

**EFFECTUL TRATĂRII TERMICE A
LEMNULUI DIN TRUNCHIURI TINERE DE
GORUN (*Quercus petrea* L.) ASUPRA
PROPRIETĂȚILOR PANOURILOR CU
FIBRĂ TRANSVERSALĂ**

**THE EFFECT OF THE HEAT
TREATMENT OF SESSILE OAK WOOD
(*Quercus petrea* L.) FROM YOUNG
TREES ON THE PROPERTIES OF
PANELS WITH TRANSVERSAL GRAIN**

Lidia GURĂU

Assoc.Prof.dr.eng. – TRANSILVANIA University in Brasov – Faculty of Wood Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 500036 Braşov, Romania
E-mail: rgurau@rdslink.ro

Mihaela CÂMPEAN

Prof.dr.eng. – TRANSILVANIA University in Brasov – Faculty of Wood Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 500036 Braşov, Romania
E-mail: campean@unitbv.ro

Alin OLĂRESCU

Lecturer dr.eng. – TRANSILVANIA University in Brasov – Faculty of Wood Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Braşov, Romania
E-mail: a.olarescu@unitbv.ro

Mihaela POROJAN

Lecturer dr.eng. – TRANSILVANIA University in Brasov – Faculty of Wood Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Braşov, Romania
E-mail: mporojan@unitbv.ro

Noemi MARTON

M.Sc. - TRANSILVANIA University in Brasov – Faculty of Wood Engineering
E-mail: nocy20@yahoo.com

Rezumat:

Lemnul din trunchiuri tinere de gorun reprezintă o resursă lemnoasă secundară cu potențial pentru valorificări superioare în panouri pentru mobilier, în situația în care se reduce variația lor dimensională la modificări de umiditate a aerului. În această lucrare, a fost examinată o astfel de posibilitate prin tratarea termică a materiei prime înainte de realizarea unor panouri decorative cu fibra transversală. În acest sens, au fost produse două astfel de tipuri de panouri, din lemn tratat și netratat, iar proprietățile acestora au fost comparate: stabilitatea dimensională la variația umidității relative a aerului, umiditatea de echilibru, densitatea absolută, culoarea, modulul de elasticitate și rezistența la încovoiere. Rezultatele au arătat faptul că prin tratare a lemnului de gorun din trunchiuri tinere la 130°C pentru 2h s-a îmbunătățit stabilitatea dimensională și umiditatea de echilibru a panourilor, fără afectarea rezistențelor mecanice, în timp ce culoarea acestora s-a închis ușor, iar densitatea a scăzut aproape neglijabil. Datorită designului lor atractiv prin orientarea particulară a fibrei, dar în același timp fiind supuse la tensiuni axiale perpendiculare pe fibră, panourile pot fi recomandate pentru mobilier la care solicitările la încovoiere nu sunt critice.

Cuvinte cheie: lemn de gorun din trunchiuri tinere; panouri reconstituite din lemn; tratare termică; stabilitate dimensională; modul de elasticitate; rezistență la încovoiere.

Abstract:

Sessile oak from young trees represents a secondary resource with potential for superior applications in furniture panels providing their dimensional stability to variations of relative air humidity is reduced. A possibility to improve this property was examined in this paper, by thermal treatment of the raw material before manufacturing decorative furniture panels with transversal grain. Panels with crosscut grain were manufactured from both heat treated and untreated wood and their properties were compared: dimensional change with climate, the moisture content at equilibrium, the absolute density, colour and their MOE and MOR.

The results have shown that the thermal treatment at 130°C for 2h of sessile oak from young trees has improved the dimensional stability and the equilibrium moisture content of the panels and did not impair their mechanical strength. The colour got slightly darker and density had an almost negligible decrease by the heat treatment. Attractive by design, because of their grain orientation, but in this way subjected to axial stresses perpendicular to the grain, the panels could be used in furniture applications where the bending stresses are not critical.

Key words: sessile oak from young trees; solid wood panels; heat treatment; dimensional stability; MOE; MOR.

INTRODUCERE

Lemnul din trunchiuri tinere de gorun reprezintă o resursă lemnoasă secundară importantă și cu largă disponibilitate în România (Olărescu ș.a 2011). Considerată, mai degrabă, un deșeu, această resursă are aplicații limitate, preponderent în industria prelucrătoare de plăci pe baza de lemn. Datorită conținutului său ridicat de lemn juvenil (app. 30 inele anuale după Helinska-Raczkowska, 1994) și dimensiunilor reduse, este un material respins de către industria cherestelei. Lemnul de gorun din trunchiuri tinere are o calitate scăzută, o mare instabilitate dimensională (Govorčin ș.a 1998) și rezistențe mecanice inferioare (Olărescu ș.a 2011) comparativ cu lemnul matur al aceleiași specii.

Cu toate acestea, penuria recentă de materii prime (Reid 2005) impune o utilizare judicioasă a resurselor existente prin valoare adăugată (Cionca ș.a 2006a). Experiența anterioară a demonstrat potențialul unei alte resurse secundare, lemnul din crengi, pentru utilizare în panouri cu fibră transversală (Cionca ș.a 2006b). Urmărind aceleași idei, s-ar putea realiza panouri similare din lemn de gorun din trunchiuri tinere, care pot fi integrate în produse de mobilier (Olărescu ș.a 2011). Stabilitatea dimensională a acestui material, poate fi îmbunătățită prin tratare termică, așa cum demonstrează studii recente realizate de Korkut ș.a (2010), Câmpean ș.a (2011) și Olărescu ș.a (2011). Se știe că tratarea termică, chiar și la temperaturi scăzute, afectează conținutul de hemiceluloze, responsabile de instabilitatea dimensională a lemnului (Esteves și Pereira 2009). Opiniile cercetătorilor cu privire la îmbunătățirea stabilității dimensionale prin tratare termică sunt unanime (Esteves și Pereira 2009).

În ceea ce privește proprietățile mecanice, Câmpean ș.a (2011) semnaleză o reducere a modulului de elasticitate și rezistenței la încovoiere statică cu 7%, respectiv 3,5% prin tratare termică la 130°C pentru 2h a lemnului matur de gorun, iar Korkut ș.a (2010) raportează o scădere cu 15,8%, respectiv 5,1%, prin tratare la 120°C pentru 2h. Pentru gorun din trunchiuri tinere tratat la 130°C pentru 2h, Olărescu ș.a (2011) constată o scădere a rezistenței la încovoiere cu 3% și o creștere cu 12,6% a modulului de elasticitate. La foioase, precum mesteacăn tratat prin metoda Thermowood de către Shi ș.a (2007), rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate au crescut cu 6%, respectiv 30%. Korkut și Hiziroglu (2009) și Korkut (2008) semnaleză o scădere ușoară a rezistenței la încovoiere la o specie de brad și la alun tratate la 120°C, 2h, față de modulul de elasticitate care a scăzut cu 10%, respectiv 22%. Într-o sinteză asupra cercetărilor privind efectele tratamentelor termice asupra lemnului, Esteves și Pereira (2009) concluzionează că, în general, efectele tratării termice asupra modulului de elasticitate la încovoiere sunt mici, dar rezistența la încovoiere scade datorită modificărilor chimice din lemn. Rezultatele din literatura de specialitate sunt diverse,

INTRODUCTION

Sessile oak wood from young trees represent an important secondary wood resource with high availability in Romania (Olărescu *et al.* 2011). Regarded more as a waste material, this resource has limited applications and they are mainly for the wood-based panel industry. Due to its high content in juvenile wood (approximately 30 annual rings according to Helinska-Raczkowska, 1994) and small size, it is rejected by the timber industry. Sessile oak from young trees has lower quality, higher dimensional instability (Govorčin *et al.* 1998) and lower mechanical strength (Olărescu *et al.* 2011) than wood from mature trees.

However, recent raw material shortages (Reid 2005) require a better use of the existing resources and value added to them (Cionca *et al.* 2006a). Previous experience has shown the potential of a secondary wood resource, branch wood, to be used in panels with transversal grain (Cionca *et al.* 2006b). By following the same idea, similar panels could be manufactured from sessile oak of young trees and be included in small furniture products (Olărescu *et al.* 2011).

The dimensional stability of this raw material could be improved by thermal treatment, as proved by recent research of Korkut *et al.* (2010), Câmpean *et al.* (2011) and Olărescu *et al.* (2011).

Thermal treatment, even at low temperatures, is known to affect the hemicelluloses, which are responsible with wood dimensional instability (Esteves and Pereira 2009). Researchers opinion on the improvement of dimensional stability by heat treatment is unanimous and depends on species (Esteves and Pereira 2009).

As far as the mechanical properties are concerned, Câmpean *et al.* (2011) reported a decrease of both MOE and MOR by 7% respectively 3.5% after thermal treatment at 130°C for 2h of mature sessile oak, while for a treatment of the same species at 120°C for 2h, Korkut *et al.* (2010) found a decrease in MOE and MOR by 15.8% and 5.1% respectively. For sessile oak from young trees treated at 130°C for 2h, Olărescu *et al.* (2011) found a decrease by 3% of the MOR and an increase by 12.6% of the MOE. For hardwoods, as birch, treated with Thermowood method by Shi *et al.* (2007), the MOR and MOE increased by 6%, respectively 30%. Korkut and Hiziroglu (2009) and Korkut (2008) report on a slight decrease of the bending strength for a thermal treatment to 120°C for 2h of an *Abies* spp. and of hazelnut, while the MOE decreased to 10% respectively 22%. In a review of the thermal treatments and their effects, Esteves and Pereira (2009) concluded from a majority of studies that generally, thermal treatment has a small effect on the MOE, but is decreasing the MOR, because of the chemical changes in wood. The results in the literature are diverse, sometimes contradictory, and depend on species,

uneori contradictorii, depind de specie, temperatură, mediul și durata tratamentului. Nu există raportări referitoare la influența tratării termice asupra panourilor din lemn. Aceasta lucrare se bazează pe studii preliminare privind efectul diferitelor temperaturi și durate de tratare asupra lemnului de gorun-*Quercus petraea* L., matur (Câmpean ș.a 2011), respectiv din trunchiuri tinere (Olărescu ș.a 2011). Acesta din urmă, a aratat faptul că o temperatură de tratare de 130°C pentru 2h a mărit stabilitatea dimensională a lemnului, coeficientul de stabilizare dimensională ASE fiind de 23% pe direcție radială și 39% pe direcție tangențială, fără afectarea semnificativă a rezistențelor mecanice. Astfel, acest tratament a fost considerat corespunzător și a fost adoptat și în studiul de față.

OBIECTIVE

Lucrarea investighează efectul tratamentului termic al lemnului din trunchiuri tinere de gorun asupra panourilor cu fibră transversală realizate din această materie primă. Sunt studiate comparativ, pentru panouri din lemn tratat și netratat termic proprietăți ca: variații dimensionale la modificarea umidității relative a mediului, valori ale umidității de echilibru, cât și ale rezistenței și modulului de elasticitate la încovoiere, pentru a vedea dacă tratarea termică a adus îmbunătățiri, care să recomande panourile pentru mobilier.

METODĂ, MATERIALE ȘI APARATURĂ

Arbori tineri de gorun proveniți din operații de rărituri dintr-un ocol silvic (zona Argeș-Stroiești) și având diametrul de 120-160mm au fost debitați în piese de chereștea cu lungimea de 500mm și grosimea de 50mm. Uscarea s-a realizat într-o cameră de uscare tip SEBA, pe baza unui regim de uscare prezentat în detaliu în Câmpean ș.a (2011), de la o umiditate inițială, în medie, de 75% la o umiditate finală de 12%. Piesele au fost apoi condiționate timp de o săptămână la 20°C și 55%RH pentru echilibrarea tensiunilor interne și uniformizarea umidității.

Dupa condiționare, o parte din scândurile de gorun au fost tratate la 130°C timp de 2h (Olărescu ș.a 2011), într-o etuvă electrică cu convecție naturală și microprocesor de control PID, produsă de firma Binder în Germania. Dupa răcirea lemnului tratat, acesta împreună cu lemnul netratat a fost prelucrat în prisme cu secțiunea 40x40mm printr-o succesiune de operații de spintecare, îndreptare și rindeluire. Prismele au fost înclieate, cant la cant, cu adeziv poliuretanic cu întărire umedă (Jowapur 687:40) aplicat manual la un consum specific de 280g/m², obținându-se panouri longitudinale (Fig.1a), câte două pentru fiecare tip de lemn, tratat sau netratat.

În cazul panourilor reconstituite din lemn netratat, adezivul polivinilic produce înclieieri mai bune decât adezivul poliuretanic (Özçiğci și Yapici 2008), însă, în studiul de față s-a preferat utilizarea celui poliuretanic pentru a îmbunătăți adeziunea lemnului

temperature, environment and duration of the treatment. No reports were found on the influence of heat treatment on the dimensional stability and strength of solid wood panels.

This paper is based on preliminary studies on the effect of various treatment temperatures and duration upon the properties of sessile oak (*Quercus petraea* L.) from mature wood (Câmpean *et al.* 2011), respectively from young trees (Olărescu *et al.* 2011). From the latter, a treatment temperature of 130°C for 2h, increased wood dimensional stability, with an ASE (anti-shrinkage efficiency) of 23% on radial and 39% on tangential direction, without affecting the mechanical strength to a great extent. Therefore, this treatment was considered suitable for the approach in this study.

OBJECTIVES

This paper aims to investigate the effect of the heat treatment on the properties of panels with transversal grain manufactured from heat treated sessile oak of young trees. Dimensional change to variation in relative humidity, change in density and colour, values of the equilibrium moisture content as well as the values of the MOE and MOR were studied for the heat treated wood panels in comparison with the untreated ones, in order to see if there are improvements that will recommend them for furniture.

METHOD, MATERIALS AND EQUIPMENT

Young trees, 120-160mm in diameter, of sessile oak from thinning operations were provided from a forest warehouse (Argeș-Stroiesti) and cut into small sized timber 500mm long and 50mm thick. Drying was performed from an average initial moisture content of 75% to a final moisture content of 12% in a kiln drying type SEBA, by following a careful drying schedule presented in detail by Câmpean *et al.* (2011). Then, the timber pieces were conditioned for one week at 20°C and 55%RH to equilibrate the internal stresses and the moisture content distribution.

After conditioning, a part of the sessile oak pieces were heat treated at 130°C for 2h, as recommended by research of Olărescu *et al.* (2011), in an electric oven with natural convection and PID controller from the German company Binder. After cooling the treated wood and the dried untreated wood pieces were processed by a succession of ripping, straightening and thickening into prisms with 40x40mm section. The prisms were further glued edge to edge, in panels with longitudinal grain (Fig.1a), two panels for each type of wood treatment, by using a moisture curing polyurethane adhesive (Jowapur 687:40) manually spread with a specific consumption of 280g/m². In case of gluing solid wood panels from untreated wood, the polyvinyl acetate adhesive is producing a better adhesion

tratat termic, știut fiind că tratarea termică a lemnului reduce capacitatea acestuia de a absorbi apă, iar în consecință, înclieirea cu un adeziv de tip polivinilacetat, poate fi mai slabă din punct de vedere calitativ (Bengtsson ș.a 2003).

Dupa condiționare și calibrare, din panourile longitudinale au fost debitate transversal elemente cu lățimea de 19mm, care au fost apoi înclieiate cant la cant în panouri cu fibra transversală aleatoare și cu un design deosebit (Fig.1b, detaliu în Fig.6).

and joint strength than the polyurethane adhesive (Özçifçi and Yapici 2008). However, in this study, a polyurethane adhesive type Jowapur was preferred, to improve the adhesion of the thermally treated wood, being known that the thermal treatment is reducing wood capacity to absorb water and consequently, the bonding with polyvinyl acetate may have a lower quality for treated wood (Bengtsson *et al.* 2003).

After conditioning and calibration, the longitudinal panels were crosscut into thin strips, 19mm thick, which were turned to display the transversal grain and were randomly glued edge to edge into final panels with enhanced design (Fig.1b, detail in Fig.6).

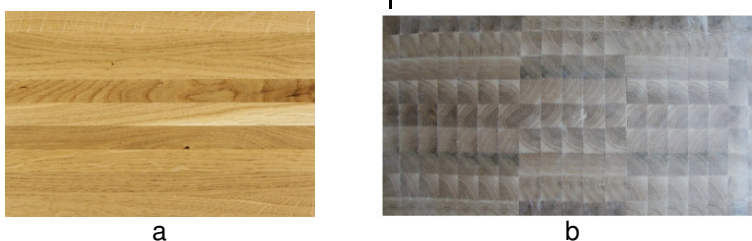


Fig.1.

**Panouri din trunchiuri tinere de gorun/Panels manufactured from sessile oak of young trees:
a- stadiul initial, orientare longitudinală a fibrei / initial stage, with longitudinal grain orientation;
b- stadiul final, orientare transversală a fibrei / final stage, with transversal grain orientation
(Olărescu *et al.* 2011).**

După condiționarea și calibrarea noilor panouri, din lemn tratat și netratat, din acestea au fost debitate epruvete pentru testarea stabilității dimensionale și a rezistențelor mecanice.

Stabilitatea dimensională la modificări ale umidității relative a mediului a fost determinată conform BS EN 318 (2002), așa cum indică BS EN 13353 (2003), standard specific pentru panouri din lemn masiv. Din panourile cu lemn tratat și netratat, câte două din fiecare tip, au fost debitate câte două seturi, având 5 epruvete fiecare, marcate și măsurate ca în Fig. 2. Lățimea și grosimea fiecărei epruvete s-au determinat ca valori medii pentru trei măsurători, iar lungimea, cu o singură măsurătoare în zona mediană. Cele două seturi de epruvete au fost tratate separat, fiecare piesă fiind condiționată, măsurată și cântărită, în trei etape, la 20°C și trei umidități relative ale aerului (ϕ): 30%, 65% și 85% pentru sorbție (setul 1) și în ordine inversă pentru desorbție (setul 2). Condiționarea s-a realizat într-o cameră de climatizare tip KPK 200, FEUTRON-Germania. Umiditatea de echilibru a fost calculată pentru fiecare umiditate relativă a aerului, în conformitate cu BS EN 322 (1993).

After conditioning and calibration, specimens were cut out of the two type of crosscut grain panels for testing their dimensional stability and mechanical strength.

The dimensional stability to changes in relative humidity was determined according to BS EN 318 (2002), as instructed by BS EN 13353 (2003), which is the standard specific to solid wood panels. Out of the two panels, of each, treated and untreated wood, two sets of five test pieces were prepared, marked and measured as shown in Fig. 2. Width and thickness were mean values of three measurements, while for the length, one median measurement was performed. The two sets of test pieces were treated separately and each piece was conditioned, measured and weighted in three steps, at 20°C and three relative humidity values (ϕ): 30%, 65% and 85% for sorption (set 1) and in the reverse order for desorption (set 2). For conditioning, a climate chamber type KPK 200 from FEUTRON, Germany, was used. The moisture content at equilibrium was calculated according to BS EN 322 (1993), for each climate condition for both sets.

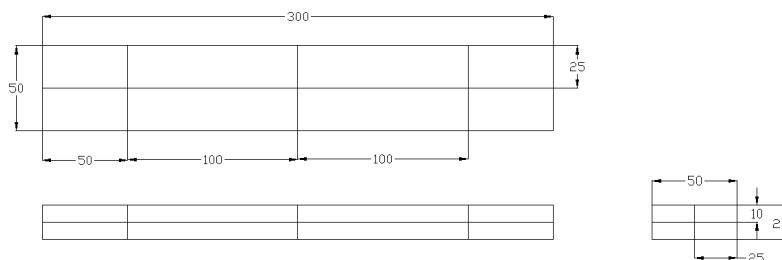


Fig. 2.

Epruveta conform BS EN 318 (2002)/Test piece according to BS EN 318 (2002).

Pentru fiecare epruvetă din setul 1, au fost calculate modificările dimensionale în lungime, lățime și grosime cu formula generală (1), iar pentru setul 2 s-a folosit formula (2).

$$\delta d_{65,85} = \frac{d_{85} - d_{65}}{d_{65}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (1)$$

unde:

$\delta d_{65,85}$ – este modificarea relativă în lungime (L), lățime (l) sau grosime (g), la variația umidității relative a aerului de la 65% la 85%, în procente

d_{85} – este lungimea (L), lățimea (l) sau grosimea (g) măsurate la 20°C și umiditate relativă 85% (mm)

d_{65} – este lungimea (L), lățimea (l) sau grosimea (g) măsurate la 20°C și umiditate relativă 65% (mm)

$$\delta l_{65,30} = \frac{d_{65} - d_{30}}{d_{65}} \cdot 100(\%) \text{ [%]} \quad (2)$$

unde:

$\delta l_{65,30}$ – este modificarea relativă în lungime (L), lățime (l) sau grosime (g), la variația umidității relative a aerului de la 65% la 30%, în procente

d_{65} – este lungimea (L), lățimea (l) sau grosimea (g) măsurate la 20°C și umiditate relativă 65% (mm)

d_{30} – este lungimea (L), lățimea (l) sau grosimea (g) măsurate la 20°C și umiditate relativă 30% (mm)

Trebuie menționat faptul că, în comparație cu EN 318, care este formulat în general pentru plăci din lemn și include numai calculul variației în lungime și grosime a panourilor, în cazul de față, datorită orientării particulare a fibrei și caracterului eterogen al lemnului, s-a inclus și calculul variației dimensionale în lățime.

Pentru fiecare tip de panou, din lemn tratat și netratat, s-au calculat valorile medii pentru fiecare tip de parametru măsurat: modificarea relativă în lungime (L), lățime (l) și grosime (g), conținutul de umiditate la echilibru, U_e , pentru fiecare umiditate relativă a aerului și densitatea în stare anhidră (ρ_0).

Eficiența tratamentului termic asupra parametrilor măsurați a fost determinată conform ecuației (3), care indică în procente măsura modificării (îmbunătățire sau nu) a parametrului respectiv:

$$E = 100 \cdot (P_{netratat} - P_{tratat}) / P_{netratat} \text{ [%]} \quad (3)$$

unde:

E- eficiența tratamentului termic, în procente

For each test piece from set 1, the relative change in length, width or thickness was calculated with the general formula from (1), while for set 2 was used the formula from (2).

$$\delta d_{65,85} = \frac{d_{85} - d_{65}}{d_{65}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (1)$$

where:

$\delta d_{65,85}$ – is the relative change of length (L), width (l) or thickness (g), for a change of the relative humidity from 65% to 85%, in percent

d_{85} - is the length (L), width (l) or thickness (g) measured at 20°C and 85% relative humidity (mm)

d_{65} - is the length (L), width (l) or thickness (g) measured at 20°C and 65% relative humidity (mm)

$$\delta l_{65,30} = \frac{d_{65} - d_{30}}{d_{65}} \cdot 100(\%) \text{ [%]} \quad (2)$$

where:

$\delta l_{65,30}$ – is the relative change of length (L), width (l) or thickness (g), for a change of the relative humidity from 65% to 30%, in percent

d_{65} - is the length (L), width (l) or thickness (g) measured at 20°C and 65% relative humidity (mm)

d_{30} - is the length (L), width (l) or thickness (g) measured at 20°C and 30% relative humidity (mm)

It has to be mentioned, that compared with the EN 318, which is a general formulation for wood based panels and includes only calculation for the variation in length and thickness, given the wood heterogeneity and special design of the panels, the dimensional variation of the widths was also included.

The mean values were calculated for each type of measured parameter: the relative change in length (L), width (l) and thickness (g), the moisture content at equilibrium, U_e , for each climate condition and the absolute density of the specimens (ρ_0) for both types of panels, with treated and untreated wood.

The efficiency of the heat treatment on measured parameters was determined according to (3) and is showing in percentage the amount of change (improvement or not) of the irrespective parameter.

$$E = 100 \cdot (P_{untreated} - P_{treated}) / P_{untreated} \text{ [%]} \quad (3)$$

where:

E- treatment efficiency, in percent

$P_{netratat}$ parametru măsurat pentru lemn netratat;
 P_{tratat} parametru măsurat pentru lemn tratat.

În Excel, au fost realizate teste ANOVA cu un singur factor pentru a evalua comparativ, diferențele privind contragerile, respectiv umflările, între lățimea și lungimea epruvetelor, la lemn tratat și netratat, luând în calcul un nivel de semnificație de 0,05%. ANOVA permite evaluarea ipotezei de nul pentru valorile medii a două sau mai multe serii de date. Pentru seturile selectate, testul ANOVA furnizează, pe lângă alți parametri statistici, valorile medii, varianța, raportul ANOVA, F, valoarea P și valoarea critică F_{crit} (<http://org.elon.edu/econ/sac/anova.htm>, Șandru 2011).

Valoarea P testează semnificația statistică a rezultatului și reprezintă probabilitatea ca o variabilă să aibă o valoare mai mare sau egală cu valoarea observată întâmplător. Dacă P este mai mică decât nivelul de semnificație, înseamnă că mediile comparate diferă și este mai mult decât un rezultat al hazardului. F_{crit} este valoarea lui F corespunzătoare nivelului de semnificație ales. Dacă F este mai mare decât F_{crit} , ipoteza de nul se respinge; astfel că F are o valoare semnificativă statistic, ceea ce înseamnă că cele două serii de date comparate sunt statistic diferite.

EN 13353 (2003), indică EN 310 (1993) pentru determinarea modulului de elasticitate și rezistenței la încovoiere. Din cele două panouri din fiecare categorie, atât cu lemn de gorun tratat, cât și netratat, s-au debitat câte șase epruvete având dimensiunile conforme standardului EN 310. Acestea au fost testate la încovoiere pe o mașină de încercat tip IBX600 de la firma IMAL, Italia. Forța s-a aplicat între două îmbinări succesive ale fiecărei epruvete. Rezultatele testului au fost generate automat și înregistrate de soft-ul mașinii, după care s-au calculat valorile medii și coeficienții de variație.

REZULTATE EXPERIMENTALE

Rezultatele privind modificările dimensionale la variația umidității relative a aerului pentru panourile cu lemn de gorun tratat și netratat sunt prezentate ca valori medii și coeficienți de variație în Tabelul 1, respectiv Fig.3. Umiditatea de echilibru calculată pentru aceeași umiditate relativă a aerului în procesele de sorbție și desorbție este prezentată în Tabelul 1, Fig. 4 a,b și centralizată în Tabelul 2.

$P_{untreated}$ measured parameter for untreated wood;
 $P_{treated}$ measured parameter for thermal treated wood.

Single factor ANOVA tests were performed in Excel to evaluate the variance of shrinkage and swelling coefficients along the width of the specimens compared to those along the length for treated and untreated wood at a 0.05% significance level. ANOVA allows the evaluation of null hypothesis between the means of two or more series of data. For the selected set of data, ANOVA test returns, amongst other statistical parameters, the mean values, the variance, the ANOVA ratio F, the P-value and the F_{crit} value (Șandru 2011).

P-value is testing the statistical significance and is the probability that a variable would assume a value greater than or equal to the value observed strictly by chance. If P is smaller than the significance level, this implies that the means differ by more than would be expected by chance alone. F_{crit} is the value of F corresponding to the chosen significance level. If F is greater than F_{crit} , the null hypothesis is rejected; therefore F is statistically significant, which means, the two series of data are statistically different.

EN 13353 (2003), indicates EN 310 (1993) for determination of modulus of elasticity in bending (MOE) and for the bending strength (MOR). Six specimens were cut out of the two panels of the same type of wood treatment to dimensions as in EN 310 and were subjected to three points bending on a testing machine, IBX600 from IMAL, Italy. The force was applied on the specimens in between two consecutive glue joints. The results of MOE and MOR were automatically generated by the machine software, then the mean values and coefficients of variation were calculated.

EXPERIMENTAL RESULTS

The results of the dimensional changes associated with changes in relative humidity, for panels made of treated and untreated sessile oak from young trees, are presented as mean values and coefficients of variation in Table 1, respectively Fig.3.

The equilibrium wood moisture content calculated for the same relative humidity in the processes of sorption and desorption is displayed in Table 1, Fig. 4 a,b and is centralized in Table 2.

Tabelul 1/Table 1

Efectul tratării lemnului de gorun asupra unor proprietăți fizice ale panourilor cu fibră transversală/The effect of heat treatment of sessile oak on some physical parameters of the transversal grain panels

| Parametri/ Parameters | | Set 1- umflare/swelling | | Eficienta tratamentului/ Treatment efficiency (E) [%] | Parametri/ Parameters | | Set 2- contragere/shrinkage | | Eficienta tratamentului/ Treatment efficiency (E) [%] |
|-------------------------------------|---------------|----------------------------|--------------------|--|-------------------------------------|---------------|--------------------------------|--------------------|--|
| | | Netratat/ Untreated | Tratat/ Treated | | | | Netratat/ Untreated | Tratat/ Treated | |
| U _a [%] | T=20°C, φ=30% | 7.48 (0.36) | 6.24 (4.31) | 16.58 | U _a [%] | T=20°C, φ=85% | 18.27 (0.37) | 13.34 (1.32) | 26.98 |
| | T=20°C, φ=65% | 12.2 (0.42) | 9.42 (2.64) | 22.79 | | T=20°C, φ=65% | 14.39 (0.34) | 11.09 (0.68) | 22.93 |
| | T=20°C, φ=85% | 18.29 (0.31) | 13.36 (2.53) | 26.95 | | T=20°C, φ=30% | 7.15 (1.17) | 6.34 (1.23) | 11.33 |
| ρ ₀ [kg/m ³] | | 761 (0.33) | 760 (3.00) | 0.13 | ρ ₀ [kg/m ³] | | 777 (1.44) | 753 (1.83) | 3.09 |
| δL _{65,85} [%] | | 1.9 (4.73) | 1.25 (22.20) | 34.21 | δL _{65,30} [%] | | 2.26 (2.99) | 1.2 (11.53) | 46.90 |
| δl _{65,85} [%] | | 2.18 (7.67) | 1.4 (16.56) | 35.78 | δl _{65,30} [%] | | 2.28 (7.59) | 1.68 (5.20) | 26.32 |
| δg _{65,85} [%] | | 0 | 0 | - | δg _{65,30} [%] | | 0 | 0 | - |

*- valorile din paranteze reprezintă coeficienți de variație (%)=deviație standard*100/medie/values in parenthesis are coefficients of variation (%)=stdev*100/mean

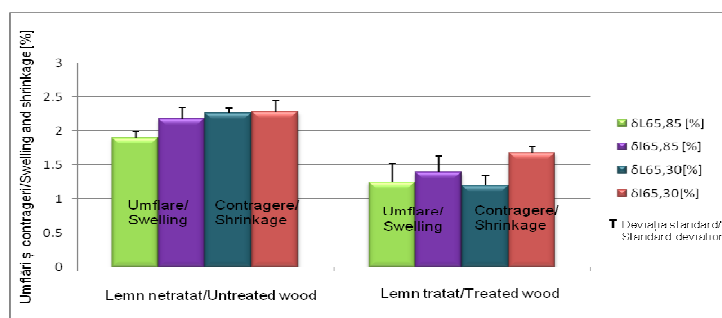


Fig. 3.

Comparație între modificările dimensionale ale panourilor tratate și netratate termic la variația umidității relative a aerului (conform EN 318)/ Comparison of the relative dimensional change with varying the relative humidity (as in EN 318) between treated and untreated wood panels.

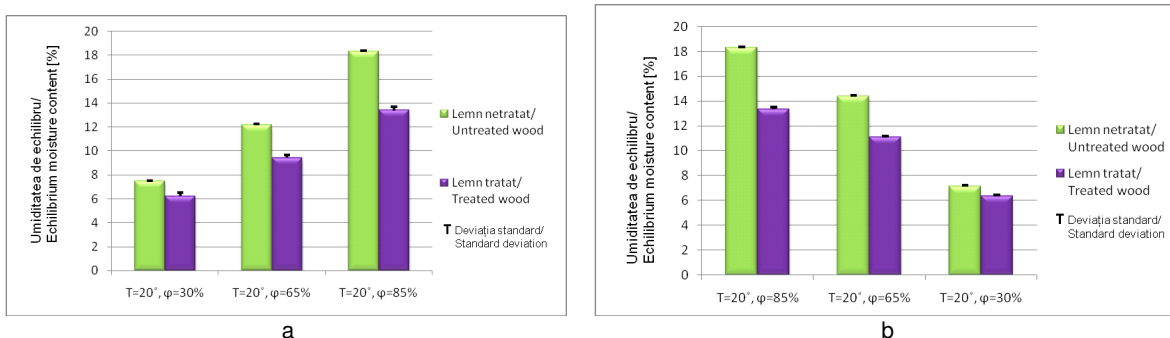


Fig. 4.

Comparații între umiditatea de echilibru pentru cele două tipuri de panouri: tratat și netratat. a- în sorbție; b- în desorbție/ Comparison of the equilibrium moisture content of the two type panels: treated and untreated. a- in sorption; b- in desorption.

a). Modificări ale umidității de echilibru

După cum se poate vedea în Tabelul 1, Fig. 4 și Tabelul 2, umiditatea de echilibru a panourilor realizate din lemn de gorun tratat termic a fost mai mică decât cea a panourilor din lemn netratat, pentru toate cele trei stări de echilibru. Acest lucru se poate explica prin pierderea de hemiceluloze din timpul tratamentului termic, cunoscute ca având cea mai mare capacitate de absorbție a apei dintre toți constituenții lemnului (Kollmann și Côté 1968; Esteves și Pereira 2009). Diferențele procentuale dintre cele două categorii de panouri au fost cu atât mai mari cu cât umiditatea relativă a aerului a fost mai mare. De exemplu, eficiența tratamentului termic în cazul umidității relative de 85% a fost de app. 27% în comparație cu 11-17% pentru umiditatea relativă de 30% (Tabelul 1). Pentru umiditatea relativă de 65%, care corespunde condițiilor normale de interior, umiditatea de echilibru a panourilor din lemn tratat a scăzut cu app. 23% față de cele din lemn netratat. Rezultatul este bun, dacă este comparat cu Thermowood (tratament la 200°C), unde, umiditatea de echilibru pentru aceleași condiții de mediu scade cu 50% (www.thermowood.fi). Mai mult, fenomenul este benefic întrucât rezistențele lemnului depind într-o mare măsură de umiditatea sub punctul de saturație a fibrei (Kollmann și Côté 1968).

Prin urmare, dacă panourile din lemn de gorun netratat au atins o umiditate de app. 12% la o umiditate relativă a aerului de 65%, umiditatea de echilibru a panourilor din lemn tratat termic, a scăzut la 9% pentru aceiași parametri de condiționare.

S-a observat că lemnul s-a stabilizat aproximativ la același conținut de umiditate pentru umiditățile relative de 30% și 85%, atât în sorbție cât și în desorbție (Tabelul 1, Fig. 4 și Tabelul 2). Pentru umiditatea relativă de 65%, s-a înregistrat o diferență de 2% între valorile umidității de echilibru ale celor două stări, valorile mai mari producându-se în desorbție, datorită fenomenului de histerezis.

a). Changes in the equilibrium moisture content

As can be seen in Table 1, Fig. 4 and Table 2, the equilibrium moisture content of the panels manufactured from thermally treated sessile oak was lower than that of the untreated wood for all three equilibrium conditions. This may be due to the loss of hemicelluloses during the thermal treatment as they have the highest sorptive capacity among the wood constituents (Kollmann and Côté 1968; Esteves and Pereira 2009). The percentage difference between the two categories of panels was higher as the relative humidity was higher. For example, the treatment efficiency for a relative humidity of 85% was app. 27% compared to 11-17% for a relative humidity of 30% (Table 1). For the relative humidity of 65%, which corresponds to normal interior storage conditions, the equilibrium moisture content of the heat treated wood panels decreases with app. 23%, in comparison with the untreated wood. The result is good if compared to Thermowood (treatment at 200°C), where the equilibrium moisture content for the same relative humidity decreases by 50% (www.thermowood.fi). Furthermore it is beneficial since the wood strength depends, to a large extent, on the moisture content below the fibre saturation point (Kollmann and Côté 1968).

Therefore, if the sessile oak panels from untreated wood reached app. 12% moisture content at 20°C and a relative humidity of 65%, the moisture at equilibrium decreased, in the same conditions, to 9% for the panels from thermally treated wood.

It was observed that wood stabilized approximately to the same moisture content for relative humidities of 30% and 85% at sorption as well as in desorption (Table 1, Fig. 4 and Table 2). For the relative humidity of 65%, a difference of app. 2% occurred in equilibrium moisture content with higher values in desorption, due to the hysteresis phenomenon.

Tabelul 2 / Table 2

Umiditatea de echilibru a lemnului de gorun pentru diferite umidități relative ale aerului/ Equilibrium moisture content of sessile oak for various relative humidities

| Umiditate relativă a aerului/ Relative air humidity | Umiditate de echilibru-lemn netratat/ Equilibrium moisture content- untreated wood | Umiditate de echilibru-lemn tratată/ Equilibrium moisture content- treated wood |
|--|--|---|
| $\phi = 30\%$ | $U_e \approx 7\%$ | $U_e \approx 6\%$ |
| $\phi = 85\%$ | $U_e \approx 18\%$ | $U_e \approx 13\%$ |
| $\phi = 65\%$ | $U_e \approx 12\%$ (sorbție/sorption) $U_e \approx 14\%$ (desorbție/desorption) | $U_e \approx 9\%$ (sorbție/sorption) $U_e \approx 11\%$ (desorbție/desorption) |

b). Modificări ale densității absolute și culorii

Din Tabelul 1 se poate observa o scădere ușoară a densității absolute, cu maxim 3%, în cazul lemnului de gorun din trunchiuri tinere tratat termic la 130°C pentru 2h, față de cel netratat. Rezultatul este comparabil cu constatările făcute de Câmpean

b). Changes in absolute density and colour

From Table 1 can be observed a slight decrease of the absolute density, with a maximum of 3%, in case of heat treated sessile oak from young logs, thermally treated at 130°C for 2h, compared to untreated wood. This result is comparable with

ș.a. (2011), care au sesizat o scădere a densității absolute în cazul lemnului matur de gorun cu 5,4% în cazul tratării în condiții similare de temperatură și durată, precum și cu cele ale lui Korkut ș.a. (2010), 2,8% pentru lemn matur de gorun tratat la 150°C pentru 2h. Kollmann și Fegel (1965) au semnalat începerea degradării termice la stejar chiar de la temperaturi scăzute de 130°C. Scăderea densității poate fi rezultatul pierderii masice (www.thermowood.fi) și modificărilor chimice (Windeisen ș.a. 2007) care au loc în timpul tratamentului termic. Scăderea ușoară a densității se datorează, probabil, faptului că temperatura utilizată în acest studiu a fost mică în comparație cu temperaturile utilizate în cazul tratamentelor clasice, care variază între 160-260°C (Esteves și Pereira 2009), când scăderea densității se accentuează odată cu creșterea temperaturii de tratare (scădere cu app. 10% în cazul tratării Thermowood la 200°C a lemnului de pin- www.thermowood.fi).

Din Fig. 6 se poate observa o ușoară închidere a culorii la lemnul tratat termic, față de cel netratat. Acest fenomen este conform raportării lui Esteves ș.a. (2008), referitoare la faptul că pot fi detectate schimbări ale culorii chiar și pentru pierderi masice mici de 2-4%.

c). Modificări dimensionale produse la variații ale umidității relative a aerului

Din Tabelul 1 se poate vedea că nu s-au produs modificări dimensionale pe grosimea panourilor sau acestea au fost mai mici decât precizia de măsurare a instrumentului (0,1mm), indiferent de condițiile de mediu și tipul de panou. Acest lucru era de așteptat pentru că grosimea panourilor este orientată pe lungimea fibrei, care, în conformitate cu Kollmann și Côté (1968), prezintă variații dimensionale neglijabile (între 0,1-0,9%, de la starea verde la absolut uscată). Lungimea și lățimea epruvetelor au fost orientate pe direcții mixte radiale-tangențiale, așadar, modificările dimensionale au fost măsurabile.

Prin umflare, modificările dimensionale relative pe lungime și lățime ale epruvetelor, $\delta L_{65,85}$ și $\delta l_{65,85}$, au fost mai mici pentru lemnul tratat (1,25%, respectiv 1,4%), decât în cazul lemnului netratat (1,9%, respectiv 2,18%), cu o eficiență a tratamentului de 34,21% pe lungime și 35,78% pe lățime. Întrucât nu există în literatură vreo referire la stabilitatea dimensională a panourilor de gorun, rezultatele au fost comparate cu comportamentul la umflare al lemnului de stejar, din studiul lui Kollmann și Côté (1968). Aceștia, indică pentru speciile *Quercus*, valori ale coeficienților de umflare pe direcție tangențială, cel mai dificil caz, între 0,25-0,32-0,38%, la variația umidității lemnului cu 1% în intervalul 0-12%. Deși nu se specifică în EN 318, s-a calculat și umflarea panourilor de gorun între limitele de umiditate relativă 30% și 65% (Tabelul 3), pentru care, umiditatea lemnului s-a stabilizat la 7%,

findings of Câmpean *et al.* (2011), who measured a 5.4% absolute density decrease for mature sessile oak treated at the same temperature and duration and with those of Korkut *et al.* (2010), 2.8% for mature sessile oak treated at 150°C for 2h. Kollmann and Fegel (1965) acknowledged the beginning of thermal degradation at oak even from temperatures of 130°C. The decrease of density may be a result of mass loss (www.thermowood.fi) and chemical changes (Windeisen *et al.* 2007) occurring during the thermal treatment. The slight density decrease is perhaps due to the fact that the temperature used in this study was small compared to temperatures used for classic treatments, ranging from 160-260°C (Esteves and Pereira 2009), where the decrease of density progresses with treatment temperature (app. 10% decrease for Thermowood treatment of pine treated at 200°C- www.thermowood.fi).

From Fig. 6 it can be observed a slight darkening of the thermal treated wood compared to the untreated specimens. This result is in agreement with Esteves *et al.* (2008) who reported that noticeable colour change could already be obtained for small mass losses of 2-4%.

c). Dimensional changes associated with changes in relative humidity

From Table 1 it can be seen that no dimensional change occurred along the panel's thickness or obviously, this was beyond the measuring precision of the instrument (0.1mm), whatever the environmental conditions and wood treatment. This was expected because the panel's thickness has a longitudinal grain orientation, which, according to Kollmann and Côté (1968) has negligible dimensional variation (between 0.1-0.9% from green to oven dry). The panel's length and width were orientated on mixed directions radial-tangential, therefore, dimensional changes were measurable.

In swelling, the relative dimensional changes of the specimens length and width, $\delta L_{65,85}$ and $\delta l_{65,85}$, were smaller for the treated sessile oak (1.25%, respectively 1.4%), than for the untreated wood (1.9%, respectively 2.18%) with a lengthwise treatment efficiency of 34.21% and 35.78% widthwise.

As no reports were found on the dimensional stability of sessile oak panels, data was compared with research on swelling sessile oak wood. Kollmann and Côté (1968) reported for *Quercus* spp., the swelling coefficients for tangential grain direction, the worse case scenario, ranging between 0.25-0.32-0.38%, for a variation of wood moisture content with 1% in the wood moisture interval 0-12%. Although not specified in EN 318, the relative swelling of the investigated sessile oak panels was calculated between two states of equilibrium, from 30% to 65% relative environment humidity (Table 3), when the untreated wood stabilized to app. 7% and respectively 12% moisture content (Table 1), with an

respectiv 12% (Tabelul 1), cu o diferență absolută de app. 5%. Luând cazul cel mai defavorabil (orientare tangențială), o diferență de umiditate de 5% ar induce la *Quercus* spp., după Kollmann și Côté (1968), un interval de umflare de: $0,25 \cdot 5 = 1,25\%$; $0,32 \cdot 5 = 1,6\%$; $0,35 \cdot 5 = 1,9\%$. Umflarea relativă a panourilor din lemn de gorun netratat, pentru o creștere cu 5% a umidității lemnului, pare să se încadreze în estimările lui Kollmann și Côté, întrucât s-a situat în zona de mijloc a intervalului: 1,41% pentru $\delta_{L_{30,65}}$ și 1,47% pentru $\delta_{l_{30,65}}$, cu mențiunea că fibra a avut orientări aleatoare. În plus, valorile umflării pentru panourile din lemn tratat au fost mai scăzute cu cca. 35-40% față de panourile din lemn netratat, pentru aceleași condiții de umiditate relativă.

Prin contragere, modificările dimensionale relative, $\delta_{L_{65,30}}$ și $\delta_{l_{65,30}}$, au fost mai reduse în cazul lemnului tratat de gorun (1,2%, respectiv 1,68%), comparativ cu lemnul netratat (2,26%, respectiv 2,28%). Aceasta indică faptul că eficiența tratării termice a fost de 46,8% pe lungimea și 26,32% pe lățimea epruvetelor, diferența putând fi rezultatul unei orientări aleatoare a fibrei pe cele două direcții.

approximately 5% absolute difference. In the worse case scenario (tangential orientation), 5% moisture difference could, according to Kollmann and Côté (1968), induce a range of swelling in *Quercus* spp. as follows: $0.25 \cdot 5 = 1.25\%$; $0.32 \cdot 5 = 1.6\%$; $0.35 \cdot 5 = 1.9\%$. The relative swelling of the untreated wood panels, for 5% increase in moisture seemed to comply with Kollmann and Côté predictions, as was near the middle of the range: 1.41% for $\delta_{L_{30,65}}$ and 1.47% for $\delta_{l_{30,65}}$, by mentioning the random grain orientation for the panels. Furthermore, the swelling values within the same conditions for the treated wood panels were lower by app. 35-40% than for untreated wood and smaller than the predicted range.

In shrinkage, the relative dimensional changes, $\delta_{L_{65,30}}$ and $\delta_{l_{65,30}}$, were smaller for the treated wood (1.2%, respectively 1.68%), compared to the untreated sessile oak (2.26%, respectively 2.28%). This means, the treatment efficiency was of 46.8% lengthwise and 26.32% widthwise and perhaps, this difference may have been a result of the random grain orientation on the two directions.

Tabelul 3 / Table 3

Umflare relativă a panourilor la modificarea umidității relative a aerului de la 30% la 65%/ Relative panel's swelling for a change of the relative humidity from 30% to 65%

| Umflare relativă/ Relative swelling | Netratat/Untreated [%] | Tratat/Treated [%] | Eficiența tratamentului/ Treatment efficiency [%] |
|--|---------------------------|-----------------------|---|
| $\delta_{L_{30,65}}$ | 1.41 (4.50) | 0.91 (11.64) | 35.46 |
| $\delta_{l_{30,65}}$ | 1.47 (7.4) | 0.87 (11.12) | 40.82 |

*- valorile din paranteze reprezintă coeficienți de variație (%) = deviație standard * 100 / medie / values in parenthesis are coefficients of variation (%) = stdev * 100 / mean

Din Fig. 3, comparând modificările dimensionale ale epruvetelor pe lungime, cu cele pe lățime, pentru același tip de tratament al lemnului, se poate observa o tendință către o mai mare instabilitate dimensională a lățimii.

Testele ANOVA cu un singur factor au indicat valori ale contragerii și umflării semnificativ mai mari pe lățimea epruvetelor față de lungimea acestora, în cazul lemnului tratat- la contragere, respectiv netratat- la umflare, considerând un nivel de semnificație de 0,05%. În mod similar, valorile contragerii și umflării au fost nesemnificativ diferite pe lățime față de lungime, pentru lemnul tratat- la umflare și netratat- la contragere (Tabelul 4).

Datorită combinației aleatoare a fibrei pe cele două direcții, rezultatele au variat în consecință, însă, de-a lungul lungimii epruvetelor, prezența unui număr mai mare de îmbinări înclinate este posibil să fi redus instabilitatea dimensională.

From Fig. 3, by comparing the dimensional change along the length and along the width of the specimens, for the same wood treatment, it can be noticed a tendency to higher dimensional instability affecting the widths of the specimens.

In single factor ANOVA tests, values of shrinkage and swelling were significantly higher along the width of the specimens than along the length for treated wood- at shrinkage, respectively untreated- at swelling, at a 0.05% significance level. Similarly, values of shrinkage and swelling were insignificantly different along the length and width for treated wood- at swelling and untreated- at shrinkage (Table 4).

Given the mixture in grain orientation for both directions, the results varied accordingly, but, along the length, the presence of a greater number of glued joints may have reduced the dimensional instability.

Tabel 4/ Table 4

Teste ANOVA cu o singură variabilă pentru analiza statistică a modificărilor dimensionale ale panourilor în lungime și lățime / Single factor ANOVA tests for the panel's relative dimensional change in width and length

| Tipul de lemn/ Wood category | Tipul variației dimensionale/ Type of dimensional variation | Variație dimensională relativă/ Relative dimensional change (%) | Valoare medie/ Mean value | Varianța/ Variance | F | P-value | F _{crit} |
|---------------------------------|--|--|------------------------------|-----------------------|----------|----------|-------------------|
| Netratat/ Untreated | Umflare/ Swelling | $\delta L_{65,85}$ | 1.9 | 0.00783 | 10.63054 | 0.01152 | 5.317655 |
| | | $\delta l_{65,85}$ | 2.18 | 0.02852 | | | |
| | Contragere/ Shrinkage | $\delta L_{65,30}$ | 2.26 | 0.00408 | 0.037948 | 0.850403 | 5.317655 |
| | | $\delta l_{65,30}$ | 2.28 | 0.02965 | | | |
| Tratat/ Treated | Umflare/ Swelling | $\delta L_{65,85}$ | 1.25 | 0.07727 | 0.844085 | 0.385094 | 5.317655 |
| | | $\delta l_{65,85}$ | 1.40 | 0.05248 | | | |
| | Contragere/ Shrinkage | $\delta L_{65,30}$ | 1.2 | 0.01935 | 41.91195 | 0.000193 | 5.317655 |
| | | $\delta l_{65,30}$ | 1.68 | 0.00768 | | | |

Indiferent de direcție, este clar faptul că tratamentul termic a îmbunătățit stabilitatea dimensională a panourilor de gorun. Acest lucru este foarte important pentru că lemnul de gorun din trunchiuri tinere conține un procent ridicat de lemn juvenil, care, după Govorčin ș.a. (1998) este mai instabil dimensional decât lemnul matur. Cu toate acestea, rezultatele sunt dificil de comparat cu referințe din literatură, întrucât nu există studii similare pentru panouri din lemn masiv și, în mod particular, pentru panouri cu fibra transversală din trunchiuri tinere de gorun. EN 318 nu prescrie o limită admisă pentru variațiile dimensionale ale panourilor din lemn masiv. Singura referință în acest sens este standardul american ANSI A.208.2 (2002), care limitează expansiunea liniară a panourilor, dar din fibre de lemn, la 0,30% pentru o variație a umidității relative a mediului de la 50% la 80%. Comparativ cu această valoare, expansiunea liniară a panourilor de gorun cu fibra transversală este mai mare, chiar și dacă lemnul este tratat (1,25-1,4%), datorită orientării particulare a fibrei. Stabilitatea dimensională ar putea fi îmbunătățită mai departe, prin creșterea temperaturii de tratare, însă rezistențele mecanice pot să scadă în consecință. Deși sunt foarte atractive prin aspect și design al fibrei, panourile cu fibra transversală din trunchiuri tinere de gorun ar trebui utilizate în structuri de mobilier de mici dimensiuni la care eventualele modificări dimensionale pe lungime sau lățime să nu afecteze stabilitatea produsului (ex. plăci de mese sau alte panouri nerestricționate).

d). Influența tratamentului termic asupra rezistenței și modulului de elasticitate la încovoiere statică a panourilor de gorun

În Tabelul 5 și Fig. 5a,b sunt prezentate valorile medii ale rezistențelor și modulelor de elasticitate la încovoiere statică, putându-se observa o îmbunătățire cu 16,32% a rezistenței la încovoiere

Whatever the direction, it is clear that the thermal treatment has improved the dimensional stability of sessile oak panels. This is very important, because sessile oak from young trees contains a high percentage of juvenile wood, which according to Govorčin *et al.* (1998) has greater dimensional changes than the mature wood. However, it is difficult to compare these results with literature, since there were no similar studies on solid wood panels and specifically, on sessile wood panels with transverse grain manufactured from young trees.

EN 318 doesn't prescribe a limiting requirement for the dimensional variation of the solid wood panels. The only reference in this sense remains the American standard ANSI A.208.2 (2002) which is limiting the linear dimensional expansion of the fibreboards to 0.30% for an increase in humidity from 50% to 80%. Compared to this value, the linear expansion of the sessile oak panels with transversal grain is higher even for treated wood (1.25-1.4%), because of the peculiar grain orientation. The dimensional stability may be further improved by increasing the treatment temperature, but mechanical strength may decrease in consequence. Although very attractive as appearance and grain design, the sessile oak panels with transversal grain from young trees should be used in small furniture structures where any lengthwise or widthwise dimensional change would not impair the stability of the furniture product (for example: table top panels or any unrestrained panels).

d). The influence of the thermal treatment on the MOE and MOR of the sessile oak panels

Mean values of MOE and MOR are contained in Table 5, respectively, Fig. 5 a,b, where from it can be noticed an improvement of the MOR by 16.32% for the thermal treated sessile oak panels, while their MOE was similar to the untreated panels. No research was found on the mechanical strength of

și o valoare similară pentru modulul de elasticitate în cazul panourilor din gorun tratat față de lemn netratat. Nu există studii în literatură referitoare la rezistențele mecanice ale panourilor din trunchiuri tinere de gorun, iar orientarea specială a fibrei face orice comparație și mai puțin probabilă. De asemenea, această structură care generează tensiuni perpendiculare pe fibră este motivul rezistențelor inferioare la încovoiere a panourilor față de cele clasice cu fibra longitudinală. De aceea, panourile cu fibra transversală ar trebui utilizate numai pentru mobilier decorativ de mici dimensiuni și nu în produse supuse unor solicitări mari la încovoiere. Valorile mai mici ale deviațiilor standard pentru lemnul tratat în Fig.5a,b, indică o omogenitate mai mare decât în cazul lemnului netratat. Din toate aceste constatări, se poate concluziona că tratamentul termic nu a afectat rezistențele mecanice ale panourilor. Pentru a explica aceste rezultate, s-a analizat modul de rupere a ambelor tipuri de epruvete (Fig. 6, Fig. 7).

Deși solicitarea s-a aplicat între două zone de încheiere, ruperea s-a produs în stratul de adeziv la lemnul netratat, eforturile de forfecare fiind predominant în adeziv și mai puțin în lemn (Fig. 7a). Comparativ cu panourile din lemn netratat, ruperile la încovoierea panourilor din lemn tratat, deși s-au produs tot în zona de îmbinare, au generat forfecări predominant în lemn și mai puțin în stratul de adeziv (Fig. 7b).

sessile oak panels from young trees and the special grain orientation used in this paper makes a comparison with literature less likely. Also, the same type of structure, which renders wood to stresses perpendicular to the grain, is the reason of much lower MOE and MOR values than for the classic solid wood panels with longitudinal grain. Therefore, the panels with transversal grain should only be used in small size decorative furniture and not in products subjected to high bending stresses.

Smaller standard deviation values for the treated wood in Fig.5a,b indicate a more homogeneous behaviour than for untreated wood. From these results, one can conclude that the thermal treatment applied to the sessile oak from young trees did not affect the mechanical strength of the panels.

In order to explain the result, the failure in both types of panels was examined (Fig. 6, Fig. 7).

Although the stress was applied in bending in between two consecutive joints, the rupture seem to happen in the adhesive layer for the untreated wood panel, the shear efforts being predominant in the adhesive and less in wood (Fig. 7a). Compared to the panels from the untreated wood, the failure in bending for the treated wood panels, although happened in the joint area, too, the shear efforts occurred predominantly in wood and to a lesser extent in the adhesive layer (Fig. 7b).

Tabelul 5 / Table 5

Comparație între modulul de elasticitate și rezistența la încovoiere pentru panourile tratate și netratate termic/ Comparison between MOE and MOR for the heat treated and untreated wood panels

| Rezistențe mecanice/ Mechanical strength (N/mm ²) | Netratate/ Untreated | Tratate/ Treated | Eficiența tratamentului/ Treatment efficiency E (%) |
|---|-------------------------|---------------------|---|
| MOR | 6.63 (43.5) | 7.48 (21.55) | 16.32 |
| MOE | 1363.73 (12.21) | 1350.77 (8.60) | -0.95 |

*- valorile din paranteze reprezintă coeficienți de variație (%)=deviație standard*100/medie/ values in parenthesis are coefficients of variation (%)=stdev*100/mean.

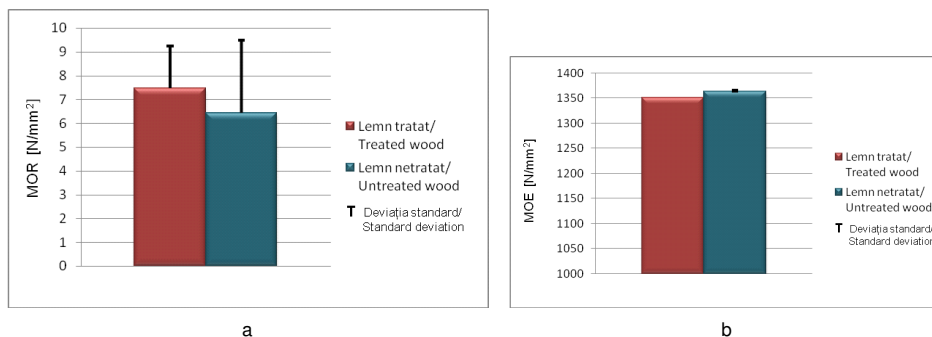


Fig. 5.

Comparație între rezistențele mecanice ale panourilor tratate și netratate termic / Comparison of the mechanical strength of the heat treated and untreated wood panels: a- rezistența la încovoiere bending strength (MOR); b- modulul de elasticitate la încovoiere/MOE.

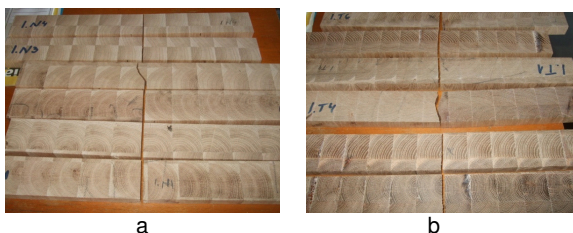


Fig. 6.

Exemple de rupere la încovoiere / Examples of failure in bending: a- lemn netratat/untreated wood; b- lemn tratat/treated wood.



Fig. 7.

a- rupere în stratul de adeziv (lemn netratat) / failure in the adhesive layer (untreated wood); b- rupere preponderent în lemn (lemn tratat) / failure mostly in wood (treated wood).

Se cunoaște din literatura de specialitate (Forest Products Laboratory 1999) faptul că adezivul pătrunde în lemn cât este în fază lichidă și se ancorează în timpul întăririi. O adeziune bună este dovedită de o rezistență bună a incleierii adeziv-lemn, cazul lemnului tratat în Fig.7b. Speciile *Quercus* sunt cunoscute ca fiind dificil de încleiat datorită procentului lor ridicat de substanțe extractibile (Forest Products Laboratory 1999). Totuși, tratarea termică este posibil să fi eliminat din aceste substanțe extractibile, să fi produs pierderea unor compuși chimici și sa fi indus "o structură deschisă" măbind cavitățile celulare (Hietala ș.a. 2002; Andersson ș.a. 2005). Dacă acesta a fost fenomenul produs în cazul gorunului, adezivul ar fi putut pătrunde mai ușor în lemn după tratarea termică, conducând la o adeziune mai bună (ruperea s-a produs predominant în lemn), însă cauza reală a adeziunii nu a fost verificată în cazul de față. O adeziune mai bună ar putea explica creșterea ușoară a rezistenței la încovoiere în cazul panoului din lemn tratat față de cel netratat.

Ruperile bruște ale epruvetelor, descrise ca fiind de tip "brush" de către standardul american ASTM (1997) au indicat un lemn mai casant în cazul gorunului tratat. Un comportament similar a fost semnalat la lemnul tratat termic de către Reiterer și Sinn (2002), Phuong ș.a. (2007) și Korkut ș.a. (2010).

CONCLUZII

Rezultatele au arătat că indiferent de condițiile de mediu, panourile din lemn de gorun tratat termic au atins o umiditate de echilibru mai mică decât panourile din lemn netratat, eficiența tratamentului crescând odată cu creșterea umidității relative a mediului. Pentru condiții normale, umiditatea de echilibru a panoului din lemn tratat a fost mai mică cu 23% decât cea pentru panoul netratat variind între 9-11%.

Tratamentul termic a produs o scădere mică, aproape neglijabilă, a densității (cu max. 3%) și o ușoară închidere a culorii lemnului, însă a îmbunătățit stabilitatea dimensională pe lungime și lățime a panourilor cu app. 34-35% la umflare și 26-46% la contragere, prin testare conform EN 318.

It is known from literature (Forest Products Laboratory 1999) that the adhesive penetrate wood while in the liquid phase and anchors during setting. A good adhesion is proved by a good gluing strength adhesive-wood, the case of the treated wood in Fig.7b. *Quercus* spp. are known as difficult to glue because of their high percentage of extractives (Forest Products Laboratory 1999). However, the thermal treatment may have removed the extractives, may have lost some chemical compounds and induced "an open structure" by enlarging wood cell cavities (Hietala *et al.* 2002; Andersson *et al.* 2005). If this phenomenon occurred with sessile oak, the adhesive may have had an easier penetration after thermal treatment, which may have induced an improved adhesion (failure was predominant in wood), but the real cause of a good adhesion was not checked in this case. A better adhesion could explain the slight increase in bending strength of the treated wood panel compared to the untreated.

Ruptures in wood specimens, showed an increased brittleness for the thermally treated sessile oak, which according to ASTM (1997) had a brush failure. Similar behaviour of treated wood was reported by Reiterer and Sinn (2002), Phuong *et al.* (2007) and Korkut *et al.* (2010).

CONCLUSIONS

The results have shown that whatever the environmental conditions, the thermally treated sessile oak panels reached lower equilibrium moisture content than the untreated wood panel, the treatment efficiency getting higher with the increase in the relative humidity. For normal conditions, the equilibrium moisture content of the treated wood panel was 23% lower than for the untreated and varied between 9-11%.

The heat treatment caused a slight, almost negligible, decrease in density (max. 3%) and a slight colour darkening, but has improved the lengthwise and widthwise dimensional stability by app. 34-35% in swelling and 26-46% in shrinkage when tested as in EN 318. Due to the atypical grain orientation, the panel's thickness was not affected by changes in relative humidity, while the linear

Datorită orientării atipice a fibrei, grosimea panourilor nu a fost afectată de modificările umidității relative a mediului, în timp ce umflarea pe lungime și lățime a panourilor din lemn tratat s-a situat în limitele 1,25-1,4%, fapt care le recomandă în structuri de mobilier în care eventualele modificări ale umidității relative a mediului să nu afecteze stabilitatea dimensională a produsului.

Tratarea termică a lemnului de gorun din trunchiuri tinere nu a afectat rezistențele mecanice ale panourilor realizate din acest material. Modulul de elasticitate la încovoiere statică a panourilor din lemn tratat a fost similar cu cel pentru panouri netratate, iar rezistența la încovoiere chiar a crescut cu 16%, probabil datorită adeziunii mai bune realizată cu adezivul poliuretanic. Însă, datorită orientării fibrei și eforturilor dezvoltate perpendicular pe fibră, valorile modulului de elasticitate și rezistenței la rupere prin încovoiere statică au fost mult mai mici decât în cazul panourilor clasice cu fibra longitudinală din lemn masiv. Având un aspect decorativ, panourile cu textură transversală realizate din lemn de gorun pot fi recomandate pentru produse de mic mobilier la care eforturile la încovoiere nu sunt critice.

În concluzie, tratarea termică a gorunului din trunchiuri tinere la 130°C pentru 2h a îmbunătățit stabilitatea dimensională și umiditatea de echilibru a panourilor fără a le afecta rezistențele mecanice.

MULȚUMIRI

Această lucrare este susținută de Programul Operațional Sectorial de Dezvoltare a resurselor Umane (POSDRU), finanțat de Fondul Social European și Guvernul României prin proiectul POSDRU/89/1.5/S/59323.

expansion of the treated wood panels ranged between 1.25-1.4%, which recommends these panels for furniture structures where any change in the relative humidity would not impair the stability of the furniture product.

The thermal treatment of sessile oak from young trees did not affect the mechanical properties of the panel manufactured from this material. The MOE of the treated wood panel was similar to the MOE of the untreated one, while the MOR increased by app. 16%, perhaps due to an increased bonding with the polyurethane adhesive. However, due to the grain orientation and stresses perpendicular to the grain, the values of MOE and MOR were much smaller than for classic solid wood panels with longitudinal grain.

With a decorative appearance, the treated sessile oak panels with transversal grain could be recommended for small furniture products where the bending stresses are not critical.

In conclusion, the thermal treatment at 130°C for 2h of sessile oak from young trees has improved the dimensional stability and the equilibrium moisture content of the panels and did not affect their mechanical strength.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper is supported by the Sectoral Operational Programme Human Resources Development (SOPHRD), financed from the European Social Fund and by the Romanian Government under the project number POSDRU/89/1.5/S/59323.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- ANDERSSON, S., SERIMAA, R., VÄÄNÄNEN, t., PAAKKARI, T., JÄMSÄ, S., VIITANIEMI, P. (2005). X-Ray Scattering Studies of Thermally Modified Scots pine (*Pinus sylvestris*, L.). *Holzforschung* 59: 422-427.
- BENGTSSON, C., JERMER, J., CLANG, A. (2003). Glulam of Heat-Treated Wood-Delamination Test. In: Abstracts of the First European Conference on Wood Modification, Ghent, Belgium.
- CÂMPEAN M, GURĂU L, OLĂRESCU A. (2011). Effect of Heat Treatment upon Dimensional Stability and Static Bending Strength of Sessile Oak Wood. *PRO LIGNO* 7(2):46-55, ISSN-L 1841-4737.
- CIONCA, M., BĂDESCU, L., GURĂU, L., ZELENIU, O., OLĂRESCU, A. (2006b). Eco-Design Approach. A Research Regarding the Potential Use of Branches in New Wooden Products. In: Proc. of the International Conference on Environmentally Compatible Forest Products: ECOWOOD. 20-22 sept. 2006. Fernando Pessoa University. Porto. Portugal: 571-577.
- CIONCA, M., BĂDESCU, L., ZELENIU, O., GURĂU, L. (2006a). Panels Made of Crosscut Branches. *PRO LIGNO* 4(2):35-42.
- ESTEVEZ, B., VELEZ MARQUES, A., DOMINGOS, I., PEREIRA, H. (2008). Heat Induced Colour Changes of Pine (*Pinus pinaster*) and Eucalypt (*Eucalyptus globulus*) Wood. *Wood Science and Technology*. 42(5):369-384.
- ESTEVEZ, B.M., PEREIRA, H.M. (2009). Wood Modification by Heat Treatment: A Review. *BioResources* 4(1):370-404.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999). Wood Handbook - Wood as an Engineering Material. General Technical Report FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 463 pp.

- GOVORČIN, S., SINKOVIČ, T., TRAJKOVIČ, J. (1998). Distribution of Properties in Use for Oak, Beech and Fir-Wood in Radial Direction. In: Wood Structure and Properties. Kurjatko, Stanislav ; Kudela, Jozef (ed). - Technica University in Zvolen: 30-38.
- HELINSKA-RACZKOWSKA, L. (1994). Variation of Vessel Lumen Diameter in Radial Direction as an Indication of the Juvenile Wood Growth in Oak (*Quercus petraea* Liebl). Annals of Forest Science, 51(3): 283-290.
- HIETALA, S., MAUNU, S., SUNDHOLM, F., JÄMSÄ, S., VIITANIEMI, P. (2002). Structure of Thermally Modified Wood Studied by Liquid State NMR Measurements. Holzforschung 56:522-528.
- KOLLMANN, F., FENGEL, D. (1965). Changes in the Chemical Composition of Wood by Heat Treatment. Holz als Roh- und Werkstoff 12:461-468.
- KOLLMANN, F.F.P., CÔTÉ, W.A.Jr. (1968). Principles of Wood Science and Technology. Vol. I. Solid Wood. Springer-Verlag, Berlin.
- KORKUT, S.(2008). The effects of heat treatment on some technological properties in Udulağ fir (*Abies bornmuelleriana* Mattf.) wood. Building and Environment 43:422-428.
- KORKUT, S., HIZIROGLU, S. (2009). Effect of heat treatment on mechanical properties of hazelnut wood (*Corylus colurna* L.). Materials and Design 30:1853-1858.
- KORKUT, S., KARAYILMAZLAR, S., HIZIROGLU, S., SANLI, T. (2010). Some of the Properties of Heat-Treated Sessile Oak (*Quercus petraea*). Forest Products Journal 60(5):473-480.
- OLĂRESCU, A., CÂMPEAN, M., GURĂU, L. (2011). Effect of Heat Treatment upon Dimensional Stability, MOE and MOR of Thin ($D_{max}=16$ cm) Sessile Oak Wood. PRO LIGNO 7(3):29-38.
- ÖZÇİFÇİ, A., YAPICI, F. (2008). Effects of Machining Method and Grain Orientation on the Bonding Strength of Some Species. Journal of Materials Processing Technology, 202 (1-3):353-358.
- PHUONG, L., SHIDA, S., SAITO, Y. (2007). Effects of Heat Treatment on Brittleness of *Styrax tonkinensis* Wood. Journal of Wood Science, 53:181-186.
- REID, R. (2005). Getting Serious about Oaks. Agroforestry News, 53:3.
- REITERER, A., SINN, G. (2002). Fracture Behaviour of Modified Spruce Wood: A Study Using Linear and Non-linear Fracture Mechanics. Holzforschung 56:191-198.
- ŞANDRU, M. (2011). Metode statistice de optimizare a managementului educational. Ed. Matrix, Bucuresti, ISBN 978-973-755-673-8.
- SHI, J., KOCAEFE, D., ZHANG, J. (2007). Mechanical Behaviour of Quebecwood Species Heat-Treated Using ThermoWood Process. Holz-als-Roh und Werkstoff, 65:255-259.
- WINDEISEN, E., STROBEL, C., WEGENER, G. (2007). Chemical Changes During the Production of Thermo-Treated Beech Wood. Wood Science and Technology, 41:523-536.
- ***ANSI A.208.2: 2002. Medium Density Fiberboard (MDF) for Interior Applications. Composite Panel Association.
- ***ASTM: 1997. Annual Book of ASTM Standards. Section 4.,Vol. 04.10. Wood. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- ***BS EN 13353: 2003. Solid Wood Panels (SWP)- Requirements.
- ***BS EN 310: 1993. Wood-Based Panels - Determination of Modulus of Elasticity in Bending and of Bending Strength.
- ***BS EN 318: 2002. Wood Based Panels. Determination of Dimensional Changes Associated with Changes in Relative Humidity.
- ***BS EN 322: 1993. Wood – Based Panels - Determination of Moisture Content.
- ***www.thermowood.fi/
- ***<http://org.elon.edu/econ/sac/anova.htm>