

**EFFECTUL TRATAMENTULUI TERMIC  
ASUPRA REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE  
A LEMNULUI DE PIN NEGRU ȘI MOLID – O  
COMPARAȚIE ÎNTRE LEMNUL PROVENIT  
DIN ARBORI MATURI VS. RĂRITURI**

**EFFECT OF HEAT TREATMENT UPON  
THE COMPRESSION STRENGTH OF  
BLACK PINE AND SPRUCE – A  
COMPARISON BETWEEN WOOD  
ORIGINATING FROM MATURE TREES VS.  
THINNINGS**

**Cristina Marinela OLĂRESCU**

PhD Student – TRANSILVANIA University in Brasov – Faculty of Wood Engineering  
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Brașov, Romania  
E-mail: [cristina.olarescu@yahoo.com](mailto:cristina.olarescu@yahoo.com)

**Mihaela CÂMPEAN**

Prof.dr.eng. – TRANSILVANIA University in Brasov – Faculty of Wood Engineering  
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Brașov, Romania  
E-mail: [campean@unitbv.ro](mailto:campean@unitbv.ro)

**Mihaela POROJAN**

Lect.dr.eng. – TRANSILVANIA University in Brasov – Faculty of Wood Engineering  
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Brașov, Romania  
E-mail: [mporojan@unitbv.ro](mailto:mporojan@unitbv.ro)

**Rezumat:**

Lucrarea prezintă rezultatele unui studiu experimental efectuat pe lemn de pin negru (*Pinus nigra* L.) și molid (*Picea abies* L.), provenit din arbori maturi și respectiv din rărituri de pe aceeași parcelă silvică din zona Stroești – Argeș.

După uscarea naturală și condiționarea unor scânduri fără defecte, s-au debitat epruvete standard, cu dimensiunile 20x20x60mm pentru determinarea rezistenței la compresiune paralelă cu fibrele și analizarea modului de rupere. Acestea au fost mai întâi uscate la stare anhidră, apoi au fost supuse tratării termice la temperaturi înalte (180 și 200 °C) timp de 1, 2, 3 și 4 ore. Au fost testate seturi de câte 10 epruvete din fiecare specie, sortiment și regim.

Rezultatele obținute au fost analizate comparativ pentru cele două specii (pin negru și molid) și respectiv pentru cele două sortimente (lemn matur și lemn subțire), dar și raportate la pierderea de masă, ca indicator de bază al degradării datorate regimului de tratare aplicat.

Pentru a stabili regimul optim de tratare pentru fiecare specie și sortiment, s-a trasat câte un grafic care să permită corelarea influenței regimului asupra tuturor celor trei proprietăți studiate (pierderea de masă, stabilitatea dimensională și rezistența la compresiune) simultan.

Rezultatele vor fi valorificate în procesul de fabricare a panourilor reconstituite din lemn masiv, realizate din lamele de lemn tratat termic.

**Cuvinte cheie:** molid; pin negru; lemn matur; lemn din rărituri; tratare de modificare termică; rezistența la compresiune; mod de rupere.

**Abstract:**

The paper presents the results of an experimental study performed with black pine (*Pinus nigra* L.) and spruce (*Picea abies* L.) wood, originating from mature trees and thinnings cut from the same parcel from the Stroești-Argeș region in Romania.

After air drying and conditioning, the defect-free test boards were cut into standard 20x20x60mm samples for the compression test. The compression strength was measured and the rupture mode in compression was analyzed. Therefore, the samples were first dried to oven-dry state, then heat-treated at high temperatures (180 and 200°C) for 1, 2, 3 and 4 hours. Sets of 10 samples from each wood species, wood assortment and treating regime were tested.

The obtained results were comparatively analyzed for the two species (pine vs. spruce) and for the two wood assortments (mature wood vs. thin wood). Then they were also expressed relatively to the mass loss, considered to be the main indicator of the degradation suffered by wood during the heat treatment.

A graph was drawn for each species and assortment in order to establish the optimum treating regime, considering the correlated influence of the heat treatment conditions upon all three analyzed properties (mass loss, dimensional stability and compression strength).

The results of the present research are to be valorized at the manufacturing of solid wood panels made from heat-treated lamellas.

**Key words:** spruce; black pine; mature wood; thinnings; heat treatment; compression strength; rupture mode.

## INTRODUCERE

Această lucrare face parte dintr-o cercetare mai amplă, care vizează evaluarea efectelor tratamentului de modificare termică asupra mai multor proprietăți ale lemnului de pin negru și molid provenit atât din trunchiuri mature cât și din trunchiuri subțiri (cu diametrul sub 18 cm). Primele rezultate obținute cu privire la pierderea de masă și stabilitatea dimensională, au fost prezentate anterior de Olărescu și Câmpean (2012). Prezenta lucrare a vizat efectele tratamentului termic asupra rezistenței la compresiune paralelă cu fibrele – ca reprezentantă a rezistențelor mecanice ale lemnului ca material de construcție.

De-a lungul timpului au fost realizate numeroase determinări experimentale privind efectele tratamentului la temperaturi înalte asupra proprietăților lemnului de diferite specii lemnoase (Esteves și Pereira 2009). Cele mai multe cercetări au fost realizate pe lemn de rășinoase, care este cel mai puțin sensibil la temperatură și se tratează ușor.

Este un fapt recunoscut că la temperaturi peste 150°C rezistențele mecanice ale lemnului scad. Motivul principal pentru pierderea rezistențelor mecanice este degradarea hemicelulozelor, care sunt mai puțin rezistente la temperaturi înalte decât celuloza și lignina (Hillis 1984). Degradarea se datorează în principal unor reacții de depolimerizare (Kotilainen 2000, Wikberg și Maunu 2004).

Korkut și Guller (2008) au tratat termic la presiune atmosferică pin silvestru (*Pinus sylvestris*) la trei temperaturi diferite (120, 150 și 180°C) combinate cu trei durate diferite (2, 6 și 10h). Rezultatele testelor au arătat că o dată cu creșterea temperaturii și majorarea duratei, rezistențele mecanice (rezistența la compresiune, încovoiere, modulul de elasticitate la încovoiere, rezistența la șoc) scad. Astfel, în urma testelor de rezistență la compresiune, epruvetele care au fost tratate cu regimul 120°C/6h au înregistrat valori cu 5,12% mai mici decât probele de control, pe când la cele tratate cu regimul de 180°C/6h s-a observat o scădere de 15,78% față de probele martor.

Există însă și studii în care în urma tratamentului termic s-au obținut valori mai mari ale rezistențelor comparativ cu probele netratate. De exemplu, Allegretti ș.a. (2012) au tratat termic în vid, prin procedeul TERMOVUOTO lemn de molid la temperatura de 160°C timp de 15 h și respectiv temperatura de 200°C timp de 7h. Rezistența la compresiune a lemnului tratat cu regimul 160°C/15h a fost cu 2,8% mai mare decât cea a probelor de control (netratate). O posibilă explicație găsită de autori este aceea potrivit căreia în prezența vidului, sunt evacuate din material cantități semnificative de produse de degradare termică (de exemplu, acid acetic) ceea ce frânează distrugerea hemicelulozei.

De asemenea, Tjeerdsma ș.a. (1998) au obținut o creștere cu 28% a rezistenței la compresiune paralelă cu fibrele pentru lemnul de pin silvestru tratat prin procedeul PLATOWOOD.

## BACKGROUND

This paper is part of a wider research envisaging the effects of the heat treatment upon several properties of spruce and black pine wood originating from mature trees vs. thinnings (thin trunks, with diameters below 18 cm).

The first results, regarding the mass loss and dimensional stability were previously presented by Olărescu and Câmpean (2012).

This paper focussed on the compression strength parallel to the grain – as a representative mechanical strength of wood as a construction material.

Several experiments were conducted in time regarding the effects of various heat treatments upon the properties of different wood species (Esteves and Pereira 2009). Most researches were performed with resinous wood, which is less sensitive to temperature and is easier treated.

It is an already acknowledged fact that temperatures above 150°C lead to a weakening of the mechanical strengths of wood. The main reason is the degradation of hemicelluloses which are less resistant to high temperatures than the cellulose and the lignin (Hillis 1984). This degradation is mainly due to depolymerization reactions (Kotilainen 2000, Wikberg and Maunu 2004).

Korkut and Guller (2008) treated Scots pine (*Pinus sylvestris*) at atmospheric pressure at three different temperatures (120, 150 and 180°C) for three different tie periods (2, 6 and 10 hours).

The test results showed the decrease of all mechanical strengths (in compression, bending, MOE, shock resistance) with increasing temperature and time. Thus, the samples heat-treated at 120°C/6h displayed 5.12% lower values of the compression strength than the untreated control samples, while the ones heat-treated at 180°C/6h displayed a decrease by 15.78%.

But there are also situations reported when the compression strength increased through the heat treatment. Allegretti et al. (2012) treated by the TERMOVUOTO method (vacuum heat treatment) spruce wood, at 160°C for 15 hours and at 200°C for 7 hours. The compression strength of the samples heat-treated at 160°C/15h was by 2.8% higher compared to the untreated control samples.

A possible explanation, as given by the authors, is that significant amounts of products of the thermal degradation products (e.g. acetic acid) are evacuated out of the material by vacuum, thus decreasing the hemicelluloses destruction. A verification of this hypothesis through chemical analyses is foreseen.

Tjeerdsma et al. (1998) also obtained an increase by 28% of the compression strength parallel to the grain of Scots pine heat-treated by the PLATOWOOD technology.

## OBIECTIV

După cum s-a evidențiat mai sus, efectele tratării termice la diferite temperaturi peste 100°C, cu diferite durate de expunere, în diferite medii de tratare asupra rezistenței la compresiune a lemnului de pin și de molid au mai fost studiate.

Noutatea prezentului studiu experimental a constat în determinarea efectelor acestui tratament de modificare termică asupra proprietăților lemnului provenit din rărituri (trunchiuri de diametru mic, cu proporție ridicată de lemn tânăr), comparativ cu lemnul din arbori maturi proveniți din același areal, în vederea evaluării oportunității de valorificare superioară a acestor resurse secundare lemnoase.

Corelarea rezultatelor obținute la toate cele trei proprietăți determinate comparativ pentru cele două specii și două sortimente (pierderea de masă, stabilitatea dimensională și rezistența la compresiune) în funcție de regimul de tratare aplicat a constituit obiectivul final al acestei lucrări. Graficul de corelare elaborat de autori a permis stabilirea regimului optim de tratare pentru fiecare specie și sortiment.

Rezultatele vor fi valorificate în procesul de fabricare a panourilor reconstituite din lemn masiv, realizate din lamele de lemn tratat termic.

## METODĂ, MATERIALE ȘI APARATURĂ

Speciile selectate pentru acest studiu sunt două specii de rășinoase cu largă răspândire în țara noastră, și anume: pinul negru (*Pinus nigra* L.) și molidul (*Picea abies* L.) și se pretează bine la tratamentul de modificare termică.

Materialul lemnos utilizat în testele experimentale a constat în scânduri cu dimensiunile de 620x85x30mm debitate din 5 bușteni - trunchiuri mature și 6 bușteni - trunchiuri subțiri (din rărituri), proveniți din același areal: U. P. II Stroești – Argeș (45° 8' 0" Nord, 24° 47' 0" Est).

Scândurile au fost uscate natural până la umiditatea de aproximativ 12%, după care s-au debitat epruvete standard cu dimensiunile de 20x20x60mm pentru determinarea rezistenței la compresiune, strict pe fibra lemnului.

Înainte de a fi supuse tratării termice propriu-zise epruvetele au fost menținute la temperatura de 103°C într-o etuvă electrică BINDER cu convecție naturală și microprocesor de control PID, pentru uscarea la stare anhidră, necesară unei tratări eficiente, fără defecte (ThermoWood Handbook).

Pentru tratarea termică a epruvetelor s-au adoptat inițial trei valori de temperatură: 180, 200 și 220°C, combinate fiecare cu patru valori ale duratei de expunere, respectiv 1, 2, 3 și 4 ore. Dar pentru că la temperatura de 220°C epruvetele de molid s-au aprins după cca. 40', experimentele la această temperatură au fost stopate și s-au testat prin urmare numai opt regimuri: 180°C/1h; 180°C/2h; 180°C/3h; 180°C/4h; 200°C/1h; 200°C/2h; 200°C/3h și 200°C/4h. Tratarea s-a realizat în etuva Binder, în mediu de aer, la presiune atmosferică prin menținerea temperaturii înalte la valoare constantă, conform regimului (timp de 1h, 2h, 3h și respectiv 4h).

## OBJECTIVE

As shown above, the effects of heat treatments at temperatures above 100°C, with different times of exposure, in different treating environments upon the compression strength of spruce and pine wood were studied before.

The novelty of the present research is given by the use of wood originating from thinnings (small diameter stems, with high amount of juvenile wood), in comparison to mature wood originating from the same area, in order to evaluate the valorization opportunities for this secondary wood resource.

The correlation of the results obtained for all three properties (mass loss, dimensional stability and compression strength) determined comparatively for these two species and two assortments as function of the applied treating conditions, is the final outcome of this paper. The correlation graph elaborated by the authors allowed establishing the optimum treating regime for each wood species and each wood assortment.

The results of this paper are to be applied in the manufacturing process of solid wood panels made from heat-treated wood lamellas.

## METHOD, MATERIALS AND APPARATUS

The two wood species selected for this study, namely black pine (*Pinus nigra* L.) and Norway spruce (*Picea abies* L.) are wide-spread in Romania and suit well heat treatments at high temperature.

The wooden material used within the tests consisted of 620x85x30mm boards, cut from 5 logs – mature trunks and 6 logs – thin trunks (from thinnings), all originating from the same forestry areal: Stroești – Argeș (45° 8' 0" North, 24° 47' 0" East).

The boards were air-dried down to a moisture content of approx. 12%. Then, 20x20x60mm standard samples for the compression test were cut, strictly along the wood grain.

Before being heat-treated, the samples were oven-dried at 103°C in an electric oven with natural convection and PID controller by BINDER, until they reached the oven-dry state, which is necessary in order to achieve an efficient heat treatment (ThermoWood Handbook).

The heat treatment was initially performed at three temperature values (180, 200 and 220°C), each combined with four durations (1, 2, 3 and 4 hours). After 40' at 220°C, the spruce samples suffered self-ignition and therefore, the tests at this temperature were stopped and only eight regimes were applied: 180°C/1h; 180°C/2h; 180°C/3h; 180°C/4h; 200°C/1h; 200°C/2h; 200°C/3h and 200°C/4h.

The heat treatment was performed in the Binder oven, at atmospheric pressure, by maintaining the high temperature at constant value for different durations, according to the regime (1, 2, 3 and 4 hours, respectively). After this time, the samples were cooled in an essiccator.

După expirarea timpului de tratare, epruvetele au fost introduse în exsicator pentru răcire. Pentru fiecare regim experimentat, cât și pentru probele martor (uscate la stare anhidră dar netratate) s-a utilizat câte un set de 10 epruvete.

#### Determinarea rezistenței la compresiune

Epruvetele (atât cele tratate, cât și cele netratate) destinate testului de compresiune, au fost condiționate timp de trei săptămâni la temperatura de 20°C și umiditatea relativă de 65% într-o cameră climatică tip FEUTRON KPK200, pentru a atinge o umiditate cât mai apropiată de 12%, prevăzută în mod normal pentru acest test.

Înainte de efectuarea testului, s-a determinat umiditatea fiecărei epruvete cu ajutorul unui umidometru tip FEUTRON 2126, 4485/70, pentru eventuala compensare a valorilor rezultate în urma testului de compresiune, în cazul în care umiditatea epruvetei diferă de 12%, după cum precizează standardul în vigoare (ISO 3387:1976). De asemenea, s-au determinat cele trei dimensiuni ale fiecărei epruvete cu ajutorul unui șubler electronic cu precizie de 0,01mm.

Testul de compresiune s-a realizat conform ISO 3387:1976, pe o mașină de încercări mecanice model-BT1 FB050TN.D30, produsă de firma germană Zwick / Roell, echipată cu dispozitivele necesare testului de compresiune paralelă cu fibrele (Fig. 1), aflată în dotarea Laboratorului de "Testarea Produselor din Lemn Aliniat la Normele Europene" din cadrul Facultății de Ingineria Lemnului.

Sets of 10 samples for used for each regime, and for the controls (oven-dry but untreated samples), as well.

#### The Compression Test

Before being tested to compression parallel to the grain, both the treated and untreated samples were conditioned for three weeks in a FEUTRON KPK200 climate chamber at 20°C and 65% RH, in order to reach a moisture content as close as possible to 12%. Then, their moisture content was measured by means of a FEUTRON 2126, 4485/70 moisturemeter, in order to compensate then values of the compression strength in case of moisture contents different from 12%, as stated by the standard (ISO 3387:1976).

All three sample sizes were also measured in this state, by means of an electronic ruler with 0.01mm precision.

The compression test was carried out according to ISO 3387:1976 on a BT1 FB050TN.D30 universal testing machine by Zwick / Roell, endowed with the special devices for the compression test parallel to the grain (Fig. 1), at the Wood Engineering Faculty in Brașov.

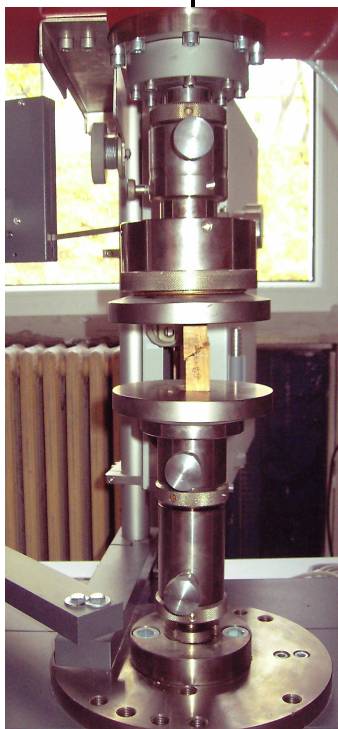


Fig. 1.

Mașină pentru încercări mecanice model-BT1 FB050TN.D30, Zwick / Roell /  
Mechanical testing machine type BT1 FB050TN.D30, Zwick / Roell.

Pe baza datelor experimentale s-a determinat rezistența la compresiune conform relației (1):

$$\sigma_{CII} = \frac{F_{max}}{bh} \quad [N/mm^2] \quad (1)$$

în care:

- $F_{max}$  reprezintă forța maximă, în N;
- $b$  - lățimea epruvetei, în mm
- $h$  - înălțimea epruvetei, în mm.

Conform ISO 3387:1976, atunci când umiditatea reală a epruvetelor testate diferă de 12%, valorile rezistenței se recalculează cu relația (2):

$$\sigma_{CII2} = \sigma_{CII} [1 + c(U - 12)] \quad [N/mm^2] \quad (2)$$

în care:

- $c$  reprezintă un coeficient de corecție a rezistenței la compresiune paralelă, egal cu 0,04 pentru toate speciile;
- $U$  reprezintă umiditatea epruvetelor în momentul încercării.

De asemenea, s-a analizat modul de rupere a epruvetelor, în vederea obținerii unor informații cât mai complete asupra efectului tratării de modificare termică a lemnului.

#### Interpretarea statistică a datelor experimentale

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 confidență ( $\bar{x} - t_n s$ ,  $\bar{x} + t_n s$ ), prin care se elimină statistic eventualele erori. În cazul adoptării unui coeficient de siguranță de 95%,  $t_n$  se calculează conform relației (3):

$$t_n = \frac{t_{0,95}}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

în care:

- $n$  este numărul de probe;
- $t_{0,95}$  - valoarea distribuției Student cu  $n+1$  grade de libertate și coeficient de siguranță 95%. Valorile acestei distribuții sunt specificate tabelar în ISO 2602:1980.

Limita inferioară a intervalului de confidență:  $L_g^{5\%} = \bar{x} - t_n s$  este un indicator important pentru compararea cu valoarea admisibilă a unui parametru dat.

#### REZULTATE ȘI DISCUȚII

##### Rezistența la compresiune paralelă

În Tabelul 1 sunt prezentate rezultatele privind rezistența la compresiune a epruvetelor de pin negru și molid provenite din arbori maturi și rărituri, în urma tratamentului de modificare termică la diferite temperaturi și durate, comparativ cu epruvetele martor netratate.

Comparația între cele două specii arată că valorile rezistenței la compresiune ale lemnului de pin sunt, în medie, cu 22% mai mari decât ale lemnului de molid la sortimentul matur și cu 27% mai mari la sortimentul subțire.

Based on the experimental data, the compression strength was calculated according to the relation:

$$\sigma_{CII} = \frac{F_{max}}{bh} \quad [N/mm^2] \quad (1)$$

where:

- $F_{max}$  is the maximum recorded force, in N;
- $b$  - sample width, in mm
- $h$  - sample height, in mm.

According to ISO 3387:1976, when the moisture content of the tested samples differs from 2%, the following correction is needed:

$$\sigma_{CII2} = \sigma_{CII} [1 + c(U - 12)] \quad [N/mm^2] \quad (2)$$

where:

- $c$  is a correction factor for the compression strength parallel to the grain, equal to 0.04 for all wood species;
- $U$  moisture content of sample during the test.

The rupture mode of each sample was also analyzed in order to obtain as much information as possible on the heat treatment effect upon wood.

#### Statistical processing of experimental data

The statistical interpretation of the results was performed according to ISO 2602-2:1980, by calculating the 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 statistically eventual errors. For a safety coefficient of 95%,  $t_n$  is calculated according to relation (3):

$$t_n = \frac{t_{0,95}}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

where:

- $n$  is the number of samples;
- $t_{0,95}$  - value of the Student distribution with  $n+1$  degrees of freedom and a safety coefficient of 95%. The values of this distribution are specified in a table by ISO 2602:1980.

The lower limit of the confidence interval  $L_g^{5\%} = \bar{x} - t_n s$  is important for the comparison of a resulted value with the allowable value of that parameter.

#### RESULTS AND DISCUSSION

##### Compression Strength

Table 1 presents the results regarding the compression strength parallel to the grain of black pine and spruce wood originating from mature trees and thinnings, after being heat-treated compared to untreated controls.

The comparison between the two species shows that the values obtained for pine wood are by 22% (average) higher than those obtained for spruce wood in the case of mature wood and by 27% higher in the case of thin wood.

Tabelul 1 / Table 1

**Rezistența la compresiune a epruvetelor de pin negru (*Pinus nigra*) și molid (*Picea abies*) în urma tratării termice / Compression strength of black pine (*Pinus nigra*) and spruce (*Picea abies*) after heat-treatment**

Specie, sortiment/Wood species, grade	Regim de tratare/Conditions	$\sigma_{cII}$ [N/mm <sup>2</sup> ]			$\sigma_{cII2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		
		Media/ Mean	s	$L_g^{5\%}$	Media/ Mean	s	$L_g^{5\%}$
<b><i>Pinus nigra</i></b> Lemn matur/ Mature wood	Netratat	51,75	8,37	46,90	47,82	8,16	43,09
	180°C/1h	54,60	5,61	51,34	50,23	5,44	47,07
	180°C/2h	62,97	4,13	60,57	57,93	4,03	55,43
	180°C/3h	55,69	10,01	46,15	50,79	10,26	41,01
	180°C/4h	61,19	1,08	60,16	55,80	1,14	54,47
	200°C/1h	57,44	1,98	56,29	52,38	1,93	51,09
	200°C/2h	53,37	11,17	46,89	48,03	10,60	41,88
	200°C/3h	56,52	9,41	47,55	50,87	8,47	42,79
	200°C/4h	52,54	7,90	45,02	46,87	7,87	39,37
<b><i>Pinus nigra</i></b> Lemn subțire/ Thin wood	Netratat	52,91	8,09	48,21	48,89	7,88	44,31
	180°C/1h	55,52	6,46	51,51	49,33	4,36	46,41
	180°C/2h	63,02	4,86	60,20	57,98	4,78	55,01
	180°C/3h	60,33	5,40	55,18	55,02	5,51	49,77
	180°C/4h	59,11	8,29	51,20	53,91	8,45	45,85
	200°C/1h	56,80	7,20	52,63	51,57	6,89	47,58
	200°C/2h	62,03	3,10	60,23	55,82	2,98	53,83
	200°C/3h	56,34	2,58	53,88	50,71	2,69	47,55
	200°C/4h	55,36	3,67	51,87	49,83	3,69	46,31
<b><i>Picea abies</i></b> Lemn matur/ Mature wood	Netratat	41,30	2,42	39,89	37,99	2,35	36,63
	180°C/1h	44,66	1,85	43,52	40,55	1,78	39,45
	180°C/2h	43,08	2,07	41,80	39,11	1,99	37,88
	180°C/3h	43,87	1,22	42,71	39,84	1,24	38,66
	180°C/4h	45,94	1,49	44,52	41,71	1,51	40,28
	200°C/1h	42,26	3,70	39,97	38,37	3,56	36,17
	200°C/2h	40,93	2,89	39,13	37,16	2,79	35,43
	200°C/3h	45,78	1,25	44,59	41,57	1,13	40,24
	200°C/4h	45,88	0,57	45,35	41,66	0,60	40,96
<b><i>Picea abies</i></b> Lemn subțire/ Thin wood	Netratat	39,50	3,91	37,23	36,03	3,76	33,85
	180°C/1h	38,82	3,11	36,89	35,40	3,01	33,53
	180°C/2h	43,61	3,89	41,35	39,77	3,74	37,60
	180°C/3h	41,71	5,29	36,67	38,04	5,40	32,90
	180°C/4h	41,02	3,06	38,11	37,41	3,12	34,44
	200°C/1h	43,66	2,03	42,48	39,82	1,98	38,49
	200°C/2h	44,06	4,90	41,22	40,18	4,47	37,59
	200°C/3h	43,21	3,40	39,97	39,41	3,46	36,11
	200°C/4h	40,23	2,22	38,11	36,69	2,26	34,53

Comparând cele două sortimente (matur vs. subțire), s-a observat că nu există diferențe semnificative: la lemnul de pin valorile sunt aproape identice, iar la lemnul de molid valorile obținute la sortimentul subțire sunt în medie cu doar 4% mai mici decât la lemnul matur.

Rezultatele obținute la regimul 180°C/2h cu lemn matur de pin sunt în concordanță cu cele obținute de Korkut și Guller (2008) pe pin silvestru la același regim. Iar rezultatele obținute la regimul de 200°C/4h (46,87N/mm<sup>2</sup>) sunt aproape identice cu cele obținute de Korkut și Guller (2008) (44,54N/mm<sup>2</sup>) la regimul 180°C/10h. Aceasta confirmă corectitudinea metodei adoptate și ne oferă și un exemplu de similitudine de efecte ale unor regimuri diferite de tratare termică (10 ore de tratare la 180°C echivalează cu 4 ore de tratare la 200°C în cazul lemnului de pin).

Făcând o comparație între valorile obținute la probele tratate și cele netratate, se observă că valorile rezistenței la compresiune sunt ușor mai mari la probele tratate, rezultat similar celui obținut de Allegretti ș.a. (2012) la termotratarea în vid. Un studiu viitor de analiză chimică vizează elucidarea cauzelor acestui efect neașteptat.

Pierderea de masă fiind considerată principalul indicator al degradării datorate tratării termice, s-a trasat graficul de variație a rezistenței la compresiune paralelă în funcție de acest indicator, pentru fiecare specie și sortiment (Fig. 2).

La lemnul de pin se constată tendința de scădere ușoară a rezistenței la compresiune odată cu creșterea pierderii de masă pe intervalul considerat al acesteia (1...6%), în timp ce la lemnul de molid rezistența la compresiune rămâne aproape constantă pe întregul interval. Aceasta înseamnă că numai rezistența lemnului de pin este afectată pe măsura creșterii severității regimurilor de tratare aplicate, acestea fiind mult mai ușor tolerate de către lemnul de molid.

### Modul de rupere

La analiza modului de rupere a epruvetelor în timpul testării (Tabelul 2) s-a observat că, indiferent de specie, la majoritatea probelor, tratate și netratate, ruperea s-a produs aproape de zona centrală, după un plan de alunecare a fibrelor, înclinat sau aproape paralel cu secțiunea transversală. La probele tratate s-au remarcat și epruvete la care ruperea s-a produs după două planuri înclinate de alunecare a fibrelor și o crăpătură longitudinală la intersecția lor.

De asemenea, s-a observat că, modul de rupere al epruvetelor a fost cu atât mai agresiv, cu cât temperatura și durata de tratare au fost mai mari. La două dintre probele de molid tratate la regimul de 200°C/4h s-a produs strivire urmată de crăpături longitudinale - tangențiale la limita de trecere de la lemnul timpuriu la lemnul târziu, pe toată înălțimea epruvetei.

By comparing the two assortments (mature vs. thin wood), no significant differences were noticed: with the pine samples the values are nearly identical, and with the spruce samples, the values obtained for the thin wood are by only 4% (average) lower than for mature spruce wood.

The results obtained at 180°C/2h with mature pine wood are in good accordance to the ones obtained by Korkut and Guller (2008) with Scots pine using the same treatment. Furthermore, the results obtained at 200°C/4h (46.87N/mm<sup>2</sup>) are almost identical with the ones obtained by Korkut and Guller (2008) at 180°C/10h (44.54N/mm<sup>2</sup>), which confirms the correctness of the applied method, and which also gives us a hint upon the effect similarity of regimes with different temperatures and times (10 hours of heat-treatment at 180°C is equivalent with 4 hours of treatment at 200°C in the case of pine wood).

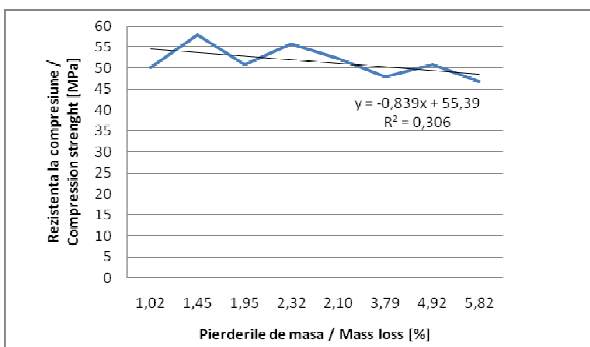
By comparing the values obtained with treated and untreated wood, it can be observed that the compression strengths obtained with the treated samples are slightly higher. This is similar to the results obtained by Allegretti et al. (2012) with vacuum treated spruce wood. A future chemical analysis is planned in order to elucidate the possible causes of this unexpected result.

The mass loss being the main indicator of degradation due to the heat treatment, the variation graph between the compression strength and the mass loss was drawn for each species and each assortment (Fig. 2). With pine wood, a slight decreasing tendency of the compression strength with increasing mass loss can be noticed within the considered mass loss interval (1...6%), but with the spruce wood, the compression strength remained nearly constant over the whole interval. This means that only the strength of pine wood was affected by the increasing severity of the applied treating conditions. The spruce wood samples tolerated them much better.

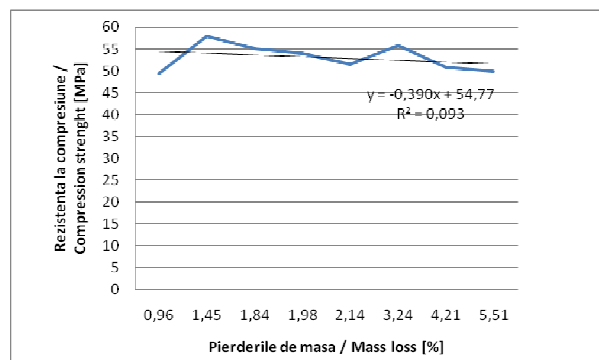
### Rupture mode

When analysing the rupture mode (Table 2), it was noticed that in most samples, with no regard to species, treated or untreated, the rupture was produced very close to the central area, along an inclined fibre sliding plane, almost parallel to the cross section. With the treated samples, the rupture occurred frequently in two inclined fibre sliding plane and it was also accompanied by a longitudinal crack at the intersection of the two planes.

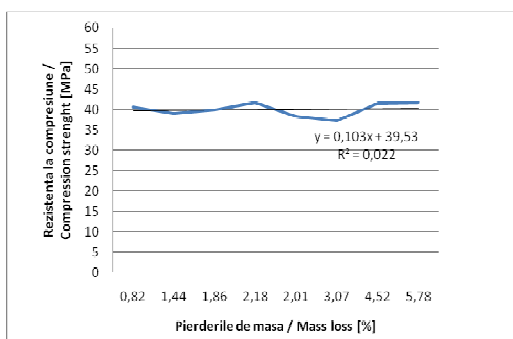
It was also noticed that the rupture mode was the more aggressive with increasing treating temperature and treating time. Two of the spruce samples heat-treated at 200°C/4h encountered crushing and longitudinal - tangential cracks at the limit between the earlywood and the latewood along the whole sample height.



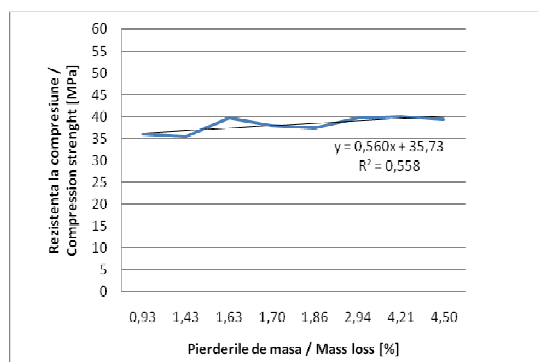
a. *Pinus nigra*, lemn matur/mature wood



b. *Pinus nigra*, lemn subțire/thin wood



c. *Picea abies*, lemn matur/mature wood



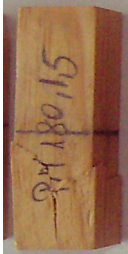








d. *Picea abies*, lemn subțire/thin wood

Fig. 2.


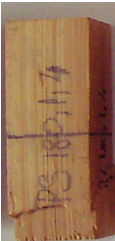


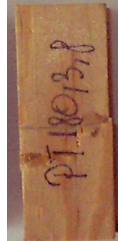




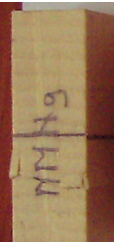
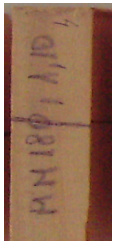
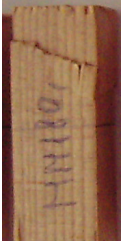






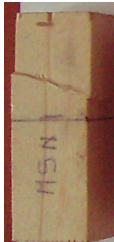

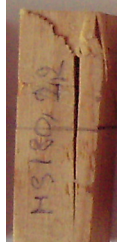
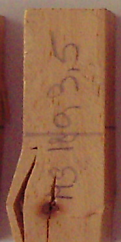





Corelația dintre pierderea de masă și rezistența la compresiune a lemnului tratat termic /  
Correlation between mass loss and compression strength of heat-treated wood.

Tabelul 2 / Table 2

Modul de rupere al epruvetelor de pin și molid tratate în condiții diferite și comparativ cu epruveta  
martor / Rupture mode of pine and spruce samples heat-treated with different regimes and compared  
to untreated control

Specie/Sortiment Species/Assortment	Modul de rupere / Rupture mode				
<i>Pinus nigra</i> Lemn matur/ Mature wood					
	Netratat/Untreated	180°C/1h	180°C/2h	180°C/3h	180°C/4h
					
		200°C/1h	200°C/2h	200°C/3h	200°C/4h



<p><b><i>Pinus nigra</i></b> Lemn subțire/ Thin wood</p>	 Netratat/Untreated	 180°C/1h	 180°C/2h	 180°C/3h	 180°C/4h
		 200°C/1h	 200°C/2h	 200°C/3h	 200°C/4h
<p><b><i>Picea abies</i></b> Lemn matur/ Mature wood</p>	 Netratat/Untreated	 180°C/1h	 180°C/2h	 180°C/3h	 180°C/4h
		 200°C/1h	 200°C/2h	 200°C/3h	 200°C/4h
<p><b><i>Picea abies</i></b> Lemn subțire/ Thin wood</p>	 Netratat/Untreated	 180°C/1h	 180°C/2h	 180°C/3h	 180°C/4h
		 200°C/1h	 200°C/2h	 200°C/3h	 200°C/4h

Făcând o comparație între modul de rupere al celor două sortimente matur vs. subțire constatăm că nu există diferențe semnificative.

**Efectul corelat al regimului de tratare termică asupra pierderii de masă, stabilității dimensionale și a rezistenței la compresiune**

În Fig. 3 se prezintă graficele de variație a celor trei proprietăți determinate în funcție de regimul de tratare aplicat.

Aplicând un criteriu de optimizare combinat, respectiv de maximizare simultană a stabilității dimensionale și a rezistenței la compresiune paralelă fără a depăși pierderea de masă de 6%, au rezultat următoarele:

- pentru lemnul de pin negru matur: regimul optim a rezultat 200°C/3h deoarece regimul următor cu durată mai lungă s-a soldat cu rezistență la compresiune mai mică și pierdere de masă de aproape 6%, în condițiile în care stabilitatea dimensională nu a mai înregistrat o creștere notabilă;
- pentru lemnul de pin negru subțire: regimul optim a rezultat 200°C/4h deoarece s-a soldat cu stabilitate dimensională maximă, în condițiile nedepășirii limitei de 6% la pierderea de masă și rezistență la compresiune comparabilă (nediminuată) cu cea obținută la regimul anterior;
- pentru lemnul de molid matur, ca și la pin subțire, regimul optim a rezultat 200°C/4h din aceleași considerente ca mai sus;
- pentru lemnul de molid subțire: regimul optim a rezultat 200°C/4h deoarece s-a soldat cu stabilitate dimensională mult crescută față de regimul anterior, în condițiile unei pierderi de masă sub 5%, chiar dacă rezistența la compresiune a înregistrat o ușoară scădere față de cea obținută la regimul anterior;

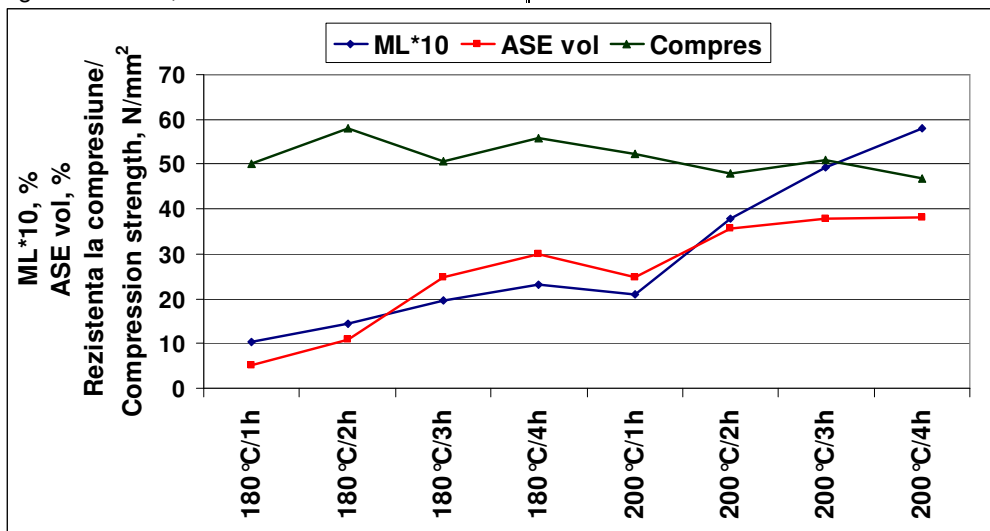
The comparison between the rupture modes of mature and thin wood does not reveal significant differences.

**Correlated Effect of the Treating Conditions upon the Mass Loss, Dimensional Stability and Compression Strength**

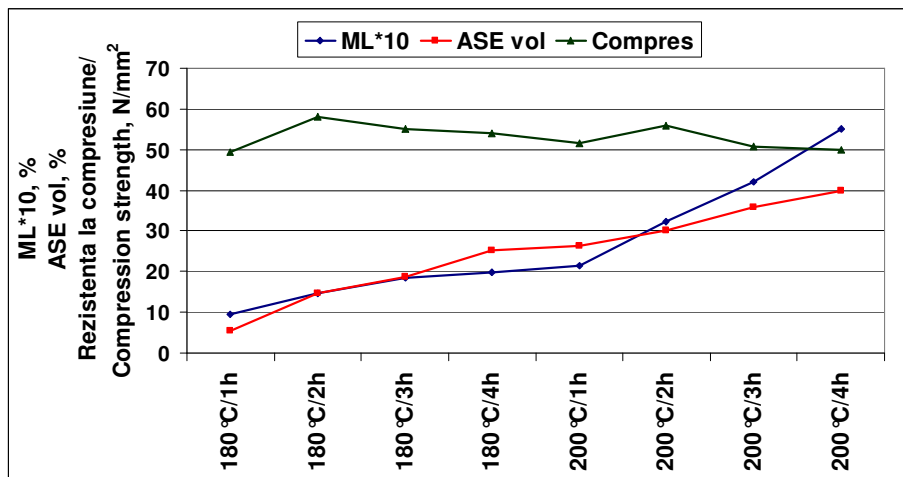
Fig. 3 presents the variation curves of the three properties as function of the treating regime.

By applying a combined optimization criterion, namely simultaneous maximization of dimensional stability and compression strength, without exceeding the limit of 6% mass loss, the following resulted:

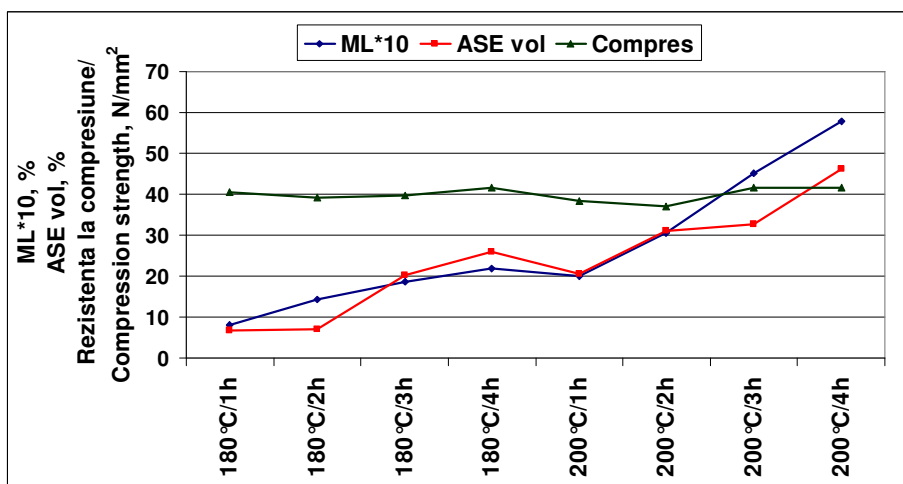
- for black pine, mature wood: the optimum regime resulted 200°C/3h because the next regime, with longer duration, was characterized by a lower compression strength and a mass loss very close to 6%, while the dimensional stability did not increase significantly anymore;
- for black pine, thin wood: the optimum regime resulted 200°C/4h because it was characterized by the best dimensional stability, with no exceeding of the 6% limit for the mass loss and with a similar (undiminished) compression strength as obtained for the previous regime;
- for spruce, mature wood, as for thin pine, the optimum regime resulted 200°C/4h, for the same reasons as described above;
- for spruce, thin wood: the optimum regime resulted 200°C/4h because it was characterized by much higher dimensional stability compared to the previous regime, while the mass loss did not exceed 5%, even if the compression strength registered a slight decrease compared to the previous regime;



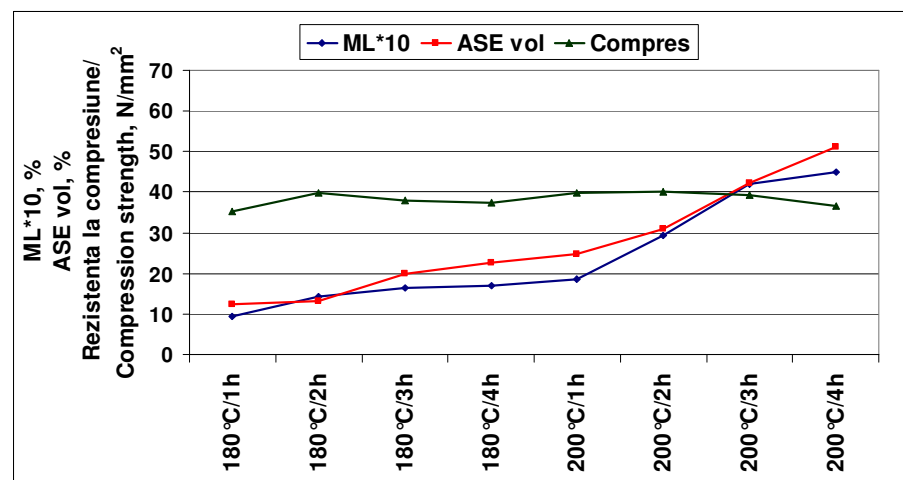
a. Pinus nigra, lemn matur/mature wood



b. Pinus nigra, lemn subțire/thin wood



c. Picea abies, lemn matur/mature wood



d. Picea abies, lemn subțire/thin wood

Fig. 3.

Efectul corelat al regimului de tratare termică asupra pierderii de masă, stabilității dimensionale și a rezistenței la compresiune / Correlated Effect of the Treating Conditions upon the Mass Loss, Dimensional Stability and the Compression Strength.

## CONCLUZII

Studiul privind comportamentul lemnului de pin negru și molid din trunchiuri de diametru mic comparativ cu cel matur la tratarea de modificare termică nu a relevat diferențe semnificative între cele două sortimente. Aceasta a evidențiat posibilitatea valorificării acestei resurse de biomasă lemnoasă la fabricarea panourilor reconstituite din lamele de lemn masiv tratat termic, rezultate fie în exclusivitate din sortimente subțiri, fie în combinație lemn matur-lemn subțire, proprietățile lor de stabilitate în urma tratării termice fiind comparabile.

Lemnul de pin matur s-a tratat eficient la 200 °C/3h, în timp ce lemnul de pin subțire, molid matur și molid subțire a necesitat 1 oră mai mult de tratare pentru a atinge aceeași eficiență, respectiv o stabilizare dimensională volumică de cca. 40%, în condițiile unei pierderi de masă sub 6% și a menținerii rezistenței la compresiune paralelă cu fibrele aproape nemodificată.

Cele mai bune valori ale stabilizării dimensionale s-au obținut în cazul lemnului de molid subțire (51,2%) și molid matur (46,6%), în condițiile menținerii aproape constante a rezistenței la compresiune, la valoarea de cca. 40N/mm<sup>2</sup>. Din acest motiv, s-a optat pentru continuarea cercetărilor de testare a proprietăților panourilor reconstituite din lamele de lemn masiv tratat termic, realizate din lemn de molid.

## CONCLUSIONS

The study regarding the behaviour of black pine and spruce wood originating from small-diameter logs comparatively to mature wood revealed no significant differences between the two assortments. This evidenced the opportunity to valorize this secondary biomass resource for the manufacturing of solid wood panels made from heat-treated lamellas, either obtained exclusively from thinnings or in combination with mature wood lamellas.

The mature pine wood was efficiently treated at 200 °C/3h, while thin pine, mature and thin spruce required 1 more hour in order to reach the same efficiency, respectively a volumic dimensional stability of ca. 40%, combined with a mass loss lower than 6% and almost unaffected compression strength parallel to the grain.

The best results of dimensional stabilization were obtained with thin spruce wood (51.2%) and mature spruce wood (46.6%), whilst maintaining almost unaffected the compression strength at ca. 40N/mm<sup>2</sup>. For this reason, the research regarding the testing of the solid wood panels made of heat-treated lamellas is going to be performed with spruce wood.

## BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- Allegretti O, Brunetti M, Cuccui I, Ferrari S, Nocetti M, Terziev N (2012) Thermo-vacuum modification of spruce (*Picea abies* Karst.) and fir (*Abies alba* Mill.) wood. *Bioresources* 7(3):3656 – 3669.
- Esteves BM, Pereira HM (2009) Wood modification by heat treatment: A review. *Bioresources* 4(1):370-404
- Hillis W (1984) High temperature and chemical effects on wood stability. Part1. General consideration . *Wood Sci. Technol.* 18:281 – 293.
- ISO 2602 – 2:1980. Statistical Interpretation of Test Results-Estimation of the Mean.Confidence Interval.
- ISO 3387:1976 Wood – Testing in Compression Parallel to Grain
- Korkut D, Guller B, (2008) The effects of heat treatment on physical properties and surface roughness of Red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood. *Bioresource Technol.* 99:2846 – 2851.
- Kotlainer R, Toivannen T, Alén R (2000) FTIR monitoring of chemical changes in softwood during heating. *J.Wood Chem. Technol.* 20(3):307 – 320.
- Olărescu CM, Câmpean M (2012) Effect of heat treatment upon dimensional stability and mass loss of black pine and spruce –wood originating from mature trees vs. thinnings. *PRO LIGNO* 8(4):44 – 57. ONLINE ISSN 2069-7430 ISSN-L 1841-4737.
- ThermoWood Handbook (2003) Finnish Thermowood Association c/o Wood Focus Oy, P.O. Bo284 (Snellmaninkatu 13), FIN-00171 Helsinki, FINLAND.
- Tjeerdsma B, Boonstra M, Militiz H (1998) Thermal modification of nondurable wood species. Part2. Improved wood properties of thermally treated wood. In: International Research Group on Wood Pre., Document Nr. IRG/WP 98- 40124.
- Wikberg H, Maunu S (2004) Characterisation of thermally modified hard and softwoods by <sup>13</sup>CPMAS NMR. *Carbohydr Polym.* 58:461 – 466.