

**EFECTELE TRATAMENTULUI TERMIC
DE SCURTĂ DURATĂ ASUPRA UNOR
PROPRIETĂȚI ALE LEMNULUI DE TEI**

**EFFECTS OF SHORT TIME THERMAL
TREATMENT ON SOME PROPERTIES OF
LIME WOOD**

Ioannis BARBOUTIS

Associate Professor – Aristotle University, Faculty of Forestry and Natural Environment
Laboratory of Wood Products and Furniture Technology
Adresa/Address: 541 24, Thessaloniki, Greece
E-mail: jbarb@for.auth.gr

Vasileios VASILEIOU

Professor – Aristotle University, Faculty of Forestry and Natural Environment
Laboratory of Wood Products and Furniture Technology
Adresa/Address: 541 24, Thessaloniki, Greece
E-mail: vass@for.auth.gr

Adromachi MITANI

PhD Student – Aristotle University, Faculty of Forestry and Natural Environment
Laboratory of Wood Products and Furniture Technology
Adresa/Address: 541 24, Thessaloniki, Greece
E-mail: amitani@hotmail.com

Vasiliki KAMPERIDOU

PhD Student – Aristotle University, Faculty of Forestry and Natural Environment
Laboratory of Wood Products and Furniture Technology
Adresa/Address: 541 24, Thessaloniki, Greece
E-mail: vkamperi@for.auth.gr

Rezumat:

Tratamentul termic al lemnului este folosit în mod normal ca un procedeu netoxic și ecologic pentru a îmbunătății unele din proprietățile naturale ale acestuia. Lemnul de tei (*Tilia cordata*) este caracterizat prin durabilitate și stabilitate dimensională relativ scăzute. Acești factori restricționează esențial aplicațiile acestuia. În această lucrare sunt investigate efectele tratamentului termic de scurtă durată asupra unor proprietăți fizice și mecanice ale lemnului de tei. Epruvetele au fost tratate termic la 180°C, 200°C și 220°C timp de 15 și respectiv 30 minute, după care au fost studiate următoarele proprietăți: densitatea, modificarea stabilității dimensionale după imersia în apă, rezistența la încovoiere statică și modulul de elasticitate, rezistența la încovoiere dinamică (la șoc), rezistența la compresiune paralelă cu fibrele și duritatea în direcțiile radială și tangențială. Rezultatele sunt prezentate comparativ pentru eșantioanele tratate și respectiv netratate.

Cuvinte cheie: tratament termic; proprietăți fizico-mecanice; lemn de tei.

INTRODUCERE

Lemnul este un material regenerabil și fără doar și poate valoros, folosit în diferite aplicații. Totodată, lemnul este caracterizat de o serie de dezavantaje datorită naturii sale higroscopice, ca de pildă rezistența slabă la atacul biologic al ciupercilor de

Abstract:

Thermal treatment of wood is normally used as a non toxic, environmentally friendly practice to improve some of its natural properties. Lime wood (*Tilia cordata*) is characterized by relatively low durability and dimensional stability. These factors restrict its applications essentially. In this work, the effects of the short time thermal treatment on some physical and mechanical properties of lime wood were investigated. Samples were thermally treated at 180°C, 200°C and 220°C for two different short time periods of 15 and 30 min, respectively. The following properties were studied: density, variation of dimensional stability after immersion in water, static bending strength (MOR and MOE), impact bending strength, compression strength parallel to the grain, and hardness in radial and tangential direction. The results of both treated and untreated samples were given, for comparative purposes.

Key words: thermal treatment; physical – mechanical properties; lime wood.

INTRODUCTION

Wood is a renewable and undoubtedly valuable material that is widely used in different applications. However, wood is also characterized by a number of disadvantages because of its hygroscopic nature, such as poor resistance against biological attacks of

mucegai și insectelor, precum și tendința de contragere și umflare prin absorbția și desorbția apei în funcție de mediul care îl înconjoară și care limitează utilizarea lemnului în condiții de exterior.

Până în prezent au fost făcute multe studii, cu scopul de a îmbunătăți proprietățile dezavantajoase ale lemnului, numite în mod uzual "procedee de modificare a lemnului". "Tratamentul termic" este un proces de modificare a lemnului, care, sub acțiunea temperaturilor înalte, schimbă multe din proprietățile fizice, mecanice și chimice ale lemnului, și anume: stabilitatea dimensională, umiditatea de echilibru, culoarea lemnului, rezistența la încovoiere, duritatea, durabilitatea biologică etc. Tratamentul termic al lemnului afectează polimerii peretelui celular: hemiceluloza, celuloza și lignina. În timpul procesului, hemicelulozele încep să se descompună primele, deoarece au cea mai mică greutate moleculară dintre polimerii lemnului și aceasta îi face mai reactivi. În plus, lignina se înmoaie, celuloza și grupurile hidrofilice se modifică. Ca rezultat al acestui proces, lemnul tratat la temperatură înaltă își pierde capacitatea de absorbție a apei contrar cu comportarea hidrofilă a lemnului uscat convențional.

Îmbunătățirea proprietăților lemnului după tratamentul termic depinde de mulți factori cum ar fi: agentul de tratare utilizat, specia de lemn, timpul de tratare și temperatura. Temperatura și durata tratamentului termic variază în general de la 180° la 250°C și de la 15 minute la 24h în funcție de procesul de tratare, specia lemnoasă, umiditatea epruvetei, dimensiunile epruvetei și proprietățile mecanice dorite, rezistența la atac biologic și stabilitatea dimensională dorită ale produsului final.

Câteva schimbări ale proprietăților fizice și chimice ale lemnului încep deja să apară la temperatura de 150°C și de asemenea proprietățile de rezistență încep să se deterioreze cu creșterea temperaturii peste 150°C. Din nefericire, îmbunătățirea unor proprietăți este însoțită de reducerea rezistenței mecanice a lemnului și principalul motiv este în mare parte degradarea hemicelulozei care leagă celuloza și lignina în peretele celular.

Lemnul tratat termic a fost cercetat începând de la mijlocul ultimului deceniu și în zilele noastre este produs industrial în multe țări europene. În ultimii câțiva ani, cinci tipuri diferite de tratamente termice au câștigat importanță industrială în Europa. Thermowood în Finlanda, Plato wood în Olanda, Rectification și Bois-Perdure în Franța și Oil Heat Treatment în Germania sunt diferite tratamente termice ale lemnului care sunt în fază experimentală sau faze industriale.

Lemnul tratat termic este o alternativă ecologică la materialele de lemn impregnate și poate fi utilizat în scopuri estetice de interior sau exterior, ca de exemplu pentru: mobilă de grădină, bucătărie și saună, protejarea construcțiilor din lemn, dulapuri de baie, material de dușumea, instrumente muzicale,

fungi and insects, as well as swelling and shrinkage caused by water absorption and desorption, depending on the environmental conditions. Therefore, these limit the outdoor applications of wood.

Many studies have been done so far, in order to improve the disadvantageous properties of wood, which are commonly named "wood modification methods". "Heat treatment" is a wood modification method and changes many physical, mechanical and chemical properties of wood, that is: dimensional stability, equilibrium moisture content (EMC), colour of wood, bending strength, hardness, biological durability etc. The heat treatment affects the wood cell wall polymers: hemicellulose, cellulose and lignin. During the process, hemicelluloses start to decompose first, since they have the lowest molecular weight among the wood polymers and that makes them more reactive. Additionally, lignin softens, cellulose and hydrophilic groups modify. As a result of this process, wood treated with high temperatures loses its reabsorbing water capacity contrary to hydrophilic behaviour of the conventionally dried wood.

The extent of the improvement in wood properties after the heat treatment depends on many factors such as thermal modification approaches, wood species, treatment time and temperature. The temperature and duration for heat treatment generally vary from 180° to 250°C and 15 min to 24h depending on the heat treatment process, wood species, sample size, moisture content of the sample, and the desired mechanical properties, resistance to biological attack, and dimensional stability of the final product.

Several changes in physical and chemical properties of wood already start to appear at the temperature of 150°C, and also the strength properties begin to deteriorate raising the temperature over 150°C. Unfortunately, the enhancement of some properties is accompanied by reduction in mechanical strength of wood, and the main reason is mainly the degradation of hemicellulose which connects cellulose and lignin in the cell wall.

Thermally treated wood has been investigated since the middle of the last century and is nowadays produced industrially in many European countries. Within the last several years five different types of heat treatments have gained industrial significance in Europe. Thermowood in Finland, Plato wood in Holland, Rectification and Bois-Perdure in France and Oil Heat Treatment in Germany are different wood heat treatments that are in pilot plant or commercial phases.

Heat treated wood is an ecofriendly alternative to impregnated wood materials and can be used in both indoor and outdoor conditions, for aesthetic purposes, such as: garden, kitchen, and sauna furniture, cladding on wooden buildings, bathroom

tavane, pardoseli de interior și exterior, uși și ferestre (Wikberg and Maunu 2004, Kocaefe ș.a. 2010).

Au fost publicate până acum multe cercetări privind proprietățile diferitelor specii de foioase modificate termic: lemnul de plop (Wikberg și Maunu 2004, Olek și Bonarski 2008, Abraham ș.a. 2010, Kocaefe ș.a. 2008 etc.), lemnul de salcâm (Tuong și Li 2010, Yao 2010 etc.), lemnul de stejar (Wikberg și Maunu 2004, Ohnesorge ș.a. 2008 etc.), lemnul de eucalipt (Esteves 2007 etc.), lemnul de fag (Hakkou ș.a. 2006, Arnold 2007, Bachle ș.a. 2010, Niemz ș.a. 2010 etc.) și lemnul de castan (Ates ș.a. 2010 etc.). Cele mai multe cercetări folosesc tratament termic de lungă durată (> 2 ore) pentru a îmbunătăți proprietățile fizice și chimice ale lemnului (2-10h - Yildiz ș.a. 2006, 8h - Hakkou ș.a. 2006, 2-8h - Akyildiz ș.a. 2009, 2-24h Esteves ș.a. 2008 etc.).

Câteva din cele mai importante cercetări folosind tratamentul termic de scurtă durată care au fost efectuate sunt următoarele:

- Mburu ș.a. (2007) au folosit *Grevillea robusta*, o specie de lemn din Kenia cu durabilitate scăzută care a fost tratat la temperaturi de 240°C, 250°C și 260°C pentru o durată scurtă de 30 min., precum și pentru durată lungă de 1, 5, 7 și 15 ore, pentru a evalua rezistența lemnului la termite și la ciuperci de putregai. Rezultatele au arătat că tratamentul termic pentru *G. robusta* a mărit durabilitatea acestuia împotriva ciupercilor basidiomycete și a termitelor, chiar atunci când durata tratamentului a fost foarte scurtă (30 minute). De asemenea, s-a dovedit că rezistența la atac biologic depinde de condițiile tratamentului și este maximă pentru tratamente efectuate la 250°C pentru 7h.

- Lucrarea de cercetare a lui Kocaefe ș.a. (2010) a avut scopul de a studia efectul condițiilor de tratare termică (temperatura maximă de tratare, viteza de încălzire, timpul de expunere la temperatura maximă de tratare și umiditatea gazului) asupra proprietăților mecanice pentru o specie de pin (*Pinus banksiana*), folosind analizorul termogravimetric. Au fost folosite în teste diferite temperaturi (120°, 160°, 200°, 210°, 220°, 230°C) și trei durate (15 min, 30 min și 45 min). S-a constatat că la creșterea duratei de expunere, rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate au scăzut; nu a fost afectată duritatea tangențială, în timp ce duritatea radială întâi a scăzut și apoi a crescut ușor, pe măsură ce timpul de expunere a crescut (45 min). Rezistența la smulgerea șuruburilor a lemnului tratat termic s-a dovedit a fi mai scăzută decât a lemnului netratat pentru orice timp de expunere; de aceea, se consideră că durata de expunere nu pare să aibă un efect semnificativ asupra acestei rezistențe.

- Shi ș.a. (2007) au studiat în lucrarea lor rezistența la atacul ciupercii de putregai brun și a termitelor subterane din estul Statelor Unite, a lemnului de plop tremurător, pin și plop galben, modificat termic la o temperatură de 210°C la o durată scurtă de 15 minute, comparativ cu lemn tratat prin procedeul

cabinets, floor material, musical instruments, ceilings, inner and outer bricks, doors and window joinery (Wikberg and Maunu 2004, Kocaefe et al. 2010).

Many researches regarding properties of several thermally modified hardwood species have been published so far: poplar wood (Wikberg and Maunu 2004, Olek and Bonarski 2008, Abraham et al. 2010, Kocaefe et al. 2008 etc.), acacia wood (Tuong and Li 2010, Yao 2010 etc.), oak wood (Wikberg and Maunu 2004, Ohnesorge et al. 2008 etc.), eucalyptus wood (Esteves 2007 etc.), beech wood (Hakkou et al. 2006, Arnold 2007, Bachle et al. 2010, Niemz et al. 2010 etc.) and chestnut wood (Ates et al. 2010 etc.). Most researches use long time heat treatment (> 2 hours) in order to enhance physical and chemical properties of wood (2-10h - Yildiz et al. 2006, 8h - Hakkou et al. 2006, 2-8h - Akyildiz et al. 2009, 2-24h - Esteves et al. 2008 etc.).

Some of the main researches using short duration heat treatment that have been carried out are the following:

- Mburu et al. (2007) used *Grevillea robusta*, a Kenyan wood species of low durability that was heat treated at temperatures of 240°C, 250°C and 260°C for the short time of 30 min, as well as for longer durations such as 1, 5, 7 and 15 hours, in order to evaluate the resistance against termites and several wood rotting fungi. The results showed that heat treatment of *G. robusta* increased its durability against basidiomycetes and termites, even when the duration of treatment was quite short (30 min). Although, it was proved that the decay resistance depends on the treatment condition and is total for treatments performed at 250°C for 7h.

- The research work of Kocaefe et al. (2010) aimed to study the effect of heat-treatment conditions (maximum treatment temperature, heating rate, exposure time at the maximum heat-treatment temperature, and the gas humidity) on the mechanical properties of North American jack pine (*Pinus banksiana*) using thermogravimetric analyzer. Several different temperatures (120°, 160°, 200°, 210°, 220°, 230°C) and three durations (15 min, 30 min and 45 min) were used in the test. It was found that increase in exposure time, decreased both MOE and MOR, didn't affect tangential hardness of heat-treated jack pine, while firstly decreased and then slightly increased the radial hardness, as the exposure time increased (45 min). The screw withdrawal strength of heat-treated wood was found to be lower than that of the untreated wood for any exposure time, therefore the duration of the exposure time did not seem to have any significant effect on that.

- Shi et al. (2007) studied in their work the resistance of thermally-modified and ACQ-C treated aspen, jack pine, yellow-poplar and Scots pine against the brown-rot fungus and Eastern U.S. subterranean termite. They used wood, thermally

ACQ-C (tratament de protecție a lemnului cu o substanță fungicidă și insecticidă pe bază de apă). Corespunzător rezultatelor, lemnul modificat termic s-a dovedit a fi mai puțin rezistent la acești agenți decât lemnul tratat ACQ-C.

Scopul prezentei cercetări a fost de a studia influența tratamentului termic de scurtă durată asupra densității, variației stabilității dimensionale după imersia în apă, rezistenței la încovoiere statică și a modulului de elasticitate, rezistenței la impact, rezistenței la compresiune paralelă cu fibrele și durtății în direcțiile radială și tangențială a lemnului de tei (*Tilia cordata*), specie asupra căreia nu s-au găsit referințe în literatura de specialitate privind proprietățile lemnului tratat termic.

MATERIALE ȘI METODE

Materialul cercetat, constând în scânduri din lemn de tei (*Tilia cordata*) originar din Serbia, a fost achiziționat de pe piață. Inițial, cheresteaua a fost debitată în epruvete cu dimensiunile de 50x50mm în secțiune transversală. Apoi epruvetele au fost condiționate la umiditatea de 8-9% la 20±2°C și umiditatea relativă de 60±5% pentru a preveni crăparea și decolorarea lemnului în timpul încălzirii. După aceea, epruvetele lipsite complet de defecte au fost tăiate la dimensiunile finale ale secțiunii transversale pentru măsurarea proprietăților mecanice, corespunzător standardelor respective (Tabelul 1). Pentru fiecare experiment au fost pregătite câte 10 epruvete. Lungimile finale ale epruvetelor pentru proprietățile mecanice și ale epruvetelor pentru proprietățile higroscopice au fost finalizate după procedura cerută de tratamentul termic.

Tratamentul termic al epruvetelor utilizate a fost efectuat într-o mică etuvă de laborator (40x28x28cm). Au fost aplicate trei temperaturi diferite (180°, 200° și 220°C) la presiunea atmosferică și în prezența aerului. Epruvetele au fost puse în etuvă după ce a fost atinsă temperatura dorită (în grupe de 10 epruvete). Scăderea mică de temperatură care a fost cauzată de deschiderea ușii a fost restabilită în 5 minute și epruvetele au rămas în etuvă la temperatura dorită pentru durata prestabilită. Au fost aplicate epruvetelor două durate diferite de timp, de 15 și 30 minute. Măsurarea proprietăților a fost făcută după recondiționarea epruvetelor tratate termic la 20±2°C și umiditatea relativă de 60±5% pentru 10 zile.

Proprietățile de rezistență la încovoiere și rezistență la compresiune au fost determinate pe o mașină universală de încercări (SHIMADZU UH-300kNA) cu viteza de deplasare a patinei reglată la 6m/min, așa că încărcarea maximă a fost atinsă în 1.5±0.5min. Încărcarea a continuat până la ruperea epruvetei. Rezistența de încovoiere la șoc a fost determinată pe o mașină de încercări universală pentru lemn AMSLER cu deschiderea de 24cm cu încărcare centrală. De asemenea, pe aceeași

modified at a temperature of 210°C for short period of 15 min. According to the results, thermally-modified wood proved to be less resistant to fungus decay and termite attack than ACQ-C treated wood.

The aim of the present research was to study the influence of a short term thermal treatment on the density, variation of dimensional stability after immersion in water, static bending strength (MOR and MOE), impact strength, compression strength parallel to the grain, and hardness in radial and tangential direction of Lime wood (*Tilia cordata*). Researches regarding the properties of thermally modified lime wood have not been found in reference literature.

MATERIAL AND METHODS

The investigated material, lime sawn wood (*Tilia cordata*) of Serbian origin, was obtained from the market. Initially, lumber was cut in sawn samples of dimension 50x50mm in cross section. Then the sawn samples were conditioned to 8-9% moisture content at 20±2°C and 60±5% relative humidity to prevent splitting and discoloration of wood during heating. Afterwards, the clear specimens were cut in final cross section dimensions for the measurement of mechanical properties, according to the respective standards (Table 1). For each experiment 10 specimens were prepared. The final length of the specimens of mechanical properties and the specimens of hygroscopic properties were prepared after the procedure of thermal treatment.

Thermal treatment of the specimens applications were carried out in a temperature controlled small laboratory heating unit (40x28x28cm). Three different temperatures (180°, 200° and 220°C) were applied under atmospheric pressure and in the presence of air. The specimens were placed in the unit after the desired temperature had reached (in groups of 10 specimens). The small decrease of the temperature which caused by the open door was reinstated within 5 minutes and the specimens were remained in the unit under the desired temperature and time duration. Two different time durations of 15 and 30 minutes were applied to the specimens. The measurement of the properties were carried out after the reconditioning of the heat treated specimens at 20±2°C and 60±5% relative humidity for 10 days.

The properties of bending strength (Modulus of Rupture and Modulus of Elasticity) and compression strength were carried out on a Universal Testing Machine (SHIMADZU UH-300kNA) and the rate of crosshead-movement was adjusted at 6mm/min, so that the maximum load was reached within 1.5±0.5min throughout the test. The loading continued until a break of the specimen occurred. The impact bending strength test was carried out on an Amsler Universal Wood Testing machine at 24cm span with center loading. Also, in the same machine

mașină a fost efectuat testul de duritate (Janka) care măsoară forța cerută pentru a insera o sferă de 11.28mm diametru în suprafețele radială și tangențială ale lemnului.

Umflarea (în direcțiile radială și tangențială) și procentul de absorbție au fost determinate după imersia epruvetelor în apă la $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ pentru 1, 3 și 6 zile.

was carried out the hardness (Janka) test which measures the force required to embed an 11.28mm in diameter steel ball into radial and tangential surface of wood.

The swelling (in radial and tangential directions) and the absorption percentage were conducted after the immersion of samples in the water of $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ for 1, 3 and 6 days.

Tabelul 1 / Table 1

Proprietățile lemnului și standardele respective / Wood properties studied and the respective standards

Proprietatea / Property	Dimensiuni / Dimensions (cm)	Standard / Standard
Densitatea / Density (basic)	2 x 2 x 2,5	ISO 3131:1975
Conținutul de umiditate / Moisture content	2 x 2 x 2,5	ISO 3130:1975
Rezistența la compresiune / Compression strength	2 x 2 x 6	DIN 52185:1976
Rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate / Bending strength and MOE	2 x 2 x 37	ISO 3133:1975
Duritatea (Janka) / Hardness (Janka)	2 x 2 x 6	ISO 3350:1975
Rezistența de încovoiere la șoc / Impact bending strength	2 x 2 x 28	ISO 3348:1975
Umflarea radială și tangențială / Radial and tangential swelling	2 x 2 x 2	ISO 4859:1982

Analiza Anova unifuncțională a fost efectuată cu programul SPSS pentru a determina diferențele între valorile mediei epruvetelor la diferite tratamente termice aplicate.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Primul efect evident al tratamentului termic al lemnului de tei a fost schimbarea culorii. Cu cât temperatura aplicată a fost mai ridicată și durata tratamentului a fost mai lungă, închiderea culorii lemnului de tei a devenit mai evidentă, comparativ cu lemnul netratat (WT), ca rezultat al modificării chimice (Fig. 1).

Densitatea inițială a epruvetelor din lemn de tei a fost $0.525\text{g}/\text{m}^3$ (s.d. 0.037). Tratamentul termic a afectat masa epruvetelor în felul următor. Cu cât temperatura aplicată a fost mai mare și timpul de tratare a fost mai lung, cu atât reducerea masei epruvetelor a fost mai mare (Fig. 2). Reducerea procentuală mai mică a masei epruvetelor (cu 5.42%) a apărut în tratamentul de 15min. la 180°C . Acestă reducere procentuală a fost mai scăzută decât conținutul inițial de umiditate al epruvetelor (8.69%) și a diferit semnificativ la nivelul de semnificație de 0.05% față de reducerile corespunzătoare în alte tratamente aplicate. Reducerea procentuală cea mai ridicată a masei epruvetelor (cu 14.4%) s-a produs în tratamentul de 30min. la 220°C și a diferit semnificativ la nivelul de semnificație de 0.05% față de reducerile corespunzătoare din alte tratamente aplicate.

One-way Anova analysis, with SPSS program was performed to determine the differences between the mean values of the samples of the different thermal treatments applied.

RESULTS AND DISCUSSION

The first obvious effect of the thermal treatment on Lime wood was the change of its colour. The higher the temperature applied was and the longer the duration of the treatment was, the darker the colour of the Lime wood became compared to the untreated wood (WT), as a result of its chemical modification (Fig. 1).

The basic density of the lime wood samples was $0.525\text{g}/\text{m}^3$ (s.d. 0.037). Thermal treatment affected the weight of the samples as follow. The higher the temperature applied and the longer the duration of the treatment were the greater the reduction of the samples weight was (Fig. 2). The lowest percentage reduction of the samples weight (5.42%) appeared in the treatment of 15min at 180°C . This percentage reduction was lower than the initial moisture content of the samples (8.69%) and differed significantly at 0.05% level from the corresponding reductions in the other treatments applied. The highest percentage reduction of the samples weight (14.4%) appeared in the treatment of 30min at 220°C and differed significantly at 0.05% level from the corresponding reductions in the other treatments applied.

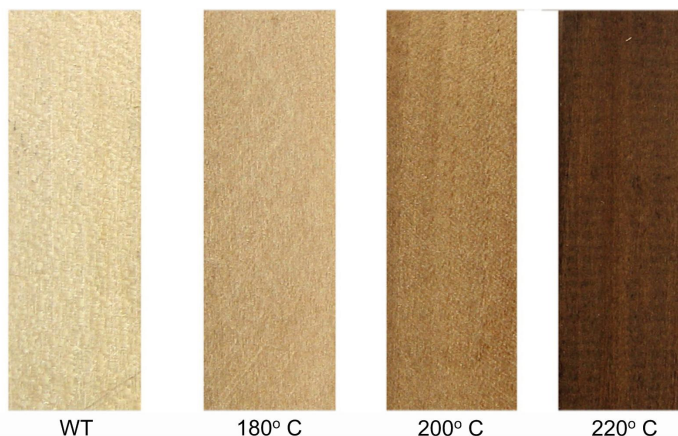


Fig. 1.

Schimbarea culorii suprafeței lemnului de tei tratat termic la diferite temperaturi timp de 30 minute față de proba martor netratată (WT) / Surface colour changes of thermally treated lime wood for 30 minutes compared to untreated witness sample (WT).

Condiționarea în aer liber a epruvetelor timp de 10 zile după tratamentul termic a condus la absorbția umidității din epruvete și masa a crescut în conformitate cu aceasta (vezi Fig. 2). Dezvoltarea procentajului mai scăzut a masei epruvetelor (2.96%) a fost măsurată la epruvetele celui mai blând tratament (15min. la 180°C) așa cum era de așteptat, deoarece acestea nu au pierdut tot conținutul de apă în timpul tratamentului. Reducerea procentuală mai ridicată a masei epruvetelor (4.55%) a fost măsurată la epruvetele tratate la 220°C pentru 15min. În aceste două cazuri diferențele au fost semnificative din punct de vedere statistic la nivelul de semnificație de 0.05 %.

Air conditioning of the samples for 10 days after thermal treatment resulted in the moisture absorption from the samples and their weight increased respectively (see also Fig. 2). The lower percentage increase of the samples weight (2.96%) was measured in the samples of the most mild treatment (15min at 180°C) as it was expected, because they had not lost all their water content during treatment. The higher percentage increase of the samples weight (4.55%) was measured in the samples treated in 220°C for 15min. In these two cases the differences were statistically significant in the level of 0.05%.

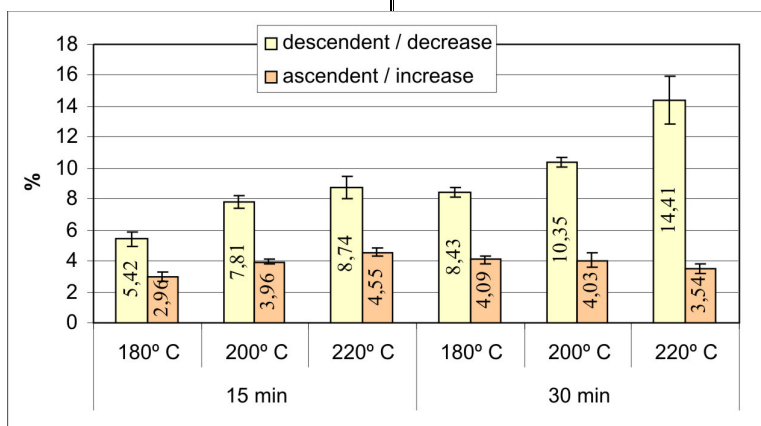


Fig. 2.

Procentul de pierdere în greutate după tratamentul termic și creșterea masei după condiționarea în aer liber / Percent of weight loss after thermal treatment and weight increase after air conditioning.

În conformitate cu rezultatele măsurătorilor rezistenței la încovoiere (Tabelul 2), valoarea medie cea mai mică a rezistenței la încovoiere (74.92N/mm²) a apărut la epruvetele cu cel mai intens tratament (220°C pentru 30min). Aceasta este singura valoare care a diferit semnificativ la nivelul

According to the results of the bending strength measurements (see Table 2), the lower mean value of the Modulus of Rupture (74.92N/mm²) was appeared in the samples with the most intense treatment (220°C for 30min). This was the only value which differed significantly at the level of 0.05%, from

de semnificație 0.05%, față de valorile corespunzătoare celorlalte tratamente, inclusiv față de lemnul netratat.

Modulul de elasticitate a variat de la 9.958 la 11.740N/mm² la epruvetele din toate tratamentele și nu s-a dovedit să existe un efect semnificativ al tratamentului termic asupra acestei proprietăți, conform analizei statistice.

the corresponding values of the rest treatments including untreated wood.

The modulus of elasticity ranged from 9.958 to 11.740N/mm² in the samples of all treatments and not a distinct effect of the thermal treatment on the MOE was found to exist based on statistical analysis.

Tabelul 2 / Table 2

**Proprietățile rezistenței la încovoiere a lemnului de tei tratat și netratat /
Bending strength properties of thermally treated and untreated Lime wood**

Durata / Time duration	180°C		200°C		220°C		Netratat / Untreated	
	MOR N/mm ²	MOE N/mm ²	MOR N/mm ²	MOE N/mm ²	MOR N/mm ²	MOE N/mm ²	MOR N/mm ²	MOE N/mm ²
15 min.	93.93 (6.52)	9958 (637)	96.58 (6.96)	10484 (619)	99.10 (6.45)	11134 (772)	96.35 (10.54)	11740 (1432)
30 min.	97.50 (6.78)	10758 (610)	98.16 (7.61)	10970 (967)	74.92 (3.32)	10164 (680)		

Rezultatele măsurătorilor pentru rezistența la încovoiere la șoc sunt prezentate în Tabelul 3. Toate tratamentele termice aplicate au redus valorile medii ale rezistenței la încovoiere la șoc comparativ cu valorile epruvetelor netratate. Reducerea a fost mai mare atunci când epruvetele au fost tratate pentru 30min. Epruvetele tratate la 220°C au pierdut 54.3% din rezistența de încovoiere la șoc (2.58N/mm²) comparat cu epruvetele netratate (5.65N/mm²) și valorile mediei diferă semnificativ la nivelul de semnificație de 0.05%.

The results of the impact bending strength measurements are given in the following Table 3. All of the applied thermal treatments reduced the mean impact bending strength values of the samples compared to the values of untreated samples. The reduction was greater when samples were treated for 30min. Samples treated in 220°C lost 54.3% of their impact bending strength (2.58N/mm²) compared to the untreated samples (5.65N/mm²) and the mean values differ significantly in the level of 0.05%.

Tabelul 3 / Table 3

**Rezistența la la încovoiere la șoc la lemnul de tei tratat și netratat /
Impact bending strength (J/cm²) of thermally treated and untreated Lime wood**

	180°C	200°C	220°C	Netratat / Untreated
15 min.	4.51 (0.66)	4.56 (0.57)	4.71 (0.42)	5.65 (0.87)
30 min.	4.70 (0.48)	2.98 (0.24)	2.58 (0.36)	

Aceleași rezultate au fost găsite la testele de rezistență la compresiune paralelă cu fibrele (Tabelul 4). Toate tratamentele termice aplicate au redus valorile medii ale rezistenței la compresiune a epruvetelor comparativ cu valorile epruvetelor netratate. Reducerea a variat de la 1.3% la tratamentul de 30min. și 180°C la tratamentul de 30min. și 220°C. Cele mai multe valori medii au diferit semnificativ unele față de altele la nivelul de semnificație 0.05%.

The same results were found when testing compression strength parallel to the grain (Table 4). All of the applied thermal treatments reduced the mean compression strength values of the samples, compared to the values of untreated samples. The reduction ranged from 1.3% in the treatment of 30min and 180°C to 9.7% in the treatment of 30min and 220°C. Most of the mean values differed significantly each other in the level of 0.05%.

Tratamentul termic a afectat mai mult sau mai puțin duritatea epruvetelor ca și rezistența la compresiune (Tabelul 5).

The thermal treatment affected the hardness of the samples more or less like the compression strength (Table 5).

Tabelul 4 / Table 4

**Rezistența la compresiune paralelă pe fibre (N/mm²) a lemnului de tei tratat și netratat /
Compression strength parallel to the grain (N/mm²) of thermally treated and untreated Lime wood**

	180°C	200°C	220°C	Netratat / Untreated
15 min.	56.37 (3.60)	57.20 (3.96)	60.75 (4.05)	62.16 (4.58)
30 min.	61.37 (3.41)	58.82 (3.98)	56.13 (2.66)	

Tabelul 5 / Table 5

Valorile medii ale durității Janka (kN) a lemnului de tei tratat și netratat în direcție tangențială (Tan) și radială (Rad) / Mean values of the Janka Hardness (kN) of thermally treated and untreated Lime wood in tangential (Tan) and radial (Rad) direction

	180°C		200°C		220°C		Netratat / Untreated	
	Tan	Rad	Tan	Rad	Tan	Rad	Tan	Rad
15 min.	2.32 (0.12)	2.49 (0.12)	2.43 (0.22)	2.66 (0.20)	2.56 (0.19)	2.68 (0.19)	2.66 (0.23)	2.81 (0.21)
30 min.	2.47 (0.18)	2.59 (0.16)	2.57 (0.36)	2.72 (0.39)	2.25 (0.15)	2.39 (0.15)		

Toate tratamentele aplicate au redus ușor valorile durității epruvetelor în comparație cu valorile epruvetelor netratate. Cea mai mare reducere și singura care a diferit semnificativ la nivelul de semnificație de 0.05% față de valorile epruvetelor netratate s-a găsit la epruvetele tratate la 220°C pentru 30min. (15.4%) tangențial și 14.9% radial).

Procentajul umflării epruvetelor s-a dovedit să fie afectat semnificativ de tratamentul termic intens (Tabelul 6 și Fig. 3). Efectele mai mari s-au găsit când au fost aplicate temperaturi mari pentru durata de 30min. La această durată, cu cât temperatura a fost mai înaltă, cu atât procentajul de umflare după imersia epruvetelor în apă timp de 1, 3 și 6 zile, a fost mai mic. Procentajul de umflare mai mic în direcția radială și tangențială a fost găsit în cazul epruvetelor tratate la 220°C pentru 30min., care a diferit semnificativ la nivelul de semnificație de 0.05% față de valorile corespunzătoare valorilor pentru epruvetele cu alte tratamente. Reducerea corespunzătoare a procentajului de umflare a epruvetelor tratate comparativ cu epruvetele netratate a fost în direcție tangențială de 45.4%, 45.3% și 44.8%, iar în direcție radială de 58.2%, 56.1% și 57.1%, după 1, 3 și respectiv 6 zile de imersie în apă. Un procentaj ușor mai ridicat de umflare a fost înregistrat de epruvetele tratate la 200°C pentru 30min., care de asemenea a diferit semnificativ de valorile corespunzătoare ale altor epruvete tratate.

All of the applied treatments reduced slightly the hardness values of the samples comparing to the values of untreated samples. The greater reduction and the only which differed significantly at the level of 0.05%, from the corresponding values of untreated samples was found in the samples treated in 220°C for 30min (15.4% tangentially and 14.9% radially).

Swelling percentage of the samples was found to be affected significantly by the thermal treatment intense (Table 6 and Fig. 3). The effects were found to be greater when high temperatures applied for 30min. Under this duration the higher the temperature was the lower the swelling percentage was after the immersion of the samples in water for 1, 3 and 6 days. The lower swelling percentages in radial and tangential directions were found in the samples treated in 220°C for 30min, which differed significantly at the level of 0.05%, from the corresponding values of the other treatments samples. The corresponding reduction of the swelling percentage of the treated samples compared to untreated samples were in tangential direction 45.4%, 45.3% and 44.8%, in radial direction 58.2%, 56.1% and 57.1%, after 1, 3 and 6 days immersion in water, respectively. A little higher swelling percentage was recorded by the samples treated in 200°C for 30min, which also differed significantly from the corresponding values of the other treatments samples.

Tabelul 6 / Table 6

Procentajul de umflare a lemnului de tei tratat și netratat termic / Swelling percent of thermally treated and untreated Lime wood

	180°C			200°C			220°C			Netratat / Untreated		
	1 zi / 1 day	3 zile / 3 days	6 zile / 6 days	1 zi / 1 day	3 zile / 3 days	6 zile / 6 days	1 zi / 1 day	3 zile / 3 days	6 zile / 6 days	1 zi / 1 day	3 zile / 3 days	6 zile / 6 days
Tangențial / Tangential												
15 min.	8.13 (0.95)	8.39 (0.95)	8.59 (0.85)	8.54 (0.33)	8.82 (0.37)	9.08 (0.66)	8.81 (0.27)	9.13 (0.19)	9.57 (0.24)	9.35 (1.15)	9.59 (1.14)	9.72 (1.14)
30 min.	8.15 (0.24)	8.48 (0.31)	8.64 (0.36)	6.77 (0.77)	6.98 (0.82)	7.20 (0.73)	5.10 (0.41)	5.25 (0.36)	5.37 (0.30)			
Radial / Radial												
15 min.	6.02 (0.58)	6.28 (0.62)	6.57 (0.55)	5.61 (0.36)	5.88 (0.32)	6.01 (0.33)	5.73 (0.44)	6.00 (0.51)	6.22 (0.51)	6.74 (1.29)	6.99 (1.36)	7.40 (1.37)
30 min.	5.93 (0.63)	6.15 (0.65)	6.22 (0.62)	4.71 (0.27)	4.87 (0.25)	5.03 (0.25)	2.82 (0.27)	3.07 (0.23)	3.14 (0.31)			

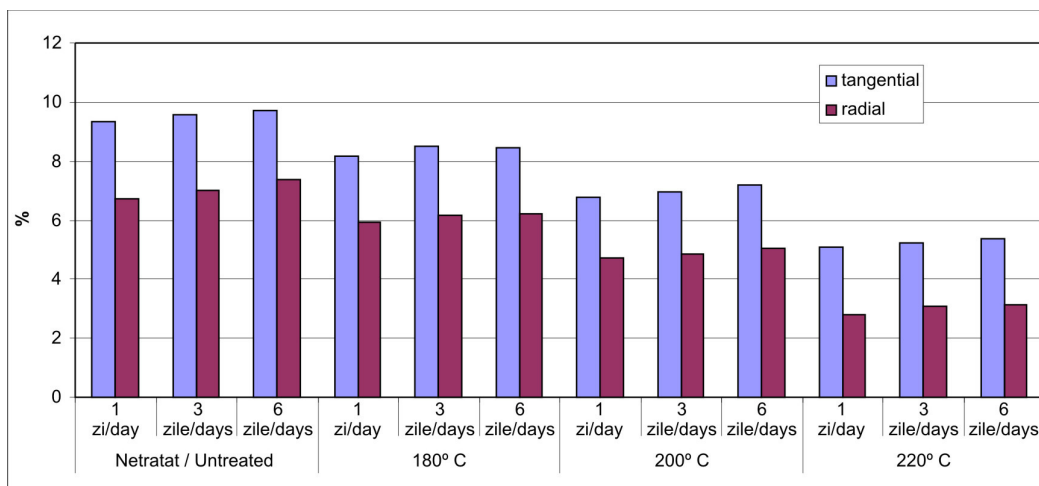


Fig. 3.

Procentajul de umflare alemnului de tei netratat și tratat pentru 30 min., după imersia în apă timp de 1, 3 și 6 zile / Swelling percent of lime wood, untreated and treated for 30 min, after immersion in water for 1, 3 and 6 days.

Pe de altă parte, tratamentul termic nu a părut să afecteze procentajul de absorbție după 1, 3 și 6 zile de imersie în apă (Tabelul 7). Aceasta sugerează clar faptul că tratamentul termic nu a limitat absorbția de apă. Rezultatele obținute nu pot fi suficiente pentru a trage niște concluzii și sunt necesare investigații viitoare pentru a confirma importanța practică a acestui nivel de absorbție a apei în cazul lemnului tratat termic.

On the other hand, the thermal treatment did not seem to affect absorption percentage after 1, 3 and 6 days immersion in water (see Table 7). This clearly suggests that thermal treatment did not limit the absorption of water. The results obtained may not be sufficient to draw any conclusions and farther investigations are needed to confirm the practical importance of this level of water absorption in thermally treated wood.

Tabelul 7 / Table 7

Procentul de absorbție a lemnului de tei tratat și netratat termic / Absorption percent of thermally treated and untreated Lime wood

	180°C			200°C			220°C			Netratat / Untreated		
	1 zi / 1 day	3 zile / 3 days	6 zile / 6 days	1 zi / 1 day	3 zile / 3 days	6 zile / 6 days	1 zi / 1 day	3 zile / 3 days	6 zile / 6 days	1 zi / 1 day	3 zile / 3 days	6 zile / 6 days
15 min.	80.9 (2.7)	112.0 (3.0)	142.4 (5.1)	84.7 (4.9)	106.0 (5.0)	128.6 (6.4)	79.5 (4.4)	101.7 (4.2)	127.1 (4.9)	73.6 (4.3)	99.4 (6.6)	125.1 (11.3)
30 min.	75.4 (3.0)	105.5 (4.0)	128.1 (6.3)	78.8 (5.0)	106.8 (5.7)	128.1 (8.7)	85.7 (8.8)	111.9 (9.7)	129.0 (7.2)			

CONCLUZII

Pe baza rezultatelor acestei cercetări s-a găsit că efectele tratamentului termic la 180°C, 200°C și 220°C pentru 30min. asupra proprietăților mecanice și higroscopice ale lemnului de tei au fost semnificative. În mod specific, tratamentul termic la 220°C și, într-o măsură mai mică, a tratamentului la 200°C a afectat major proprietățile epruvetelor tratate.

Pe de altă parte, tratamentul termic pentru 15min. la toate temperaturile aplicate nu a avut efect semnificativ asupra proprietăților epruvetelor. Aceasta se datorează faptului că numai epruvetele tratate la 200°C și 220°C pentru 30min. au pierdut în greutate, ceea ce înseamnă că s-au produs modificări structurale.

CONCLUSIONS

Based on the results of this research the effects of thermal treatment in 180°C, 200°C and 220°C for 30min. on lime wood mechanical and hygroscopic properties were found to be significant. Specifically, the thermal treatment in 220°C and in a lower degree the thermal treatment in 200°C affected greatly the properties of the samples tested.

On the other hand, the thermal treatment for 15min. in all temperatures applied had no significant effect on the properties of the samples. This is attributed to the fact that only the samples treated in 200°C and 220°C for 30 min. had lost weight over their moisture content which means that structural changes had occurred.

More specifically, thermal treatment in 220°C

Mai precis, tratamentul termic la 220°C pentru 30min. a scăzut semnificativ toate proprietățile mecanice testate (rezistența la încovoiere, rezistența la compresiune, rezistența la încovoiere cu șoc și duritatea în direcțiile radială și tangențială). În afară de aceasta, rezistența la încovoiere cu șoc a fost redusă semnificativ, chiar atunci când lemnul a fost tratat la 200°C pentru 30min.

Procentajul de umflare a epruvetelor tratate pentru 30min. a fost afectat semnificativ. Cu cât temperatura aplicată a fost mai mare, cu atât procentajul de umflare a fost mai mic.

Prin urmare, lemnul de tei tratat termic ar putea fi utilizat prin aplicarea unor tehnici adecvate de tratare termică în aplicațiile de exterior și interior pentru diverse scopuri.

for 30min. decreased significantly all of the mechanical properties tested (bending strength, compression strength, impact bending strength and hardness in radial and tangential directions). Whereas, impact bending strength reduced significantly, even when treated in 200°C for 30min.

The swelling percentage of the samples treated for 30min. was affected significantly. The higher the temperature applied was, the lower the swelling percentage was.

Consequently, thermally treated lime wood could be utilized by using proper thermal treatment techniques in outdoors and indoors applications for several purposes.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

ABRAHAM, J., NEMETH, R., MOLNAR, S. (2010). Thermo-mechanical densification of Pannónia Poplar. 'The Future of Quality Control for Wood & Wood Products', 4-7th May 2010, Edinburgh.

AKYILDIZ, M.H., ATES, S., ÖZDEMİR, H. (2009). Technological and chemical properties of heat-treated Anatolian black pine wood. *African Journal of Biotechnology* Vol. 8 (11), pp. 2565-2572, 3 June, 2009.

ARNOLD M. (2007). Transverse Anisotropy in Thermally Modified Beech and Spruce. 3rd European Conference on Wood Modification. October 15-16th 2007. Bangor (UK).

ATES, S., AKYILDIZ, M.H., ÖZDEMİR, H., GÜMÜSKAYA, E. (2010). Technological and chemical properties of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) wood after heat treatment. *Romanian Biotechnological Letters*. Vol. 15, No.1, 2010.

BÄCHLE, H., ZIMMER, B., WINDEISEN, E., WEGENER, G. (2010). Evaluation of thermally modified beech and spruce wood and their properties by FT-NIR spectroscopy. *Springer, Wood Sci Technol*. Num. 44:421–433.

ESTEVEES, B., VELEZ MARQUES, A., DOMINGOS, I., PEREIRA, H. (2007). Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. *Springer, Wood Sci Technol*. Vol. 41, Num. 3:193–207.

ESTEVEES, M.B., DOMINGOS, J.I., PEREIRA, H.M. (2008). Pine wood modification by heat treatment in air. *Bio resources*. 3(1), 142-154.

HAKKOU, M., PETRISSANS, M., GERARDIN, P., ZOULALIAN, A. (2006). Investigations of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood. *Elsevier, Polymer Degradation and Stability*. Vol. 91, Is. 2, February, pp. 393-397.

KOCAEFE, D., PONCSAK, S., BOLUK, Y. (2008). Effect of Thermal Treatment on the chemical composition and mechanical properties of Birch and Aspen. *Bio Resources*. 3(2), pp. 517-537.

KOCAEFE, D., PONCSAK, S., TANG, J., BOUAZARA, M. (2010). Effect of heat treatment on the mechanical properties of North American jack pine: thermogravimetric study. *Journal of Materials Science*. Vol. 45, Num. 3, 681-687.

MBURU, F., DUMARCEAY, S., HUBER, F., PETRISSANS, M., GERARDIN, P. (2007). Evaluation of thermally modified *Grevillea robusta* heartwood as an alternative to shortage of wood resource in Kenya: Characterisation of physicochemical properties and improvement of bio-resistance. *Bioresource Technology*. Num. 98 pp. 3478–3486.

NIEMZ, P., HOFMANN, T., RÉTFALVI, T. (2010). Investigation of chemical changes in the structure of thermally modified wood. *Maderas Ciencia Y Tecnologia*. 12(2):69-78.

OHNESORGE, D., KROWAS, I., BECKER, G. (2008). Results of Durability Tests of Thermal Treated Lumber. Proceedings of the 51st International Convention of Society of Wood Science and Technology. November, pp. 10-12.

OLEK, W., BONARSKI, J.T. (2008). Texture changes in Thermally Modified Wood. Archives of Metallurgy and Materials. Vol 53. pp. 207- 211.

SHI, J.L., KOCAEFE, D; ZHANG, J. (2007). Mechanical behaviour of Quebec wood species heat-treated using ThermoWood process. Springer, Holz Roh Werkst. 65:255–259.

TUONG, V.M., LI, J. (2010). Effect of Heat treatment on the change in color and dimensional stability of Acacia hybrid wood. BioResources. 5(2):1257-1267.

WIKBERG, H., MAUNU, S.L. (2004). Characterisation of thermally modified hard - and softwoods by 13⁰C CPMAS NMR. Elsevier, Carbohydrate Polymers. Vol. 58, Is. 4, 7 December, pp. 461-466.

YAO, C., YONGMING, F., JIANMIN, G., HOUKUN, L. (2010). Coloring characteristics of in situ lignin during heat treatment. Springer, Wood Science and Technology. DOI: 10.1007/s00226-010-0388-5.

YILDIZ, S., GEZERB, E.D., YILDIZ, U. C. (2006). Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. Building and Environment. Vol. 41, Is. 12, pp. 1762-1766.

*** DIN 52185:1976. Testing of wood; compression test parallel to grain.

*** ISO 3130:1975. Wood - Determination of moisture content for physical and mechanical tests.

*** ISO 3131:1975. Wood - Determination of density for physical and mechanical tests.

*** ISO 3133:1975. Wood - Determination of ultimate strength in static bending.

*** ISO 3348:1975. Wood - Determination of impact bending strength.

*** ISO 3350:1975. Wood - Determination of static hardness.

*** ISO 4859:1982. Wood - Determination of radial and tangential swelling.

*Traducerea articolului în limba română a fost realizată de /
Translation into Romanian performed by:
Prof.dr.eng. Teofil MIHĂILESCU*