

Promjene sadržaja vode tijekom prirodnog sušenja bukovine*

Changes of moisture content during air-seasoning of beechwood*

Stručni rad • Professional paper

Prispjelo - received: 26. 02. 2004. • Prihvaćeno - accepted: 14. 07. 2004.

UDK 630*847.1; 674.047.1

SAŽETAK • U radu su prikazani rezultati praćenja ravnotežnog sadržaja vode tijekom procesa prirodnog sušenja bukovine. Cilj istraživanja je bio utvrditi sadržaj vode do koje se prirodnim procesom mogu osušiti bukove piljenice različitih debljina na području sjeverozapadne Hrvatske, te usporedba dobivenih rezultata sa srednjim vrijednostima ravnotežnog sadržaja vode za to područje danim u dosadašnjim istraživanjima. Praćenjem ravnotežnog sadržaja vode ispitivanih bukovich piljenica nakon 132 dana prirodnog sušenja utvrđena je srednja vrijednost sadržaja vode od 11,63 %. S obzirom na debljinu ispitivanih uzoraka, valja istaknuti da je u piljenica debljine 38 i 32 mm očekivano zabilježen viši ravnotežni sadržaj vode nego u piljenica debljine 27 mm. Konačni sadržaj vode postignut prirodnim sušenjem bukovich piljenica iznosio je u prosjeku 11,04 % za debljinu 27 mm, 11,39 % za debljinu 32 mm, te 12,45 % za debljinu 38 mm. Dobiveni se podaci o konačnom sadržaju vode međusobno bitno ne razlikuju u tehnološkom smislu. U ovome su istraživanju postignuti manji ravnotežni sadržaji vode od sadržaja ustanovljenih dosada provedenim istraživanjima (Krpan, 1965; Dimitrov, 1992; Pervan, 1994). Promjena sadržaja vode tijekom istraživanja, uzimajući u obzir sve ispitivane piljenice, tekla je prema jednadžbi: $Y = 37,009 \cdot X^{-0,2302}$ uz $R^2 = 0,9784$. (Y - sadržaj vode, a X trajanje sušenja izraženo danima). Na temelju rezultata zaključeno je da stovarište na kojemu je provedeno istraživanje ima povoljne klimatske uvjete za prirodno sušenje drva listača.

Ključne riječi: prirodno sušenje, bukovina, konačni sadržaj vode, trajanje sušenja

ABSTRACT • This paper presents the results of equilibrium moisture content testing carried out during air-seasoning of beechwood boards. The aim of the research was to determine the moisture content which can be achieved by air-seasoning of beechwood boards of different thickness in the area of northwestern Croatia (particularly the Varaždin region), and to determine the difference between the results of this research and mean values of equilibrium moisture content for this area obtained in former investigations. By monitoring equilibrium water content of the tested beechwood boards, at the end of 132-day air sea-

¹Autori su docent i asistent na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. ²Autori su diplomirani inženjeri iz tvrtke ITC d.d., Varaždin

¹The authors are assistant professor and assistant at the Faculty of Forestry of the Zagreb University. ²Authors are BSc in wood technology from ITC d.d., Varaždin

* Istraživanje je dio diplomskog rada drugog navedenog autora.
The research is part of diploma work of the second author.

soning, the average value of equilibrium moisture content of 11,63 % was determined. It should be emphasised that, as expected, depending on the thickness of the tested samples, a higher equilibrium moisture content was recorded with beechwood thickness of 38 mm and 32 mm than of 27 mm. The final moisture content achieved by air-seasoning of beechwood averaged 11,04 % for the thickness of 27 mm, 11,39 % for 32 mm and 12,45 % for 38 mm. No considerable differences have been recorded between final moisture content data from the technological aspect. In this investigation lower equilibrium moisture contents have been achieved than the ones recorded in the investigations performed to date (Krpan, 1965; Dimitrov, 1992; Pervan, 1994). The change of moisture content during the investigation, taking into consideration all tested beechwood boards, can be presented by equation $Y = 37,009 \cdot X^{-0,2302}$ with $R^2 = 0,9784$ (Y - moisture content; X - time of drying expressed in days). Based on the results, it has been concluded that the stockyard where the process took place had favourable climate conditions for air seasoning of hardwoods.

Key words: air-seasoning, beechwood, final moisture content, drying time

1 UVOD

1 INTRODUCTION

S obzirom na pomanjkanje energije dobivene iz prirodnih fosilnih izvora te na pojačanu eksploataciju šuma, potrebno je ponovno razmotriti svrhovitost postupka prirodnog sušenja drva kojim bi se, uz uštedu energije, mogle sušiti velike količine drvene građe do zadovoljavajućeg sadržaja vode, uz vremensko ograničenje trajanja prirodnog sušenja na stovarištu (dugotrajnost procesa u odnosu prema umjetnom sušenju u sušionici).

Prirodnim se sušenjem iz drva može potpuno ukloniti slobodna voda, a vezana se voda uklanja samo djelomice jer drvo dosegne određeni sadržaj vode u ravnoteži s okolnim zrakom, ispod kojeg sušenje više nije moguće. Sadržaj vode prirodno osušenog drva za većinu je drvnih proizvoda još uvijek previsok, pa se prirodno osušeno drvo dosušuje u sušionici.

Positivne strane prirodnog sušenja jesu uklanjanje vode bez smanjenja kvalitete drva, postizanje ujednačenog gradijenta sadržaja vode i smanjenje naprezanja u drvu.

Osim već poznatih čimbenika važnih za prirodno sušenje (temperatura, relativna vlaga i brzina strujanja zraka), pojavljuju se i neki bitni dodatni čimbenici koji utječu na trajanje i kvalitetu procesa sušenja: klima i godišnje doba, oborine, sunčevo zračenje, gljive, mehaničko opterećenje i prašina.

Osim navedenih činitelja, za prirodno sušenje utječu i topografija, smjer i jačina vjetrova te blizina velikih vodenih površina (mora, jezera, rijeke) itd.

Prema Krpanu (1965), srednja vrijednost ravnotežnog sadržaja vode u drvu

koji se može postići tijekom prirodnog sušenja za područje meteorološke postaje Varaždin za srpanj iznosi 14,7 %, a za kolovoz 15,6 %. Prema istom izvoru, trajanje procesa prirodnog sušenja drva za piljenice debljine 25 mm složene u svibnju u složaj iznosi 80 dana, tijekom čega se postigne ravnotežni sadržaj vode od 15 %, ili 45 dana, ako se želi postići ravnotežni sadržaj vode od 20 %.

Istraživanjima Dimitrova (1992), na osnovi dugogodišnjih mjerenja prosječne temperature i relativne vlage zraka na području meteorološke postaje Varaždin, utvrđena je srednja vrijednost ravnotežnog sadržaja vode od 13,6 % za srpanj.

2 CILJ ISTRAŽIVANJA

2 AIM OF RESEARCH

Cilj je ovih istraživanja bio prikazati tijek prirodnog sušenja bukovine praćenjem sadržaja vode u drvu te usporedba dobivenih rezultata s prethodnim istraživanjima (Krpan, 1965; Dimitrov, 1992; Pervan, 1994). Također se nastojala ispitati mogućnost primjene rezultata ovih istraživanja kao smjernica za planiranje organizacije stovarišta, nabavu sirovine i primjenu postupka prirodnog sušenja drva. Istraživanje je poduzeto i radi utvrđivanja sadržaja vode preostale u uzorcima bukovih piljenica različitih debljina nakon prirodnog sušenja kako bi se ustanovila prikladnost postupka prirodnog sušenja na tom području. U tu je svrhu analiziran i utjecaj ustrojstva stovarišta na prirodno sušenje drva, s obzirom na djelovanje prevladavajućeg smjera vjetra i na klimatske uvjete karakteristične za to područje.

3 MATERIJAL I METODA RADA

3 MATERIAL AND METHOD

3.1 Opis stovarišta

3.1 Stockyard description

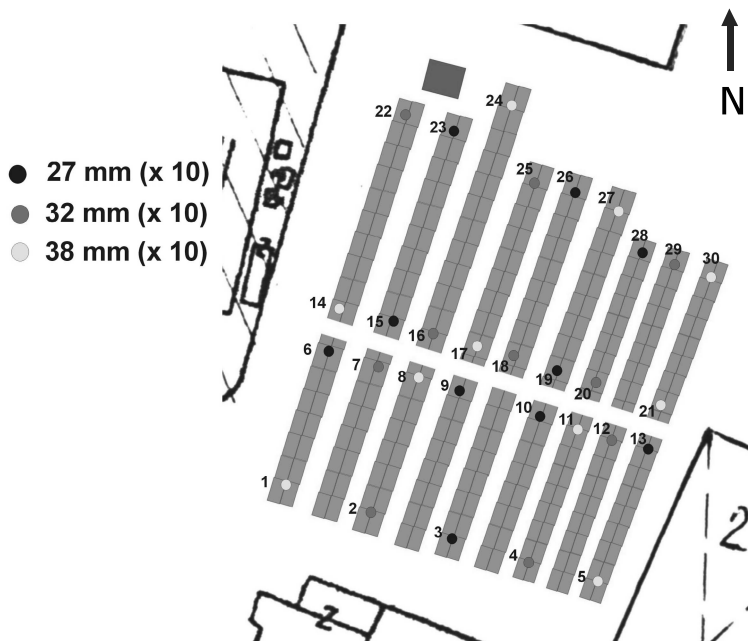
Stovarište piljenica na kojemu je obavljeno istraživanje nalazi se u tvrtki smještenoj na području Varaždina, koja u krugu tvornice posjeduje još dva stovarišta. Rukovanje piljenicama na stovarištu

Da bi se pratio sadržaj vode najvlažnijeg dijela piljenice, čela svih probnih uzoraka premazana su komercijalnim zaštitnim sredstvom protiv isušivanja čela.

3.3 Metode rada

3.3 Methods

Mjerenje sadržaja vode obavljeno je elektrootpornim vlagomjerom s kompenzacijom temperature na temelju izmjere



Slika 1.
Shema stovarišta s prikazom razmještaja mjerenih uzoraka
Figure 1
Scheme of sample distribution at the stockyard

vrši se bočnim viličarima. Piljenice se podlažu letvicama dimenzija 25 x 25 mm. Visina složaja je različita, ovisno o debljini piljenica u njemu (tvrtka kupuje trupce, daje ih raspiliti te tako na stovarištu ima sve debljine piljenica). Shema stovarišta sa smještajem uzoraka prikazana je na slici 1.

3.2 Materijal

3.2 Material

Istraživanje je provedeno na bukovim piljenicama triju različitih debljina. Za istraživanje su izabrane piljenice debljine 27, 32 i 38 mm. Za izradu uzoraka poslužila je neokrajčana ili poluokrajčana građa (piljenice) koje su po teksturi bile i bočnice i blistače različitih kvalitativnih razreda, radi dobivanja što stvarnijih uvjeta na stovarištu.

Za praćenje sadržaja vode izrađeno je po 10 uzoraka od piljenica navedenih debljina, i to tako da je s čela slučajno odabrane piljenice uklonjen dio duljine do 0,5 m (radi isušivanja čela piljenica), a zatim je od preostalog dijela piljenice izrađen probni uzorak približne duljine 1 m.

parametara zraka električnim termohigrometrom. Tijekom mjerenja rabljene su izolirane elektrode duljine 35 mm, koje su nakon zabušivanja akumulatorskom bušilicom postavljane na sredinu širine, duljine i debljine svakog uzorka, međusobno razmaknute 25 mm. Svi su uzorci fluorescentnom bojom označeni brojem, jednako kao i betonski stupići samih složajeva radi lakšeg snalaženja na stovarištu. Uzorci su postavljeni ispod složaja, na gredice, kako ne bi bili u izravnom doticaju s tlom, a da istodobno budu zaštićeni od atmosferilija.

Mjerenja su provedena prosječno svakih 22 dana. Brzina strujanja zraka mjerena je termoanemometrom, a smjer strujanja zraka uz pomoć obične trake papira dužine 20 - 30 cm, način vrlo uobičajen u sušioničkoj praksi.

4 REZULTATI

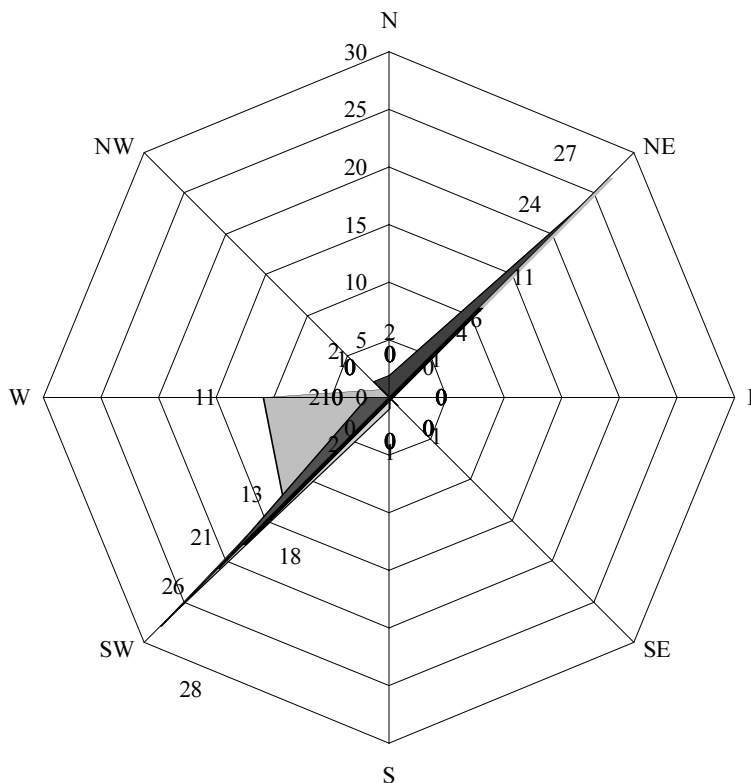
4 RESULTS

Prije prikaza rezultata istraživanja potrebno je napomenuti da je izostavljen uzorak broj 22. Naime, zbog nepažljivog rukovanja radnika pri premještanju uzoraka

Tablica 1.
Broj izmjera strujanja
vjetra iz određenog
smjera
Table 1
Number of
measurements of wind
blowing from a
specific direction

Legenda Legend	Strana svijeta Side of the world	Broj izmjera pojedinog smjera Number of wind direction measurements						
		N - sjever N - north	N	2	0	0	0	0
W - zapad W - west	E	0	0	0	0	0	0	0
E - istok E - east	S	0	0	0	0	1	0	0
S - jug S - south	NW	2	1	0	0	0	0	0
	NE	24	4	0	27	1	6	11
	SE	1	0	0	0	0	0	0
	SW	0	13	28	2	26	21	18
	W	0	11	1	0	1	2	0

Slika 2.
Ukupan prikaz broja
izmjera smjera vjetra
iz određenog pravca
Figure 2
Graphic view of
results from table 1



Tablica 2.
Rezultati mjerenja
sadržaja vode u
uzorcima svih
ispitivanih debljina
bukovih piljenica
tijekom prirodnog
sušenja

Debljina uzorka / Sample thickness 27 mm	Dani / Days							
	1	21	49	63	89	110	132	
Sadržaj vode / Moisture content (%) - Srednji / Average	37,8	19,1	14,9	12,4	11,7	12,1	11,0	
Sadržaj vode / Moisture content (%) - Najveći / Maximal	52,7	22,2	19,8	14,9	13,5	13,7	12,1	
Sadržaj vode / Moisture content (%) - Najmanji / Minimal	29,7	17,0	13,1	11,0	9,7	11,1	9,5	
	Dnevno / Daily (%)							0,20

Table 2
Results of moisture
content measurements
of all beechwood
board samples during
air-seasoning

Debljina uzorka / Sample thickness 32 mm	Dani / Days							
	1	21	49	63	89	110	132	
Sadržaj vode / Moisture content (%) - Srednji / Average	41,4	20,0	16,7	13,0	12,2	12,4	11,4	
Sadržaj vode / Moisture content (%) - Najveći / Maximal	47,7	22,7	23,1	15,1	13,4	13,4	12,1	
Sadržaj vode / Moisture content (%) - Najmanji / Minimal	29,8	18,5	14,7	12,0	11,4	11,6	10,4	
	Dnevno / Daily (%)							0,23

Debljina uzorka / Sample thickness 38 mm	Dani / Days							
	1	21	49	63	89	110	132	
Sadržaj vode / Moisture content (%) - Srednji / Average	28,5	20,5	17,9	15,6	13,7	13,0	12,5	
Sadržaj vode / Moisture content (%) - Najveći / Maximal	34,7	23,1	19,9	18,3	15,1	14,3	13,6	
Sadržaj vode / Moisture content (%) - Najmanji / Minimal	22,2	18,9	15,9	13,8	12,9	12,1	11,5	
	Dnevno / Daily (%)							0,12

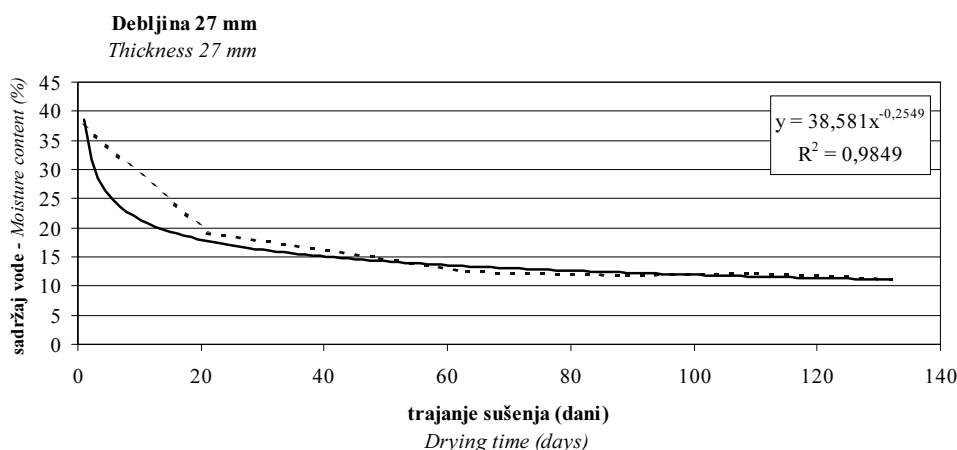
na stovarištu oštetila se elektroda na uzorku, te se uzorak morao isključiti iz daljnjeg istraživanja.

U tablici 2 dani su rezultati mjerenja sadržaja vode u uzorcima svih ispitivanih debljina bukovih piljenica tijekom prirodnog sušenja s iskazanom srednjom vrijednosti prosječne dnevne promjene sadržaja za piljenice jednake debljine. Na slikama 3, 4 i 5 prikazane su ovisnosti srednjih vrijednosti sadržaja vode izmjerenih u piljenica jednake debljine o trajanju

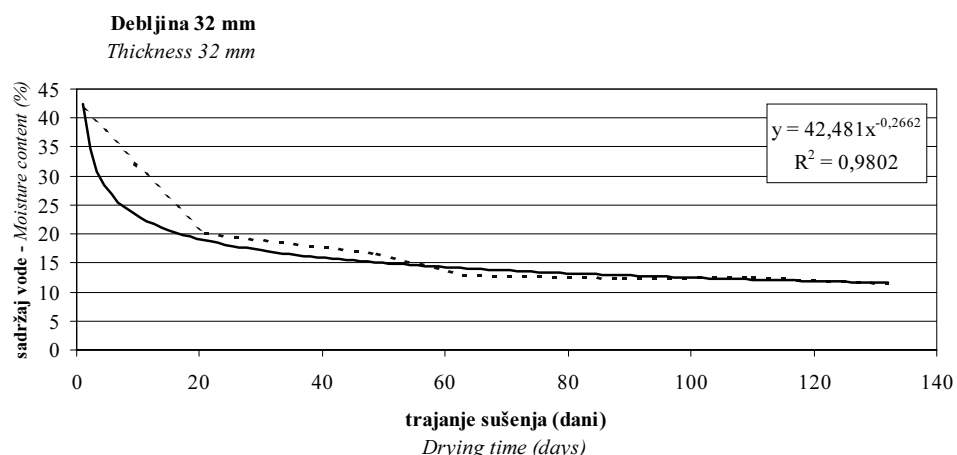
prirodnoga sušenja s iskazanim jednačbama krivulja procesa sušenja i koeficijentima determinacije.

Slika 6 daje grafički prikaz srednjih vrijednosti izmjerenih sadržaja vode u svim uzorcima, s iskazanom jednačbom odvijanja procesa prirodnog sušenja i utvrđenim koeficijentom determinacije.

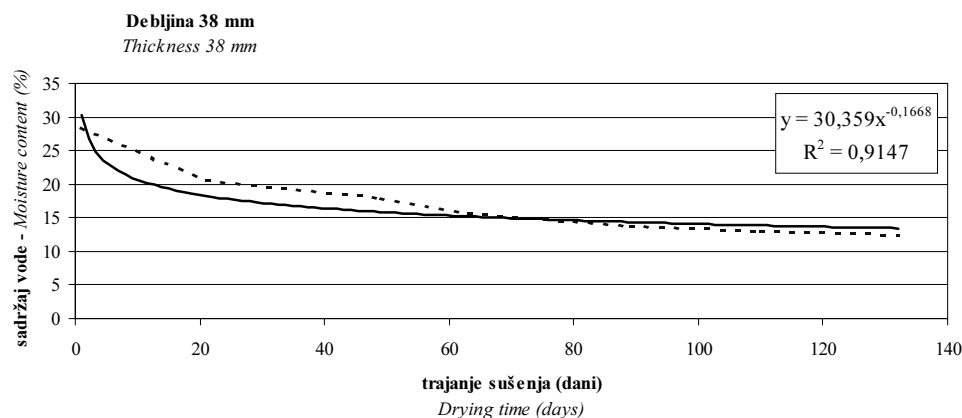
Tablica 3 daje rezultate srednjih vrijednosti brzina strujanja zraka i sadržaja vode u uzorcima tijekom istraživanja.



Slika 3.
Ovisnost sadržaja vode u drvu o trajanju sušenja za uzorke debljine 27 mm
Figure 3
Relation of wood moisture content and drying time - 27 mm thickness



Slika 4.
Ovisnost sadržaja vode u drvu o trajanju sušenja za uzorke debljine 32 mm
Figure 4
Relation of wood moisture content and drying time - 32 mm thickness

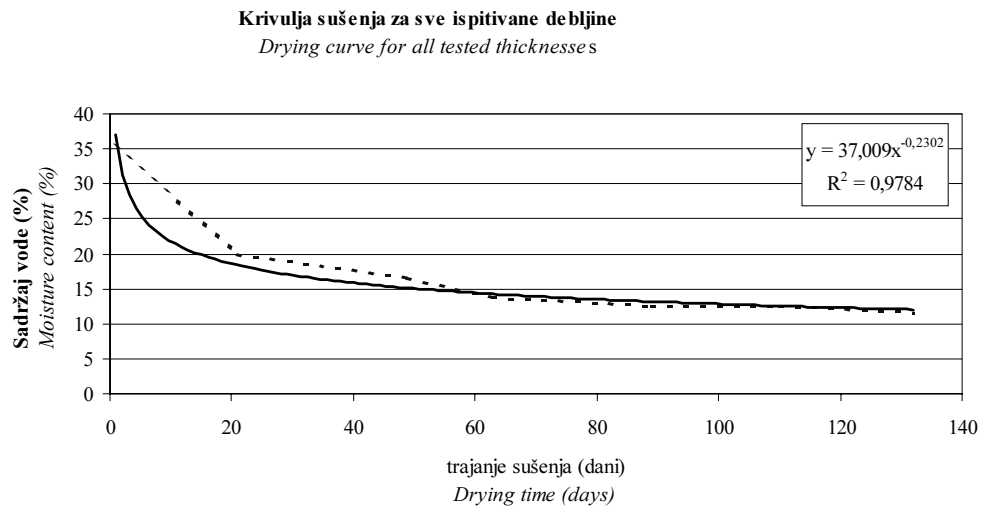


Slika 5.
Ovisnost sadržaja vode u drvu o trajanju sušenja za uzorke debljine 38 mm
Figure 5
Relation of wood moisture content and drying time - 38 mm thickness

Slika 6.

Ovisnost sadržaja vode u drvu o trajanju sušenja za sve uzorke s iskazanom jednadžbom tijekom procesa prirodnog sušenja i utvrđenim koeficijentom determinacije

Figure 6
Relation of wood moisture content and drying time - all thickness

**Tablica 3.**

Srednje vrijednosti brzine strujanja zraka i sadržaja vode u uzorcima tijekom prirodnog sušenja

Table 3

Results of mean values of wind velocity and moisture content during air-seasoning

Datumi mjerenja Date of measurement	Sr. vrij. brzine strujanja zraka Mean values of wind velocity	Sr. vrij. vlage uzoraka Mean values of moisture content
12.3.2003.	1,38	35,68
02.4.2003.	0,67	19,86
30.4.2003.	0,88	16,47
14.5.2003.	0,68	13,68
9.6.2003.	0,66	12,53
30.6.2003.	0,23	12,51
22.7.2003.	0,44	11,63

5 DISKUSIJA

5 DISCUSSION

Praćenje procesa prirodnog sušenja drva bukovine provedeno je u trajanju 132 dana (od 12. ožujka do 22. srpnja 2003. godine) na području Varaždina.

Mjerenjem konačnog sadržaja vode u drvu tijekom prirodnog sušenja utvrđena je njegova srednja vrijednost od 11,63 % za sve ispitivane debljine piljenica, što je prema Krpanu (1965) za 3,07 % manje od vrijednosti prosječnoga ravnotežnog sadržaja vode tijekom srpnja i za 3,97 % manje od vrijednosti prosječnoga ravnotežnog sadržaja vode tijekom kolovoza na tom području (ravnotežni sadržaj vode u drvu na tom području za srpanj iznosi 14,7 %, a za kolovoz 15,6 %).

Prema Krpanu (1965), trajanje procesa prirodnog sušenja drva za piljenice složene u svibnju u složaj iznosi 80 dana, ako je cilj postizanje ravnotežnog sadržaja vode od 15 %, odnosno 45 dana želimo li postići ravnotežni sadržaj vode od 20 %. Navedeni podaci prethodnih istraživanja različiti su od rezultata postignutih provedenim istraživanjem jer je trajanje procesa sušenja piljenica složenih u složaj iznosilo 132 dana i pritom je postignuta srednja vri-

jednost sadržaja vode 11,63 %, te zbog različitog doba slaganja.

Ako se rezultati u ovom istraživanju usporede s rezultatima istraživanja novijeg datuma, prema Dimitrovu (1992), postignuti sadržaj vode manji je za 1,97 %. Naime, prema Dimitrovu (1992), ravnotežni sadržaj vode drva u srpnju na području meteorološke postaje Varaždin iznosi 13,6 %.

Prema istraživanjima Pervana (1994), vrijednost ravnotežnog sadržaja vode u drvu nakon 52 dana za bukovicu debljine 25 mm iznosila je 19,52 %, a u ovom istraživanju je postignut ravnotežni sadržaj vode od 14,89 % za bukove piljenice debljine 27 mm nakon 49 dana, znači za 4,63 % veća vrijednost ravnotežnog sadržaja vode. Nadalje, prema Pervanu (1994) je nakon 66 dana postignut ravnotežni sadržaj od 15,82 %, dok je u ovom radu dobivena vrijednost ravnotežnog sadržaja vode od 12,43 % nakon 63 dana (manja vrijednost ravnotežnog sadržaja za 3,39 % u odnosu na Pervanovo istraživanje).

Na osnovi dobivenih rezultata vidljivo je da se najbrži pad sadržaja vode zbiva u početnom stadiju, tj. u prvih 21 dan postupka prirodnog sušenja. Razlika u sadržaju vode pri početnom mjerenju i

mjerenu 21. dana iznosila je približno 16 %, a u sljedeća dva razdoblja ta je razlika bila približno 3 %. U kasnijim razdobljima sušenja pad sadržaja vode smanjio se na približno 1 %. Veliki pad sadržaja vode u početnom razdoblju sušenja rezultat je činjenice da iz drva isparava slobodna voda. Daljnjim sušenjem vrijednost sadržaja vode u drvu sporije pada, zato što je drvo doseglo točku zasićenosti vlaknaca, a ispod nje sušenje teče sporije.

Iz istraživanja je također vidljivo da bi se orijentacijom stovarišta prema prevladavajućem smjeru vjetra, jugozapadnome, mogli znatno poboljšati uvjeti te se ubrzati proces prirodnog sušenja.

Gubici na stovarištu smanjili bi se, osim naprijed navedenim uvjetima, pravilnim slaganjem složajeva te brigom o samom stovarištu (uništavanje korova), što zahtijeva dobru organizaciju rada i vodstva tvrtke.

Iako su pri kvalitetnom vođenju umjetnog sušenja koje se provodi u kontroliranim uvjetima gubici manji nego pri prirodnom sušenju, pravilnim ustrojem stovarišta, s obzirom na prirodne parametre na koje se ne može utjecati, financijski izdaci za skupo umjetno sušenje bili bi manji zbog kraćeg vremena trajanja dosušivanja drvene građe.

Prirodno sušenje odvijalo se prema jednadžbi:

$$Y = 37,009 \cdot X^{-0,2302} \text{ uz } R^2 = 0,9784$$

(Y je sadržaj vode, a X trajanje sušenja izraženo danima), uz koeficijent determinacije 0,9784, što znači da varijabilnost trajanja sušenja objašnjava promjenu sadržaja vode s približno 98 %.

Takva jednadžba krivulje sadržaja vode u ovisnosti o trajanju procesa prirodnog sušenja odgovara dobivenim rezultatima, uz vjerojatnost 97,84 %.

6 ZAKLJUČAK 6 CONCLUSION

Na osnovu istraživanja i dobivenih podataka možemo zaključiti sljedeće:

1. Usporedbom rezultata dosadašnjih ispitivanja i provedenog istraživanja utvrđeno je da su dobiveni rezultati bolji od rezultata prijašnjih istraživanja jer se prirodnim sušenjem postiže dovoljno niski ravnotežni sadržaj vode za uporabu građe u graditeljstvu u eksterijeru.
2. Praćenjem sadržaja vode utvrđeno je da su piljenice osušene do dovoljno niskog

ravnotežnog sadržaja vode. Prosječni sadržaj vode svih probnih uzoraka na kraju prirodnog sušenja iznosio je 11,63 %, pa je na ovaj način moguće sušiti sve vrste drva listača do razine sadržaja vode 11-15 %, i uz naknadno dosušivanje u sušionici do željenog sadržaja vode.

3. Na temelju postignutih rezultata zaključeno je da stovarište na kojemu je provedeno istraživanje ima povoljne klimatske uvjete za prirodno sušenje drva listača.
4. Stovarište na kojemu je istraživanje obavljeno ima povoljne uvjete za prirodno sušenje drva listača tijekom ljetnih mjeseci, što se može još poboljšati tako da se stovarište slaže u smjeru prevladavajućeg vjetra, prema jugozapadu, te uklanjanjem korova i boljom organizacijom stovarišta.
5. Prirodno sušenje bi se trebalo provoditi u slučaju ako je dopušteno vezanje novčanih sredstava u zalihama na stovarištu. Ovakvim načinom bi se znatno uštedjela sredstva, a smanjila bi se i pojava nekih grešaka kod kasnijeg umjetnog sušenja na odgovarajući sadržaj vode potreban za daljnju proizvodnju.
6. Provedeno je istraživanje omogućilo potvrdu nekih osnovnih zakonitosti prirodnog sušenja drva, a dalo je i okvirne podatke primjenjive za praćenje sadržaja vode tijekom prirodnog sušenja pojedinih vrsta drva listača na tom području.
7. Rezultati istraživanja pokazali su da se pojedine vrste drva listača mogu osušiti do sadržaja vode manjega od srednjih vrijednosti ravnotežnog sadržaja vode na tom području.
8. Daljnjim sušenjem se ne bi bitno smanjio postotak vlage (jer se u listopadu povećava relativna vlaga, odnosno sve su nepovoljniji uvjeti za prirodno sušenje), pa treba iskoristiti što je bolje moguće vremenski period proljeće-ljeto.

7 LITERATURA 7 REFERENCES

1. Bubić, A. (2003): Ustrojstvo stovarišta piljene građe s obzirom na prirodno sušenje. Diplomski rad, 1-48.
2. Krpan, J. (1965): Sušenje i parenje drva. Vjesnik, Zagreb, 2, 1-363.
3. Dimitrov, T. (1992): Klima i prirodno sušenje drva. Drvna industrija, 43 (2), 62-70.
4. Pervan, S., Pavlin, Z., Špoljarić, M. (1994): Promjene sadržaja vode tijekom prirodnog sušenja listača. Drvna industrija, 45 (2), 64-67.

5. Pervan, S. (2000): Priručnik za tehničko sušenje drva. Sand d.o.o., Zagreb, 1, 1-272.
6. Špoljarić, M. (1993.): Promjene sadržaja vode za vrijeme prirodnog sušenja drva. Diplomski rad, 1-49.
7. *** (1963): Sušenje drva. Šumarska enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb, 2, 497-508.

Corresponding address:

Assistant Professor STJEPAN PERVAN, PhD
Department of Wood based Panels and
Chemical Wood Processing
Faculty of Forestry
University of Zagreb
Svetošimunska 25
HR-10000 ZAGREB
CROATIA
E-mail: pervan@sumfak.hr