

**EFFECTUL TRATAMENTULUI TERMIC
ASUPRA STABILITĂȚII DIMENSIONALE,
REZISTENȚEI ȘI MODULULUI DE
ELASTICITATE LA ÎNCOVOIERE
STATICĂ A LEMNULUI DE GORUN
SUBȚIRE ($D_{MAX}=16$ CM)**

**EFFECT OF HEAT TREATMENT UPON
DIMENSIONAL STABILITY, MOE AND
MOR OF THIN ($D_{MAX} = 16$ CM) SESSILE
OAK WOOD**

Alin M. OLĂRESCU

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

Mihaela CÂMPEAN

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

Lidia GURĂU

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

Rezumat:

Lucrarea prezintă rezultatele unui studiu experimental efectuat pe lemn subțire ($D_{max}=16$ cm) de gorun (*Quercus petraea* Liebl.) provenit din rărituri. După uscare și condiționare la umiditatea de 12%, piesele de probă au fost supuse tratării termice la temperaturi înalte, fiind aplicate trei valori diferite ale acesteia (120, 130 și 140 °C), combinate cu trei durate de expunere (1, 2 și 3 ore). După tratare și răcire, s-au debitat epruvete standard pentru încercări fizice și mecanice, în vederea determinării densității, stabilității dimensionale, a rezistenței și a modului de elasticitate la încovoiere statică a probelor în funcție de regimul de tratare.

Pe baza rezultatelor obținute, s-a stabilit regimul optim de tratare, care să permită îmbunătățirea stabilității dimensionale fără a afecta semnificativ rezistența lemnului. Rezultatele pot fi valorificate în procesul de fabricare a unor panouri cu stabilitate dimensională superioară, utilizând elemente tratate termic.

Cuvinte cheie: gorun; lemn subțire; tratare termică la temperaturi înalte; densitate; stabilitate dimensională; rezistența la încovoiere statică; modul de elasticitate.

INTRODUCERE

Lemnul provenit din resurse lemnoase secundare (rărituri, crengi etc.) are caracteristici și proprietăți diferite de cele ale lemnului din trunchiurile mature. În general, lemnul din trunchiuri subțiri are densitate mică, iar crengile au densitate mare, dar ambele sortimente au contrageri mari, duritate și proprietăți mecanice reduse, datorate în principal unghiului de dispunere a microfibrilelor de celuloză și prezenței

Abstract:

The paper presents the results of an experimental study performed with thin ($D_{max}=16$ cm) sessile oak wood (*Quercus petraea* Liebl.) originating from thinning. After drying and conditioning at 12% MC, the test pieces were heat-treated at three different high temperatures (120, 130 și 140 °C) for 1h, 2h and 3h. After the treatment and cooling, standard samples for physical and mechanical test were cut, in order to determine comparatively the density, the dimensional stability, the static bending resistance (MOR) and the modulus of elasticity in static bending (MOE).

Based on the obtained results, the optimum treatment schedule was established, namely the one which enables improved dimensional stability without significantly affecting the wood strength. These results can be applied at the manufacturing of solid wood panels with improved dimensional stability using heat-treated wood elements.

Key words: sessile oak; thin wood; high-temperature heat treatment; density; dimensional stability; MOR; MOE .

INTRODUCTION

Secondary wood assortments (thinning, branches etc.) have different properties compared to wood from the mature trees. Generally, wood from thin logs has a low density, while the branches have a higher density, but both types have higher shrinkage, lower hardness and poorer mechanical properties mainly due to the cellulosic microfibril angle and to the presence of spiral grain. All these peculiarities

fibrei spiralate. Toate acestea particularități conduc la un indice calitativ inferior comparativ cu lemnul din trunchiurile mature (Kollmann și Côté 1968; Panshin și de Zeuw 1980; Zobel și Sprague 1998; Barnett și Bonham 2004; Burdon ș.a. 2004; Gapare ș.a. 2007; Johansson 2003; Cown și Wyk 2004; Olărescu 2009).

Tratarea termică a lemnului la temperaturi înalte este o modalitate ecologică de îmbunătățire a unor proprietăți ale lemnului precum higroscopicitatea, stabilitatea dimensională și durabilitatea, aceasta datorându-se modificărilor care apar în compoziția chimică a lemnului sub efectul temperaturii ridicate.

Temperatura de tratare trebuie aleasă astfel încât să producă pe cât posibil doar acele modificări de structură chimică favorabile ameliorării (afectarea hemicelulozelor – componentul cel mai hidrofil și higroscopic) și care să afecteze mai puțin structura celulozei (care asigură rezistențele mecanice).

În principiu, lemnul oricărei specii poate fi modificat termic. Majoritatea studiilor au fost efectuate pe rășinoase, care sunt cel mai puțin sensibile la temperatură și se tratează ușor, fără defecte, dar există și studii efectuate pe lemn de fag, frasin, stejar și alte specii de foioase, prin care s-a urmărit în special mărirea rezistenței la factori biologici și uniformizarea culorii (la fag și frasin)(Oehlhafen 2005), închiderea culorii pentru a imita specii exotice (la stejar)(Clauder ș.a. 2009) și respectiv stabilizarea dimensională la stejar și fag (Burmester 1975), la fag și mesteacăn (Giebel 1983) sau la gorun (Korkut ș.a. 2010; Câmpăan ș.a. 2011).

În ceea ce privește lemnul subtire (provenit din trunchiuri tinere sau crengi), până în prezent nu s-au efectuat studii privind ameliorarea stabilității sale dimensionale prin tratare termică la temperaturi înalte.

OBIECTIVE

Gorunul (*Quercus petraea* Liebl.) este cea mai importantă specie indigenă de stejar, acoperind 10,5% din suprafața pădurilor României cu cca. 670000 ha de pădure. Din răriturile aplicate arboretelor rezultă o importantă cantitate de materie primă, reprezentând 20,4% (în anul 2009) din totalul produselor lemnoase exploatate în România (INS 2010), pentru care trebuie găsită o cale de valorificare sustenabilă.

Lemnul de gorun (*Quercus petraea* L.) este o specie indigenă valoroasă, utilizată la fabricarea mobilei inclusiv sub formă de panouri reconstituite din lemn masiv cu structură longitudinală (Fig. 1a) sau transversală (Fig. 1b). O condiție esențială pentru asigurarea stabilității dimensionale și planeității acestor panouri o constituie stabilitatea dimensională a elementelor din care acestea sunt alcătuite. Cunoscând efectele pozitive ale

lead to a low quality index (Kollmann and Côté 1968; Panshin and de Zeuw 1980; Zobel and Sprague 1998; Barnett and Bonham 2004; Burdon *et al.* 2004; Gapare *et al.* 2007; Johansson 2003; Cown and Wyk 2004; Olărescu 2009).

Heat treatments are an ecological modality to improve some properties of wood, such as hygroscopicity, dimensional stability and durability, as a consequence of the changes which occur in the chemical composition of wood under the effect of high temperature.

The treatment temperature must be chosen so as to determine, as much as possible, only the chemical changes that are favourable to improvement (the ones which affect the hemicelluloses, which are the most hydrophilic and hygroscopic component), and which affect just to a small extent the cellulose structure (which ensures the mechanical strengths).

Basically, any wood species can be heat-treated. Most of the studies refer to heat-treated resinous woods, which are less sensitive to temperature and can be easily treated without defects, but reference literature also includes studies on heat-treated beech, ash, oak and other hardwoods. In these cases, the heat treatment envisaged mainly the durability increase and colour evenness (as for beech and ash)(Oehlhafen 2005), colour darkening in order to imitate exotic species (Clauder *et al.* 2009), and respectively dimensional stabilisation for oak and beech (Burmester 1975), or for birch and beech (Giebel 1983), or for sessile oak (Korkut *et al.* 2010; Câmpăan *et al.* 2011).

As far as the thin wood (originating from young trunks or branches) is concerned, no studies were performed up to date envisaging the improvement of its dimensional stability through high-temperature heat treatment.

OBJECTIVES

Sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) is the most important native oak species, covering 10.5% of the Romanian forests, with about 670000 ha of forest area. From forest thinning result an important quantity of raw material, representing 20.4% (in 2009) from the total quantity of cut wood in Romania (INS 2010). For these resources, it is necessary to find a way for sustainable capitalization.

Sessile oak wood (*Quercus petraea* Liebl.) is a valuable home-grown species, broadly used in furniture manufacturing, as such or as solid wood panels with longitudinal structure (Fig. 1a) or with transversal structure (Fig. 1b). An essential condition for ensuring the dimensional stability and planeity of these panels is the improved dimensional stability of the elements which compose the panel. Knowing the positive effects of heat treatments at high temperatures upon this aspect for other species, the

tratamentului de modificare termică asupra acestui aspect la alte specii, autorii au decis să efectueze o serie de încercări experimentale pentru a stabili dacă un astfel de tratament are efecte benefice și în cazul lemnului subțire de gorun și care ar fi regimul optim de tratare pentru a obține un maxim de stabilizare dimensională fără a afecta rezistențele mecanice, și mai ales rezistența la încovoiere statică a materialului.



a.

authors decided to perform a series of experimental tests to establish if such a treatment is effective in the case of thin sessile oak as well, and which would be the optimum treating conditions, so as to attain maximum dimensional stabilisation without affecting mechanical strengths, and especially without affecting the static bending strength of the material.



b.

Fig. 1.

Panouri reconstituite din lemn masiv de gorun / Solid wood panels made of sessile oak:
a-cu structură longitudinală/with longitudinal structure;
b-cu structură transversală/with transversal structure.

Având în vedere particularitățile de structură ale lemnului de gorun (specie densă de foioase tari, cu pori dispuși tipic inelar, mult mai mari în benzile de lemn timpuriu decât în cele de lemn târziu, umpluți cu tile în zona de duramen și cu raze de diferite lățimi, care predispun la crăpare), precum și limitările de ordin tehnic, respectiv imposibilitatea realizării unui mediu cu conținut redus de oxigen, temperaturile de tratare adoptate în cadrul prezentului studiu au fost mai mici decât cele obișnuite în tratamentele de modificare termică, respectiv sub 150°C, pentru a proteja lemnul și a preveni riscul aprinderii spontane.

În final, rezultatele au fost comparate cu rezultatele experimentale pentru lemnul provenit din trunchiuri mature tratat în aceleași condiții (Câmpean ș.a. 2011).

METODĂ, MATERIALE ȘI APARATURĂ

Materialul utilizat în cadrul studiului experimental a constat în piese de probă cu dimensiunile 500x120x50 mm, provenite din arbori subțiri ($D_{\max}=16\text{cm}$) de gorun (*Quercus petraea* Liebl.).

Pieseile au fost uscate artificial de la umiditatea inițială de cca. 75% până la umiditatea finală de 12%, într-o instalație convențională SEBA, regimul de uscare utilizat fiind prezentat în Tabelul 1. Ulterior, piesele au fost condiționate timp de o săptămână la temperatura de 20°C și umiditate relativă de 55%, în vederea detensionării și uniformizării umidității.

După condiționare, piesele au fost tratate termic într-o etuvă electrică cu convecție naturală și microprocesor de control PID, clasa I de calitate și performanță, cu temperatura variabilă în

Sessile oak belongs to the category of dense ring-porous hardwoods, with much larger pores in earlywood than in latewood, filled with tyloses in the heartwood area, with different ray widths. These characteristics qualify sessile oak as a difficult to dry wood species, prone to checking. Considering these structure peculiarities, as well as some technical limitations concerning the impossibility to create a medium with low oxygen content, the temperatures chosen for the present study had to be lower than in usual heat treatments, respectively below 150°C, in order to protect wood from checking and self-ignition.

Finally, the results were compared with the results for mature sessile oak wood, heat-treated under the same conditions (Câmpean *et al.*, 2011).

METHOD, MATERIALS AND EQUIPMENT

The material used within the present study consisted of test samples with the following dimensions: 500x120x50 mm, originating from thin ($D_{\max}=16\text{cm}$) sessile oak trees (*Quercus petraea* Liebl.).

The test pieces were kiln-dried from the initial moisture content (ca. 75%) to 12% final MC, according to the drying schedule presented in Table 1. Then they were conditioned for one week at 20°C and 55% RH to equilibrate the internal stresses and the moisture content distribution.

After conditioning, the test pieces were heat-treated in an electric oven with natural convection and PID controller from the German firm Binder. The heat treatment was performed at three different temperatures (120, 130 and 140°C) combined with three times of exposure (1, 2 and 3h), thus resulting nine treatment conditions.

After cooling, 20x20x20mm samples were cut for

intervalul 5-300°C, produsă de firma germană Binder. Tratarea termică s-a efectuat la trei temperaturi diferite, respectiv la 120, 130 și 140°C, timp de 1, 2 și 3 ore, rezultând astfel nouă regimuri de tratare.

După răcirea pieselor tratate, s-au debitat epruvete de 20x20x20mm pentru determinarea densității, 20x20x100mm pentru determinarea coeficienților de umflare și contragere, precum și epruvete cu dimensiunile 20x20x300mm pentru determinarea rezistenței la încovoiere statică și a modului de elasticitate la încovoiere.

density, 20x20x100mm samples for shrinkage and swelling tests, as well as 20x20x300mm samples for bending strength and MOE determinations. The density and the swelling and shrinkage coefficients were determined according to the national standards in force (STAS 84-87, STAS 85/1-91, and STAS 85/2-91), using an electronic scale with 0.01g precision and an electronic sliding caliper with 0.01mm precision for weighing and measuring the dimensions of the samples in initial state (at ambiental conditions), at fibre saturation point and in oven-dry state.

Tabelul 1 / Table 1

Regim de uscare pentru cherestea de gorun cu grosimea 30 – 60 mm aplicat în cadrul studiului experimental într-o instalație tip SEBA /

Drying schedule for 30 – 60 mm thick sessile oak timber applied in a SEBA-type kiln

Faza / Phase	Umiditatea lemnului / Wood moisture content, [%]	Temperatura / Temperature, [°C]	Gradientul de uscare / Drying gradient	Umiditatea de echilibru / Equilibrium moisture content, [%]
Încălzire inițială / Initial heating	75	31	-	18
Uscare propriu- zisă / Actual drying	35	29	2,1	15,0
	26	33	2,2	11,8
	20	38	2,4	8,3
	12	50	2,4	3,3
Condiționare / Conditioning	12	52	-	7,0
Răcire / Cooling	12	30	-	-

Determinarea densității și a coeficienților de umflare și contragere s-a efectuat conform standardelor în vigoare (STAS 84-87, STAS 85/1-91, și STAS 85/2-91), utilizând o balanță electronică cu precizie de 0,01g pentru cântărire și un șubler electronic cu precizie de 0,01mm pentru măsurarea dimensiunilor epruvetelor în stare inițială (la echilibru cu mediul ambiant), după atingerea umidității de saturație a fibrei și la stare anhidră.

Pe baza valorilor măsurate s-au mai calculat apoi coeficientul de anizotropie a contragerii (raportul între contragerea tangențială maximă și cea radială maximă β_t/β_r), precum și coeficientul de stabilizare dimensională (ASE):

$$ASE = \frac{\alpha_{lemn_netratat} - \alpha_{lemn_tratat}}{\alpha_{lemn_netratat}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

Determinarea rezistenței la încovoiere statică și a modului de elasticitate s-a efectuat în conformitate cu SR ISO 3133:2008 și SR ISO 3349:2008, pe mașina pentru încercări de laborator Zwick – model BT1- FB050TN.D30, dotată cu sistem automat de colectare și prelucrare a datelor.

Interpretarea statistică a rezultatelor s-a făcut, conform ISO 2602 – 2:1980, prin calculul mediei aritmetice $\bar{x}$, a abaterii medii pătratice s și a limitelor intervalului de încredință $(\bar{x} - t_n s, \bar{x} + t_n s)$, prin

Hereinafter, based on the measured values, the anisotropy coefficient was calculated as ratio between the maximum tangential shrinkage and the maximum radial shrinkage (β_t/β_r), as well as the anti-shrinkage efficiency (ASE):

$$ASE = \frac{\alpha_{untreated_wood} - \alpha_{treated_wood}}{\alpha_{untreated_wood}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

The static bending strength and MOE were determined according to SR ISO 3133:2008 and SR ISO 3349:2008, on a Zwick – model BT1- FB050TN.D30 universal testing machine, endowed with automatic data collecting and processing system.

The experimental data were statistically processed according to ISO 2602 – 2: 1980, by calculating the statistical mean $\bar{x}$, the standard deviation s and the limits of the confidence interval $(\bar{x} - t_n s, \bar{x} + t_n s)$, which eliminates eventual errors. For a 95% confidence level, t_n is calculated according to the following relation:

$$t_n = \frac{t_{0,95}}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

care se elimină statistic eventualele erori. În cazul adoptării unui coeficient de securitate de 95%, t_n se calculează conform relației:

$$t_n = \frac{t_{0,95}}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

în care:

n este numărul de probe;

$t_{0,95}$ – valoarea distribuției Student cu $n+1$ grade de libertate și coeficient de securitate 95%. Valorile acesteia sunt specificate tabelar în ISO 2602: 1980.

Limita inferioară a intervalului de confidență :

$$L_{5\%}^q = \bar{x} - t_n s \quad (3)$$

este un indicator important pentru compararea cu valoarea admisibilă a unui parametru dat.

REZULTATE EXPERIMENTALE ȘI DISCUȚII

Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelele 2-5. Ele alcătuiesc o bază de date în premieră, întrucât literatura de specialitate oferă date numai despre proprietățile lemnului provenit din trunchiuri mature, în timp ce, conform experienței autorilor cu alte specii (Olărescu 2009), lemnul provenit din sortimente subțiri prezintă caracteristici fizico-mecanice diferite, fapt confirmat de altfel și în urma comparării rezultatelor prezentei cercetări cu cele obținute de Câmpăan ș.a. (2011) cu lemn matur tratat termic în aceleași condiții.

Referitor la influența tratării termice asupra proprietăților selectate ale lemnului de gorun provenit din trunchiuri subțiri, se pot afirma următoarele:

- cu valori cuprinse între 605 și 732 kg/m³, în medie 684 kg/m³, densitatea lemnului tratat este cu 10,23% mai scăzută față de cea a lemnului netratat (Tabelul 2); nu se observă o lege clară de variație a densității în funcție de durata de expunere sau temperatură;
- cu valori cuprinse între 4,29% și 5,92% (în medie 5,03%), coeficientul de umflare radială totală al lemnului tratat este mai mic cu 30,9% comparativ cu cel netratat; cu valori cuprinse între 6,6 % și 8,07%, în medie 7,37% coeficientul de umflare tangențială totală al lemnului tratat este mai mic cu 31,6% comparativ cu cel netratat; drept urmare, valorile ASE pe direcție radială sunt cuprinse între 18,75% și 41,11% iar pe direcție tangențială între 25,25% și 38,9% (Tabelul 3 și Fig. 2);
- cu valori cuprinse între 4,44% și 5,59% (în medie 4,82%), coeficientul de contragere radială totală al lemnului tratat este cu 13,77% mai mic comparativ cu cel netratat; cu valori cuprinse între 6,19 % și 7,47%, în medie 6,87% coeficientul de contragere tangențială totală al lemnului tratat este cu 20,4% mai mic comparativ cu cel netratat; drept urmare, se poate concluziona că tratarea la temperaturi de 120-140°C a lemnului de gorun provenit din trunchiuri tinere produce modificări mai mici asupra contragerii radiale, dar determină reducerea semnificativă a contragerii tangențiale și drept urmare a coeficientului de anizotropie (Tabelul 4);

where:

n is the number of samples;

$t_{0,95}$ – value of Student distribution with $n+1$ degrees of freedom at 95% confidence level. Its values are specified in a table in ISO 2602: 1980.

The lower limit of the confidence interval: $L_{5\%}^q$

$$L_{5\%}^q = \bar{x} - t_n s \quad (3)$$

is an important indicator for the comparison with the admissible value of a certain parameter.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The obtained results are presented in Tables 2-5. They represent a valuable new database, considering

that reference literature provides only data on the properties of wood originating from mature trunks, while, according to the authors' experience with other species (Olărescu 2009), thin wood assortments are characterized by different physical and mechanical properties. This fact was confirmed by comparing the results of the present research with the ones obtained by Câmpăan et al. (2011) with mature sessile oak wood heat-treated under the same conditions.

Regarding the effect of the heat treatment upon the selected properties of sessile oak wood originating from thin trees, the following can be stated:

- with values ranging between 605 and 732kg/m³ and a mean of 684 kg/m³, the density of heat-treated wood is by 10.23% lower than the one of untreated wood (Table 2); no clear variation tendency of the density with increasing time and temperature could be established;
- with values ranging between 4.29% and 5.92% (mean 5.03%), the maximum radial swelling of treated wood was by 30.9% lower compared to the untreated wood; the maximum tangential swelling of treated wood recorded values between 6.6% and 8.07% (mean 7.37%), being by 31.6% lower compared to untreated wood; thus, radial ASE values were found between 18.75% and 41.11% and the tangential ASE values were between 25.25% and 38.9% (Table 3 and Fig. 2);
- with values ranging between 4.44% and 5.59% (mean 4.82%), the maximum radial shrinkage of treated wood was by 13.77% lower compared to the one of untreated wood; the maximum tangential shrinkage, with values between 6.19% and 7.47% (mean 6.87%) is with 20.4% lower than for untreated wood; thus, it can be concluded that heat treatments at temperatures between 120 - 140°C produce a minor change in radial shrinkage, but they reduce significantly the tangential shrinkage, and thus, the anisotropy coefficient (Table 4);
- compared to the average anisotropy coefficient value of 1.54 for untreated sessile oak wood

- față de un coeficient mediu de anizotropie cu valoarea 1,54 al lemnului de gorun netratat, provenit din trunchiuri subțiri, lemnul tratat prezintă, în general, valori cu 3 – 24% mai mici: la durată de expunere de 1h, coeficientul de anizotropie a crescut față de lemnul netratat: cu 7,14% pentru 120°C, cu 6,49% pentru 120°C și cu 4,5% pentru 140°C;
- indiferent de temperatură, coeficientul de anizotropie, pentru lemnul din trunchiuri tinere scade după o durată de expunere mai mare de 1h, pe când în prima oră crește cu 4 – 7% (Tabelul 4 și Fig. 3).

Având în vedere că rezultatele cele mai bune privind îmbunătățirea stabilității dimensionale s-au obținut în cazul regimurilor cu temperatura de 130°C și cu durate de 2h și 3h, determinarea rezistenței la încovoiere și a modului de elasticitate s-a efectuat numai în aceste două condiții, precum și pentru probele martor (netratate). Rezultatele se prezintă după cum urmează:

- rezistența la încovoiere statică a lemnului tratat la temperatura de 130°C nu diferă semnificativ (doar cu 3%) de cele ale lemnului netratat (Tabelul 5);
- modulul de elasticitate la încovoiere statică al lemnului tratat la temperatura de 130°C, este cu 13% mai mare decât lemnul netratat (Tabelul 5).

CONCLUZII

În urma tratării termice timp de 1h, 2h și 3h la temperatura de 120°C, 130°C și respectiv 140°C a lemnului provenit din trunchiuri subțiri de gorun (*Quercus petraea* Liebl.) s-au constatat următoarele efecte ale tratării termice la temperaturi înalte sub 150°C asupra proprietăților acestuia:

- tendința generală cu privire la modificarea densității lemnului este cea de scădere în urma tratării; deși nu s-a observat o corelație clară între reducerea densității și temperatura sau durata tratării, densitatea lemnului tratat a fost în medie cu 10,23% mai mică decât cea a lemnului netratat;

originating from thin trees, the heat-treated samples displayed, generally, 3 – 24% lower values. After 1h of exposure, the anisotropy coefficient is higher than for untreated wood: by 7.14% for 120°C, by 6.49% for 120°C and by 4.5% for 140°C;

- for wood originating from thin sessile oak trees, the anisotropy coefficient decreases after 1h exposure time; during the first hour or exposure, the anisotropy coefficient increases by 4 – 7% (Table 4 and Fig. 3).

Considering that the best results concerning the improvement of the dimensional stability were obtained at the temperature of 130°C with times of exposure of 2h and 3h, the static bending strength and MOE were determined only for these two conditions, as well as for the witness (untreated) samples. The results can be resumed as follows:

- the static bending strength values for wood treated at 130°C did not differ significantly (only by 3%) from values obtained for untreated wood (Table 5);
- the modulus de elasticitate in static bending for wood treated at 130°C is by 13% higher than for untreated wood (Table 5).

CONCLUSIONS

After heat-treating sessile oak wood (*Quercus petraea* Liebl.) originating from thin trees, for 1h, 2h and 3h at 120°C, 130°C and 140°C, the following effects of the heat-treatment at high temperatures below 150°C upon its properties could be established:

- the density showed a general decreasing tendency, but no clear correlation between the density reduction and the applied temperature or treating duration could be established; the average density reduction of treated wood compared to untreated wood was of 10.23%;

Tabelul 2 / Table 2

Densitatea în stare anhidră a lemnului de gorun provenit din trunchiuri subțiri netratat și tratat termic cu diferite regimuri / Oven-dry density of sessile oak wood, originating from thin trees, untreated and heat-treated in different conditions

Condiții de tratare / Treating conditions	Densitatea la stare anhidră / Oven-dry density, [kg/m ³]		
	$\bar{x}$	s	$L_{5\%}^q$
Netratat / Untreated	769	36,751	762
120°C, 1h	750	23,283	723
120°C, 2h	728	38,259	683
120°C, 3h	698	37,448	654
130°C, 1h	711	31,996	673
130°C, 2h	653	40,986	605
130°C, 3h	764	27,393	732
140°C, 1h	747	46,887	691
140°C, 2h	730	30,789	694
140°C, 3h	742	31,389	705

Tabelul 3 / Table 3

Coeficienții de umflare și de stabilizare dimensională la lemnul de gorun provenit din trunchiuri subțiri netratat și tratat termic cu diferite regimuri /
Swelling coefficients and ASE of sessile oak wood originating from thin trees, untreated and heat-treated in different conditions

Condiții de tratare / Treating conditions	Umflare radială totală / Maximum radial swelling, α_r [%]			Umflare tangențială totală / Maximum tangential swelling, α_t [%]			Coeficientul de stabilizare dimensională / Anti-shrinkage efficiency, ASE [%]	
	$\bar{x}$	s	$L_{5\%}^q$	$\bar{x}$	s	$L_{5\%}^q$	Radial	Tangențial
Netratat / Untreated	7,46	0,97	7,28	10,99	1,04	10,79	-	-
120°C, 1h	6,23	1,65	4,29	8,69	0,83	7,71	41,11	28,65
120°C, 2h	4,97	0,29	4,63	7,83	0,67	7,05	36,43	34,75
120°C, 3h	5,81	0,85	4,81	7,97	1,17	6,60	33,91	38,90
130°C, 1h	6,23	1,65	4,29	8,46	1,01	7,27	41,11	32,70
130°C, 2h	6,38	0,65	5,61	8,25	1,38	6,63	22,88	38,61
130°C, 3h	6,99	0,91	5,92	8,72	1,02	7,52	18,75	30,36
140°C, 1h	5,45	0,50	4,86	8,55	0,40	8,07	33,26	25,25
140°C, 2h	5,71	0,42	5,21	8,42	0,45	7,89	28,38	26,93
140°C, 3h	6,13	0,35	5,72	8,69	0,87	7,66	21,44	29,04

Tabelul 4 / Table 4

Coeficienții de contragere și anizotropie la lemnul de gorun, provenit din trunchiuri subțiri, netratat și tratat termic cu diferite regimuri /

Shrinkage and anisotropy coefficients of sessile oak wood, provided from thin trees, untreated and heat-treated in different conditions

Condiții de tratare / Treating conditions	Contragerea radială maximă / Maximum radial shrinkage β_r [%]			Contragerea tangențială maximă / Maximum tangential shrinkage β_t [%]			Coeficientul de anizotropie / Anisotropy coefficient β_t / β_r
	$\bar{x}$	s	$L_{5\%}^q$	$\bar{x}$	s	$L_{5\%}^q$	
Netratat / Untreated	5,82	0,97	5,63	8,83	0,95	8,64	1,54
120°C, 1h	5,51	0,98	4,35	7,99	0,71	7,16	1,65
120°C, 2h	4,74	0,26	4,42	7,26	0,58	6,58	1,49
120°C, 3h	5,49	0,76	4,59	7,37	1,01	6,19	1,35
130°C, 1h	5,84	1,44	4,14	7,79	0,86	6,78	1,64
130°C, 2h	6,00	0,57	5,32	7,61	1,18	6,22	1,17
130°C, 3h	6,52	0,79	5,59	8,02	0,87	7,00	1,25
140°C, 1h	5,17	0,45	4,63	7,87	0,34	7,47	1,61
140°C, 2h	5,40	0,38	4,95	7,76	0,38	7,31	1,48
140°C, 3h	5,77	0,31	5,41	7,99	0,74	7,12	1,32

Tabelul 5 / Table 5

Modulul de elasticitate și rezistența la încovoiere statică a lemnului de gorun netratat și tratat termic cu diferite regimuri /

MOR and MOE of sessile oak wood, untreated and heat-treated in different conditions

Condiții de tratare / Treating conditions	Rezistența la încovoiere statică / Static bending strength MOR, [N/mm ²]			Modulul de elasticitate la încovoiere statică / Modulus of elasticity MOE, [N/mm ²]		
	$\bar{x}$	s	$L_{5\%}^q$	$\bar{x}$	s	$L_{5\%}^q$
Netratat / Untreated	128	17,78	98	13653	1803,67	10636
130C, 2h	119	14,19703	95	13863,99	1116,069	11982
130C, 3h	103	3,091206	98	12555,84	334,3135	11992

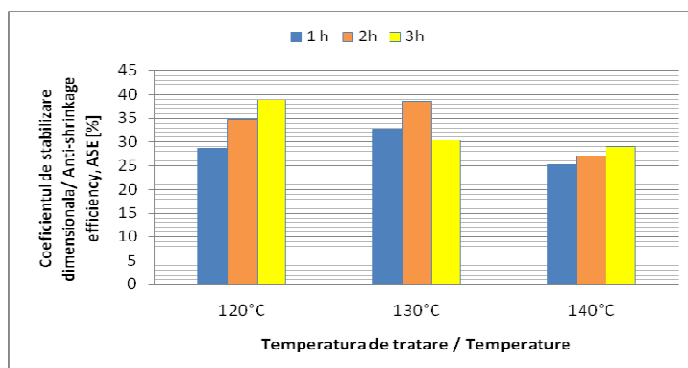


Fig. 2.

Variația coeficientului de stabilizare dimensională pe direcție tangențială a lemnului de gorun, provenit din trunchiuri subțiri, tratat la temperaturi înalte, în funcție de temperatură și durata de expunere/

ASE variation for heat-treated sessile oak wood, provided from thin trees, as function of treating temperature and time.

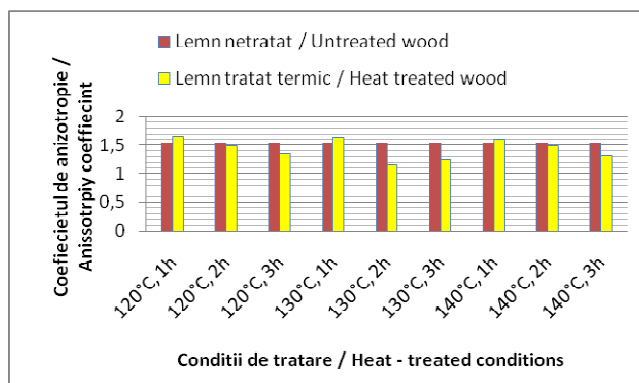


Fig. 3.

Variația coeficientului de anizotropie a lemnului de gorun, provenit din trunchiuri subțiri, tratat la temperaturi înalte cu diferite regimuri față de lemnul netratat /

Variation of the anisotropy coefficient of heat-treated sessile oak wood, provided from thin trees, compared to untreated wood.

- coeficientul de anizotropie a contragerii (β_t / β_r) se reduce în urma tratării, cu valori cuprinse între 3 – 24% pentru durate de expunere mai mari de 1h.
- the anisotropy coefficient (β_t / β_r) is significantly reduced by the heat-treatment with values between 3 – 24% for exposure time longer than 1h. For all

Pentru durata de expunere de 1h coeficientul de anizotropie crește cu: 7,14% pentru 120°C, 6,49% pentru 120°C și 4,5% pentru 140°C.

- atât umflarea radială cât și tangențială și implicit coeficienții de stabilizare dimensională (ASE) s-au îmbunătățit semnificativ în urma tratării: valorile ASE ale lemnului tratat față de cel netratat fiind cuprinse între 18,75% și 41,11% pe direcție radială și între 25,25% și 38,9% pe direcție tangențială

- rezistența la încovoiere statică a lemnului tratat de gorun, provenit din trunchiuri tinere, la temperatura de 130°C nu diferă semnificativ (-3%) de cea a lemnului netratat.

- modulul de elasticitate la încovoiere statică al lemnului tratat de gorun, provenit din trunchiuri tinere, la temperatura de 130°C este cu 13% mai mare decât la lemnul netratat.

În comparație cu lemnul din trunchiuri mature (Câmpean ș.a. 2011) se constată că lemnul din trunchiuri tinere are valori inferioare, dar care totuși se încadrează în limitele date de literatură (Wagenführ 2007).

În concluzie, dintre regimurile experimentate, cele mai bune rezultate privind îmbunătățirea stabilității dimensionale simultan cu non-afectarea rezistenței la încovoiere și a modulului de elasticitate s-au obținut în urma tratamentului la 130°C timp de 2h, la care :

- coeficientul de anizotropie a contragerii s-a redus cu 24% față de lemnul netratat;
- coeficientul de stabilizare dimensională pe direcție radială a fost de 22,88%, iar pe direcție tangențială a fost de 38,61%;
- rezistența la încovoiere statică s-a redus cu 3 % față de lemnul netratat;
- modulul de elasticitate la încovoiere statică a crescut cu 13% față de lemnul netratat.

MULȚUMIRI

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

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- BURDON, R. D., KIBBLEWHITE, R. P., WALKER, J. C. F., MEGRAW, R. A., EVANS, R., COWN, D. J., (2004). Juvenile versus mature wood: a new concept, orthogonal to corewood versus outerwood, with special reference to Pinus radiata and P. taeda. In For Sci Vol. 50 (4), pp. 399 – 415.
- BURMESTER, A. (1975). Zur Dimensionsstabilisierung von Holz. Holz als Roh- und Werkstoff 33, p.333-335.
- CÂMPEAN, M., GURĂU, L., OLĂRESCU, A. (2011). Effect of heat treatment upon dimensional stability and static bending of sessile oak wood. PRO LIGNO 7(2):46 – 55.
- CLAUDER, L., MASCHMANN-FEHRENSSEN, A., SEEMANN, F. (2009). Herstellung von thermisch modifiziertem Eichenholz. OakChain-Abschlussstagung, Eberswalde.
- COWN, D., van WYK, L., (2004). Profitable wood processing – what does it require? Good wood! In New Zealand Journal of Forestry, Vol. 49 (1), pp. 10 – 15.
- ESTEVES, B.M., PEREIRA, H.M. (2009). Wood Modification by Heat Treatment: A Review. BioResources 4(1): 370-404

temperatures, for 1 h exposure time, the anisotropy coefficient compared with untreated wood increases with: 7.14% for 120°C, 6.49% for 120°C and 4.5% for 140°C.

- the maximum radial and tangential swelling and implicitly the radial and tangential ASE were significantly improved after the heat-treatments: ASE values of treated wood compared to untreated wood ranged between 18.75% and 41.11% for radial direction and between 25.25% and 38.9% for tangential direction;

- the static bending strength was not affected by the treatment at 130°C, the reduction was of 3% compared with untreated wood.

- the modulus of elasticity in static bending is with 13% higher for wood treated at 130°C compared with untreated wood.

Compared with wood from mature sessile oak trees (Câmpean et al. 2011), the wood from thin trees has inferior values but still within the intervals given in reference literature (Wagenführ 2007).

As a conclusion, out of the experimented treating conditions, the best results concerning dimensional stability improvement and simultaneous preservation of bending strength and MOE were obtained after the treatment at 130°C for 2h, where:

- the anisotropy coefficient was reduced by 24% compared to untreated wood;
- the radial ASE 22.88%, and the tangential ASE was 38.61%;
- the static bending strength was reduced by only 3%;
- MOE was increased by 13 % compared to untreated wood.

ACKNOWLEDGEMENT

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

- GAPARE, W. J.; HATHORN, A.; KAIN, D.; MATHENSON, A. C.; WU, H. X., (2007). Inheritance of spiral grain in the juvenile core of *Pinus radiata* D. Don. In *Canadian Journal of Forestry Research*, Vol. 37, pp. 116 – 127.
- GIEBELER, E. (1983). Dimensionsstabilisierung von Holz durch eine Feuchte/Wärme/Druck-Behandlung. *Holz als Roh- und Werkstoff* 41:87-94.
- JOHANSSON, M., (2003). Prediction of bow and crook in timber studs based on variation in longitudinal shrinkage. In *Wood Fiber Sci*, Vol. 35 (3), pp. 445 – 455.
- KOLLMANN F.F.P, CÔTÉ W.A., (1968). *Principles of Wood Science and Technology*. Vol. I. Solid Wood. Springer-Verlag, Berlin.
- KOLLMANN, F., FENGEL, D. (1965). Changes in the Chemical Composition of Wood by Heat Treatment. *Holz als Roh- und Werkstoff* 12: 461-468.
- 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.
- LEITHOFF, H. (2001). Thermisch behandeltes Holz – Verfahrensübersicht und Anwendungsmöglichkeiten. Schweizerische Hochschule für die Holzwirtschaft, Biel.
- MILITZ, H., MAI, C. (2008). Holzvergütung. Sonstige Vergütungsverfahren (Kap. 4.3. p. 485-490). In: Wagenführ und Scholz (Hrsg.) *Taschenbuch der Holztechnik*,. Carl Hanser Verlag, Fachbuchverlag Leipzig.
- OELHAFEN, M. (2005) Untersuchungen der Eignung der thermischen Behandlung als Methode zur Farbegalierung von Holz mit fakultativem Farbkern. Hochschule für Architektur, Bau und Holz HSB, Biel.
- OLĂRESCU, A. M., (2009). Valorificarea sustenabila a lemnului din crengi (Sustainable capitalization of branches wood). Editura Universității Transilvania din Brașov, Brașov.
- PANSHIN, A.J., DE ZEIJW, C., (1980). *Textbook of Wood Technology*, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.
- TIMAR, M.C. (2003). *Ameliorarea lemnului (Wood Improvement)*. Editura Universității Transilvania, Brașov.
- WAGENFÜHR, R. (2007). *Holzatlas*. Fachbuchverlag Leipzig.
- WAGENFÜHR, R., SCHOLZ, F.(Hrsg)(2008). *Taschenbuch der Holztechnik*. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag München.
- ZOBEL, B. J., SPRAGUE, J. R., (1998). *Juvenile wood in forest trees*. Springer-Verlag, Berlin.
- *** (2010). *Statistica activitatilor din silvicultură în anul 2009 (Silviculture activities statistic in 2009)*. Institutul Național de Statistică (INS). București.
- *** (1980) ISO 2602 – 2: 1980. Statistical Interpretation of Test Results-Estimation of the Mean.Confidence Interval
- ***(2008) SR ISO 3133:2008. Lemn Determinarea rezistenței la încovoiere statică (Wood. Determination of Static Bending Strength).
- ***(2008) SR ISO 3349:2008. Lemn. Determinarea modulului de elasticitate la încovoiere statică (Wood. Determination of MOE).
- ***(1987) STAS 84-87. Lemn. Determinarea masei volumice (Wood. Determination of Density).
- ***(1991) STAS 85/1-91. Lemn. Determinarea umflării (Wood. Determination of Swelling).
- *** (1991) STAS 85/2-91. Lemn. Determinarea contragerii (Wood. Determination of Shrinkage).
- Internet files:
<http://www.finnforest.com>
<http://www.menzholz.de>
<http://www.platowood.nl>
<http://www.dumoulin-bois.fr>
<http://www.rueggerholz.ch/thermoholz/thermoholz.html>