIRO continuous feed kiln for sawn timber to the commercial evaluation stage. *Aust. For. Ind. J.* 44(8), 1978.
- [11] SUMI, H.: High Temperature Drying of Wood. I. Effect of temperature on drying rate in final drying stage. *J. Jap. Wood Res. Soc.* 24(6), 1978, 385—390.
- [12] TERAZAWA, S.: On surface in lumber drying. *Jap. Wood Ind.* 33(4), 1978.
- [13] PAVLIN, Z.: Stanje i izgledi u istraživanjima na području sušenja drva. Međunarodno naučno-tehničko savjetovanje o sušenju drva, Opatija 1978, Sumarski fakultet Zagreb, 1—7.
- [14] HATTORI, Y., KANAGAWA, Y. and S. TERAZAWA: Progress of shrinkage in wood. *J. Jap. Wood Res. Soc.* 25(3), 1979, 191—196.
- [15] HIRAI, N., SAITO, F., MAKINO, T. and K. YAMAZAKI: Measuring method of thermal diffusivity of wood-based materials. *J. Jap. Wood Res. Soc.* 26(7), 1980, 439—442.
- [16] WU RONG FENG: Studies on flow in wood. *J. Jap. Wood Res. Soc.* 26 (4), 1980, 219—226.
- [17] KURODA, N. and J. TSUTSUMI: Effect of moisture content on electrical conduction in Wood. *J. Jap. Wood Res. Soc.* 26(8), 1980, 505—509.
- [18] HAISHI, T.: Basic modes of water absorption by woods. *J. Jap. Wood Res. Soc.* 26(8), 1980, 510—515.

Recenzent: Prof. dr S. Bađun