

Stjepan Pervan, Ivica Grbac, Ljiljana Luketić

Ispitivanje konačnog sadržaja vode kao čimbenika kvalitete sušenja

Research on final moisture content as a factor of wood drying quality

Izvorni znanstveni rad - Original scientific paper

Prispjelo - received: 08. 06. 1998. • Prihvaćeno - accepted: 17. 06. 1998.

*UDK 634*847.2*

SAŽETAK • U sušenju piljene građe nužno je pravilno ocijeniti kvalitetu cjelokupnog postupka sušenja na način da se maksimalno pojednostavi određivanje razine kvalitete, uz prilagodbu industrijskim uvjetima. Vrednovanje konačnog sadržaja vode dio je tog cjelokupnog nastojanja. Radi određivanja klase kvalitete sušenja s obzirom na konačni sadržaj vode, a prema budućoj obveznoj normi, obavljeno je ispitivanje konačnog sadržaja vode hrastovih elemenata 270 mm dužine, 58 mm širine i 27 mm debljine I do III klase kvalitete prema hrvatskim normama u dva sušenja u klasičnoj komornoj sušionici. Konačni sadržaji vode utvrđeni su elektrootpornim načinom i gravimetrijskom metodom na po 30 uzoraka iz svakog sušenja. Nakon izmjere električnim vlagomjerom svaki je element izrezan na 18 manjih uzoraka za gravimetrijsku metodu da bi se utvrdila veličina rasipanja vrijednosti konačnog sadržaja vode uzoraka s obzirom na vrijednosti određene u budućoj normi. Gravimetrijska metoda pokazala je kolika su stvarna odstupanja izmjera vlagomjerom u odnosu prema izmjerama mase uzoraka, te kolike su razlike u sadržaju vode u unutrašnjim i vanjskim slojevima ispitivanih elemenata. Procjena srednjeg sadržaja vode (na 1/3 debljine elementa mjerena električnim vlagomjerom) nije dala očekivane visoke rezultate, ako se izmjere usporede s izmjerama postignutim gravimetrijskom metodom. Razlike konačnog sadržaja vode između 1/6 i 1/2 debljine uzorka svrstane su prema standardu u najvišu klasu, što pokazuje da je postupak kondicioniranja u navedenim procesima vrlo dobro izveden. Na temelju rezultata moguće je zaključiti, da je stvarni sadržaj vode u drvu različit u odnosu prema vrijednostima izmjerenim električnim vlagomjerom, da ima velika rasipanja, te da je navedene prijedloge metoda standardiziranih ispitivanja i određivanja klase kvalitete sušenja potrebno ipak uzeti s određenim oprezom. Navedeni načini rada lakši su za primjenu u praksi, ali daju i nepreciznije rezultate.

Autori su asistent, izvanredni profesor i svršeni student na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu
Authors are a research assistant, an associate professor and a student, respectively at the Faculty of forestry of the Zagreb University.

Ključne riječi: hrastovi elementi, kvaliteta sušenja, sadržaj vode.

SUMMARY • In lumber drying there is a strong need for the right evaluation of the whole process, in a way to simplify the determination of drying quality class as much as possible with respect to the industrial needs. The evaluation of the final MC is part of these wishes. According to the future obligatory standard, a research of final moisture content was made, for the purpose of the drying quality class determination. The materials used were oakwood dimension parts (270 by 58 by 27 mm) for parquet production being from 1st to 3rd grades, and they were dried in a conventional kiln dryer in two processes. The final moisture content as estimated by moisture meters and determined using the oven-dry method on each of the 30 samples per kiln load. After the moisture meter reading each sample was sawn into 18 pieces for the oven drying method, to determine the range of moisture readings and to compare it to the future drying quality standard. The oven-dry method showed a difference between the moisture meter readings compared to the oven-dry method results, and the difference in the moisture content between the inner and outer layers of the oakwood dimension parts. An estimation of the moisture content (measured with a moisture meter on 1/3 of the thickness) did not fulfil the expectations, if compared with oven-dry results. The differences in the moisture content between the readings at 1/2 and 1/6 of thickness are classified as the highest possible class, which shows the right conditioning treatment. It can be concluded that the real moisture content in wood is very different compared to the values measured by moisture meters, that it has great dissipation, and that the proposed methods of standardised measurements and drying quality class determination have to be seriously reconsidered. The proposed ways are easier for the industrial praxis but of less precision.

Key words: oakwood dimension parts, drying quality, moisture content.

1. UVOD 1. Introduction

Drvena građa sušena u klasičnim komornim sušionicama vrlo često ne zadovoljava postavljene kriterije glede konačnog sadržaja vode u njoj. Nakon sušenja pojavljaju se prevelike razlike u sadržaju vode u piljenicama, koje pri kasnijoj uporabi drva uzrokuju probleme (npr. promjene oblika, nastanak pukotina, problemi s lijepljenjem i površinskom obradom). U sušenju piljene građe potrebno je pravilno ocijeniti kvalitetu cjelokupnog postupka sušenja tako da se maksimalno pojednostavi postupak određivanja razine kvalitete uz prilagodbu industrijskim uvjetima. Vrednovanje konačnog sadržaja vode dio je tog cjelokupnog nastojanja.

Stoga je potrebno znati neke osnovne činjenice o kvaliteti sušenja. Vrlo se često u postupcima sušenja miješaju pojmovi kvalitete građe i kvalitete sušenja.

Kvaliteta piljene građe postojeće je fizikalno, anatomsko i mehaničko obilježje drva normirano pravilima, a kao pojam se od-

nosi na sva fizikalna svojstva neprerađenog drva, koja već postoje u drvu prije sušenja. Definicija kvalitete drva uključuje obilježja kao što su kvrge, širina goda, smjer vlakana, nakupine smole, zajedno s greškama uzrokovanim djelovanjem životinja, insekata i gljiva.

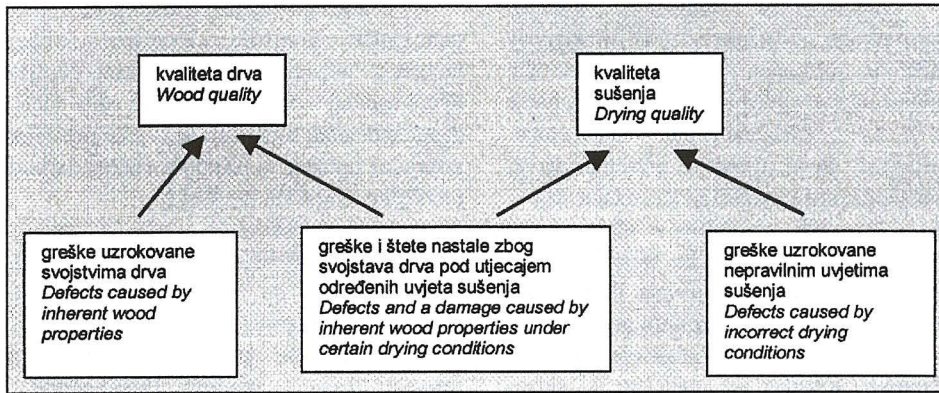
U mnogim slučajevima nepravilnosti samog drva i greške uzrokovane postupkom sušenja mogu se bez teškoće međusobno razlučiti na način prikazan na slici 1.

Na kvalitetu piljene građe je nemoguće u preradi drva znatnije utjecati, dok se na kvalitetu sušenja može uvelike utjecati poboljšanjem kontrole i upravljanjem postupkom sušenja.

Greške koje čine najviše problema su one koje se javljaju tijekom sušenja zbog određenih svojstava drva.

U tablici 1. dan je prikaz najčešćih i najvažnijih svojstava koja se odnose na kvalitetu drva i kvalitetu sušenja.

Razlučivanjem pojmova kvalitete građe i kvalitete sušenja (Denig, J. i Hanover,



Slika 1.
Odnos svojstava drva i svojstava osušene građe s obzirom na sušenje (prema (EDG preporuke, 1994)) • Relation between wood quality and drying quality (according to (EDG recommendations, 1994))

Svojstva koja se odnose na kvalitetu sušenja <i>Properties related to wood quality</i>	Svojstva uvjetovana postupkom sušenja <i>Properties influenced by the drying process</i>
<ul style="list-style-type: none"> • mehanička svojstva <i>Mechanical properties</i> • gustoća <i>Density</i> • koeficijent utezanja <i>Shrinkage coefficient</i> • smjer vlaknaca <i>Fibre orientation</i> • spiralna žica <i>Spiral grain</i> • isprepletana žica <i>Interlocked grain</i> • reakcijsko drvo <i>Reaction wood</i> • juvenilno drvo <i>Juvenile wood</i> • kvрге <i>Knots</i> • naprezanja rasta <i>Growth stresses</i> • pukotine na granici goda <i>Ring shake</i> • pukotine uzrokovane mrazom <i>Frost checks</i> • nakupine smole <i>Resin pockets</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • konačni sadržaj vode <i>Final moisture content</i> • varijacije sadržaja vode <i>Variation of moisture content</i> <ul style="list-style-type: none"> - po debljini piljenice <i>across the board thickness</i> - po duljini piljenice <i>along the board length</i> - među piljenicama iz cijelog punjenja sušionice <i>within a kiln load</i> - među piljenicama iz veće količine građe <i>within a consignment (lot)</i> • naprezanja zbog sušenja <i>Drying stresses</i> • površinske pukotine <i>Surface checking</i> • unutarnje pukotine <i>Internal checking (honeycombing)</i> • čeonе pukotine <i>End checking</i> • kolaps <i>Collapse</i> • određene promjene oblika <i>Certain deformations</i> • određene promjene boje <i>Certain discolorations</i>

Tablica 1.
Svojstva drva i svojstva na koja utječe postupak sušenja (prema (EDG preporuke, 1994)) • Wood and drying process related properties (according to (EDG recommendations, 1994))

S., 1986) kao ciljevi kontrole kvalitete mogu se navesti:

1. zadovoljavanje zahtjeva glede sadržaja vode prema standardu,
2. smanjenje deklasiranja građe zbog grešaka sušenja,
3. povećanje količine osušene građe u određenom razdoblju (ubrzanje ciklusa sušenja),
4. štednja energije,
5. zadovoljenje ostalih zahtjeva koji se odnose na krajnji proizvod (boja, gradijent sadržaja vode, izostanak promjena oblika).

Te je pojmove potrebno razlikovati radi skorog budućeg uvođenja standarda kvalitete sušenja piljene građe koji će biti obvezan na području EU - a, a dio kojega je i vrednovanje konačnog sadržaja vode. Sva bi osušena građa prema prijedlogu budućeg standarda bila svrstana u tri klase kvalitete sušenja (E – ekskluzivna, Q – kvalitetno osušena i S – standardno osušena) s obzirom na određene kriterije od kojih su konačni sadržaj vode i njegove varijacije svakako najznačajniji.

2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA 2. Previous research

Dosadašnja istraživanja koja se odnose na razlike u konačnom sadržaju vode kao na čimbenik kvalitete sušenja u znatnom su opsegu dio prijedloga budućeg standarda (EDG preporuke, 1994), koji se uvelike temelji na postojećim prijedlozima europske norme (prEN 12169), prema kojima se obavlja provjera konačnog sadržaja vode s obzirom na tri razine prihvatljivosti u odnosu prema prosječnim proizvodnim zahtjevima.

Osim navedenoga, veliku važnost ima dvodijelni standard koji će također biti obvezatan, a definira način određivanja sadržaja vode gravimetrijskom (prEN 175-13.01-1, 1997) i elektrootpornom metodom (prEN 175-13.01-2, 1997), na temelju kojih je obavljeno ispitivanje predočeno u ovom radu.

U istraživanju je prije i nakon provedenog sušenja korišten električni vlagomjer, a gravimetrijska metoda primjenjena je samo nakon sušenja.

S obzirom na vlagomjer, prema (EDG preporuke, 1994), postavljaju se sljedeći zahtjevi.

Vlagomjer mora imati skalu do 30 %, s minimalnom podjelom od 1 % ili manjom i čekić za zabijanje. Također mora imati korekciju temperature i vrste drva ili tablice koje je za tu namjenu izradio proizvođač vlagomjera. Prije upotrebe potrebno ga je umjeriti prema navodima proizvođača. Mjerenje se provodi paralelno s vlakancima. Mjesto mjerenja na uzorku treba biti bez grešaka, a također je potrebno izbjegavati drvo koje sadrži smolu. Izmjera se obavlja 2 do 3 sekunde nakon zabijanja elektroda na udaljenosti 300 mm od kraja, na 1/3 širine uzorka i 1/3 debljine uzorka. Elektrode moraju biti izolirane radi veće pouzdanosti mjerenja.

Pri određivanju rasporeda sadržaja vode na poprečnom presjeku komada drva izmjere se moraju provesti na različitim dubinama, a s obzirom na dozvoljene granične vrijednosti sadržaja vode, koje su za tri klase kvalitete određene za ispitivani slučaj (tablica 2.).

U tim mjerenjima, u kojima se tijekom postupaka kontrole kvalitete trebaju napraviti poprečni presjeci kroz debljinu drva, sadržaj vode može se odrediti zabijanjem igličastih elektroda u svježe prepiljeni poprečni presjek, tj. tako da elektrode budu paralelne s površinom daske.

Izmjere sadržaja vode moraju se obaviti na udaljenosti 300 do 500 mm od oba kraja piljenice da bi se zbog pojačanog isušivanja čela izbjegli pogrešni rezultati. Na polovici duljine piljenice potrebno je provesti dodatne izmjere. Pojedinačne se piljenice ispituju na samo jednome mjestu. Tijekom kontrole kvalitete jednak broj izmjera mora se provesti na sredini kao i na oba kraja piljenice.

U provedenom ispitivanju se pridržavalo svih navedenih načela mjerenja elektrootpornim vlagomjerom, osim zahtjeva o mjerenju na udaljenosti 300 do 500 mm od čela uzorka jer su uzorci bili male dužine (270 mm), pa je mjerenje izvedeno na sredini uzorka.

Tablica 2.

Granične vrijednosti konačnog sadržaja vode za određene klase kvalitete sušenja (prema (EDG preporuke, 1994)) • Moisture content range of values for different classes of drying quality (according to (EDG recommendations, 1994))

U _k = 11 % Final MC = 11 %	
Rasponi vrijednosti Data range	
maks. rasponi U _{1/3} Max. range of MC _{1/3}	(%)
S (U _k ± U _k × 0.3) S (MC ± MC × 0.3)	7,7-14,3
Q (U _k ± U _k × 0.2) Q (MC ± MC × 0.2)	8,8-13,2
E (U _k ± U _k × 0.1) E (MC ± MC × 0.1)	9,9-12,1
maks. razlika U _k Max. difference of final MC	(%)
S (U _k × 0.4) S (MC × 0.4)	4,4
Q (U _k × 0.3) Q (MC × 0.3)	3,3
E (U _k × 0.2) E (MC × 0.2)	2,2

3. CILJ ISTRAŽIVANJA
3. Aim of research

Cilj istraživanja je mjerenje razlika konačnog sadržaja vode u hrastovim elementima određenim gravimetrijskom metodom nakon sušenja, kao i električnim vlagomjerom prije i nakon sušenja s obzirom na željeni sadržaj vode, a uz vrednovanje izmjera prema zahtjevima prijedloga norme za kvalitetu sušenja.

Mjesto Location	Svrha Designation	Oznaka Abbreviation
1/6 debljine (min. 5 mm) 1/6 of thickness (min. 5 mm)	površinski sadržaj vode Surface MC	U _{1/6} MC _{1/6}
1/3 debljine 1/3 thickness	procjena srednjeg sadržaja vode Estimate for mean MC	U _{1/3} MC _{1/3}
1/2 debljine 1/2 thickness	sadržaj vode u sredini Core MC	U _{1/2} MC _{1/2}

Tablica 3:

Mjesta određivanja sadržaja vode unutar debljine daske (prema (EDG preporuke, 1994)) • Placement of measuring points within board depth for determination of moisture content (according to (EDG recommendations, 1994))

To se postiže zabijanjem elektroda elektrootpornog vlagomjera u površinski sloj piljenice (u smjeru vlakancima prema preporuci proizvođača vlagomjera, na dubini od 1/6 debljine, i tada postupnim pomacima prema središtu poprečnog presjeka piljenice na 1/3 i 1/2 debljine piljenice (tablica 3.). Primjenom te metode mogu se odrediti razlike u rasporedu sadržaja vode "nedestruktivnim" načinom, bez potrebe za izradom lamela, i primjenom gravimetrijske metode.

4. MATERIJAL I METODA ISTRAŽIVANJA
4. Research material and method

4.1. Materijal izrade
4.1. Research material

Iz zaliha na stovarištu piljene građe pripremljenima za sušenje, u svibnju je izabrano po 30 uzoraka elemenata dimenzija 270 mm dužine, 58 mm širine i 27 mm debljine bez grešaka, teksture blistače, za svako

od sušenja. Svakom od uzoraka je izmjeren sadržaj vode elektrootpornim načinom prije i nakon sušenja prema (prEN 175-13.01-2, 1997) i (EDG preporuke, 1994), a koje izmjere su dane u tablicama 3 i 4.

Mjerenja su obavljena električnim vlagomjerom VIVA 12 proizvođača Vanicek (kontrolni sustav i sušionice su također proizvedene u istoj tvrtki), pri temperaturi okoline i drva 6,7 °C prije početka sušenja i 18,7 °C prije početka sušenja 2. Nakon sušenja temperatura okoline i drva iznosila je za prvo sušenje 14,3 °C i 9,8 °C za drugo.

4.2. Metoda istraživanja 4.2. Research method

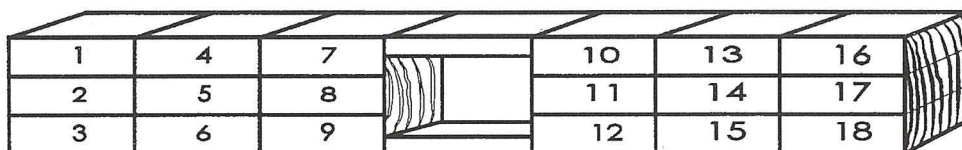
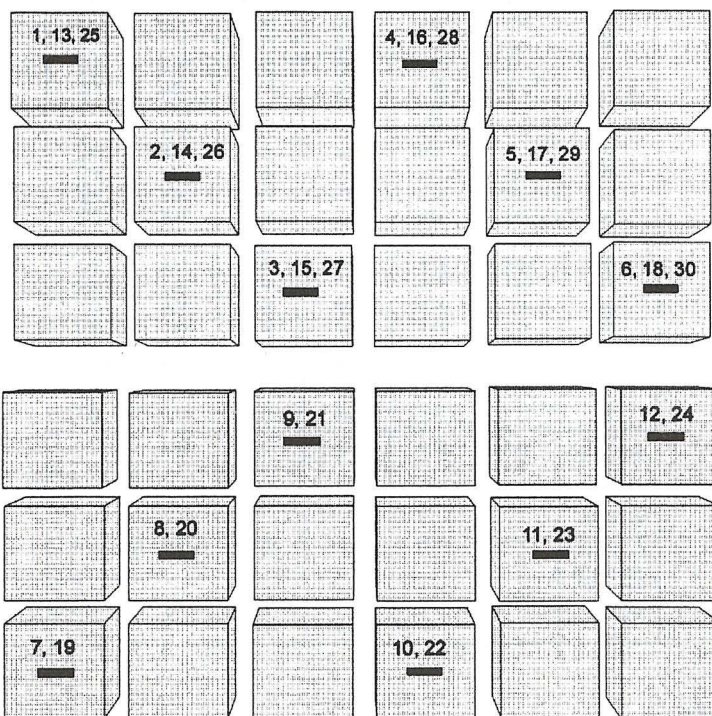
Sušenja su provedena u klasičnoj komornoj sušionici s tri aksijalna ventilatora velikog promjera i malog broja okretaja smještenima u visini složajeva. U sušionici je slagano 90 paleta složajeva, prema hrvatskim normama I. do III. klase kvalitete u prvom sušenju i I. klase kvalitete u drugom sušenju. Složajevi su slagani po šest u širinu, tri u visinu i pet redova u dužinu sušionice.

U složajeve koji su se sušili u sušionici

uzorci su postavljeni na način da pravilno prezentiraju sušenje svih uzoraka u sušionici. U prvom, trećem i petom redu uzorci su postavljeni na način prikazan na slici 2., a u drugom i četvrtom redu na način prikazan na slici 3.

Sušenja su provedena prema proizvođačevom režimu sušenja za navedenu debljinu hrastovih piljenica. Početni sadržaj vode za oba sučaja iznosio je 90%, a željeni konačni sadržaj vode je trebao biti 11%. Prvo sušenje je trajalo 774 sata (prosječna brzina sušenja 2,3% dnevno), a drugo 749 sati (prosječna brzina sušenja 3,65% dnevno).

Nakon završetka postupka sušenja iz 30 pokusnih uzoraka svakog procesa nakon mjerenja električnim vlagomjerom izrezani su uzorci koji su poslužili za daljnje ispitivanje sadržaja vode gravimetrijskom metodom na način prikazan na slici 4. Središnji dio svakog od 30 uzoraka iz pojedinog sušenja korišten je za ispitivanje gradijenta vlažnosti elektrootpornim načinom, a također i za utvrđivanje skorjelosti (što će biti tematika budućih istraživanja). Preostala dva dijela svakog elementa poslužila su za ispitivanje sadržaja vode po debljini uzorka, te je stoga svaki od njih ispiljen na devet lamela.



Slika 2.
Položaj i način slaganja uzoraka u prvom, trećem i petom redu • Location of specimens within stacks in 1st, 3rd and 5th row

Slika 3.
Položaj i način slaganja uzoraka u drugom i četvrtom redu • Location of specimens within stacks in 2nd and 4th row

Slika 4.
Način izrade pokusnih uzoraka iz jednog hrastova elementa • Method of sampling from an oakwood dimension part

Navedene lamele poslužile su za prikaz varijacija konačnog sadržaja vode po debljini.

električnog vlagomjera na 1/6, 1/3 te 1/2 debljine elemenata. Dobiveni rezultati predočeni su u tablici 5.

5. REZULTATI MJERENJA
5. Measurement results

Sadržaj vlažnosti određivan je električnim vlagomjerom prije početka i nakon sušenja na sredini pokusnog uzorka, na dubini 1/3, 1/6 te 1/2 debljine .

5.1. Početak sušenja
5.1. Beginning of the drying process

U tablici 4. dane su izmjere sadržaja vode električnim načinom prije početka obaju sušenja.

5.2.2. Izmjera sadržaja vode gravimetrijskom metodom
5.2.2. Oven dry method moisture readings

Iz ostala dva dijela piljenice iz koje je prije izrezana proba za skorjelost ispiljeno je 18 lamela (od svakoga dijela po 9 lamela). Da bi se odredio sadržaj vode u lamelama, na svih 540 komada (30 uzoraka x 18 lamela) primijenjena je gravimetrijska metoda.

Dobiveni rezultati prikazani su u tablicama 6. i 7., u kojima je za svaki od 30 uzoraka naveden srednji sadržaj vode (U_{sr} ili $U_{1/3}$) i za svaku od 18 lamela srednji sadržaj vode na osnovi mjerenja svih 30 uzoraka.

Tablica 4.

Podaci dobiveni mjerenjem električnim vlagomjerom prije početka sušenja – sušenje 1 i 2 • Moisture meter readings before the drying process began – drying process 1 and 2

Broj uzorka Sample number	Sušenje 1 / Drying process 1			Sušenje 2 / Drying process 2		
	Sadržaj vode / Moisture content					
	$U_{1/6}$	$U_{1/3}$	$U_{1/2}$	$U_{1/6}$	$U_{1/3}$	$U_{1/2}$
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	31,7	35,4	46,0	44,7	56,5	52,0
2	43,0	50,6	59,3	47,0	55,0	56,0
3	46,7	48,1	51,2	41,0	51,0	53,0
4	37,3	42,2	44,4	53,0	60,0	62,0
5	32,2	35,5	37,9	64,0	78,0	78,0
6	45,7	56,6	64,1	61,0	69,5	75,5
7	55,4	60,1	76,7	68,5	75,0	77,0
8	53,0	56,7	62,4	67,0	74,0	77,0
9	44,1	52,3	69,0	80,3	85,0	87,0
10	47,2	56,1	60,2	60,0	67,0	71,0
11	40,9	49,7	55,7	64,5	73,0	74,0
12	44,3	51,5	59,3	65,0	72,0	75,0
13	48,8	56,7	68,5	67,0	75,0	77,0
14	44,4	52,8	62,5	66,0	77,0	77,5
15	40,6	53,7	67,5	57,5	66,0	68,0
16	53,7	63,7	68,7	57,2	67,7	72,0
17	42,2	50,8	62,3	59,0	67,0	70,0
18	46,6	57,3	63,6	60,0	71,0	75,0
19	52,0	57,3	65,2	65,0	69,0	66,0
20	52,0	61,5	68,2	71,0	75,0	77,0
21	42,7	52,5	58,1	68,5	73,0	75,0
22	46,3	54,6	55,3	70,0	76,0	77,5
23	46,3	57,6	59,3	59,2	64,6	66,8
24	46,4	56,8	59,7	54,5	61,0	64,0
25	48,5	53,8	60,8	56,0	64,0	68,0
26	49,7	59,7	63,2	56,0	63,0	67,0
27	49,6	51,6	60,2	64,5	72,0	75,0
28	39,0	48,1	52,5	62,0	72,0	74,5
29	45,2	56,9	59,7	67,0	70,0	71,5
30	38,9	47,0	55,5	62,5	71,0	73,0
U_{sr} Average MC	45,1	52,9	59,9	61,3	68,9	71,0
σ_{n-1} Standard deviation	5,72	6,61	7,97	8,13	7,29	7,83
Koeficijent varijacije (%) Coefficient of variation (%)	12,70	12,49	13,31	13,27	10,57	11,03
Maksimum Max.	55,4	63,7	76,7	80,3	85,0	87,0
Minimum Min.	31,7	35,4	37,9	41,0	51,0	52,0

5.2. Kraj sušenja
5.2. The end of the drying process

5.2.1. Izmjera konačnog sadržaja vode električnim vlagomjerom
5.2.1. Final moisture meter readings

Nakon završetka obaju sušenja ponovno izmjeren sadržaj vode pomoću

Lamele broj 1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 15, 16 i 18 predočuju sadržaj vode u površinskom sloju piljenice. Lamele 2, 5, 8, 11, 14 i 17 predočuju raspodjelu sadržaja vode u središnjem sloju.

Na slikama 5., 6. i 7. dani su grafički prikazi konačnog sadržaja vode u uzorcima obaju sušenja, a određeni su gravimetrijskom meto-

Broj uzorka Sample number	Sušenje 1 / Drying process 1			Sušenje 2 / Drying process 2		
	Sadržaj vode / Moisture content					
	U _{1/1}	U _{1/2}	U _{1/2}	U _{1/1}	U _{1/2}	U _{1/2}
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	11,2	12,1	12,9	9,3	10,0	10,9
2	12,1	13,8	13,8	9,1	9,7	10,0
3	11,5	11,6	12,6	9,9	10,7	11,2
4	10,1	11,5	12,5	11,7	12,4	12,9
5	9,8	10,6	11,4	9,3	10,1	10,7
6	9,0	9,5	10,4	9,9	10,6	10,6
7	10,8	11,1	12,0	9,1	9,7	9,9
8	12,2	13,2	13,8	13,8	15,1	15,3
9	11,0	11,9	12,9	10,1	10,7	11,1
10	10,6	11,8	12,6	8,9	9,7	10,0
11	8,3	9,7	10,8	12,0	13,0	13,8
12	10,3	11,4	11,9	9,7	10,8	11,1
13	10,3	11,6	11,9	9,6	10,8	11,6
14	10,8	12,0	12,5	8,4	8,6	8,6
15	11,0	12,0	12,4	7,9	8,4	8,4
16	11,5	12,7	13,3	9,6	10,5	10,5
17	10,0	10,9	11,9	10,3	11,2	11,2
18	9,7	10,5	10,9	11,8	13,2	13,2
19	9,6	10,8	11,9	7,6	7,9	7,8
20	8,9	9,6	9,8	10,2	11,4	11,4
21	14,0	14,9	16,2	10,3	11,8	11,8
22	10,5	12,3	13,0	9,0	10,1	10,1
23	12,1	12,5	13,6	9,6	10,7	10,7
24	13,8	15,3	16,7	11,8	15,5	15,5
25	15,0	16,0	17,4	13,0	14,6	14,6
26	15,3	17,8	19,5	10,3	12,8	12,8
27	12,0	15,0	16,1	11,6	12,7	12,7
28	9,7	11,2	11,2	11,1	12,2	12,2
29	11,5	12,3	12,8	10,3	12,1	12,1
30	10,4	11,1	11,7	12,9	13,9	13,9
Usr. Average MC	11,10	12,22	13,01	10,27	11,36	11,56
σ_{n-1} Standard deviation	1,69	1,94	2,18	1,50	1,91	1,90
Koeficijent varijacije (%) Coefficient of variation (%)	15,22	15,89	16,74	14,62	16,78	16,40
Maksimum Max.	15,30	17,80	19,50	13,80	15,50	15,50
Minimum Min.	8,30	9,50	9,80	7,60	7,90	7,80

Tablica 5.

Podaci dobiveni mjerenjem električnim vlagomjerom nakon sušenja 1 i 2 • Moisture meter readings after the drying process 1 and 2

Broj uzorka Sample number	U _{sr} Average MC	Broj lamele Smaller sample number	U _{sr} Average MC
1	8,40	1	8,30
2	9,68	2	8,61
3	8,63	3	8,62
4	8,64	4	8,83
5	8,65	5	9,70
6	10,44	6	8,85
7	8,17	7	9,10
8	8,80	8	10,13
9	8,55	9	9,05
10	9,05	10	8,90
11	8,52	11	9,93
12	8,68	12	9,04
13	8,13	13	8,76
14	8,63	14	9,82
15	8,73	15	8,67
16	9,53	16	8,28
17	8,39	17	10,03
18	7,91	18	8,28
19	8,44	Usr. Average MC	8,63
20	7,88	σ_{n-1} Standard deviation	1,97
21	9,94	Koeficijent varijacije (%) Coefficient of variation (%)	22,88
22	8,76	Maksimum Max.	10,13
23	9,02	Minimum Min.	0,61
24	10,30		
25	13,59		
26	10,13		
27	10,01		
28	8,32		
29	8,90		
30	8,37		
Usr. Average MC	9,05		
σ_{n-1} Standard deviation	1,11		
Koeficijent varijacije (%) Coefficient of variation (%)	12,25		
Maksimum Max.	13,59		
Minimum Min.	7,88		

Tablica 6.

Izmjere sadržaja vode gravimetrijskom metodom - sušenje 1 • Oven dry method readings after the drying process 1

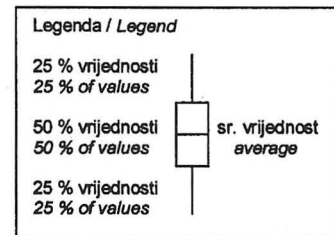
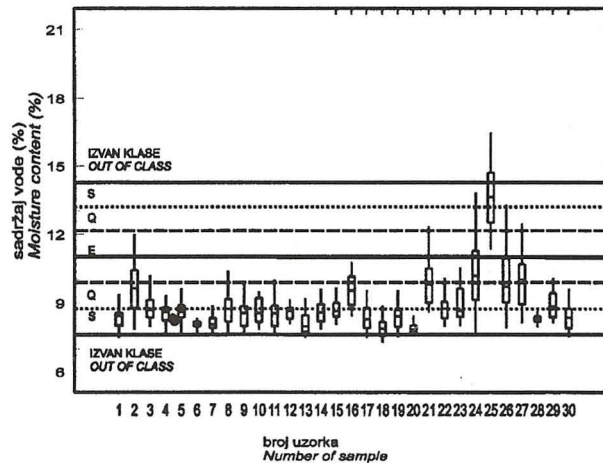
Tablica 7.

Izmjere sadržaja vode gravimetrijskom metodom - sušenje 2 • Oven dry method readings after the drying process 2

Broj uzorka Sample number	U _{ar} Average MC	Broj lamele Smaller sample number	U _{ar} Average MC
1	8,58	1	8,70
2	8,81	2	8,83
3	8,95	3	8,63
4	8,94	4	8,95
5	8,77	5	9,39
6	8,82	6	8,78
7	8,28	7	9,01
8	10,55	8	9,61
9	8,65	9	9,18
10	8,68	10	9,07
11	9,81	11	9,56
12	8,85	12	9,09
13	9,51	13	8,88
14	8,87	14	9,35
15	8,35	15	8,99
16	8,70	16	8,60
17	8,92	17	8,89
18	9,99	18	8,63
19	8,17	U _{ar} Average MC	8,57
20	9,03	σ _{n-1} Standard deviation	1,97
21	9,33	Koeficijent varijacije (%) Coefficient of variation (%)	22,94
22	8,80	Maksimum Max.	9,61
23	8,89	Minimum Min.	0,31
24	9,75		
25	9,30		
26	8,87		
27	8,57		
28	9,31		
29	8,91		
30	9,59		
	U _{ar} Average MC		9,01
	σ _{n-1} Standard deviation		0,53
	Koeficijent varijacije (%) Coefficient of variation (%)		5,92
	Maksimum Max.		10,55
	Minimum Min.		8,17

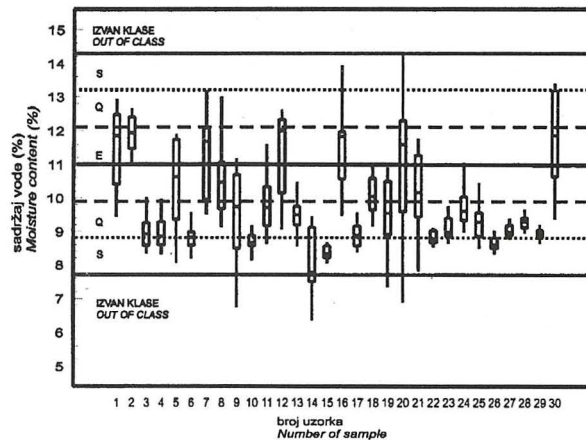
Slika 5:

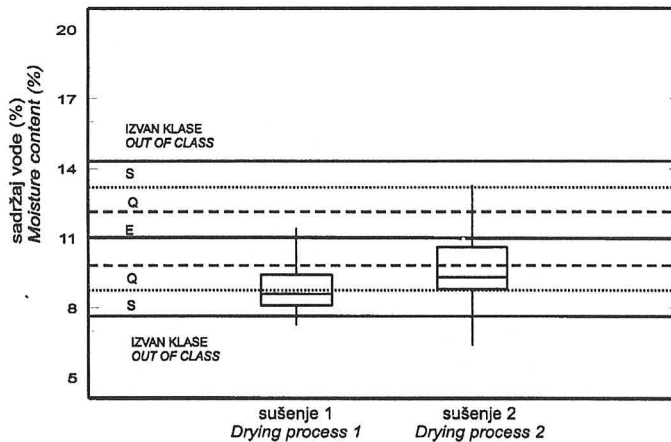
Konačni sadržaji vode probnih uzoraka određeni gravimetrijskom metodom s obzirom na standardom dopuštene granice – sušenje 1 • Final MC of samples determined by oven-dry method in relation to standard allowed class limits – drying process 1



Slika 6:

Konačni sadržaji vode probnih uzoraka određeni gravimetrijskom metodom s obzirom na standardom dopuštene granice – sušenje 2 • Final MC of samples determined by oven-dry method in relation to standard allowed class limits – drying process 2





Slika 7:
Srednja vrijednost konačnih sadržaja vode probnih uzoraka određenih gravimetrijskom metodom s obzirom na standardom dopuštene granice – oba sušenja Average final MC of samples determined by oven-dry method in relation to standard allowed class limits – drying processes 1 and 2

dom, zajedno s njihovim skupnim prikazom u odnosu prema ciljanom konačnom sadržaju vode od 11 % i dopuštenoj granici prema prijedlogu standarda (EDG prporuke, 1994).

6. DISKUSIJA 6. Discussion

Prema prijedlogu standarda za određivanje kvalitete sušenja piljene građe pomoću klasa kvalitete S - standard, Q - dobro osušena i E - eskluzivna, navodi se da 90% uzoraka mora imati određeni sadržaj vode na 1/3 uzorka (što čini procjenu srednjeg sadržaja vode) da bi se zadovoljili određeni uvjeti pojedine klase (tablica 2 - granične vrijednosti za određenu klasu kvalitete s obzirom na ciljani konačni sadržaj vode).

Prema rezultatima navedenima u tablici 5, u kojima su sadržaji vode izmjereni električnim vlagomjerom, vidljivo je da u odnosu prema navedenom postotku od 90 %, koji moraju zadovoljavati uzorci za određenu klasu, gornju granicu sadržaja vode izmjenjenog vlagomjerom zadovoljava samo 83 % uzoraka za klasu S. To znači da su ti uzorci iz sušenja 1 izvan klase s obzirom na gornju granicu dopuštenih odstupanja konačnog sadržaja vode. Donju granicu konačnog sadržaja vode s obzirom na vrijednost za klasu E zadovoljava 90 % uzoraka, što znači da je građa dovoljno osušena (nije presušena). Razlike u sadržaju vode u vanjskim i unutarnjim slojevima pokazuju da sušenje 1 pripada Q - klasi, jer 93% uzoraka zadovoljava navedeni kriterij.

U sušenju 2 gornju granicu sadržaja vode izmjenjenog vlagomjerom zadovoljava 90 % uzoraka za klasu Q. Donju granicu konačnog sadržaja vode s obzirom na vrijednost za klasu S zadovoljava 90 % uzoraka. Razlike sadržaja vode u vanjskim i unutarnjim slojevima pokazuju da sušenje 2 pripada

E - klasi, jer 93% uzoraka zadovoljava navedeni kriterij.

Za razliku od iznesenih rezultata, prema podacima navedenima u tablicama 6. i 7. u kojima su sadržaji vode izmjereni gravimetrijskom metodom, gornju granicu sadržaja vode utvrđenog gravimetrijskom metodom zadovoljava 96,7 % uzoraka za klasu E (sušenje 1). Donju granicu konačnog sadržaja vode zadovoljava 100 % uzoraka s obzirom na vrijednost za klasu S. Razlike sadržaja vode u vanjskim i unutarnjim slojevima pokazuju da sušenje 1 pripada E - klasi, jer 96,7 % uzoraka zadovoljava navedeni kriterij.

U sušenju 2 gornju granicu sadržaja vode izmjerenu gravimetrijskom metodom zadovoljava 100 % uzoraka za klasu E. Donju granicu konačnog sadržaja vode s obzirom na vrijednost za klasu S zadovoljava 90 % uzoraka. Razlike sadržaja vode u vanjskim i unutarnjim slojevima pokazuju da sušenje 2 pripada E - klasi, jer 100 % uzoraka zadovoljava navedeni kriterij.

Osim utvrđivanja klasa kvalitete sušenja pomoću navedenih metoda, izradom lamela pri primjeni gravimetrijske metode željelo se dobiti što veći uzorak za kvalitetnije određivanje rasipanja vrijednosti konačnog sadržaja vode u odnosu prema graničnim vrijednostima zadanih standardom. Ta rasipanja utvrđenih vrijednosti pojedinih kontrolnih uzoraka prikazana su na slikama 5, 6 i 7.

Iz tih je slika vidljivo da je stvarni sadržaj vode u drvu vrlo različit u usporedbi s vrijednostima izmjenjenim električnim vlagomjerom, da ima velika rasipanja te da je navedene metode standardnih ispitivanja i određivanja klasa kvalitete sušenja potrebno ipak uzeti s određenim oprezom. Lakše ih je primijeniti u praksi, ali daju i nepreciznije rezultate.

Jedan od razloga problema pri korištenju elektrootpornog vagomjera jest da se javljaju rasipanja izmjerenih vrijednosti u minimalnom iznosu od 1 do 2%, a također je teško očekivati da će vlagomjeri različitih proizvođača davati jednake izmjere u slučaju ako ih se ne umjeri.

Provođenjem T testa na rezultatima ovog istraživanja utvrđeno je da je uz 95%-tnu vjerojatnost, moguće odbaciti tvrdnju da su rezultati oba sušenja jednaki očekivanoj vrijednosti od 11% konačnog sadržaja vode, osim u slučaju izmjere Uk električnim vlagomjerom u sušenju 2.

7. ZAKLJUČAK

7. Conclusion

Na temelju provedenog ispitivanja može se zaključiti sljedeće.

1. Procjena srednjeg sadržaja vlažnosti (vlažnost na 1/3 debljine uzorka mjerena električnim vlagomjerom) nije dala očekivano visoke rezultate (riječ je o jednom od kvalitetnijih sušioničkih pogona u Hrvatskoj) s obzirom na prijedlog budućeg standarda, ako se rezultati usporede s izmjerama postignutim gravimetrijskom metodom, što znači da je predlog standarda preoštara za navedene metode ispitivanja.

2. Razlike konačnog sadržaja vode između 1/6 i 1/2 debljine uzorka prema standardu su svrstane u ekskluzivnu klasu, što pokazuje da je postupak kondicioniranja u navedenim procesima vrlo dobro izveden.

3. Gravimetrijska je metoda pokazala da su stvarna odstupanja izmjera vlagomjerom u odnosu prema izmjerama mase uzoraka vrlo velika prema standardu, kao i razlike u sadržaju vode u unutrašnjim i vanjskim slojevima ispitivanih elemenata.

4. Osim provedenog ispitivanja sadržaja vode objema metodama, potrebno je

utvrditi i kolika su zaostala naprezanja u uzorcima, jer su ona također jedan od čimbenika neposredno povezanih s konačnim sadržajem vode i njegovim rasporedom u drvu, što će biti i predmetom budućih istraživanja.

8. LITERATURA

8. References

1. Denig, J., Hanover, S. 1986: Practical quality control techniques. Proceedings 47356 from conference "Drying Softwood and hardwood lumber for quality and profit". Charlotte, North Carolina. Forest Products Research Society 1990, p. 34-35.
2. *** : HRN DA. 1. 040. Ispitivanje fizičkih i mehaničkih svojstava drva - određivanje vlage
3. *** 1994: Assessment of drying quality of timber. European Drying Group recommendation. Pilot edition (for testing), 28 p.
4. *** 1997: Criteria for the assessment of conformity of a lot of sawn timber. European standard - draft prEN 12169, European Committee for Standardization, p. 8. Brussels
5. *** 1997: Round and sawn timber - Method of measurement of moisture content - Part 1: Method for determining moisture content of a piece of sawn timber (Oven-dry method). European standard - draft prEN (175-13.01-1) (WI 88), European Committee for Standardization, p. 5.Brussels
6. *** 1997: Round and sawn timber - Method of measurement of moisture content - Part 2: Method for estimating moisture content of a piece of sawn timber (Electrical method). European standard - draft prEN (175-13.01-2) (WI 89), European Committee for Standardization, p. 5.Brussels

Zahvala

Autori bi se ovom prilikom željeli najsrdačnije zahvaliti vlasniku i djelatnicima tvrtke Arena iz Križevaca na pomoći pri izradi ovoga rada, tj. na pripremi uzoraka i korištenju sušioničkih pogona.