

**EFFECTUL TRATAMENTULUI TERMIC
ASUPRA STABILITĂȚII DIMENSIONALE ȘI
REZISTENȚEI LA ÎNCOVOIERE STATICĂ A
LEMNULUI DE GORUN**

**EFFECT OF HEAT TREATMENT UPON
DIMENSIONAL STABILITY AND STATIC
BENDING STRENGTH OF SESSILE OAK
WOOD**

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: rgurau@rdslink.ro

Alin OLĂRESCU

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

Rezumat:

Lucrarea prezintă rezultatele unui studiu experimental efectuat cu lemn de gorun (*Quercus petraea* L.). 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 la încovoieră statică și a modulului de elasticitate al 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 panourilor reconstituite din lemn masiv, în vederea realizării unor panouri cu stabilitate dimensională superioară, folosind lamele de lemn tratat termic.

Cuvinte cheie: lemn de gorun; tratare termică la temperaturi înalte; densitate; stabilitate dimensională; rezistență la încovoieră statică; modul de elasticitate.

INTRODUCERE

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).

Abstract:

The paper presents the results of an experimental study performed with sessile oak wood (*Quercus petraea* L.). After drying and conditioning at 12%MC, the test pieces were heat-treated at three different high temperatures (120, 130 and 140 °C) for 1h, 2h and 3h. After the treatment and cooling, standard samples for physical and mechanical tests were cut, in order to determine comparatively the density, the dimensional stability, the static bending strength and MOE of the differently treated samples.

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

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

INTRODUCTION

Heat treatments are an ecologic 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

Conform datelor din literatura de specialitate, temperaturile la care descompunerea compușilor chimici principali ai lemnului are loc cu viteză maximă sunt: 180°C pentru hemiceluloze, 270°C pentru lignină și 340°C pentru celuloză (rezultate obținute pe lemn de plop și molid, raportate de Bobleter și Binder 1980, citați de Timar 2003). Dar modificări în structura chimică a lemnului, semnalate prin pierderi de masă, apar deja la temperaturi mai mici, în funcție și de specia lemnoasă (Oelhafen 2005). Astfel, Kollmann și Fengel (1965) au raportat că degradarea lemnului începe la 100°C la pin, dar numai la 130-150°C la stejar.

În plus, la alegerea temperaturii și mediului de tratare trebuie ținut cont că începând de la 150°C poate avea loc aprinderea lemnului, în special în prezența aerului (Timar 2003), motiv pentru care majoritatea tratamentelor de modificare termică dezvoltate până în prezent fie că se realizează în mediu umed, în atmosferă de vapori supraîncălziți puri (ThermoWood, Bois Perdure), în apă și presiune înaltă (Plato Wood), în uleiuri fierbinți (procedeu Menz Holz), fie într-un mediu de nitrogen (Retiwood) (Leithoff 2001, Timar 2003, Militz și Mai 2008, Esteves și Pereira 2009). Temperaturile aplicate în cadrul acestor tratamente de modificare termică a lemnului variază, în general, în intervalul 160-260°C, principalul rezultat în ceea ce privește proprietățile lemnului fiind reducerea cu până la 60% a coeficienților de contragere și umflare (www.rueggerholz.ch), dar și reducerea cu 10-30% a rezistențelor la încovoiere și tracțiune (Korkut ș.a. 2010).

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 (Giebeler 1983) sau la gorun (Korkut ș.a. 2010).

OBIECTIVE

Lemnul de gorun (*Quercus petraea* L.) este o specie indigenă valoroasă, utilizată la fabricarea mobilei inclusiv sub formă de panouri reconstituite din lemn masiv. O condiție esențială pentru asigurarea stabilității dimensionale și planeității acestor panouri o constituie stabilitatea dimensională a elementelor (lamelilor) din care acestea sunt alcătuite. Cunoscând efectele pozitive ale 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 de gorun și care ar fi regimul optim de tratare pentru a obține un maxim de stabilizare dimensională fără a afecta rezistențele

structure (which ensures the mechanical strengths).

According to reference literature, the decomposition of the main chemical compounds in wood takes place with maximum intensity at: 180°C for hemicelluloses, 270°C for lignin and 340°C for cellulose (these results being obtained on poplar and spruce wood, as reported by Bobleter and Binder 1980, cited by Timar 2003). However, changes in the chemical composition of wood, evidenced by mass losses, occur already at much lower temperatures, depending also on wood species (Oelhafen 2005). Kollmann and Fengel (1965) reported that wood degradation begins at 100°C for pine, but only at 130-150°C for oak.

Additionally, when choosing the temperature and the treating agent, one must consider that temperatures above 150°C may lead to self-ignition of wood, especially in the presence of air (Timar 2003). For this reason, heat treatments developed so far take place either in a humid medium, like superheated steam (ThermoWood, Bois Perdure), or water and high pressure (Plato Wood), or boiling oils (Menz Holz treatment), or in nitrogen (Retiwood) (Leithoff 2001, Timar 2003, Militz and Mai 2008, Esteves and Pereira 2009). The temperatures applied within these heat treatments generally vary between 160-260°C, the main result as far as wood properties are concerned, being the reduction by up to 60% of the swelling and shrinkage coefficients (www.rueggerholz.ch), but also the reduction by 10-30% of the bending and tensile strength (Korkut et al. 2010).

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 case, the heat treatment envisaged mainly the durability increase and colour uniformisation (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 (Giebeler 1983), or for sessile oak (Korkut et al. 2010).

OBJECTIVES

Sessile oak wood (*Quercus petraea* L.) is a valuable home-grown species, broadly used in furniture manufacturing, as such or as solid wood panels. 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 authors decided to perform a series of experimental tests to establish if such a treatment is effective in the case of sessile oak as well, and which would be the optimum treating

mecanice, și mai ales rezistența la încovoiere statică a materialului.

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 predisun 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.

Principalul obiectiv al acestui studiu l-a constituit stabilirea regimului optim de tratare în aceste condiții a lemnului de gorun, care să permită îmbunătățirea stabilității dimensionale, fără a afecta rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate al lemnului.

În final, rezultatele au fost comparate și cu cele ale altor autori, obținute pe aceeași specie (Korkut ș.a. 2010) sau din aceeași familie (stejar) (Clauder ș.a. 2009), pentru evaluarea efectelor induse de temperatura mai scăzută de tratare decât în cazul celorlalte studii.

METODA, MATERIAL SI APARATURA

Materialul utilizat în cadrul studiului experimental a constat în piese de probă cu dimensiunile 500x120x25mm, provenite dintr-un arbore matur de gorun (*Quercus petrea* L.).

Piesele 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 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.

conditions, so as to attain maximum dimensional stabilisation without affecting mechanical strengths, and especially without affecting the static bending strength of the material.

Sessile oak belongs into the category of dense ring-porous hardwoods, with much larger pores in earlywood than in latewood, filled with tyloses in the heartwood area, with differently wide rays. 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.

The main objective of this study was to establish the optimum treating conditions for sessile oak wood, which would enable maximum dimensional stabilisation without affecting the bending strength and MOE of wood.

In the end, the results were compared to the ones obtained by other authors with the same or related wood species (Clauder et al. 2009, Korkut et al. 2010), in order to evaluate the effects induced by the lower temperature.

METHOD, MATERIAL AND EQUIPMENT

The material used within the present study consisted of test samples with the following dimensions: 500x120x25mm, originating from a mature sessile oak tree (*Quercus petrea* L.).

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.

Tabelul 1 / Table 1

**Regim de uscare pentru chereștea de gorun, grosimea de 25mm /
Drying schedule for 25mm thick sessile oak timber**

Faza/Phase	Umiditatea lemnului / Wood moisture content [%]	Temperatura / Temperature [°C]	Umiditatea de echilibru / Equilibrium moisture content [%]	Gradientul de uscare/ Drying gradient
Încălzire inițială / Initial heating	75	30	16	-
Uscare propriu-zisă/ Actual drying	75...27	35	13,5	-
	27...20	60	10	2
	20...12	60	6	2
Condiționare/ Conditioning	12	50	12	-
Răcire/ Cooling	12	30	-	-

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 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 și a coeficienților de umflare și contragere, precum și epruvete cu dimensiunile 20x20x300mm pentru determinarea rezistenței la încovoiere statică și a modului de elasticitate la încovoiere.

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 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 încredință :

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

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

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 density, 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 ambient conditions), at fibre saturation point and in oven-dry state.

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:

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

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.

REZULTATE EXPERIMENTALE ȘI DISCUȚII

Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelele 2-5.

Valorile indicate de literatura de specialitate (Wagenführ 2000, Wagenführ și Scholz 2008) pentru lemnul netratat al acestei specii sunt următoarele:

- densitatea în stare anhidră: 390...650...930kg/m³;
- contragerea radială totală: 4.0...4.6%;
- contragerea tangențială totală: 7.8...10.0%;
- umflarea radială totală: 4,6%;
- umflarea tangențială totală: 10,9%;
- rezistența la încovoiere statică: 78...110...117N/mm²;
- modulul de elasticitate la încovoiere: 9200...13000...13500N/mm².

Comparând valorile obținute experimental pentru lemnul netratat (epruvetele de control) se observă că, în cazul densității, a rezistenței la încovoiere și a modulului de elasticitate ele se încadrează în jurul valorilor medii indicate de literatura de specialitate, dar în cazul coeficienților de contragere și umflare, aceștia sunt mai mari, comparabili cu cei indicați de Korkut ș.a. (2010) într-un studiu similar efectuat cu lemn de gorun.

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

- cu valori cuprinse între 580 și 761 kg/m³, în medie 676kg/m³, densitatea lemnului tratat este cu 11,4% mai scăzută față de cea a lemnului netratat (Tabelul 2); se observă clar tendința de scădere a densității cu creșterea duratei de expunere, nu însă și cu creșterea temperaturii (intervalul de variație a temperaturii considerat fiind probabil prea mic); pe baza rezultatelor obținute se poate concluziona că și la temperaturi sub 150°C, tratamentul termic determină pierderi de masă de până la 3,8% la lemnul de gorun;
- cu valori cuprinse între 4,04% și 8,25% (în medie 5,45%), coeficientul de contragere radială totală la lemnul tratat a rezultat mai mare față de cel al lemnului netratat, în timp ce contragerea tangențială, cu valori cuprinse între 4,63% și 9,34% (în medie 6,41%) urmează tendința așteptată, respectiv de scădere atât cu creșterea temperaturii, cât și cu creșterea duratei de expunere (Tabelul 3); cu alte cuvinte, tratarea la temperaturi de 120-140°C a lemnului de gorun nu produce modificări asupra contragerii radiale, dar determină reducerea semnificativă a contragerii tangențiale și drept urmare, a coeficientului de anizotropie;
- față de un coeficient mediu de anizotropie cu valoarea 1,97 al lemnului netratat de gorun, lemnul tratat prezintă, conform așteptărilor, valori cu 20-60% mai mici (Tabelul 3 și Fig. 1); se observă clar tendința de scădere a coeficientului de anizotropie în special cu creșterea temperaturii; după tratamentul la 130°C timp de 2h a rezultat scăderea acestui coeficient cu 45,5%, iar după tratamentul la 140°C timp de 2h, cu 52%;
- referitor la fenomenul umflării, ca și în cazul contragerii, tratamentul termic la temperaturi sub 150°C a determinat reducerea vizibilă doar a umflării pe direcția tangențială, nu și pe cea radială (Tabelul 4); valorile ASE pe direcție tangențială sunt între 34% și 57%; efectul de

RESULTS AND DISCUSSIONS

The obtained results are presented in Tables 2-5.

Reference literature (Wagenführ 2000, Wagenführ and Scholz 2008) indicates for the untreated wood of this species the following values of the selected properties:

- oven-dry density: 390...650...930kg/m³;
- maximum radial shrinkage: 4.0...4.6%;
- maximum tangential shrinkage: 7.8...10.0%;
- maximum radial swelling: 4,6%;
- maximum tangential swelling: 10,9%;
- static bending strength: 78...110...117N/mm²;
- MOE: 9200...13000...13500N/mm².

By comparing the experimental values obtained for untreated wood (control samples), one can notice that the average values for density, bending strength and MOE fit well into the limits indicated by reference literature, unlike the swelling and shrinkage coefficients, which are higher, yet comparable with the ones indicated by Korkut et al. (2010) in a similar study performed with sessile oak wood.

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

- with values ranging between 580 and 761 kg/m³ and a mean of 676 kg/m³, the density of heat-treated wood is by 11.4% lower than the one of untreated wood (Table 2); a clear decreasing tendency could be noticed with increasing time; the influence of temperature was less visible (as the considered temperature variation interval was probably too small); based on the obtained results, it can be concluded that even at temperatures below 150°C, sessile oak wood suffers a mass loss of up to 3.8%;
- with values ranging between 4.04% and 8.25% (mean 5.45%), the maximum radial shrinkage of treated wood was higher compared to the one of untreated wood, while the maximum tangential shrinkage, with values between 4.63% and 9.34% (mean 6.41%) is, as expected, visibly lower than the one of untreated wood (Table 3); in other words, heat treatments at temperatures between 120-140°C do not affect radial shrinkage, but they reduce significantly the tangential shrinkage, and thus, the anisotropy coefficient;
- compared to the average anisotropy coefficient value of 1.97 for untreated sessile oak wood, the heat-treated samples displayed, as expected, 20-60% lower values (Table 3 and Fig. 1); a clear decreasing tendency especially with increasing temperature could be noticed; after the treatment at 130°C for 2h, the anisotropy coefficient decreased by 45.5%, and after treatment at 140°C for 2h, it decreased by 52%;
- as the swelling phenomenon is concerned, same as with shrinkage, only tangential swelling was reduced after the heat treatments at temperatures below 150°C (Table 4); tangential ASE values were found between 22% and 57%; the reduction effect gets more visible with increasing temperature and time of exposure (Fig. 2); as a consequence, best efficiency was

reducere este cu atât mai vizibil cu cât temperatura și durata de expunere sunt mai mari (Fig. 2); prin urmare, efectul maxim s-a obținut prin tratamentul la temperatura de 140°C și durata de 3 ore, dar valori peste 40% s-au obținut și la tratamentul la 130°C cu durate de 2h și 3h;

- valorile rezistenței la încovoiere statică la lemnul de gorun tratat la temperaturile de 120°C și 130°C nu diferă semnificativ de cele ale lemnului netratat (Tabelul 5); numai în cazul tratamentelor la 140°C cu durată de 2h și respectiv 3h s-a observat o scădere mai pronunțată a rezistenței, respectiv cu cca. 12% față de lemnul netratat;
- în ceea ce privește modulul de elasticitate la încovoiere, doar în cazul lemnului tratat la 140°C s-au constatat diferențe semnificative comparativ cu lemnul netratat; comparând valorile obținute pentru lemnul tratat cu diferite regimuri, se observă tendința de scădere a acestuia cu creșterea temperaturii (Fig. 3), valoarea obținută în urma tratamentului la 140°C timp de 2h fiind de exemplu cu 7% mai mică decât după tratamentul la 130°C cu aceeași durată.

obtained with the treatment at 140°C for 3h, but values above 40% were also obtained with treatments at 130°C for 2h and 3h;

- the static bending strength values for sessile oak wood treated at 120°C and 130°C did not differ significantly from values obtained for untreated wood (Table 5); only with treatments at 140°C with durations of 2h and 3h, a significant reduction of the bending strength was noticed, by ca. 12%;

- as far as MOE is concerned, only the samples treated at 140°C displayed significantly lower values than untreated wood; by comparing the MOE values of the treated samples, a decreasing tendency with increasing temperature could be established (Fig. 3); for example, the MOE value obtained after the treatment at 140°C for 2h was by ca. 7% lower than the one obtained after the treatment at 130°C for the same period of time.

Tabelul 2 / Table 2

**Densitatea în stare anhidră a lemnului de gorun netratat și tratat termic cu diferite regimuri /
Oven-dry density of sessile oak wood, 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	776	23,129	763
120°C, 1h	701	7,585	692
120°C, 2h	676	18,686	645
120°C, 3h	635	6,492	624
130°C, 1h	736	8,345	722
130°C, 2h	734	2,492	730
130°C, 3h	625	27,009	580
140°C, 1h	780	10,943	761
140°C, 2h	638	7,835	625
140°C, 3h	713	2,247	710

Tabelul 3 / Table 3

**Coeficienții de contragere și anizotropie la lemnul de gorun netratat și tratat termic cu diferite regimuri /
Shrinkage and anisotropy coefficients of sessile oak wood, untreated and heat-treated in different conditions**

Condiții de tratare / Treating conditions	Contragerea radială maximă / Maximum radial shrinkage			Contragerea tangențială maximă / Maximum tangential shrinkage			Coeficientul de anizotropie / Anisotropy coefficient β_t / β_r
	β_r [%]			β_t [%]			
	\bar{x}	s	$L_{5\%}^q$	\bar{x}	s	$L_{5\%}^q$	
Netratat/Untreated	5,06	0,33	4,87	10,04	0,37	9,60	1,97
120°C, 1h	4,67	0,07	4,54	7,12	0,19	6,81	1,50
120°C, 2h	5,07	0,50	4,23	7,03	0,36	6,41	1,52
120°C, 3h	5,78	0,22	5,53	7,26	0,45	6,74	1,22
130°C, 1h	9,37	1,13	8,25	10,27	0,93	9,34	1,09
130°C, 2h	5,57	0,09	5,43	6,08	0,40	5,41	1,00
130°C, 3h	4,15	0,07	4,04	5,53	0,48	4,22	1,04
140°C, 1h	7,89	0,86	6,44	8,99	1,23	6,91	1,07
140°C, 2h	6,16	0,25	5,75	5,86	0,66	4,75	0,83
140°C, 3h	5,93	0,60	4,92	6,72	1,24	4,63	0,94

Tabelul 4 / Table 4

Coeficienții de umflare și de stabilizare dimensională la lemnul de gorun netratat și tratat termic cu diferite regimuri /

Swelling coefficients and ASE of sessile oak wood, untreated and heat-treated in different conditions

Condiții de tratare / Treating conditions	Umflarea radială totală / Maximum radial swelling			Umflarea tangențială totală / Maximum tangential swelling			Coeficientul de stabilizare dimensională / Anti-shrinkage efficiency	
	α_r [%]			α_t [%]			ASE [%]	
	\bar{x}	s	$L_{5\%}^q$	\bar{x}	s	$L_{5\%}^q$	Radial	Tangential
Netratat/Untreated	5,3	0,37	5,09	11,20	0,92	10,66	-	-
120°C, 1h	4,90	0,08	4,76	7,67	0,22	7,31	10,19	34,73
120°C, 2h	5,34	0,55	4,41	7,56	0,42	6,85	16,79	38,84
120°C, 3h	6,14	0,24	5,72	7,83	0,52	6,95	-7,92	37,95
130°C, 1h	9,37	1,13	7,48	10,27	0,93	8,70	-41,13	34,32
130°C, 2h	5,90	0,10	5,74	6,47	0,45	5,71	-8,30	49,02
130°C, 3h	4,33	0,07	4,21	8,14	0,56	5,19	20,57	51,31
140°C, 1h	8,57	1,01	6,87	9,90	1,49	7,39	-29,62	34,02
140°C, 2h	6,57	0,28	6,09	6,23	0,74	4,97	-14,91	55,63
140°C, 3h	6,31	0,68	5,16	7,23	1,42	4,84	2,64	56,79

Tabelul 5 / Table 5

Rezistența la încovoiere statică și modulul de elasticitate la lemnul de gorun netratat și tratat termic cu diferite regimuri / Static bending strength 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 σ_i [MPa]	Modulul de elasticitate la încovoiere statică / Modulus of elasticity MOE [MPa]
Netratat/Untreated	113	13880
120°C, 1h	113	13500
120°C, 2h	115	14000
120°C, 3h	113	13700
130°C, 1h	113	13300
130°C, 2h	109	12900
130°C, 3h	106	13600
140°C, 1h	106	12500
140°C, 2h	100	11900
140°C, 3h	99	11800

Rezultatele obținute în cadrul prezentei cercetări sunt în bună concordanță cu cele obținute de Korkut ș.a. (2010) cu lemnul aceleiași specii, tratat termic la temperaturi de 120°C, 150°C și 180°C timp de 2h, 6h și 10h. Conform acestui studiu, temperaturile sub 150°C nu afectează semnificativ densitatea lemnului. Reducerea umflării este foarte mică (3-4% cea radială și 5-6% cea tangențială) la temperatura de 120°C timp de 2h și 6h; abia în urma tratamentului la 120°C cu durata de 10h s-a obținut reducerea cu 10% a umflării radiale și cu 12% a umflării tangențiale. În ceea ce privește influența asupra rezistenței la încovoiere, după tratamentele la 120°C s-au obținut reduceri de 5-8%, la 150°C peste 12%, iar la 180°C peste 20%. Reducerea modulului de elasticitate este mai mare decât cea obținută de autori, respectiv de 16% după tratarea la 120°C timp de 2h, peste 36% la 150°C și peste 40% la 180°C.

The results obtained within the present research are in good accordance to the ones obtained by Korkut et al. (2010) with the same species, heat-treated at 120°C, 150°C and 180°C for 2h, 6h and 10h. According to this study, temperatures below 150°C do not affect significantly the wood density. The reduction in swelling is very small (3-4% in radial direction and 5-6% in tangential direction) after treatment at 120°C for 2h and 6h; however, after 10h at 120°C, the radial swelling was reduced by 10% and the tangential swelling by 12%. Concerning the bending strength, treatments at 120°C lead to a reduction by 5-8%, at 150°C by over 12% and at 180°C by over 20%. The reduction of MOE was much higher than obtained by the authors of the present study, respectively by 16% even after the treatment at 120°C for 2h, by over 36% at 150°C and by over 40% at 180°C.

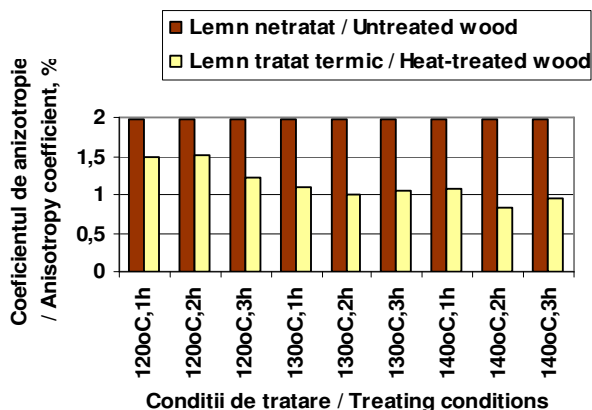


Fig. 1.

Scăderea coeficientului de anizotropie a lemnului de gorun tratat la temperaturi înalte cu diferite regimuri față de lemnul netratat /
Decrease tendency of the anisotropy coefficient of heat-treated sessile oak wood compared to untreated wood.

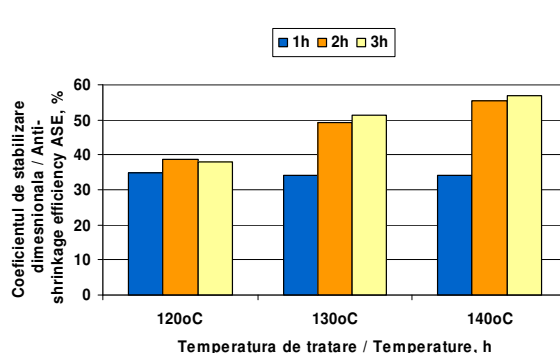


Fig. 2.

Creșterea coeficientului de stabilizare dimensională pe direcție tangențială a lemnului de gorun tratat la temperaturi înalte, în funcție de temperatură și durata de expunere/
ASE increase tendency for heat-treated sessile oak wood as function of treating temperature and time.

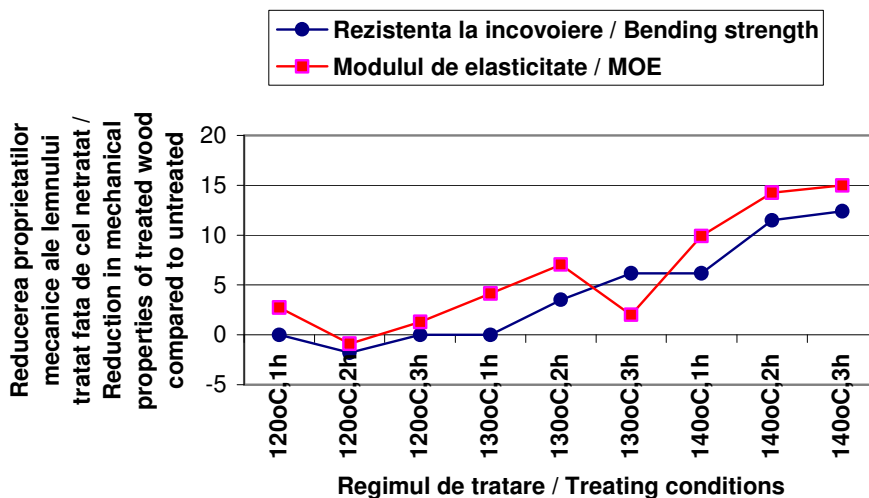


Fig. 3.

Reducerea procentuală a rezistenței la încovoiere și a modulului de elasticitate a lemnului de gorun tratat la temperaturi înalte cu diferite regimuri față de lemnul netratat /
Percentual reduction of static bending strength and MOE of sessile oak wood heat-treated under different conditions compared to untreated wood.

Interesantă este și comparația cu rezultatele obținute de Clauder ș.a. (2009), care au tratat termic lemn de stejar, la temperaturi de 160°C, 180°C și 190°C și care conduc la următoarele concluzii:

- temperaturile peste 150°C conduc și la reducerea umflării radiale, ceea ce determină o stabilizare dimensională mai completă: de exemplu, la 180°C $ASE_{rad}=+34%$ (mult mai mare decât cea obținută de autori la 140°C) și $ASE_{tg}=54%$ (comparabilă cu cea obținută în cadrul prezentului studiu la temperatura de 140°C);

The comparison with the results obtained by Clauder et al. (2009) with heat-treated oak wood at temperatures of 160°C, 180°C and 190°C are also of great interest. They show that:

- temperatures above 150°C determine a significant reduction not only of the tangential swelling, but of the radial swelling as well, which enhances a more complete dimensional stabilisation. For instance, the ASE value for oak samples treated at 180°C was +34% in radial direction (which is much more than the values obtained by the authors at temperatures below 150°C)

- la 180 °C, rezistența la încovoiere statică scade cu 20% față de cea a lemnului netratat; la temperaturi mai mici (160°C), rezistența nu este afectată.

CONCLUZII

În urma tratării termice timp de 1h, 2h și 3h la temperatura de 120 °C, 130 °C și respectiv 140°C a lemnului de gorun (*Quercus petraea* L.) 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 11% mai mică decât cea a lemnului netratat;
- coeficientul de anizotropie a contragerii (β_t / β_r) se reduce semnificativ în urma tratării, cu 38% după tratarea la 120°C timp de 3h, cu 47% după tratarea la 130°C timp de 3h și respectiv cu 52% după tratarea la 140°C timp de 3h;
- numai umflarea tangențială și implicit coeficientul de stabilizare dimensională (ASE) pe direcție tangențială s-au îmbunătățit semnificativ în urma tratării, valorile ASE ale lemnului tratat față de cel netratat fiind cuprinse între 34% și 57%, cu valori peste 40% la tratamentele la 130°C și 140°C cu durate de 2h și 3h ;
- rezistența la încovoiere statică și modulul de elasticitate nu sunt afectate în urma tratamentului la 120°C ; reduceri mai mari de 5% la ambele proprietăți s-au evidențiat numai la tratamentele la 140°C.

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 3h, la care :

- coeficientul de anizotropie a contragerii s-a redus cu 47,2% față de lemnul netratat;
- coeficientul de stabilizare dimensională pe direcție radială a fost de 20,57%, iar pe direcție tangențială a fost de 51,31%;
- rezistența la încovoiere statică s-a redus cu 6,2% față de lemnul netratat;
- modulul de elasticitate la încovoiere s-a redus cu 2,0% 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

- BURMESTER, A. (1975). Zur Dimensionsstabilisierung von Holz. Holz als Roh- und Werkstoff 33, p.333-335.
- CLAUDER, L., MASCHMANN-FEHRENSSEN, A., SEEMANN, F. (2009). Herstellung von thermisch modifiziertem Eichenholz. OakChain-Abschlussstagung, Eberswalde.
- ESTEVEZ, B.M., PEREIRA, H.M. (2009). Wood Modification by Heat Treatment: A Review. BioResources 4(1): 370-404

and +54% in tangential direction (which is comparable with the values obtained within the present study at 140°C);

- at 180°C the bending strength was reduced by 20% compared to untreated wood; at lower temperatures (160°C) the bending strength was not affected at all.

CONCLUSIONS

After heat-treating sessile oak wood (*Quercus petraea* L.) 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 11%;
- the anisotropy coefficient (β_t / β_r) is significantly reduced through the heat-treatment: by 38% after the treatment at 120°C for 3h, by 47% after the treatment at 130°C for 3h and by 52% after the treatment at 140°C for 3h;
- only the tangential swelling and implicitly the tangential ASE were significantly improved after the heat-treatments: ASE values of treated wood compared to untreated wood ranged between 34% and 57%, with values above 40% for the treatments at 130°C and 140°C for 2h and 3h;
- the static bending strength and MOE were not affected by the treatment at 120°C; reductions over 5% for both properties were recorded only for the samples treated at 140°C.

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 3h, where:

- the anisotropy coefficient was reduced by 47.2% compared to untreated wood;
- the radial ASE 20.57%, and the tangential ASE was 51.31%;
- the static bending strength was reduced by only 6.2%;
- MOE was reduced by 2.0% 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.

- GIEBELER, E. (1983). Dimensionsstabilisierung von Holz durch eine Feuchte/Wärme/Druck-Behandlung. Holz als Roh- und Werkstoff 41:87-94.
- 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.
- TIMAR, M.C. (2003). Ameliorarea lemnului (Wood Improvement). Editura Universității Transilvania, Brașov.
- WAGENFÜHR, R. (2000). Holzatlas. Fachbuchverlag Leipzig. 707 PP. ISBN 978-3446213906
- WAGENFÜHR, R., SCHOLZ, F.(Hrsg)(2008). Taschenbuch der Holztechnik. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag München.
- *** (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>