

PROPRIETĂȚILE FIZICE ALE  
DURAMENULUI ȘI ALBURNULUI DE  
*EUCALYPTUS GRANDIS*

THE PHYSICAL PROPERTIES OF  
HEARTWOOD AND SAPWOOD OF  
*EUCALYPTUS GRANDIS*

**Bekir Cihad BAL\***

Dr. Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Forestry, Department of Forest Products Engineering  
Address: 46060, Kahramanmaraş, Turkey  
E-mail: [bcbal@hotmail.com](mailto:bcbal@hotmail.com)

**İbrahim BEKTAŞ**

Prof. Dr. Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Forestry, Department of Forest Products Engineering  
Address: 46060, Kahramanmaraş, Turkey

**Rezumat:**

În acest studiu au fost determinate câteva proprietăți fizice ale duramenului și alburnului de *Eucalyptus grandis* crescut în regiunea Karabucak din Turcia. Proprietățile fizice determinate au fost: densitatea lemnului la umiditatea de echilibru, densitatea lemnului anhidru sau densitatea absolută, densitatea aparentă convențională, contragerea, umflarea, umiditatea de saturație a fibrei și umiditatea maximă. Pe baza rezultatelor obținute, proprietățile fizice ale epruvetelor din duramen au fost diferite de cele ale epruvetelor similare din alburn, datorită prezenței, în proporție mare, a lemnului juvenil în zona de duramen. Se poate spune că, umflarea și contragerea au fost mai bune în duramen decât în alburn. Densitatea lemnului la umiditatea de echilibru, densitatea lemnului anhidru și densitatea aparentă convențională au fost mai mari în alburn decât în duramen.

**Cuvinte cheie:** *E. grandis*; duramen; alburn; proprietăți fizice.

**INTRODUCERE**

În multe părți ale lumii, s-au realizat plantații de specii repede crescătoare pentru a preîntâmpina deficitul de lemn. *E. grandis* este una din speciile repede crescătoare preferate în plantațiile industriale. Însă, acest lemn are unele proprietăți inferioare pentru a putea fi utilizat în mai multe domenii. Astfel, acesta este preferat ca lemn de foc sau pentru industria de celuloză și hârtie. Lemnul juvenil și lemnul adult de *E. grandis* au proprietăți diferite și este important ca acestea să fie determinate pentru a putea utiliza această specie și în alte aplicații.

Mulți cercetători au studiat structura arborilor de eucalipt (Santos ș.a. 2004; Lima ș.a. 2010), alți cercetători au studiat proprietățile sale fizice și mecanice, iar alții utilizările (Castro și Paganini 2003; Acosta ș.a. 2007). Rezultatele cercetărilor au arătat că, proprietățile fizice, mecanice și de structură ale arborilor de eucalipt, depind de locul în care aceștia

**Abstract:**

In this study, some of the physical properties of heartwood and sapwood of *Eucalyptus grandis* grown in Karabucak, Turkey were determined. The physical properties determined were air-dried density, oven-dried density, basic density, shrinkage, swelling, fiber saturation point, and maximum moisture content. According to the test results, the physical properties of the heartwood samples differed from those of the sapwood samples due to the presence of high proportion of juvenile wood in the heartwood. It can be said that the shrinkage and swelling percentages were better for heartwood than sapwood. Air-dried density, oven-dried density, and basic density of sapwood were higher than those of heartwood.

**Key words:** *E. grandis*; heartwood; sapwood; physical properties.

**INTRODUCTION**

Fast-growing tree plantations are being established to overcome the wood shortage in many parts of the world. *E. grandis* is one of the preferred fast-growing tree species in industrial plantations. But its wood has some poor properties to use in many usage areas. So it is preferred for fire wood, pulp and paper industry. Juvenile wood and mature wood of *E. grandis* have different properties and it is important to determine the properties if it is to be used in some additional applications.

Many scientist have studied the anatomy of eucalyptus trees (Santos *et al.* 2004; Lima *et al.* 2010), and other researchers have studied their physical and mechanical properties and other uses (Castro and Paganini 2003; Acosta *et al.* 2007). The research results have indicated that the physical, mechanical, and anatomical properties of eucalyptus tree differ depending on where they were grown. Thus, many researchers have conducted studies on

\* Autor corespondent / Author to whom all correspondence should be addressed

au crescut. Astfel, mulți cercetători si-au concentrat studiile pe aceeași specie, dar crescută în diferite părți ale lumii.

Githiomi și Kariuki (2010) au studiat efectul vârstei, înălțimii, și al albumului comparativ cu duramenul, asupra densității arborelui de *E. grandis* din Kenya. Densitatea aparentă convențională a variat semnificativ cu vârsta arborelui. Cea mai mică densitate a fost măsurată la arborii care au avut vârsta de patru ani, iar cea mai mare, la arborii care au avut vârsta de 10 ani. Referitor la relația dintre densitate și înălțime, tendința generală a indicat că densitatea a scăzut de la bază până la o înălțime de aproximativ 1.20m, apoi aceasta a crescut până la o valoare maximă la 60% din înălțimea totală a arborelui, descrescând iar până la 80% din înălțimea maximă a arborelui. De asemenea, s-a raportat ca densitatea aparentă convențională a lemnului din album este mai mare decât cea a lemnului din duramen. Rezultate similare au fost raportate anterior de Malan (1988).

De asemenea, Castro și Paganini (2003) și Berti ș.a. (2000) au determinat densitatea pentru diferiții hibridi de *E. grandis*. Într-un alt studiu, Lemenih și Bekele (2004) au determinat greutatea specifică și câteva proprietăți mecanice pentru *E. grandis* care crește în Etiopia. Santos ș.a. (2004) au raportat despre greutatea specifică, compresiunea paralelă, rezistența la forfecare și încovoierea statică pentru *E. grandis* din Australia și Brazilia.

În Turcia, arborii de eucalipt au fost introduși, prima oară, în 1885 de către o companie franceză care lucra la căi ferate (Adalı 1944). Prima plantație de *E. camaldulensis* a fost dezvoltată în Tarsus-Karabucak în 1939. În 1967, guvernul Turciei a pus bazele unui institut de cercetare, Eastern Mediterranean Forestry Research Institute, care să conducă cercetările pe arborii de eucalipt. De atunci, Institutul a realizat experimente pe 191 specii de eucalipt din 609 zone (Özkurt 2002). Au fost determinate creșteri medii anuale de 35m<sup>3</sup>/ha pentru *E. camaldulensis* și 50m<sup>3</sup>/ha pentru *E. grandis* (Gürses ș.a. 1995).

Obiectivul acestui studiu a fost acela de a determina câteva proprietăți fizice pentru duramenul și albumul de *E. grandis*, și de a stabili corelații dintre densitate și contragere.

## MATERIALE SI METODE

### Materiale

Arborii utilizați în acest studiu au fost obținuți din regiunea Tarsus-Karabucak din Turcia. În această cercetare au fost utilizați cinci arbori cu vârsta de 10 ani (diametrul la înălțimea pieptului: 29-31cm și înălțimea totală: aproximativ 25-27m). Din acești arbori, pentru proprietățile fizice, au fost tăiate rondele, la înălțimea pieptului. Grosimile rondelilor au fost de 30-35cm. Din aceste rondele au fost tăiate, pe secțiunea transversală, două eșantioane

the same species that were grown in different parts of the world.

Githiomi and Kariuki (2010) studied the effect of age variation, height, and sapwood versus heartwood on the density of *E. grandis* in Kenya. The basic density varied significantly with the age of the tree. The lowest density was measured in trees that were four years old, while the highest density occurred in trees that were 10 years old. Concerning the relationship between height and density, the general trend indicated that density decreased from the ground to a height of approximately four feet, and then it increased to a maximum at 60% of the tree's maximum height before decreasing again at 80% of the tree's maximum height. It also has been reported that the basic density of sapwood is greater than that of heartwood. Similar results were reported earlier by Malan (1988).

Castro and Paganini (2003) and Berti et al. (2000) also determined the density of different *E. grandis* clones. In another study, Lemenih and Bekele (2004) determined the specific gravity and some mechanical properties of *E. grandis* grown in Ethiopia. Santos et al. (2004) reported the specific gravity, parallel compression, shear strength, and static bending of *E. grandis* from Australia and Brazil.

In Turkey, eucalyptus trees were first introduced in 1885 by a French company that was working on the railroads (Adalı 1944). The first *E. camaldulensis* plantation was developed in Tarsus-Karabucak in 1939. The Turkish government established the Eastern Mediterranean Forestry Research Institute in 1967 for conducting research on eucalyptus trees. Since then, the Institute has conducted experiments on 191 eucalyptus species from 609 origins (Özkurt 2002). An average annual increment of 35 m<sup>3</sup>/ha for *E. camaldulensis* and 50 m<sup>3</sup>/ha for *E. grandis* were determined (Gürses et al. 1995).

The objective of this study was to determine some of the physical properties of heartwood and sapwood from *E. grandis*, and to compare the relationships between density and shrinkage.

## MATERIALS AND METHODS

### Materials

The trees used in this study were obtained from Tarsus-Karabucak region in Turkey. In this research, five 10-year-old trees were used (diameter at breast height: 29-31cm and total height: about 25-27m). Disks for physical properties were cut at breast height from these trees. The heights of the disks were 30-35cm. Two parts (width 50mm) were cut from these disks, in line of the north-south and east-west in cross-section (Fig. 1). Heartwood and

(lățimea de 50mm), de la nord la sud și de la est la vest (Fig.1). Alburnul și duramenul au fost identificate pe baza diferenței de culoare. Duramenul a conținut lemn juvenil. Lemnul adult a conținut alburn. Epruvetele din duramen și alburn au fost debitate separat pentru fiecare grup. Nu au fost debitate epruvete din zona de inimă. Epruvetele debitate au fost selectate și cele fără defecte au fost utilizate pentru experimente.

sapwood were distinguished according to their color. Heartwood contains juvenile wood. Mature wood contains sapwood. Heartwood and sapwood samples were prepared separately from each group. No samples were prepared from pith zone. The prepared samples were selected and flawless samples were used for experiments.

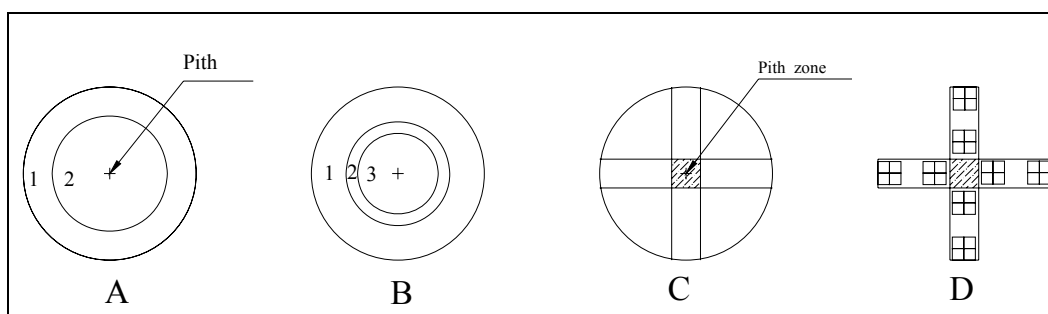


Fig. 1.

**Pe secțiunea transversală, A: Alburn (1) și Duramen (2), B: Lemn matur (1), zona de tranziție (2), lemn juvenil (3), C: Eșantioane pe direcție nord-sud și est-vest, D: Epruvetele din eșantioane (Proporția de lemn juvenil, în zona de duramen, nu a fost clară). / A: Sapwood (1) and Heartwood (2) in cross-section, B: Mature wood (1), transition section (2), juvenile wood (3), C: The parts in line of the north-south and east-west, D: The samples from the parts. (The proportion of juvenile wood was not clear in the heart wood).**

#### Metode

Densitatea la umiditatea de echilibru ( $\rho_{12}$ ), densitatea lemnului anhidru sau densitatea absolută ( $\rho_o$ ) și densitatea aparentă convențională ( $\rho_{ac}$ ) au fost determinate pe baza standardului TS 2472. Standardele turcești TS 4083 și TS 4085 au fost utilizate pentru a determina contracția procentuală ( $\beta$ ), iar TS 4084 și TS 4086 au fost utilizate pentru a determina umflarea procentuală ( $\alpha$ ). Dimensiunile epruvetelor pentru densitate, umflare și contracție au fost 20x20x30mm (lățime, înălțime, lungime). Pentru calcularea contracției, epruvetele au fost imersate în apă până au ajuns la masă constantă (aproximativ trei săptămâni). După imersie, pentru densitatea aparentă convențională și contracție, au fost măsurate dimensiunile epruvetelor, cu ajutorul unui șubler electronic, cu precizia de 0,01mm și masa epruvetelor, cu ajutorul unei balanțe electronice, cu precizia de 0,01g. Apoi, epruvetele au fost uscate în condiții de interior timp de trei săptămâni. După aceea, epruvetele au fost condiționate la temperatura de 20±2°C și umiditatea relativă de 65±5% până au ajuns la masă și dimensiuni constante. Masa epruvetelor a fost măsurată încă o dată pentru a calcula densitatea la umiditatea de echilibru. Epruvetele au fost uscate în etuvă la temperatura de 103±2°C, până la masă constantă. Dimensiunile și masa epruvetelor au fost măsurate iarși pentru a calcula densitatea lemnului

#### Methods

Air-dried density ( $D_{12}$ ), oven-dried density ( $D_o$ ), and basic density ( $R$ ) were determined based on the TS 2472 standard. Turkish standards TS 4083 and TS 4085 were used to determine the percentage of shrinkage ( $\beta$ ), and TS 4084 and TS 4086 were used to determine the percentage of swelling ( $\alpha$ ). Dimensions of density, swelling, and shrinkage samples were 20×20×30mm<sup>3</sup> (width, thickness, length). To calculate shrinkage, samples were immersed water until they reached the constant weights (about three weeks). After immersion, dimensions and weight of samples were measured for basic density and shrinkage with 0.01g sensitivity using electronic balance, and 0.01mm sensitivity using electronic caliper. Then, samples were dried at room conditions during three weeks. Thereafter, the samples were conditioned at 20±2°C and 65±5% relative humidity until they reached the constant weights, and dimensions. Weights of samples were measured again to calculate air-dried density. The samples were dried in an oven at temperature 103±2°C until the constant weights. Dimensions and weights of samples were measured again to calculate oven-dried density and shrinkage. To calculate swelling, samples were immersed in water during three weeks. After immersion, dimensions and weight of samples were measured again.

anhidru și contragerea.

Pentru a calcula umflarea, epruvetele au fost imersate în apă timp de trei săptămâni. După imersie, dimensiunile și masa epruvetelor au fost măsurate din nou.

Umiditatea maximă ( $U_{\max P}$ ) a fost determinată experimental după trei săptămâni de imersie în apă și calculată pe baza standardului TS 2471, metoda prin cântărire și uscare. Formulele utilizate pentru calcularea umidității de saturație a fibrei ( $U_{sf}$ ), a umidității maxime determinată experimental ( $U_{\max P}$ ) și a umidității maxime teoretice ( $U_{\max T}$ ) sunt prezentate mai jos:

$$U_{sf} = \frac{\beta_v}{\rho_{ac}} (\%), \quad (1)$$

unde:  $\beta_v$  este coeficientul de contragere volumică totală (%), și  $\rho_{ac}$  este densitatea aparentă convențională ( $g/cm^3$ ).

$$U_{\max P} = \frac{m_u - m_0}{m_0} \times 100 (\%), \quad (2)$$

unde:  $U_{\max P}$  este umiditatea maximă determinată experimental,  $m_u$  este masa în stare umedă,  $m_0$  este masa în stare anhidră.

$$U_{\max T} = \frac{1,5 - \rho_{ac}}{1,5 \times \rho_{ac}} \times 100 (\%), \quad (3)$$

unde:  $U_{\max T}$  este umiditatea maximă calculată, iar  $\rho_{ac}$  este densitatea aparentă convențională ( $g/cm^3$ ); 1,5 este densitatea materiei lemnoase.

Este dificil să se ajungă la umiditatea maximă teoretică ( $U_{\max T}$ ) pe piese de lemn, în condiții de interior, într-o perioadă scurtă de timp. Legat de aceasta, Simpson și Tenvolde (1999) au afirmat că umiditatea maximă este rareori atinsă în arbori. De aceea, este cunoscută ca umiditate maximă teoretică.

Pentru analiza statistică a fost utilizat programul SPSS. Testul-T a fost utilizat pentru a determina diferența dintre proprietățile fizice ale duramenului și alburnului. Pentru a analiza relația dintre densitate și proprietățile fizice (contragere) a fost utilizat un model de regresie liniară.

## REZULTATE

În acest studiu au fost determinate, pe epruvete caracteristice, densitatea la umiditatea de echilibru ( $\rho_{12}$ ), densitatea lemnului anhidru sau densitatea absolută ( $\rho_o$ ) și densitatea aparentă convențională ( $\rho_{ac}$ ). Rezultatele sunt prezentate în Tabelul 1. Rezultatele au fost analizate utilizând testul-T, iar pentru alburn, s-a constatat că densitatea la umiditatea de echilibru a fost mai mare decât pentru duramen ( $P < 0,001$ ).

Practical maximum moisture content ( $MMC_P$ ) were determined after first three weeks of soaking under water and calculated according to TS 2471 by oven dry method. The formulas used for calculating the fiber saturation point (FSP),  $MMC_P$ , and theoretical maximum moisture content ( $MMC_T$ ) are given below:

$$FSP = \frac{\beta_v}{R} (\%), \quad (1)$$

where:  $\beta_v$  is the volumetric shrinkage (%), and R is the basic density ( $g/cm^3$ )

$$MMC_P = \frac{W_w - W_d}{W_d} (\%) \quad (2)$$

where:  $MMC_P$  is the practical maximum moisture content  $W_w$  is the wet weight,  $W_d$  is the dry weight.

$$MMC_T = \frac{1,5 - R}{1,5 \times R} \times 100 (\%), \quad (3)$$

where:  $MMC_T$  is the theoretical maximum moisture content and R is the basic density ( $g/cm^3$ ); 1.5 is the specific gravity of the wood cell wall.

It is difficult to reach the  $MMC_T$  percentage of wood piece under room conditions during short period of time. On this topic, Simpson and Tenvolde (1999) stated that maximum possible moisture content is seldom attained in trees. Therefore, it is entitled  $MMC_T$ .

The SPSS program was used for statistical analysis. The independent-sample T-test was used to determine the differences between physical properties of sapwood and heartwood. A linear regression model was used to analyze the relationship between density and physical properties.

## RESULTS

In this study, air-dried density ( $D_{12}$ ), oven-dried density ( $D_o$ ), and basic density (R) of the samples were determined. The results are presented in Table 1. The results were analyzed using the T-test, and the air-dried density of the sapwood was found to be higher than density of the heartwood ( $P < 0.001$ ).

Tabelul 1 / Table 1

Densitatea la umiditatea de echilibru, a lemnului anhidru și aparentă convențională pentru alburnul și duramenul de *E. grandis* / Air-dried, oven-dried, and basic density of *E. grandis* sapwood and heartwood

n = 150	Alburn / Sapwood (kg /m <sup>3</sup> )			Duramen / Heartwood (kg /m <sup>3</sup> )			Media / Mean (kg/m <sup>3</sup> )		
	$\rho_{12}(D_{12})$	$\rho_o(D_o)$	$\rho_{ac}(R)$	$\rho_{12}(D_{12})$	$\rho_o(D_o)$	$\rho_{ac}(R)$	$\rho_{12}(D_{12})$	$\rho_o(D_o)$	$\rho_{ac}(R)$
x	677	634	543	555	517	457	616	576	500
s	88.2	89.9	71.4	63.1	61.7	49.3	75.6	75.8	60.4

x: valori medii / mean values, s: deviația standard / standard deviation

$\rho_{12}(D_{12})$ -densitatea la umiditatea de echilibru/air-dried density;  $\rho_o(D_o)$ - densitatea la stare anhidră/oven-dried density;  $\rho_{ac}(R)$  – densitatea aparentă convențională / basic density.

Rezultatele pentru contragerea și umflarea liniară și volumică maxime, determinate pe epruvete specifice, sunt prezentate în Tabelul 2. Pentru epruvete, a existat o diferență statistică semnificativă între contragerea și umflarea liniară și volumică maxime dintre alburn și duramen.(P<0.001). Aceste valori au fost mai mari pentru epruvetele din alburn comparativ cu cele din duramen. Raportul determinat dintre contragerea tangențială și contragerea radială ( $\beta_T / \beta_R$ ), a fost 1,70 în alburn și 1,75 în duramen.

Shrinkage and swelling values of the samples are given in Table 2. There was a statistically significant difference between linear and volumetric shrinkage and swelling amounts of sapwood and heartwood samples (P<0.001). These values were found to be higher in sapwood samples than in heartwood samples. The ratio of tangential to radial shrinkage ( $\beta_T / \beta_R$ ) was determined to be 1.70 in sapwood and 1.75 in heartwood.

Tabelul 2 / Table 2

Contragerea și umflarea maxime din alburnul și duramenul de *E. grandis* / Shrinkage and swelling amounts of sapwood and heartwood of *E. grandis*

		Contragerea / Shrinkage (%)				Umflarea / Swelling (%)			
		$\beta_T$	$\beta_R$	$\beta_L$	$\beta_V$	$\alpha_T$	$\alpha_R$	$\alpha_L$	$\alpha_V$
Alburn / Sapwood (n = 150)	x	8.85	5.27	0.34	14.5	9.73	5.58	0.27	15.6
	s	1.25	0.79	0.25	1.92	1.5	0.89	0.14	2.19
Duramen / Heartwood (n = 150)	x	7.1	4.16	0.24	11.5	7.66	4.35	0.24	12.2
	s	1.02	0.79	0.11	1.53	1.19	0.86	0.11	1.74

Termenii  $\beta_T$ ,  $\beta_R$ ,  $\beta_L$ , și  $\beta_V$ , reprezintă contragerea tangențială, radială, longitudinală și respectiv, volumică / The terms  $\beta_T$ ,  $\beta_R$ ,  $\beta_L$ , and  $\beta_V$  are tangential, radial, longitudinal, and volumetric shrinkage, respectively.

Termenii  $\alpha_T$ ,  $\alpha_R$ ,  $\alpha_L$ , și  $\alpha_V$ , reprezintă umflarea tangențială, radială, longitudinală și respectiv, volumică / The terms  $\alpha_T$ ,  $\alpha_R$ ,  $\alpha_L$ , and  $\alpha_V$  are tangential, radial, longitudinal, and volumetric swelling, respectively.

Relația dintre densitatea lemnului anhidru și contragerea volumică, Fig. 2-A și 2-B și relația dintre densitatea lemnului anhidru și contragerea longitudinală au fost determinate prin analiză de regresie, iar rezultatele sunt prezentate în Fig. 3-A și respectiv, 3-B. S-a constatat că există o relație pozitivă între densitate și contragerea volumică. Dimpotrivă, nu s-a observat o corelație dintre densitate și contragerea longitudinală.

The relationship between oven-dried density and volumetric shrinkage Figures 2-A and 2-B and the relationship between oven-dried density and longitudinal shrinkage were determined through regression analysis, and the results are presented in Figures 3-A and 3-B, respectively. There was a positive correlation between density and volumetric shrinkage. Conversely, the correlation between density and longitudinal shrinkage was very weak.



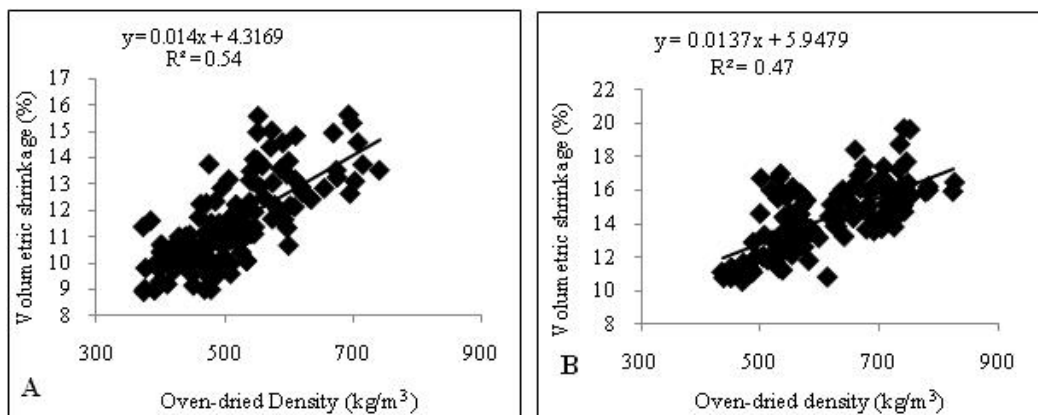


Fig. 2.

**Relația dintre densitatea lemnului anhidru și umflarea volumică (A: duramen, B: alburn) / Relationship between oven-dried density and volumetric shrinkage (A: heart wood, B: sap wood).**

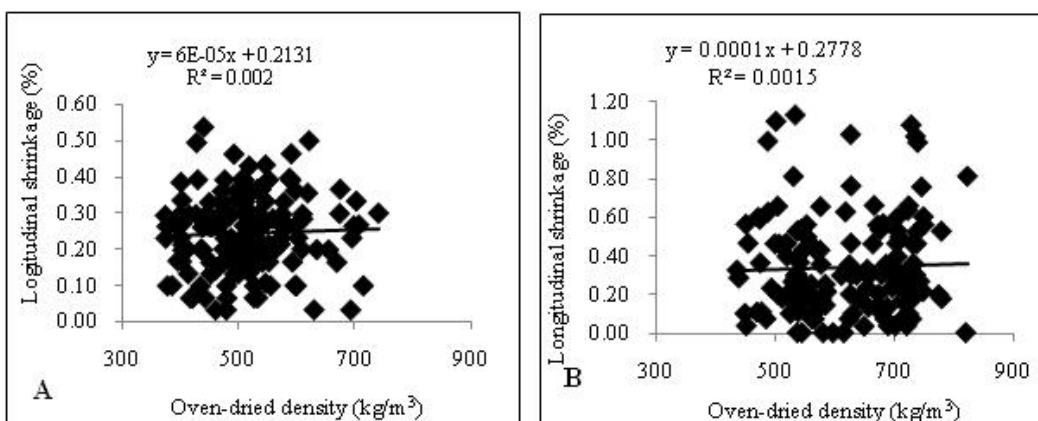


Fig. 3.

**Relația dintre densitatea lemnului anhidru și umflarea longitudinală (A: duramen, B: alburn) / Relationship between oven-dried density and longitudinal shrinkage (A: heart wood, B: sap wood).**

Valorile pentru umiditatea maximă determinată experimental ( $U_{maxP}$ ) și calculată ( $U_{maxT}$ ) sunt prezentate în Tabelul 3. În alburn, valorile pentru umiditatea maximă determinată experimental ( $U_{maxP}$ ), au fost mai mari, comparativ cu cele din duramen. Fig. 4 (A) arată că între  $\rho_0$  și  $U_{maxP}$  este o corelație logaritmică negativă ( $R^2 = 0,32$ ). Fig. 4 (B) indică faptul că între  $\rho_0$  și  $U_{maxT}$  este o corelație logaritmică negativă accentuată ( $R^2 = 0,98$ ).

Umiditatea de saturație a fibrei ( $U_{sf}$ ), pentru epruvete este prezentată în Tabelul 3. Rezultatele au fost analizate și s-a constatat că umiditatea de saturație a fibrei a fost mai mare în alburn decât în duramen ( $P < 0,001$ ).

$MMC_P$  and  $MMC_T$  values are presented in Table 3. The  $MMC_P$  values were higher in sapwood than they were in heartwood. However, the  $MMC_T$  values were lower in sapwood than in heartwood. Fig. 4 (A) shows that the relationship between  $D_o$  and  $MMC_P$  is a negative logarithmic correlation ( $R^2 = 0.32$ ). Fig. 4 (B) shows that the relationship between  $D_o$  and  $MMC_T$  is a very-strong negative logarithmic correlation ( $R^2 = 0.98$ ).

The fiber saturation points (FSPs) of the samples are shown in Table 3. The results were analyzed, and the FSPs were found to be higher in sapwood than heartwood ( $P < 0.001$ ).

Tabelul 3 / Table 3

$(U_{maxP})$ ,  $(U_{maxT})$  și  $(U_{sf})$  pentru alburn și duramen /  $MMC_P$ ,  $MMC_T$ , and FSP values of sapwood and heartwood

		$U_{maxP} /$ $MMC_P$	$U_{maxT} /$ $MMC_T$	$U_{sf} /$ FSP		$U_{maxP} /$ $MMC_P$	$U_{maxT} /$ $MMC_T$	$U_{sf} /$ FSP	
Alburn / Sapwood	x	104	125	27.4	Duramen / Heartwood	x	96	158	25.5
n = 150	s	18.2	27.8	3.41	n = 150	s	18.2	32	2.84

x: valori medii, s: deviația standard / x: mean values, s: standard deviation.

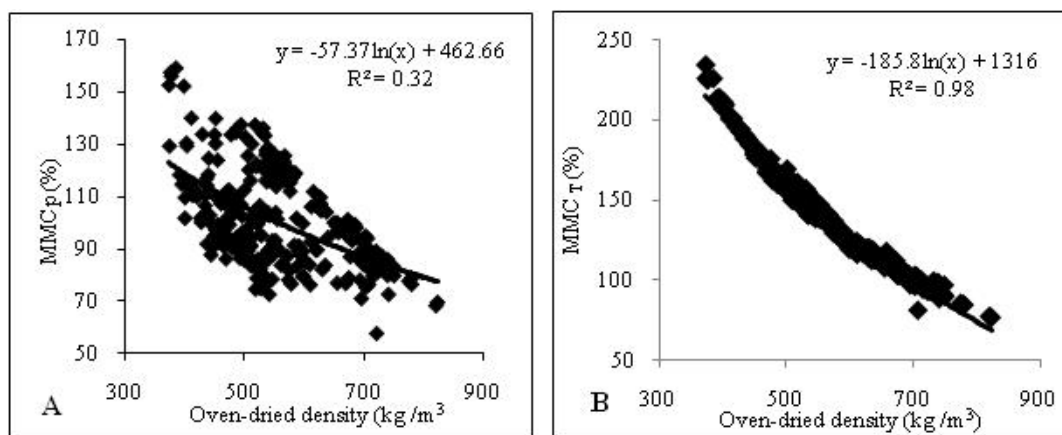


Fig. 4.

Relația dintre (A) densitatea lemnului anhidru și umiditatea maximă determinată experimental și (B) densitatea lemnului anhidru și umiditatea maximă teoretică / Relationship between (A) oven-dried density and  $MMC_P$  and (B) oven-dried density and  $MMC_T$ .

## DISCUȚII

Variația densității joacă un rol important în determinarea proprietăților fizice și mecanice ale lemnului. Acest lucru este evident, în special pentru specii ca eucaliptul, caracterizat ca arbore repede crescător ce are o cantitate semnificativă de lemn juvenil, cu densitate mică.

## PROPRIETĂȚILE FIZICE

Densitatea lemnului anhidru din alburn a fost mai mare cu aproape 20% comparativ cu densitatea lemnului anhidru din duramen. Aceasta se datorează probabil, prezenței lemnului juvenil în duramen, în zona centrală a trunchiului de *E. grandis*. S-a raportat că proporția de lemn juvenil are un efect semnificativ asupra proprietăților lemnului (Green ș.a. 1999). De asemenea, Kojima ș.a. (2009) au semnalat, că speciile repede crescătoare conțin un volum mare de lemn juvenil și de aceea proprietățile lor nu sunt constante. Rezultate similare au fost raportate de Githiomi și Kariuki (2010). Aceștia au studiat epruvete din arbori de *E. grandis* cu vârsta de 10 ani și au observat variații semnificative pentru densitatea aparentă convențională a lemnului din duramen și alburn. Valori medii similare pentru densitate au fost raportate de Lemenih și Bekele (2004).

## DISCUSSION

The variation in density plays an important role in determining the physical and mechanical properties of wood. This is especially obvious for species such as eucalyptus, which is a fast-growing tree that has a significant quantity of low-density juvenile wood.

## PHYSICAL PROPERTIES

The oven-dried density of the sapwood was found to be almost 20% higher than that of oven-dried heartwood. This might be due to the presence of juvenile wood in the inner part of the trunk of *E. grandis*'s heartwood. It has been reported that the amount of juvenile wood has a significant effect on the properties of the wood (Green *et al.* 1999). Kojima *et al.* (2009) also noted that fast-growing species contain a large volume of juvenile wood and that their properties are unstable. Similar results were also reported by Githiomi and Kariuki (2010). They studied the samples from 10-year-old *E. grandis* and observed a significant variation in the basic densities of the heartwood and the sapwood. Similar average density values were reported by Lemenih and Bekele (2004).

În direcție tangențială și radială s-au determinat relații statistice semnificative între densitate și contragere, densitate și umflare. Aceste relații au fost raportate și de alți cercetători (Simpson și Tenwolde 1999; Kord ș.a. 2010; Kiaei 2011). În completare, Kord ș.a. (2010) a arătat că s-a găsit o relație negativă între densitatea lemnului anhidru și contragerea longitudinală.

Umiditatea maximă determinată experimental ( $U_{maxP}$ ) a fost mai mică în duramen decât în alburn. Dimpotrivă, umiditatea maximă teoretică ( $U_{maxT}$ ) a fost mai mare în duramen decât în alburn. În general, conținutul de umiditate este mai mare în epruvetele din lemn cu densitate mică, comparativ cu epruvetele din lemn cu densitate mare. Însă, în acest studiu, rezultatele sunt contrare. S-a tras concluzia că motivul pentru care umiditatea maximă determinată experimental a fost mai mică în duramen decât în alburn se datorează faptului că duramenul este mai puțin permeabil decât alburnul.

Rapoartele  $\beta_T / \beta_R$  au fost calculate ca fiind 1,70 în alburn și 1,75 în duramen. Aceste rezultate sunt apropiate de raportul mediu (1,65) prezentat de Bozkurt și Göker (1987). De asemenea, Silva ș.a. (2006), au determinat un raport de 1,71.

## CONCLUZII

În acest studiu au fost determinate proprietățile fizice pentru lemnul de *E. grandis* din zona Karabucak. Au fost calculate relațiile dintre densitatea lemnului anhidru și contragere. S-au desprins următoarele concluzii:

- Proprietățile fizice ale lemnului de *E. grandis* au fost influențate de prezența lemnului juvenil în duramen.
- Densitatea lemnului anhidru a fost mult mai mare în alburn (aproximativ 20%) decât în duramen. Valorile pentru contragere și umflare au fost mai mici în duramen decât în alburn. Umiditatea de saturație a fibrei ( $U_{sf}$ ) și umiditatea maximă determinată experimental ( $U_{maxP}$ ) au fost mai mari în alburn decât în duramen.

Există o corelație pozitivă accentuată între densitatea lemnului anhidru și contragerea volumică. Nu există o corelație între densitate și contragerea longitudinală.

## MULȚUMIRI

Autorii mulțumesc Kahramanmaraş Sütçü imam University Research Fund pentru suportul financiar (Project No: 2009/3-2D).

## BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- Acosta MS, Marco M, Piter JC, Zitto MAS, Villalba DI, Carpineti L (2007) Physical and mechanical properties of *Eucalyptus grandis* x *E. Tereticornis* hybrid grown in Argentina, IUFRO All Division 5 Conference, Taiwan.
- Adali F (1944) Health Tree; Eucalyptus, Publications Directorship of Agriculture Ministry, Practical Books, No: 3, Istanbul, pp:146.

In the tangential and radial directions, it was determined that there were statistically-significant relationships between density and shrinkage and swelling. These relationships have been reported by other researchers (Simpson and Tenwolde 1999; Kord *et al.* 2010; Kiaei 2011). In addition, Kord *et al.* (2010) indicated that there was a negative relationship between oven-dried density and longitudinal shrinkage.

$MMC_p$  was measured lower in heartwood than in sapwood. Conversely,  $MMC_T$  was high in heartwood than in sapwood. In general, moisture content is measured higher in the low density wood samples than that of high density wood samples. But, in the present study, this case is opposite. It is concluded that the reason why  $MMC_p$  was lower in heartwood than sapwood is that heartwood is not as permeable as sapwood.

The  $\beta_T / \beta_R$  ratios were calculated to be 1.70 in sapwood and 1.75 in heartwood. These results are close to the average ratio (1.65) that Bozkurt and Göker (1987) reported. Silva *et al.* (2006) also measured the ratio as 1.71.

## CONCLUSIONS

In this study, the physical properties of *E. grandis* wood grown in Karabucak region were determined. The relationships between oven-dried densities and shrinkage were calculated. The following conclusions were drawn:

- The presence of juvenile wood in the heartwood affected the physical properties of *E. grandis*
- The oven-dried density of the sapwood was significantly higher (almost 20%) than that of oven-dried heartwood. Shrinkage and swelling values were lower in the heartwood than in the sapwood. FSP and  $MMC_p$  were greater in the sapwood than they were in the heartwood.

There is a strong, positive correlation between the density of oven-dried wood and volumetric shrinkage. In relationship between density and longitudinal shrinkage is no correlation.

## ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank the Kahramanmaraş Sütçü imam University Research Fund for the financial support (Project No: 2009/3-2D).



- Berti S, Brunetti M, Macchioni N (2000) Physical and mechanical characterization of Italian grown Eucalypts. Proceedings of International Conference, Eucalyptus in the Mediterranean Basin: Perspectives and new utilization, Taormina 15–19 October 2000.
- Bozkurt Y, Göker Y (1987) Physical and Mechanical Tree Technology, Istanbul University Publication, pp:96 Istanbul.
- Castro G, Paganini F (2003) Mixed glued laminated timber of poplar and *Eucalyptus grandis* clones, Holz als Roh- und Werkstoff 61:291–298.
- Githiomi JK, Kariuki JG (2010) Wood basic density of *E. Grandis* from plantations in central rift valley, Kenya: variation with age, height level and between sapwood and heartwood, J of Trop For Sci 22(3):281–286.
- Green DW, Winandy JE, Kretschmann DE (1999) Mechanical Properties of Wood, Wood Handbook, Wood as Engineering Material. FPL, 11-2, Madison.
- Gürses MK, Gülbaba AG, Özkurt A (1995) Report about improves eucalyptus cultivation in Turkey, Journal of DOA V:8.
- Kiaei M (2011) Anatomical, physical, and mechanical properties of eldar pine (*Pinus eldarica*) grown in the Kelardasht region, Turk J Agric For. 35:31-42.
- Kojima M, Yamamoto H, Yoshid M, Ojio Y, Okumura K (2009) Maturation property of fast-growing hardwood plantation species: a view of fiber length, For Ecol and Manag 257, pp. 15–22.
- Kord B, Kialashaki A, Kord B (2010) The within-tree variation in wood density and shrinkage, and their relationship in *Populus euramericana*, Turk J Agric For 34, pp. 1-6.
- Lemenih M, Bekele T (2004) Effect of age on calorific value and some mechanical properties of three Eucalyptus species grown in Ethiopia, Biomass Bioenergy 27, pp. 223 – 232.
- Lima IL, Longui LE, Junior LS, Garcia NJ, Florsheim SMB (2010) Effect of fertilization on cell size in wood of *Eucalyptus Grandis* Hill Ex Maiden, Cerne, Lavras, 16(4):465-472.
- Malan Fs (1988) Wood density variation in four trees of South African grown *Eucalyptus grandis*, South Afr Forest J, Volume 144, Issue 1, pp. 36 – 42.
- Özkurt A (2002) Eucalyptus plantations in turkey: problems, and opportunities, journal of DOA, V: 8. Tarsus.
- Santos PET, Geraldi IO, Garcia JN (2004) Estimates of genetic parameters of wood traits for sawn timber production in *Eucalyptus grandis*, Genet Mol Biol, 27(4):567-573.
- Silva JC, Oliveria JTS, Xavier BA, Castro VR (2006) Influence of age and radial position on the volumetric and linear shrinkage of *Eucalyptus grandis* hill ex. Maiden wood, R. Árvore, Viçosa-MG, 30(5):803-810.
- Simpson W, Tenwolde A (1999) Physical properties and moisture relations of wood, wood handbook wood as engineered material. FPL. Madison.
- TS 2471, 1976. Wood-determination of moisture content for physical and mechanical tests, Turkey.
- TS 2472, 1976. Wood-determination of density for physical and mechanical tests, Turkey.
- TS 4083, 1983. Wood-determination of radial and tangential shrinkage, Turkey.
- TS 4084, 1984. Wood-determination of radial and tangential swelling, Turkey.
- TS 4085, 1983. Wood-determination of volumetric shrinkage, Turkey.
- TS 4086, 1983. Wood-determination of volumetric swelling, Turkey.