

Promjene sadržaja vode tijekom prirodnog sušenja listača

Prof. dr. sc. **Z. Pavlin**
Dipl. inž. **S. Pervan**
Šumarski fakultet - Zagreb
Dipl. inž. **M. Špoljarić**
Kombinat Belišće d.d.

UDK 630*847

Prispjelo: 20. 7. 1994.
Prihvaćeno: 25. 10. 1994.

Stručni rad

Sažetak

U radu su prikazani rezultati praćenja ravnotežnog sadržaja vode tijekom ljetnog procesa prirodnog sušenja drva listača. Ispitivanje je trajalo 77 dana. Cilj istraživanja bilo je utvrditi sadržaj vode do kojega se prirodnim procesom mogu osušiti pojedine vrste drva listača na području Belišća, i koliko se dobiveni rezultati razlikuju od srednjih vrijednosti ravnotežnog sadržaja vode danih u dosadašnjim istraživanjima.

Praćenjem ravnotežnog sadržaja vode ispitivanih vrsta drva listača na kraju ispitivanja utvrđena je srednja vrijednost sadržaja vode od 15.28 %. S obzirom na vrstu drva listača, valja istaknuti daje u hrastovini i bagremovini ostvaren viši ravnotežni sadržaj vode nego u lipovini i topolovini. Konačni sadržaj vode postignut prirodnim sušenjem iznosio je: u hrastovini 15.29 i 16.4%, u bagremovini 16.49 i 20.33%, u bukovini 14.98%, u cerovini 13.98%, u grabovini 15.57%, u lipovini 12.07, 14.3, 15.49%, a u topolovini 13.36, 14.62, 15.87%.

Postignuti se rezultati neznatno razlikuju od rezultata dosada provedenih istraživanja (1) i (2).

Prirodno sušenje odvijalo se prema jednadžbi:

$$Y = 3.80979 \cdot X^{-0.232482}$$

(Y je sadržaj vode, a X trajanje sušenja izraženo danima), uz koeficijent korelacije -0,986717. Korekcijski koeficijent iznosio je 11.86. Na temelju postignutih rezultata zaključeno je da stovarište na kojemu je provedeno ispitivanje ima povoljne klimatske uvjete za prirodno sušenje drva listača.

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

Summary

This paper presents the results of equilibrium moisture content during 77-day air-seasoning of some hardwoods in measurement summer-time. The aim of the research was to determine the moisture content which can be achieved by air-seasoning of certain species of hardwoods at the area of Belišće, and to determine the difference between the results of this research and former investigations.

The average value of equilibrium moisture content at the end of the testing was 15.28% for all tested hardwood species. Depending on the species, oakwood and locustwood have higher moisture content, as compared to limewood and poplarwood. The equilibrium moisture content of all tested hardwoods achieved by air-seasoning was: oakwood 15.29 and 16.4%, locustwood 16.49 and 20.33%, beechwood 14.98%, bitter oakwood 13.98%, horn-beam wood 15.57%, limewood 12.07, 14.3, 15.46% and poplarwood 13.36, 14.62, 15.87%.

The results are almost the same as the results of the previous research noted as (1) and (2).

Drying process can be presented by equation:

$$Y = 3.80979 \cdot X^{-0.232482}$$

(Y - moisture content; X - the time of drying), having the correlation coefficient -0,986717. Correction coefficient was 11.86. It has been concluded that the stockyard where the process took place had all the possibilities for air seasoning of hardwoods.

Key words: Air-seasoning, hardwoods, final moisture content, drying time

1. UVOD

S obzirom na pomanjkanje energije dobivene iz prirodnih izvora (ugljena, nafte, plina, električne energije itd.) 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 sušenjem iz drva se može potpuno ukloniti slobodna voda, a vezana se uklanja samo djelomice jer drvo doseže određeni ravnotežni sadržaj vode s okolnim zrakom, ispod kojeg sušenje više nije moguće. Sadržaj vode prirodno osušenog drva za većinu je proizvoda još previsok, pa se prirodno osušeno drvo dosušuje u sušionici.

Prirodnim sušenjem iz drva se odstranjuje voda bez smanjenja kvalitete drva, postiže se jednoliki raspored vode i smanjuju se naprezanja u drvu.

Ponašanje pojedinih vrsta drva pri sušenju bitno se razlikuje, a prema dosadašnjim spoznajama nema razlika u kvaliteti između prirodno i umjetno osušenog drva.

Glavni nedostaci postupka prirodnog sušenja drva jesu njegovo trajanje i nemogućnost postizanja niskog sadržaja vode. Gledano s ekonomskog stajališta, problem trajanja rezultira vezanjem velikih novčanih sredstava u sirovinu, što izaziva dodatne financijske izdatke (kamate na uložena sredstva).

Prema Krpanovim istraživanjima (2), srednja vrijednost ravnotežnog sadržaja vode u drvu koji se može postići tijekom prirodnog sušenja za područje meteorološke postaje Osijek za srpanj iznosi 12.9%, a za kolovoz 14.3%.

Prema (2) 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%.

Istraživanjem koje je proveo Dimitrov (1), na osnovi dugogodišnjih mjerenja prosječne temperature i relativne vlage zraka na području meteorološke postaje Osijek utvrđena je srednja vrijednost ravnotežnog sadržaja vode od 14.1% za srpanj.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Ciljovog istraživanja bila je usporedba rezultata prethodnih istraživanja (1) i (2) s provedenim istraživanjem, zatim prikaz tijeka prirodnog sušenja drva listača uz kontrolu sadržaja vode u drvu gravimetrijskom metodom te razmatranje mogućnosti primjene rezultata ovog ispitivanja kao smjernica pri primjeni postupka prirodnog sušenja drva.

Istraživanje je poduzeto i radi utvrđivanja sadržaja vode preostalog u pojedinim vrstama drva listača nakon prirodnog sušenja i prikladnosti postupka prirodnog sušenja na tom području.

Cilj praćenja sadržaja vode u uzorcima pojedinih vrsta drva bilo je dobivanje pouzdanih podataka na temelju kojih se mogu izvesti primjenjivi rezultati bez obzira na razlike u brzini sušenja piljenica različitih debljina i vrsta drva.

3. MATERIJAL I METODA RADA

Opis stovarišta

Stovarište na kojemu je obavljeno ispitivanje nalazi se u Belišću, a podijeljeno je na četiri zone. prva

obuhvaća kanalni sortirer, a preostale tri zone služe za slaganje i sušenje građe (sl. 1).

Širina glavnog puta iznosila je 4 m, a širina poprečnoga 3 m. Transport piljenica na stovarištu obavlja se bočnim viličarem.

Složajevi se na stovarištu prenose portalnom dizalicom razmaka nosača 40 m, kolika je i širina stovarišta piljene građe. Područje rada portalne dizalice su i zone od dodatnih šest metara na obje strane. Nosivost portalne dizalice je 8 t.

Na stovarištu se slažu isključivo prizmatični složajevi prosječne duljine 6 m i širine 1.4 m. Visina složaja je različita, ovisno o debljini piljenica u njemu.

Specifična površina koju zauzima karakterističan prizmatični složaj za okrajčanu građu iznosi 0.8 do 1.2 m²/m³ te 1.2 - 1.5 m²/m³ za neokrajčenu građu. Piljenice se podlažu letvicama dimenzija 25 x 25 mm. Na stovarištu se u visinu slažu najviše tri složaja.

Složajevi se od atmosferskih utjecaja zaštićuju aluminijskim pokrivačem.

Materijal

Ispitivanje je obavljeno na slijedećim vrstama listača navedenih debljina piljenica:

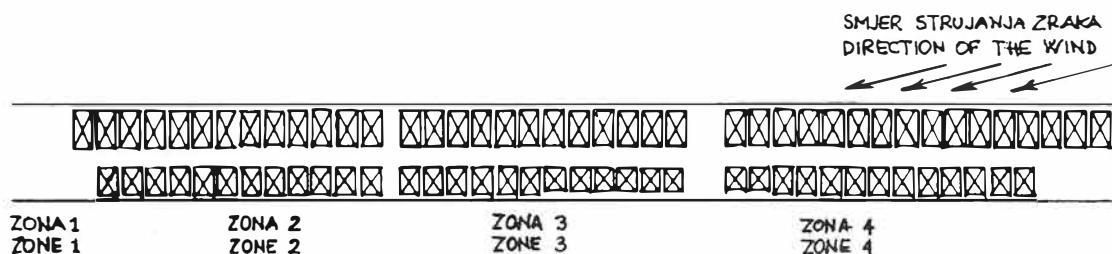
- grabovina	d = 25 mm
- bukovina	d = 25 mm
- cerovina	d = 25 mm
- topolovina	d = 25; 50 mm
- lipovina	d = 25; 50 mm
- hrastovina	d = 50 mm
- bagremovina	d = 60 mm

Za ispitivanje su uglavnom upotrijebljene neokrajčane piljenice ispiljene u obliku bočnica i blistača, a bile su različitih kvalitativnih razreda.

Za praćenje sadržaja vode izrađeni su probni uzorci od piljenica svih navedenih vrsta drva i debljina, i to tako da je s čela slučajno odabrane piljenice odstranjen dio dužine 0.5 m, a zatim je od preostalog dijela piljenice izrađen probni uzorak dužine 1 m. Čela svih probnih uzoraka premazana su zaštitnim sredstvom protiv pretjeranog isušivanja.

Metoda rada

Prije početka ispitivanja pripremljeni su probni uzorci izvagani i postavljeni na predviđena mjesta u složajeve. Tijekom prirodnog sušenja pojedina su vaganja obavljana



Slika 1. Izgled stovarišta
Figure 1. Scheme of the stockyard

približno svakih 7-10 dana. Nakon završetka praćenja procesa prirodnog sušenja iz sredine svakoga probnog uzorka ispiljene su male probe pomoću kojih je utvrđen sadržaj vode u drvu tijekom posljednje izvege.

Rezultati konačnih sadržaja vode (Uk) pomoću malih proba dani su u tablici 1. Početni sadržaj vode (Up) izračunan je retrogradno.

Sadržaj vode malih proba
Moisture content of small specimens

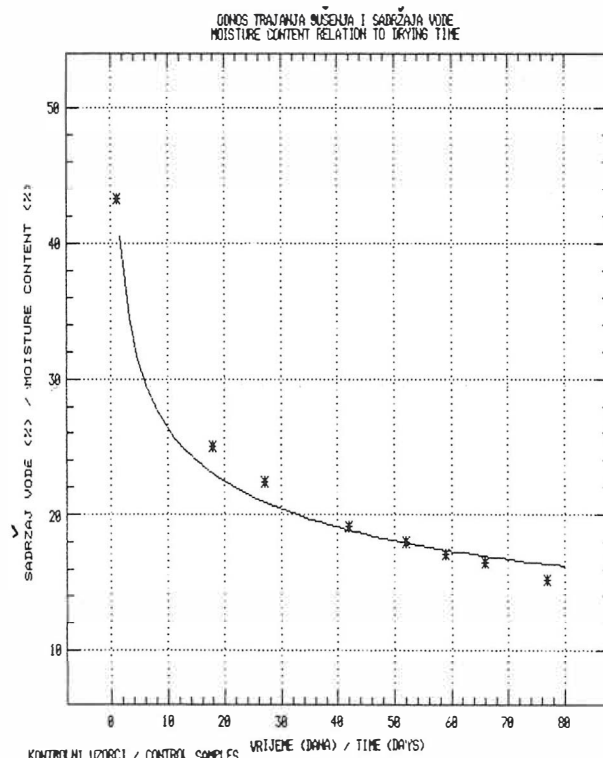
Tablica 1.
Table 1.

Vrsta drva Wood species	Debljina uzorka Thickness (mm)	Sadržaj vode Moisture content (%)
Grabovina Horn-beam wood	25	15.57
Cerovina Bitter-oak wood	25	13.98
Bukovina Beech wood	25	14.98
Hrastovina Oak wood	50	15.29
	50	16.44
Bagremovina Locust wood	60	20.33
	60	16.49
Topolovina Poplar wood	25	14.62
	50	15.87
	50	13.36
Lipovina Limewood	25	15.49
	50	14.30
	50	12.07

4. REZULTATI

Rezultati su prikazani u tablici 2. i poslužili su kao osnova za izradu dijagrama 1. (sl. 3), na kojemu je prikazana promjena sadržaja vode za vrijeme prirodnog sušenja i krivulja prema kojoj se odvijao pad sadržaja vode u drvu. Na apscisi je označeno trajanje sušenja, a na ordinati sadržaj vode kontrolnih uzoraka.

Tablica 2. prikazuje vrijednosti sadržaja vode u svim ispitivanim uzorcima tijekom sušenja. Na osnovi tih vrijednosti određena je jednadžba krivulje ravnotežnog sadržaja vode tijekom procesa prirodnog sušenja.



Slika 2. Krivulja vrijednosti sadržaja vode u ovisnosti o trajanju sušenja

Figure 2. The moisture content curve related to drying time

Sadržaj vode ispitnih uzoraka tijekom sušenja
Moisture contents of samples during drying

Tablica 2.
Table 2.

Vrsta drva Wood species	Debljina uzorka Thickness (mm)	Dan izmjere				Day of Measurement			
		1.	18.	27.	42.	52.	59.	66.	77.
Sadržaj vode (%) Moisture content (%)									
Grabovina Horn-beam wood	25	21.19	18.52	17.93	17.93	17.33	16.15	16.15	15.57
Cerovina Bitter oak wood	25	25.02	20.39	18.61	17.19	16.83	16.12	15.82	13.98
Bukovina Beech wood	25	46.04	24.64	22.08	20.66	19.52	17.25	15.82	14.98
Hrastovina Oakwood	50	30.96	25.38	23.01	20.22	18.61	18.20	18.20	18.20
	50	29.87	25.03	22.50	20.61	19.34	18.92	17.87	16.44
Bagremovina Locustwood	60	43.45	30.38	28.48	25.26	23.75	19.20	22.04	20.33
	60	43.30	25.77	23.61	21.24	20.10	18.35	16.50	16.49
Topolovina Poplarwood	25	26.90	15.30	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62	14.62
	50	80.47	45.21	35.95	25.74	20.63	19.51	17.76	15.87
	50	109.04	39.71	29.31	19.60	16.66	15.79	14.40	13.36
Lipovina Limewood	25	43.96	21.63	21.63	20.86	19.32	17.78	17.01	15.49
	50	33.11	19.16	17.59	15.08	14.30	14.30	14.30	14.30
	50	27.25	16.95	15.55	14.16	13.81	13.81	13.11	12.07
Srednja vrijednost Average		43.17	25.12	22.43	19.24	18.01	17.13	16.54	15.29

5. DISKUSIJA

Ispitivanjem sadržaja vode u drvu tijekom prirodnog sušenja utvrđena je njegova srednja vrijednost od 15.28% za sve ispitivane vrste drva i debljine piljenica, što je prema (2) za 2.38% više od vrijednosti prosječnog ravnotežnog sadržaja vode tijekom srpnja i za 0.98% više od vrijednosti prosječnog ravnotežnog sadržaja vode tijekom kolovoza na tom području (ravnotežni sadržaj vode u drvu na tom području za srpanj iznosi 12.9%, a za kolovoz 14.3%).

Prema (2), 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 približno su jednaki rezultatima postignutim provedenim istraživanjem (trajanje procesa sušenja piljenica složenih u složaj krajem svibnja iznosilo je 77 dana i pritom je postignuta srednja vrijednost sadržaja vode 15.28%).

Ako se rezultati u ovom istraživanju usporede s rezultatima istraživanja novijeg datuma (1), postignuti sadržaj vode veći je za 1.18% nego u istraživanju (1). Naime prema (1), ravnotežni sadržaj vode drva u srpnju na području meteorološke postaje Osijek iznosi 14.1%.

S obzirom na vrstu drva (tabl. 2), hrastovina i bagremovina zadržale su viši konačni sadržaj vode tijekom prirodnog sušenja nego ostale ispitivane vrste drva.

Preostali sadržaj vode u hrastovini pri posljednjem je mjerenju u nepovoljnijem slučaju iznosio 16.4% (d=50 mm) te 20.33% u bagremovini (60 mm), što je više ako se uspoređi sa sadržajem vode postignutim u lipovini (d=50 mm), koji iznosi 12.07% ili onoga u topolovini (d=50 mm) koji je pri posljednjem mjerenju iznosio 13.36%.

U odnosu prema sadržaju vode na početku prirodnog sušenja, najveći pad vrijednosti sadržaja vode zabilježen je u topolovini (d=50 mm), u kojoj je na početku procesa bilo 109.04% odnosno 80.47% vode, a na kraju procesa sadržaj vode pao je na 13.36% odnosno 15.87%. U bukovini (d=25 mm) je sadržaj vode s početne vrijednosti 46.04% pri posljednjem mjerenju pao na 14.98%.

Najmanju razliku u vrijednosti sadržaja vode na početku i na kraju kontrole procesa prirodnog sušenja imala je grabovina debljine 25 mm. Naime, sadržaj vode s početka sušenja, koji je iznosio 21.19% (ispod točke zasićenosti vlaknanaca) pri posljednjem je mjerenju pao na 15.57%.

Na osnovi dijagrama prikazanoga na slici 3, vidljivo je da tijekom prvih 18 dana postupka prirodnog sušenja drvo gubi najveću količinu vode.

Razlika u sadržaju vode pri početnom mjerenju i mjerenju 18-og dana iznosila je približno 17%, a u sljedeća dva razdoblja ta je razlika bila približno 15%. U kasnijim razdobljima sušenja pad sadržaja vode smanjio se na približno 1-2%. Veliki iznos pada sadržaja vode u početnom razdoblju sušenja rezultat je činjenice da iz drva isparava slobodna voda. U daljnjem toku procesa sušenja vrijednost sadržaja vode u drvu smanjivala se sporije, i to zbog sušenja u području ispod točke zasićenosti vlaknanaca.

Krivulja ovisnosti sadržaja vode o trajanju sušenja prikazana je dijagramom na slici 3. Krivulja je eksponenci-

jalnog oblika, sadrži više različitih faktora (krivulja tzv. multiplikativnog oblika), a njezina jednadžba glasi:

$$Y = a X^b$$

Pritom je $a = 3,80979$, $b = -0,232482$, Y je sadržaj vode, X označava trajanje prirodnog sušenja, uz koeficijent korelacije $-0,986717$.

Korekcijski koeficijent iznosi 11.86, pa krajnji oblik jednadžbe sadržaja vode u ovisnosti o trajanju procesa prirodnog sušenja glasi:

$$Y = 11.86 a X^b$$

Takva jednadžba krivulje sadržaja vode u ovisnosti o trajanju procesa prirodnog sušenja odgovara dobivenim rezultatima, uz vjerojatnost 97.36%.

6. ZAKLJUČAK

Praćenje procesa prirodnog sušenja navedenih vrsta drva listača provedeno je u ljetnom razdoblju u trajanju 77 dana (od 29. svibnja do 13. kolovoza 1993.) na području Belišća.

Na osnovi rezultata izvedeni su slijedeći zaključci.

1. Usporedbom rezultata dotadašnjih ispitivanja i provedenog istraživanja utvrđeno je da su dobiveni rezultati približno jednaki rezultatima prijašnjih istraživanja.

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 15.28%, pa je na ovaj način moguće sušiti sve vrste drva listača do razine sadržaja vode 15-20%, uz naknadno dosušivanje u sušionici do željenog sadržaja vode.

3. Stovarište na kojemu je ispitivanje obavljeno ima povoljne uvjete za prirodno sušenje drva listača tijekom ljetnih mjeseci.

4. Prirodno sušenje potrebno je provoditi ako je dopušteno odlaganje sirovine na stovarištu tijekom dužeg vremenskog razdoblja.

5. Daljnjim prirodnim sušenjem drva ravnotežni se sadržaj vode ne bi više bitno smanjivao zbog nepovoljnih uvjeta sušenja tijekom preostalog godišnjeg razdoblja.

6. Provedeno je ispitivanje 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.

7. LITERATURA

- [1] Dimitrov, T.: Klima i prirodno sušenje drva. Drvna industrija, SV. 43, broj 2, str. 62-70. Zagreb, 1992.
- [2] Krpan, J.: Sušenje i parenje drva. Šumarski fakultet Zagreb, 1965.
- [3] xxx: Šumarska enciklopedija. SV. I i II, Zagreb, 1986.