

**EFFECTUL TRATAMENTULUI TERMIC
ASUPRA STABILITĂȚII DIMENSIONALE ȘI
PIERDERII DE MASĂ A LEMNULUI DE PIN
NEGRU ȘI MOLID – LEMN MATUR VS.
LEMN SUBȚIRE DIN RĂRITURI**

**EFFECT OF HEAT TREATMENT UPON
DIMENSIONAL STABILITY AND MASS
LOSS OF BLACK PINE AND SPRUCE
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, 500036 Braşov, Romania
E-mail: cristina.olarescu@yahoo.com

Mihaela CÂMPEAN*

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

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 pentru încercări fizice, cu dimensiunile 30x20x20mm. 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. Cântăririle înainte și după tratare au permis determinarea pierderii de masă. De asemenea, s-au determinat coeficienții de umflare totală liniari și volumici, atât la probele tratate cât și la cele martor (uscate la stare anhidră dar netratate), în vederea aprecierii efectului tratării termice asupra stabilității dimensionale. Rezultatele au fost analizate comparativ pentru cele două specii (pin negru și molid) și respectiv pentru cele două sortimente (lemn matur-lemn subțire), pentru a stabili regimul optim de tratare pentru fiecare specie și sortiment, adică acel regim care să permită îmbunătățirea maximă a stabilității dimensionale fără a afecta semnificativ masa (și implicit rezistențele) lemnului. 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; stabilitate dimensională; pierdere de masă.

INTRODUCERE

Singura metodă de stabilizare dimensională a lemnului care nu implică introducerea de substanțe chimice în lemn este tratarea de modificare termică. Datorită modificărilor care apar în compoziția chimică a lemnului sub efectul temperaturii ridicate, aceasta este o modalitate ecologică recunoscută de

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 boards were cut into standard samples 30x20x20mm. These were first dried to oven-dry state, then heat-treated at high temperatures (180 and 200°C) for 1, 2, 3 and 4 hours. Weightings before and after heat-treatment allowed establishing the mass loss. The total linear and volumic swelling coefficients were also determined both for the heat-treated and untreated samples, in order to establish the effect of the heat-treatment upon the dimensional stability. The results were comparatively analyzed for the two species (pine and spruce), for the two grades (mature and thin wood), in order to establish for each the optimum treating conditions, namely the ones which allow for the maximum improvement of the dimensional stability, without affecting significantly the wood mass (and implicitly the mechanical strengths). 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; dimensional stability; mass loss.

INTRODUCTION

The only method of dimensional stabilization of wood, which does not imply the use of chemical substances, is the heat-treatment. Due to the modifications which occur in the chemical composition of wood under the effect of high temperatures, this is a recognized environment-friendly method to improve

* Autor corespondent / Author to whom all correspondence should be addressed

îmbunătățire a unor proprietăți ale lemnului precum higroscopicitatea, stabilitatea dimensională și durabilitatea (Timar 2003). Temperatura de tratare trebuie aleasă astfel încât să producă pe cât posibil numai acele modificări de structură chimică favorabile ameliorării (descompunerea incipientă a hemicelulozelor), dar care să nu afecteze structura celulozei, care îi conferă lemnului rezistențele mecanice.

Conform datelor din literatura de specialitate, temperaturile la care descompunerea compușilor chimici principali ai lemnului are loc la 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, citat de Câmpean ș.a. 2011).

De-a lungul timpului au fost realizate numeroase determinări experimentale privind efectele tratamentului la temperaturi înalte asupra proprietăților lemnului de diferite specii lemnoase. Cele mai multe cercetări au fost realizate pe lemn de rășinoase, care este cel mai puțin sensibil la temperatură și se tratează ușor. În continuare sunt prezentate sintetic doar cele mai importante rezultate obținute cu privire la efectul de stabilizare dimensională și de reducere de masă obținute de diverși cercetători din toată lumea, cu lemn de pin și molid.

Viitaniemi ș.a. (1997) au studiat dependența între pierderea de masă și diferite proprietăți fizico-mecanice ale lemnului de molid. Ei au stabilit că umflarea tangențială se reduce proporțional cu creșterea pierderii de masă în domeniul 1...5%, după care creșterea devine mult mai lentă. În același interval de creștere a pierderii de masă, rezistența la încovoiere statică se reduce cu până la 8%. Concluzia autorilor acestui studiu este că pierderea de masă „optimă” în urma tratamentului termic ar fi cea de 5%, cu extensie posibilă până la 6%, valoare la care se consideră că se atinge un maxim de stabilizare dimensională și totodată mărirea rezistenței la atacul de către ciuperci, fără ca rezistențele mecanice să fie afectate semnificativ.

Zaman ș.a. (2000) au tratat pin silvestru (*Pinus sylvestris*) la temperatura de 200°C timp de 4 respectiv 8 ore. În urma acestui studiu au obținut o pierdere de masă de 5,7% (la 4h) și 7,0% (la 8h). Alén ș.a. (2002) tratând molid la temperatura de 180°C timp de 4 ore au obținut o pierdere de masă de 1,5% iar la temperatura de 225°C timp de 6 ore 12,5%. Bekta și Niemz (2003) au constatat că epruvetele de molid expuse la temperaturi ridicate (de 200°C timp de 2, 4, 8, 10 și 24 de ore) se umflă mai puțin cu 7-9% decât cele netratate (în direcție tangențială). Mazela ș.a. (2003) au comparat pierderile de masă rezultate în urma tratării termice a lemnului de molid în prezența oxigenului cu pierderile de masă rezultate în urma

some wood properties, like: hygroscopicity, dimensional stability and durability (Timar 2003). The treating temperature must be chosen so as to produce, as much as possible, only those modifications of the chemical structure which favour the improvement (incipient decomposition of the hemicelluloses), but do not affect the cellulose structure, which is responsible for the mechanical strengths of wood.

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 cited by Campean et al. 2011).

In time, numerous experimental researches regarding the effect of high temperatures upon wood properties of different wood species were performed. Most of them were conducted with resinous species, which are less sensitive to temperature and are easily treated. A synthesis of the main results regarding the effect of dimensional stabilization and the mass loss of heat-treated pine and spruce wood, as obtained by worldwide researchers, is presented as follows.

Viitaniemi et al. (1997) studied the dependency between the mass loss and different physical and mechanical properties of spruce wood. They established that the tangential swelling reduction grows significantly with the mass loss increase within the interval 1...5%; with higher mass loss values, the reduction curve becomes flatter. The bending strength within the same mass loss interval (1...5%) decreases to 8%. The authors' conclude that the „optimum” mass loss after a heat treatment should be 5%, with possible extension up to 6%, considering that at this value a maximum dimensional stabilization is attained, together with an improvement of mould and decay resistance, without significantly affecting the mechanical strengths.

Zaman et al. (2000) treated Scots pine (*Pinus sylvestris*) at 200°C for 4 and 8 hours. The mass loss recorded was 5,7% (at 4h) and 7,0% (at 8h).

Alén et al. (2002) treated spruce at 180°C for 4 hours and obtained a mass loss of 1,5%, while at 225°C for 6 hours, the mass loss increased to 12,5%.

Bekta and Niemz (2003) established that heat-treated spruce samples, treated at 200°C for 2, 4, 8, 10 and 24 hours swell by 7-9% less untreated ones (in tangential direction).

Mazela et al. (2003) compared mass losses resulted after the heat-treatment of spruce wood in the presence of oxygene and in a superheated steam environment; both treatments were carried out at 160, 190 and 220°C for 6-24 hours. The authors established that the treatment with 6 hours duration

tratării termice într-o atmosferă de vapori supraîncălziți; ambele tratări au fost efectuate la temperaturile de 160, 190 și respectiv 220 °C timp de 6 – 24 de ore. S-a constatat că tratamentul timp de 6 ore la ambele variante a fost similar pe când la 24 de ore s-au observat creșteri mai mari ale pierderii de masă la tratarea în prezența oxigenului. Esteves ș.a. (2008, 2009) au tratat la temperaturi de 170 - 200 °C timp de 2 – 24 de ore, în prezența aerului, lemnul de pin maritim (*Pinus pinaster*) și au obținut valori ale coeficientului de stabilitate dimensională (ASE) pe direcție tangențială cuprinse în intervalul 25 – 38%; de asemenea, autorii au ajuns la concluzia că odată cu scăderea pierderilor de masă crește stabilitatea dimensională. Borrega și Kärenlampi (2008) au studiat comportamentul mecanic al lemnului de molid tratat termic; acesta a fost investigat în legătură cu pierderea de masă care apare în urma tratamentului termic. La același conținut de umiditate, rezistențele lemnului s-au redus odată cu creșterea pierderii de masă. Rigiditatea nu a fost afectată până la o pierdere de masă de aproximativ 3%; ulterior, a scăzut. Un alt studiu, realizat de Kaymakci și Akyidiz (2011) pe epruvete de pin silvestru în mediu inert (de azot) arată că valorile umflării și contragerii descresc cu aproximativ 7,15% odată cu creșterea temperaturii (în domeniul 120-210 °C timp de 2 respectiv 6 ore). Un studiu asemănător cu lemn de pin negru a fost realizat de Guller (2012), probele de material (20x20x30mm) fiind supuse tratării termice la temperaturi înalte de 190, 200, 212 respectiv 225 °C combinate cu trei durate de timp: 1, 2 și 3 ore după procedeul ThermoWood. După tratare probele au fost imersate în apă timp de 2, 4, 8, 24, 48 și 72 de ore. În urma acestui studiu autorii au ajuns la următoarele concluzii: stabilitatea dimensională crește cu cca. 25% în urma regimului de 200 °C/1h; 28,5% pentru regimul de 200 °C/2h și cu cca. 36% pentru regimul de 200 °C/3h.

OBIECTIVE

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 pierderii de masă și a stabilității dimensionale a lemnului de pin și de molid au fost studiate de numeroși cercetători.

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), în vederea evaluării oportunității de valorificare superioară a acestor resurse secundare lemnoase, în produse la care stabilitatea dimensională joacă un rol esențial.

Prezentul studiu are drept obiectiv principal determinarea pierderii de masă, a coeficienților de umflare și a stabilității dimensionale a lemnului tratat de molid și pin negru, comparativ la lemn provenit din trunchiuri mature și respectiv din trunchiuri subțiri (din

was similar in the two variants, while the 24 hours treatment in the presence of oxygene lead to higher mass losses.

Esteves et al. (2008, 2009) treated Maritime pine (*Pinus pinaster*) at 170-200 °C for 2-24 hours and obtained a tangential anti-shrinkage efficiency (ASE) of 25-38%; the authors also concluded that the dimensional stabilization effect grows with increasing mass loss.

Borrega and Kärenlampi (2008) studied the mechanical behaviour of heat-treated spruce wood; this was investigated in relation to the mass loss determined by the heat treatment. At the same moisture content, the wood strengths decreased with increasing mass loss. The rigidity was not affected at mass losses below 3%; then it decreased.

An other study performed by Kaymakci and Akyidiz (2011) with Scots pine in inert environment (nitogene) show that the swelling and shrinkage coefficients decrease by ca. 7,15% with increasing temperature (within 120-210 °C for 2-6h).

A similar study with black pine was conducted by Guller (2012), the wooden samples (20x20x30mm) being heat-treated at 190, 200, 212 and 225 °C for 1, 2 and 3 hours according to the ThermoWood method. After treatment, the samples were immersed into water for 2, 4, 8, 24, 48 and 72 hours. Consequently, the authors reached the following conclusions: the dimensional stability increases by ca. 25% at 200 °C/1h; by ca. 28,5% at 200 °C/2h and by ca. 36% at 200 °C/3h.

OBJECTIVES

As shown above, the effects of heat treatments at different temperatures above 100 °C, with different times, in different media upon the mass loss and dimensional stability of pine and spruce wood has been studied by many researchers.

The novelty of the present experimental study was to establish the effects of this treatment upon the properties of wood originating from thinnings (small diameter trunks, with high amount of juvenile wood), in order to evaluate the valorization opportunity of this secondary wood resource, within products which require wood with good dimensional stability.

The objective of the present study is the determination of the mass loss, swelling coefficients and dimensional stability of heat-treated spruce and black pine wood, comparatively on wood originating from mature trees and from thinnings from the same areal. This study is part of a wider research which envisages the evaluation of the effects of the heat-

rărituri). Prezentul studiu face parte dintr-o cercetare mai amplă, care vizează evaluarea efectelor tratamentului de modificare termică asupra mai multor proprietăți și specii lemnoase, în vederea valorificării efectului de stabilizare dimensională la fabricarea panourilor reconstituite din lamele de lemn masiv tratat, pentru utilizări de exterior.

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.).

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). Densitatea în stare anhidră medie, determinată pentru fiecare specie și sortiment este prezentată în Tabelul 1.

treatment upon several properties of some wide-spread wood species, with a view to valorize the effect of dimensional stabilization for the manufacturing of wood panels made from heat-treated solid wood lamellas, for exterior use.

METHOD, MATERIALS, APPARATUS

The wood species selected for this study were two wide-spread resinous species, namely: black pine (*Pinus nigra* L.) and spruce (*Picea abies* L.).

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

The average oven-dry density of the wooden material used within the experiments, for each species and grade is presented in Table 1.

Tabelul 1 / Table 1

**Densitatea medie în stare anhidră a sortimentelor lemnoase utilizate în cercetarea experimentală /
Average oven-dry density of wood samples used within the experiments**

	<i>Pinus nigra</i> Lemn matur/ Mature wood	<i>Pinus nigra</i> Lemn subțire/ Thin wood	<i>Picea abies</i> Lemn matur/ Mature wood	<i>Picea abies</i> Lemn subțire/ Thin wood
Densitatea în stare anhidră/Oven-dry density, kg/m ³	517	544	371	376

Scândurile au fost uscate natural până la umiditatea de aproximativ 12% și apoi condiționate timp de două săptămâni la temperatura de 20°C și umiditatea relativă de 65% într-o cameră climatică tip FEUTRON KPK200. După aceasta s-au debitat epruvete standard cu dimensiunile 20x20x30mm, strict pe fibra lemnului, pentru determinarea coeficienților de umflare și a pierderii de masă.

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, clasa I de calitate și performanță. În vederea unei tratări eficiente, fără defecte, lemnul trebuie să fie în stare anhidră (ThermoWood Handbook). În această stare s-au determinat masa și cele trei dimensiuni ale fiecărei epruvete, cu ajutorul unei balanțe electronice tip KERN, cu precizie de 0,001g și a unui șubler electronic cu precizie de 0,01mm.

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;

The boards were first air-dried down to 12% mc, then conditioned for 2 weeks at 20°C and 65% RH in a FEUTRON KPK200 climate chamber. Hereinafter, 20x20x30mm standard samples were cut parallel to wood fiber, in order to determine the swelling coefficients and mass loss.

Before being heat-treated, the samples were oven-dried in a BINDER electric oven with natural convection and PID controller, 1st quality and performance class, at constant 103°C. An effective heat-treatment requires oven-dry state of the wood (ThermoWood handbook). The oven-dry mass and all three dimensions of each sample were measured before the heat-treatment by means of a KERN electronic scale, with 0,001g accuracy and an electronic sliding gauge with 0,01mm precision.

The heat treatment was initially planned to be carried out at three different temperatures: 180, 200 and 220°C, each combined with four durations: 1, 2, 3 and 4 hours. However, at 220°C, the spruce samples ignited after ca. 40 minutes and so the experiments at this temperature value were stopped and only four treating schedules were tested (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). For each experimented schedule, as well as for the witnesses (oven-dry, untreated samples). A set of 10 samples was employed.

200°C/1h; 200°C/2h; 200°C/3h și 200°C/4h). Pentru fiecare regim experimentat, cât și pentru probele mator (uscate la stare anhidră dar netratate) s-a utilizat câte un set de 10 epruvete.

Fiecare set de epruvete a fost apoi tratat termic în aceeași etuvă Binder, în mediu de aer, la presiune atmosferică, prin ridicarea temperaturii la 180°C, respectiv 200°C și menținerea ei la valoare constantă, conform regimului (timp de 1h, 2h, 3h și respectiv 4h). După expirarea timpului de tratare, epruvetele au fost introduse în exsicator iar după răcire au fost din nou măsurate dimensiunile și masa.

Pe baza datelor experimentale privind masa epruvetelor înainte și după tratare (ambele mase fiind determinate la stare anhidră), s-a determinat pierderea de masă conform relației (1):

$$\Delta m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad [100\%] \quad (1)$$

unde:

m_i este masa epruvetei înainte de tratare, în g
 m_f - masa aceleiași epruvete după tratare, în g.

Atât epruvetele tratate cât și cele netratate au fost apoi imersate în apă distilată, pentru umflare până când au atins punctul de saturație al fibrei (până la stabilizarea dimensiunii pe direcția tangențială).

În această stare, conform STAS 85/1-91, s-au măsurat din nou dimensiunile epruvetelor pe toate cele trei direcții de orientare structurală, în vederea calculării coeficienților de umflare totală în direcție radială ($\alpha_{r \max}$), tangențială ($\alpha_{t \max}$) și a celui volumic ($\alpha_{v \max}$), conform ecuațiilor (2)-(4) de mai jos.

$$\alpha_{r \max} = \frac{l_{r \max} - l_{r \min}}{l_{r \min}} \cdot 100 \quad (2)$$

$$\alpha_{t \max} = \frac{l_{t \max} - l_{t \min}}{l_{t \min}} \cdot 100 \quad (3)$$

$$\alpha_{v \max} = \frac{l_{r \max} \cdot l_{t \max} \cdot l_{a \max} - l_{r \min} \cdot l_{t \min} \cdot l_{a \min}}{l_{r \min} \cdot l_{t \min} \cdot l_{a \min}} \cdot 100 \quad (4)$$

în care:

$l_{r \min}$, $l_{t \min}$, $l_{a \min}$ sunt dimensiunile epruvetei în stare absolut uscată, în direcție radială, tangențială și în lungul fibrelor, în mm;

$l_{r \max}$, $l_{t \max}$, $l_{a \max}$ - dimensiunile epruvetelor la umiditatea de saturație a fibrei, în direcția radială, tangențială și în lungul fibrelor, în mm.

Pe baza valorilor obținute s-a calculat apoi pentru fiecare specie, sortiment și regim coeficientul de stabilizare dimensională (ASE – abreviere a termenului în limba engleză: *Anti Shrinkage Efficiency*), conform ecuației (5):

each set of samples was heat-treated in the same Binder oven, under atmospheric pressure, by increasing the temperature at 180°C, and 200°C, respectively, and maintaining it at this value for 1, 2, 3 and 4 hours. After each heating duration, a set of samples was evacuated from the oven, cooled down in an essiccator anmd then their mass and dimensions were measured again.

Based on the experimental data obtained, regarding the samples mass before and after the heat-treatment (both masses being determined at oven-dry state of the samples), the mass loss was calculated accordin to formula (1):

$$\Delta m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad [100\%] \quad (1)$$

where:

m_i is the mass before the heat-treatment, in g

m_f - mass after the heat-treatment, in g

Both the treated and untreated samples were hereinafter immersed into distilled water, to swell, until they reached the fiber saturation point (until the tangential dimension stopped growing).

In this state, according to STAS 85/1-91, all three dimensions were measured again and the total swelling coefficients in radial ($\alpha_{r \max}$) and tangential direction ($\alpha_{t \max}$) were calculated, as well as the total volumic swelling ($\alpha_{v \max}$), according to relations (2)-(4):

$$\alpha_{r \max} = \frac{l_{r \max} - l_{r \min}}{l_{r \min}} \cdot 100 \quad (2)$$

$$\alpha_{t \max} = \frac{l_{t \max} - l_{t \min}}{l_{t \min}} \cdot 100 \quad (3)$$

$$\alpha_{v \max} = \frac{l_{r \max} \cdot l_{t \max} \cdot l_{a \max} - l_{r \min} \cdot l_{t \min} \cdot l_{a \min}}{l_{r \min} \cdot l_{t \min} \cdot l_{a \min}} \cdot 100 \quad (4)$$

were:

$l_{r \min}$, $l_{t \min}$, $l_{a \min}$ are the dimensions in radial, tangential and longitudinal direction in oven-dry state of the samples, in mm;

$l_{r \max}$, $l_{t \max}$, $l_{a \max}$ - dimensions in radial, tangential and longitudinal direction at fiber saturation point, in mm.

Based on the calculated values, the anti-shrinkage efficiency (ASE) was then determined for each species and each wood grade, according to formual (5):

$$ASE = \frac{\alpha_{lemn_netratat} - \alpha_{lemn_tratata}}{\alpha_{lemn_netratat}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

Interpretarea statistică a rezultatelor s-a făcut conform ISO2602 – 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 (6):

$$t_n = \frac{t_{0,95}}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

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

Pierderea de masă

În Tabelul 2 sunt prezentate rezultatele privind pierderea de masă suferită de epruvetele de pin negru și molid în urma tratamentului de modificare termică la diferite temperaturi și durate.

Valorile obținute pe epruvetele de lemn matur sunt în bună concordanță cu cele obținute de Zaman ș.a. (2000) la 200°C/4h și respectiv de Alén ș.a. (2002) la 180°C/4h.

Referitor la influența temperaturii, se observă că valorile obținute la 200°C sunt de cca. 2,5 ori mai mari decât la 180°C. Toate valorile sunt sub limita de 6% indicată drept prag de eficiență de către Viitaniemi ș.a. (1997). Precauție se recomandă în cazul tratării lemnului de pin matur și subțire și a celui de molid matur la 200°C/4h, unde pierderea de masă s-a situat foarte aproape de limita de 6%. În funcție de rezultatele privind stabilitatea dimensională și rezistențele mecanice, la aceste sortimente este posibil să fie considerat mai sigur regimul 200°C/3h.

Referitor la influența duratei de expunere, rezultatele arată clar că durata de 1h are efect neglijabil, pierderea de masă fiind în jur de 1%. Graficele din Fig. 1 și 2 ilustrează creșterea pierderii de masă pe măsura creșterii duratei de tratare. Se observă o creștere aproape liniară la ambele specii, ambele sortimente și la ambele temperaturi analizate.

Referitor la diferențele între cele două specii, s-a constatat că valorile obținute la lemnul de pin negru sunt ușor, dar nesemnificativ mai mari decât cele înregistrate la lemnul de molid (Fig. 1, 2 a față de b și c față de d).

$$ASE = \frac{\alpha_{untreated} - \alpha_{treated}}{\alpha_{untreated}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

The statistical interpretation of the results was performed according to ISO2602-2:1980, 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 (6):

$$t_n = \frac{t_{0,95}}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

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.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The Mass Loss

Table 2 presents the results regarding the mass losses suffered by the black pine and spruce wood samples as a consequence of the heat-treatment at different temperatures and times of exposure.

The values obtained for mature wood, at both species, are in good accordance with the ones obtained by Zaman et al. (2000) at 200°C/4h and by Alén et al. (2002) at 180°C/4h.

As far as the influence of temperature is concerned, it can be noticed that the values obtained at 200°C are ca. 2.5 times higher than at 180°C. All values are below 6%, indicated as the efficiency threshold by Viitaniemi et al. (1997). Caution should be taken in the 200°C/4h heat-treatment of mature and thin black pine, as well as of the mature spruce, where the mass loss value was very close to 6%. Depending on the results which are to be obtained for the dimensional stability and strengths, for these grades it is possible to consider safer the 200°C/3h treatment.

Regarding the treatment duration, the results clearly show that the 1 hour duration has a negligible effect (mass loss around 1%). The graphs in Fig. 1 and 2 illustrate the mass loss increase with increasing treatment duration. An almost linear dependency could be established at both species, both grades and both temperatures.

As far as the differences between the two species are concerned, the values obtained for black pine are slightly higher (see Fig. 1, 2 a compared to b and c compared to d).

Tabelul 2 / Table 2

Pierdere de masă suferită de epruvetele de pin negru (*Pinus nigra*) și molid (*Picea abies*) în urma tratării termice / Mass loss of black pine (*Pinus nigra*) and spruce (*Picea abies*) after heat-treatment

Specie, sortiment/Wood species, grade	Regim de tratare/Conditions	Pierdere de masă/Mass loss [%]		
		Media/Mean	s	$L_{5\%}^q$
<i>Pinus nigra</i> Lemn matur/ Mature wood	180 °C/1h	1,024	0,169	0,926
	180 °C/2h	1,454	0,191	1,344
	180 °C/3h	1,954	0,258	1,709
	180 °C/4h	2,319	0,457	1,883
	200 °C/1h	2,097	0,223	1,968
	200 °C/2h	3,790	0,701	3,383
	200 °C/3h	4,923	0,140	4,790
	200 °C/4h	5,815	0,683	5,165
<i>Pinus nigra</i> Lemn subțire/ Thin wood	180 °C/1h	0,963	0,154	0,873
	180 °C/2h	1,453	0,173	1,352
	180 °C/3h	1,839	0,286	1,566
	180 °C/4h	1,976	0,298	1,692
	200 °C/1h	2,137	0,267	1,983
	200 °C/2h	3,240	0,400	3,008
	200 °C/3h	4,212	0,307	3,919
	200 °C/4h	5,506	0,690	4,849
<i>Picea abies</i> Lemn matur/ Mature wood	180 °C/1h	0,822	0,227	0,690
	180 °C/2h	1,437	0,212	1,314
	180 °C/3h	1,856	0,245	1,623
	180 °C/4h	2,184	0,439	1,766
	200 °C/1h	2,006	0,142	1,924
	200 °C/2h	3,066	0,487	2,783
	200 °C/3h	4,519	0,352	4,183
	200 °C/4h	5,778	0,495	5,306
<i>Picea abies</i> Lemn subțire/ Thin wood	180 °C/1h	0,932	0,099	0,875
	180 °C/2h	1,434	0,132	1,358
	180 °C/3h	1,630	0,180	1,459
	180 °C/4h	1,699	0,129	1,576
	200 °C/1h	1,856	0,253	1,709
	200 °C/2h	2,939	0,194	2,826
	200 °C/3h	4,210	0,396	3,832
	200 °C/4h	4,500	0,284	4,229

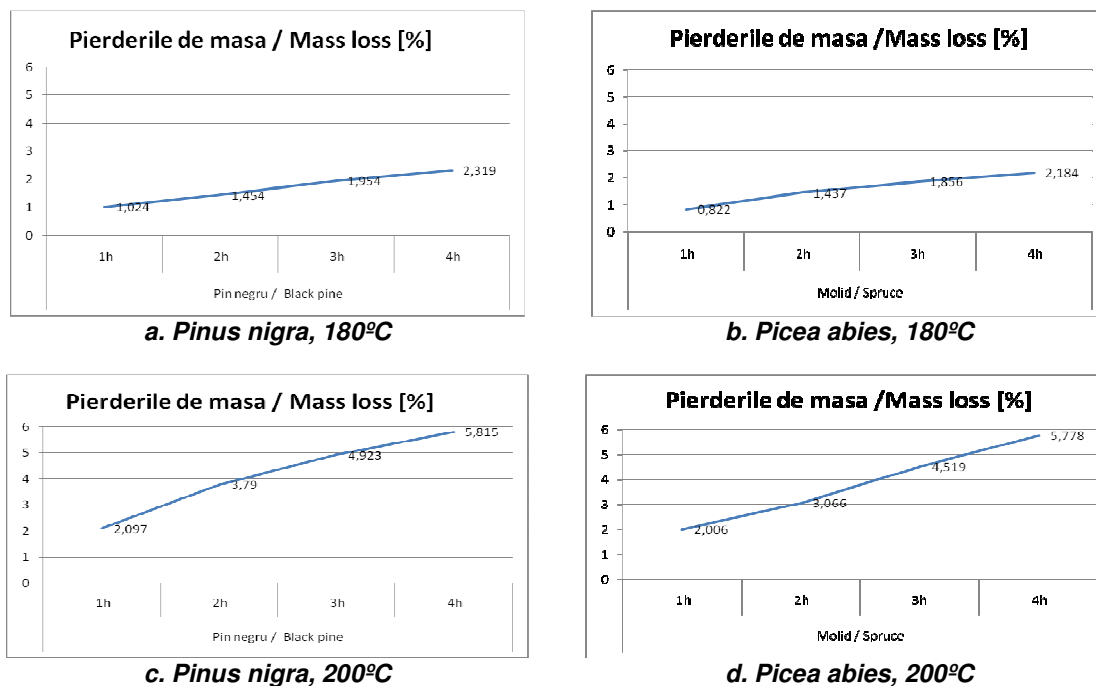


Fig. 1.

Influența duratei de expunere asupra pierderii de masă la lemnul matur de pin negru și de molid tratat la temperatura de 180°C și 200°C / Influence of heat-treatment duration upon the mass loss of mature black pine and spruce wood treated at 180°C and 200°C.

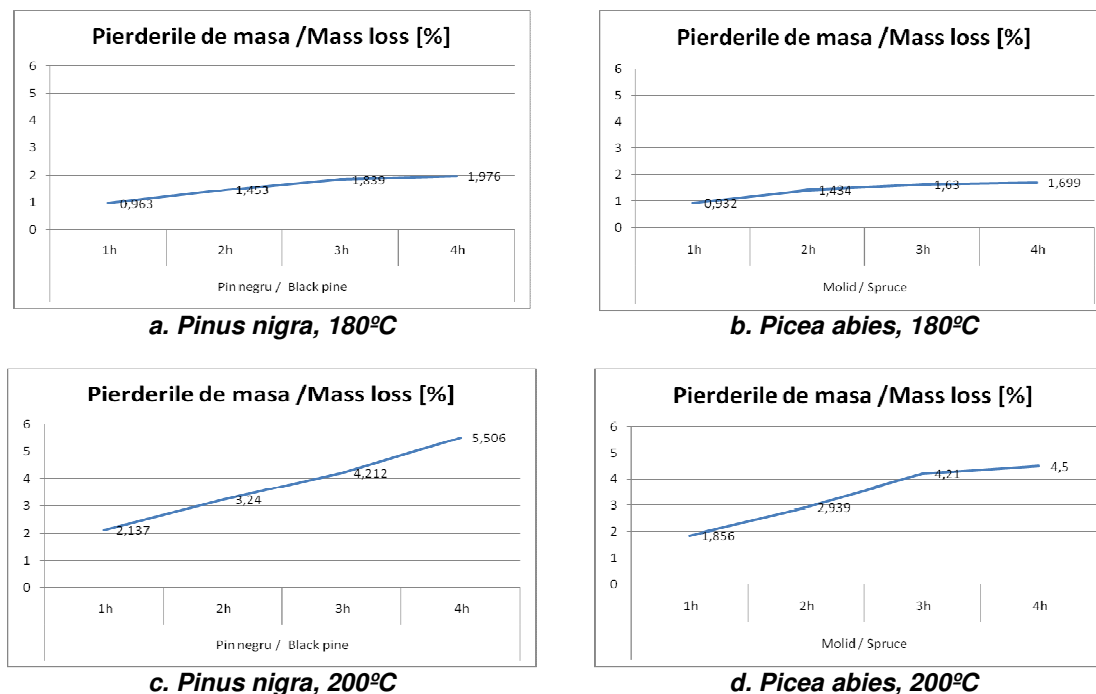


Fig. 2.

Influența duratei de expunere asupra pierderii de masă la lemnul subțire de pin negru și de molid tratat la temperatura de 180°C și 200°C / Influence of heat-treatment duration upon the mass loss of thin black pine and spruce wood treated at 180°C and 200°C.

Referitor la diferențele între lemnul matur și lemnul subțire s-a constatat că valorile obținute la lemnul subțire sunt cu 5,08% până la 9,59% mai mici decât la lemnul matur (Fig. 1a față de Fig. 2a; 1b față de 2b; 1c față de 2c; 1d față de 2d).

Coeficienții de umflare totală

Valorile coeficienților liniari și volumici de umflare totală a lemnului tratat și netratat sunt prezentate în Tabelul 3.

Regarding the differences between mature and thin wood, it was established that the mass losses in the case of thin wood are by 5.08...9.59% lower (see Fig. 1a compared to 2a; 1b compared to 2b; 1c to 2c and 1d to 2d).

Total Swelling

The total linear and volumic swelling coefficients of the heat-treated and untreated wood are presented in Table 3.

Tabelul 3 / Table 3

Coeficienții de umflare totală ai lemnului de molid și pin negru netratat și tratat termic la diferite regimuri / Total swelling coefficients of heat-treated and untreated black pine and spruce specimens

Specie/Sortiment	Regim de tratare	Umflarea tang. totală [%]			Umflarea rad. totală [%]			Umflarea vol. totală [%]		
		Media	s	$L_{5\%}^q$	Media	s	$L_{5\%}^q$	Media	s	$L_{5\%}^q$
Pinus nigra Lemn matur/ Mature wood	Netratat	9,856	0,516	9,556	5,819	0,672	5,429	16,639	1,145	15,975
	180°C/1h	9,327	0,479	9,049	5,568	1,160	4,895	15,773	1,360	14,985
	180°C/2h	8,574	0,748	8,140	5,234	0,668	4,847	14,844	1,169	14,165
	180°C/3h	7,432	1,408	6,091	4,249	1,208	3,097	12,516	2,601	10,037
	180°C/4h	6,535	1,930	3,249	4,109	0,738	3,406	11,639	1,527	10,183
	200°C/1h	7,585	0,423	7,340	4,275	0,601	3,927	12,507	0,997	11,929
	200°C/2h	6,620	0,989	6,047	3,509	0,511	3,213	10,698	1,398	9,887
	200°C/3h	6,326	0,258	6,080	3,473	0,275	3,211	10,332	0,518	9,838
Pinus nigra Lemn subțire/ Thin wood	Netratat	8,205	1,536	7,314	6,196	1,380	5,395	15,593	2,765	13,989
	180°C/1h	7,599	1,599	6,672	5,969	0,381	5,748	14,764	1,472	13,910
	180°C/2h	6,938	1,221	6,230	5,146	1,659	4,183	13,311	2,513	11,854
	180°C/3h	6,849	1,338	5,574	5,030	1,179	3,906	12,679	2,369	10,421
	180°C/4h	6,453	2,390	4,175	4,283	0,529	4,175	11,669	2,612	9,180
	200°C/1h	6,049	1,319	5,283	4,682	0,386	4,458	11,479	1,183	10,793
	200°C/2h	5,677	1,274	4,939	4,297	1,968	3,156	10,908	3,101	9,110
	200°C/3h	5,170	1,161	4,063	4,253	2,043	2,306	10,029	2,193	7,939
Picea abies Lemn matur/ Mature wood	Netratat	9,180	1,432	8,350	4,083	0,875	3,575	14,104	1,679	13,130
	180°C/1h	8,643	1,393	7,835	3,776	0,655	3,396	13,164	1,676	12,192
	180°C/2h	8,692	0,879	8,182	3,649	0,713	3,236	13,095	1,220	12,387
	180°C/3h	7,482	1,031	6,500	3,150	0,341	2,825	11,252	1,287	10,026
	180°C/4h	6,894	0,458	6,457	2,864	0,460	2,425	10,444	0,815	9,667
	200°C/1h	7,431	0,934	6,889	3,220	0,359	3,011	11,217	1,229	10,505
	200°C/2h	6,542	0,828	6,062	2,684	0,519	2,383	9,708	1,218	9,001
	200°C/3h	6,418	0,894	5,566	2,633	0,226	2,417	9,501	0,976	8,571
Picea abies Lemn subțire/ Thin wood	Netratat	8,758	0,987	8,186	4,276	0,608	3,923	13,723	1,140	13,062
	180°C/1h	7,218	1,268	6,483	4,080	0,576	3,746	12,018	0,908	11,491
	180°C/2h	7,023	1,054	6,412	3,919	0,866	3,417	11,729	1,174	11,048
	180°C/3h	6,897	0,801	6,134	3,528	0,391	3,156	10,978	0,963	10,060
	180°C/4h	6,489	0,579	5,937	3,437	0,445	3,013	10,608	0,727	9,915
	200°C/1h	6,890	0,325	6,625	3,012	0,325	2,823	10,309	0,365	10,097
	200°C/2h	6,123	0,928	5,585	2,962	0,459	2,696	9,491	0,664	9,106
	200°C/3h	5,235	0,599	4,665	2,475	0,297	2,192	7,920	0,874	7,087
	200°C/4h	4,272	1,063	3,260	2,083	0,556	1,553	7,395	0,888	6,549

Se observă că, toți coeficienții de umflare au scăzut în urma tratării termice, reducerea fiind cu atât mai evidentă cu cât temperatura și timpul de tratare au fost mai mari. Rezultatele obținute pentru lemnul matur de molid sunt în concordanță cu cele obținute de Bekta și Niemz (2003).

Comparând cele două specii, se poate observa că reduceri mai mari ale coeficientului de umflare totală volumică, cu 6,66% până la 46,19%, s-au obținut la lemnul de molid.

Comparând cele două sortimente, s-a observat că valorile înregistrate în cazul lemnului subțire sunt în general mai mici: în medie, cu 4,67% mai mici la pinul subțire față de pinul matur și cu 5,9% mai mici la molidul subțire față de molidul matur

Creșterea temperaturii de tratare de la 180 °C la 200 °C a condus la micșorarea umflării volumice totale cu cca. 20%.

Creșterea duratei de expunere de la 1h la 4h a condus la o diminuare cu 17,84 – 26,21% la pinul matur; 18,18 – 20,96% la pinul subțire; 20,66 – 32,33% la molidul matur și respectiv cu 11,73 – 28,67% la molidul subțire.

Valorile cele mai mari ale umflării (efect slab al tratării) s-au înregistrat la 180 °C/1h, rezultat preconizat și în urma rezultatelor privind pierderea de masă. Valorile minime ale umflării (tratare eficientă) au fost obținute pentru ambele specii la 200 °C/4h.

Stabilitatea dimensională

Valorile coeficientului de stabilizare dimensională (ASE), calculate pe baza ecuației (5) sunt prezentate în Tabelul 4.

În Fig. 3 se observă clar efectul de stabilizare atât sub influența creșterii temperaturii, cât și prin creșterea duratei de expunere.

Valori de peste 30% ale ASE au fost obținute la tratarea ambelor specii și sortimente la 200 °C timp de peste 2h.

Concentrându-ne atenția asupra valorilor ASE obținute la lemnul subțire (elementul de noutate al prezentului studiu), s-a constatat că:

- în cazul lemnului subțire de pin negru, valoarea maximă a coeficientului volumic de stabilitate dimensională obținut a fost de 39,8%, cu 4% mai mare decât în cazul lemnului matur tratat cu același regim: 200 °C/4h; față de regimul 200 °C/3h, valoarea maximă este cu 11% mai mare;
- în cazul lemnului subțire de molid, valoarea maximă a coeficientului volumic de stabilitate dimensională a fost de 51,2%, cu 11% mai mare decât în cazul lemnului matur tratat cu același regim: 200 °C/4h; valoarea este cu 20% mai mare decât în cazul regimului puțin mai scurt, 200 °C/3h.

It can be noticed that all swelling coefficients were reduced through the heat-treatment, the reduction being more evident with increasing temperature and time. The results obtained for mature spruce wood are in good accordance to the results obtained by Bekta and Niemz (2003).

By comparing the two species, it can be noticed that bigger reductions were obtained for spruce wood, where the total volumic coefficients decreased by 6.66% to 46.19%.

By comparing the two grades, it can be noticed that the values obtained for thin wood are generally lower: by 4.67% for thin pine compared to mature pine wood and by 5.9% for thin spruce compared to mature spruce wood.

Increasing temperature from 180 °C to 200 °C lead to a 20% reduction of the total volumic swelling, both for spruce and pine.

Increasing the treating time from 1h to 4h lead to a reduction by 17,84 – 26,21% for the mature pine, by 18,18 – 20,96% for the thin pine, by 20,66 – 32,33% for mature spruce and by 1,73 – 28,67% for the thin spruce.

The highest swelling values (low efficiency of the heat-treatment) were obtained at 180 °C/1h, as expected according to the mass loss results. The lowest swelling values (efficient heat-treatment) were obtained for both species at 200 °C/4h.

Dimensional Stability

The Anti-Shrinkage Efficiency (ASE) values, calculated according to equation (5) are presented in Table 4.

The increasing dimensional stabilization effect under influence of increasing temperature and time is clearly visible in Fig. 3.

ASE values above 30% were obtained for both species and grades after the heat-treatment at 200 °C for more than 2 hours.

Focussing on thin wood grades (the novelty element of this study), it was established that:

- the maximum volumic ASE of thin black pine wood was 39.8%, by 4% higher than in the case of mature black pine treated with the same schedule: 200 °C/4h; compared to the 200 °C/3h schedule, the maximum value is by 11% higher;
- the maximum volumic ASE of thin spruce wood was 51.2%, by 11% higher than in the case of mature spruce treated with the same schedule: 200 °C/4h; compared to the 200 °C/3h schedule, the maximum value is by 20% higher.

Tabelul 4 / Table 4

Coeficienții de stabilitate dimensională (ASE) ai lemnului de pin negru (*Pinus nigra*) și molid (*Picea abies*) tratat termic cu diferite regimuri / Anti-shrinkage efficiency values for black pine (*Pinus nigra*) and spruce (*Picea abies*) heat-treated wood

Specie, sortiment / Species, grade	Regim de tratate/Conditions	ASE [%]		
		Tang.	Rad.	Vol.
<i>Pinus nigra</i> Lemn matur/ Mature wood	180°C/1h	5,365	4,307	5,202
	180°C/2h	13,005	10,041	10,788
	180°C/3h	24,586	26,978	24,779
	180°C/4h	33,695	29,389	30,050
	200°C/1h	23,036	26,521	24,829
	200°C/2h	32,826	39,687	35,703
	200°C/3h	35,814	40,312	37,905
	200°C/4h	36,957	39,071	38,241
<i>Pinus nigra</i> Lemn subțire/ Thin wood	180°C/1h	7,385	3,654	5,315
	180°C/2h	15,442	16,950	14,633
	180°C/3h	16,524	18,811	18,690
	180°C/4h	21,354	30,872	25,165
	200°C/1h	26,284	24,432	26,382
	200°C/2h	30,807	30,642	30,044
	200°C/3h	36,995	31,356	35,683
	200°C/4h	38,068	40,076	39,769
<i>Picea abies</i> Lemn matur/ Mature wood	180°C/1h	5,852	7,517	6,663
	180°C/2h	5,321	10,616	7,156
	180°C/3h	18,499	22,839	20,221
	180°C/4h	24,903	29,855	25,949
	200°C/1h	19,054	21,139	20,467
	200°C/2h	28,737	34,261	31,170
	200°C/3h	30,085	35,513	32,634
	200°C/4h	40,582	54,485	46,184
<i>Picea abies</i> Lemn subțire/ Thin wood	180°C/1h	17,586	4,568	12,424
	180°C/2h	19,810	3,828	13,143
	180°C/3h	21,246	17,480	20,000
	180°C/4h	25,911	19,616	22,696
	200°C/1h	21,327	29,558	24,876
	200°C/2h	30,087	30,728	30,834
	200°C/3h	40,222	42,105	42,284
	200°C/4h	51,217	51,277	51,222

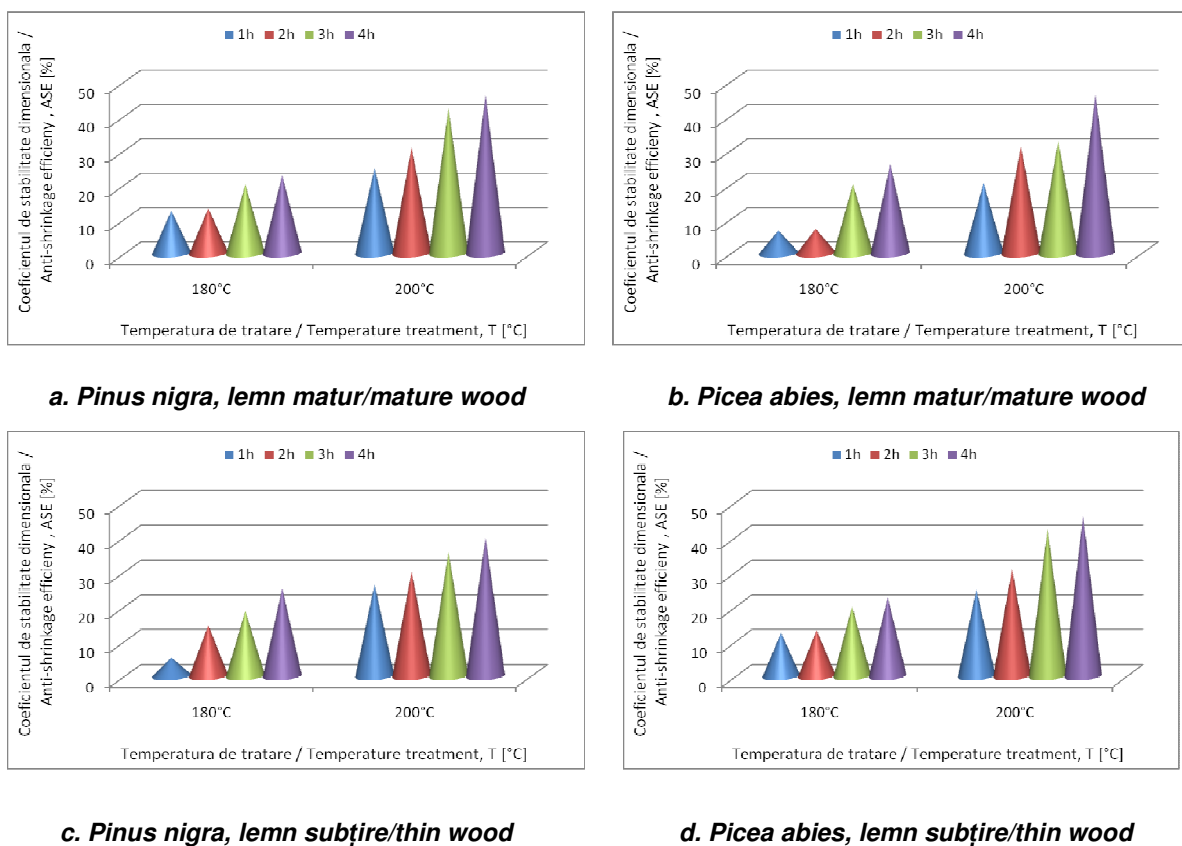


Fig. 3.

Evoluția coeficientului volumic de stabilitate dimensională a lemnului tratat la temperaturi înalte, în funcție de temperatură și durata de expunere / Evolution of volumic ASE of heat-treated wood, as function of treating temperature and duration.

CONCLUZII

În urma tratării termice timp de 1 până la 4 ore la temperatura de 180, 200 și 220°C a lemnului matur și subțire de pin negru și molid s-au constatat următoarele efecte ale tratării termice:

- odată cu creșterea temperaturii de tratare de la 180°C la 200°C și cu creșterea duratei de la 1h la 4h, pierderile de masă cresc: de la 1% (180°C/1h) la 5,8% (200°C/4h) la pinul matur; de la 0,8% la 5,8% la molidul matur; de la 1% la 5,5% la pinul subțire și de la 0,9% la 4,5% la molidul subțire; toate valorile maxime fiind sub pragul de 6% regimul cel mai dur aplicat, respectiv 200°C/4h, poate fi considerat viabil din punctul de vedere al acestui criteriu;
- tratarea termică la temperatura de 200°C timp de 4h a fost cea mai eficientă și din punct de vedere al stabilizării dimensionale la ambele specii și ambele sortimente, conducând la o îmbunătățire semnificativă a acestei importante proprietăți: cu 38,2% la pin matur; cu 46,2% la molidul matur; cu 39,8% la pinul subțire și cu 51,2% la molidul subțire;
- rezultatele comparative obținute pentru cele două specii de rășinoase (molid vs. pin negru), arată clar

CONCLUSIONS

The following effects were established after the heat-treatment at 180, 200 and 220°C for 1h to 4h of mature and thin black pine and spruce wood:

- increasing temperature from 180°C to 200°C and treating time from 1h to 4h, leads to the increase of the mass losses: from 1% (180°C/1h) to 5,8% (200°C/4h) for mature pine wood; from 0,8% to 5,8% for mature spruce wood; from 1% to 5,5% for thin pine wood and from 0,9% to 4,5% for thin spruce wood; all maximum values obtained being below 6%, the hardest schedule applied, namely 200°C/4h can be considered viable from this point of view;
- the heat-treatment at 200°C for 4h was also the most efficient from the viewpoint of the dimensional stabilization, for both species and both grades, leading to a significant improvement of this important property: by 38.2% for mature pine wood; by 46.2% for mature spruce wood; by 39.8% for thin pine wood and by 51.2% for thin spruce wood;
- the comparative results obtained for the two resinous wood species (spruce vs. Black pine),

că efectul de stabilizare dimensională este mai mare la lemnul de molid, ceea ce era de așteptat având în vedere mai buna permeabilitate și impregnabilitate a acestei specii;

- rezultatele comparative obținute pentru cele două sortimente în funcție de vârsta arborelui (lemn matur vs. lemn subțire) arată că efectul de stabilizare dimensională este mai mare la lemnul subțire, ceea ce încurajează continuarea cercetărilor cu aceste sortimente (trunchiuri tinere provenite din rărituri), în vederea valorificării superioare a acestor resurse secundare de masă lemnoasă;
- temperatura de 220°C nu poate fi aplicată în prezența oxigenului în mediul de tratare, întrucât apare fenomenul de autoaprindere.

Având în vedere toate aceste rezultate, pentru realizarea panourilor reconstituite din lemn de rășinoase, s-a stabilit continuarea cercetărilor cu lemn de molid (atât matur cât și subțire).

Regimul de tratare selectat în urma prezentului studiu este: 200°C/4h. O temperatură mai mare este exclusă. O temperatură mai mică a arătat efecte mult diluate (pierdere de masă la jumătate, stabilitate dimensională de două ori mai mică), deci nici aceasta nu poate fi considerată o soluție viabilă. Durate de tratare mai lungi nu sunt recomandate din cauza pierderii de masă aflată deja în jurul pragului de 5...6%. Necesitatea de a aplica eventual un regim mai scurt (200°C/3h) va fi determinată de următoarele cercetări privind efectele tratării termice asupra rezistențelor mecanice ale lemnului.

clearly show that the dimensional stabilization effect is stronger with spruce wood, which was to be expected due to its better permeability and impregnability;

- the comparative results obtained for the two grades, depending on the tree age (mature wood vs. thin wood) clearly show that the dimensional stabilization effect is stronger with the thin grades; this result encourages the continuation of the research concerning the superior valorization of these grades (secondary wood resources from thinnings);
- the 220°C temperature can not be applied with normal air atmosphere as treating medium, as the risk of self-ignition is very high.

Considering all these results, the research concerning the manufacturing of wood panels from heat-treated solid wood lamellas are to be continued only with spruce wood (both mature and thin wood).

The heat-treatment selected after the present study is: 200°C/4h. Higher temperature is out of question. Lower temperature already showed much poorer effects (half mass loss; half ASE), so it can be excluded.

Longer time is not recommended from the viewpoint of mass loss, which is already around the threshold of 5...6%. The necessity to apply the shorter schedule, 200°C/3h will be enhanced by further research concerning the effects of the heat-treatment upon the mechanical strengths of wood.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

Alén R, Kotilainen R, Zaman A (2002) Thermochemical behavior of Norway spruce (*Picea abies*) at 180 - 225°C. În *Wood Science and Technology*, 36:163 – 171.

Beldie AIC (2010) Rarități și endenisme floristice în județul Argeș (Rarities and floristic endemism in Arges county In Romanian). În: Leonăchescu NP, Inginerul Alexandru C. Beldie, AGIR, București, pp. 112 – 117.

Bekhta P, Niemz P (2003) Efect of High Temperature on the Change in color, Dimensional Stability and Mechanical Properties of Spruce. În *Holzforschung* 57:539-546.

Borrega M, Kärenlampi PP (2008) Mechanical behavior of heat-treated spruce (*Picea abies*) wood at constant moisture content and ambient humidity. În *Holz Roh Werkst* 66:63 – 69.

Câmpean M, Gurău L, Olărescu A (2011) Efectul tratamentului termic asupra stabilității dimensionale și rezistenței la încovoiere statică a lemnului de gorun. În *PRO LIGNO* 7(2):46-55, ONLINE ISSN 2069-7430 ISSN-L 1841-4737.

Esteves MB, Domingos IJ, Pereira HM (2008) Wood modification by heat treatment: a review. În *Bioresources* 4(1):370 – 404.

Esteves MB, Pereira HM (2009) Pine wood modification by heat treatment in air. În *Bioresources* 3(1):142 – 154.

Guller B (2012) Effects of heat treatment of density, dimensional stability and color of *Pinus nigra* wood. În *African Journal of Biotechnology* 11(9):2204-2209. DOI:10.589/ajb11/3052. ISSN 1684-5315.

ISO 2602 – 2:1980. Statistical Interpretation of Test Results-Estimation of the Mean.Confidence Interval.

Kaymakci I, Akyildiz MH (2011) Stabilitatea dimensională a lemnului de pin silvestru și fag oriental tratat termic. În *PRO LIGNO* 7(4):32-38, ONLINE ISSN 2069-7430 ISSN-L 1841-4737.

Kortelainen SM, Antikainen T, Viitaniemi P (2005) The water absorption of sapwood and heartwood of Scots pine and Norway spruce heat-treated at 170°C, 190°C, 210°C and 230°C. În *Springer-Verlag*, pp. 255-259.

Mazela B, Zakrzewski R, Grzeskowiak W, Cofta G, Bartkowiak M (2003) Preliminary research on the biological resistance of thermally modified wood. În Abstract of the First European Conference on Wood Modification, Ghent, Belgium.

Oelhafen M (2004) Untersuchungen der Eignung der thermischen Behandlung als Methode zur Farbgleichung von Holz mit fakultativem Farbkern. Hochschule für Architektur, Bau und Holz HSB, Biel.

Olărescu A, Câmpian M, Gurău L (2011) Efectul tratamentului termic asupra stabilității dimensionale, rezistenței și modului de elasticitate la încovoiere statică a lemnului de gorun subțire ($D_{max}=16$ cm). În PRO LIGNO 7(4):29-38, ONLINE ISSN 2069-7430 ISSN-L 1841-4737.

STAS 85/1-91. Lemn. Determinarea umflării (Wood. Determination of Swelling).

ThermoWood Handbook (2003) Finnish Thermowood Association c/o Wood Focus Oy, P.O. Box 284 (Snellmaninkatu 13), FIN-00171 Helsinki, FINLAND.

Timar MC (2003) Ameliorarea lemnului. Editura Universității Transilvania din Brașov, pp.109-114.

Viitaniemi P, Jämsä S, Viitanen H (1997) Method for improving biodegradation resistance and dimensional stability of cellulosic products. În United States Patent N° 5678324 (US005678324).

Zaman A, Alen R, Kotilainen R (2000) Thermal behavior of Pinus sylvestris and Betula pendula at 200 - 230°C. În Wood Fiber Science 32(2):138 – 143.