

INFLUENȚA TRATAMENTULUI CICLIC DE ÎNGHEȚARE-DEZGHEȚARE ASUPRA PROPRIETĂȚILOR LEMNULUI DE MOLID

INFLUENCE OF CYCLIC FREEZING AND THAWING UPON SPRUCE WOOD PROPERTIES

Maria Bernadett SZMUTKU

PhD Student. – TRANSILVANIA University in Braşov – Faculty of Wood Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 500036 Braşov, Romania
E-mail: bernadett_20bv@yahoo.com

Mihaela CAMPEAN

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

Wilhelm LAURENZI

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

Rezumat:

Articolul prezintă rezultatele obținute cu privire la modificarea unor proprietăți fizice și mecanice selectate ale lemnului de molid (*Picea abies* L.), în urma înghețării și dezghețării repetate a acestuia, respectiv ca urmare a expunerii la variații ale temperaturii din domeniul valorilor pozitive (de la $+10^{\circ}\text{C}$) la cele negative (până la -25°C). Prin această abordare s-a urmărit simularea variațiilor normale de temperatură în perioada de iarnă între zi și noapte, la care este supusă cheresteaua verde, proaspăt debitată, în cazul depozitării timp de o săptămână în aer liber, înainte de a fi uscată artificial.

Comparația cu rezultatele obținute în urma înghețării continue la -25°C timp de o săptămână arată clar că variația de temperatură și schimbarea repetată de fază a apei în lemn măresc instabilitatea dimensională și reduc proprietățile mecanice ale lemnului mult mai mult decât simpla expunere la temperatură negativă constantă.

Cuvinte cheie: lemn de molid; lemn înghețat; ciclu înghețare-dezghețare; proprietăți fizice; proprietăți mecanice.

INTRODUCERE

Deși studiile asupra efectelor înghețării apei în lemn nu sunt foarte numeroase (Câmpean ș.a. 2008; Kärenlampi ș.a. 2005; Green ș.a. 1999; Mishiro 1990; Marinescu 1980), este un fapt recunoscut că schimbarea stării de agregare a apei în lemn, de la forma lichidă la cea solidă, parțial și în formă gazoasă (în cazul sublimării) și revenirea la stare lichidă (în urma dezghețării) influențează proprietățile lemnului.

În timpul înghețării, creșterea în volum a apei situate în interiorul lumenului celulelor (mai ales la umidități inițiale mari ale lemnului, când lumenele sunt aproape pline), exercită o presiune asupra pereților celulari, capabilă în anumite condiții, să producă microfisuri în aceștia (Ilic 1995; Szmuktu ș.a. 2011b).

Abstract:

The paper presents the results concerning the change of some physical and mechanical properties of spruce wood (*Picea abies* L.), after repeated freezing and thawing, respectively after being subjected to temperature variation from positive values ($+10^{\circ}\text{C}$) to negative values (-25°C). Through this approach, the authors aimed at simulating normal temperature variations that occur in winter between night and daytime and which fresh cut timber has to stand if being stored in an open yard for one week before being kiln-dried.

By comparing these results with the ones obtained after continuous freezing at -25°C for one week, it was established that the temperature variation and the repeated changing phase of water inside wood increase dimensional instability and reduce the mechanical strengths much more than the simple exposure to the constant negative temperature.

Key words: spruce wood; frozen wood; freezing and thawing cycle; physical properties; mechanical properties.

INTRODUCTION

Although there are not many studies on the effects of water freezing inside wood (Câmpean et al. 2008; Kärenlampi et al. 2005; Green et al. 1999; Mishiro 1990; Marinescu 1980), it is a known fact that the changing state of water inside wood from liquid to solid, then sometimes to gaseous (if sublimation occurs) and again to liquid (through thawing), influences the properties of wood.

During freezing, the volume increase of water inside the cell lumen (especially with high initial moisture contents of wood, when the lumen is almost filled), exerts a pressure upon the cell walls, capable, under certain circumstances, to produce microfissures (Ilic 1995; Szmuktu et al. 2011b).

Conform rezultatelor publicate într-o lucrare precedentă (Szmotku ș.a. 2011a), în urma înghețării până la -25°C a cherestelei de molid în stare verde și menținerea stării înghețate timp de o săptămână, după care lemnul a fost uscat, condiționat la umiditatea de 12% și testat la diferite încercări fizico-mecanice, principala modificare constatată la piesele înghețate față de cele care nu au fost supuse înghețării a fost aceea a măririi cu 28,8% a coeficientului de anizotropie a contragerii (raportul între contragerea totală tangențială și cea radială), în timp ce niciuna dintre proprietățile mecanice testate nu a suferit reduceri semnificative.

Cum sunt însă afectate proprietățile fizico-mecanice ale lemnului în cazul înghețării și dezghețării repetate - ca în situația expunerii timp îndelungat a cherestelei proaspăt debitate într-un depozit în aer liber pe timp de iarnă ?

Numeroase studii privind influența înghețării-dezghețării asupra proprietăților de material s-au realizat în domeniul alimentar (A Yi-MuGuLi ș.a. 2011, Maeda ș.a. 2005), medical (Boutros ș.a. 2000) și textil (Li ș.a. 2002) și toate au relevat efectul de degradare, de reducere substanțială a proprietăților fizico-mecanice în urma unui astfel de tratament ciclic, dar pe lemn nu există nicio referință asupra acestui aspect, ceea ce evidențiază caracterul de originalitate al prezentului studiu.

OBIECTIV

Obiectivul prezentei lucrări, parte a unei cercetări mai ample asupra modificării proprietăților lemnului de molid în urma înghețării, l-a constituit evaluarea modificării principalelor proprietăți fizice și mecanice în cazul supunerii lemnului unui tratament ciclic de înghețare (la -25°C timp de 12h) și de dezghețare (la $+10^{\circ}\text{C}$ timp de 12h) pe parcursul unei săptămâni. Prin această abordare s-a urmărit în principal influența variației de temperatură de la valori negative la valori pozitive, cu schimbări repetate de fază ale apei în lemn (de 7 ori din faza lichidă în cea solidă și invers), rezultatele urmând a fi comparate cu cele obținute în cazul înghețării continue a lemnului la aceeași temperatură (-25°C), dar menținută constantă pe durata aceleiași perioade de timp (o săptămână), denumit în continuare testul 1.

METODĂ, MATERIAL ȘI APARATURĂ

Materialul lemnos utilizat în cadrul prezentei cercetări a constat în piese de molid (*Picea abies* L.), cu dimensiuni de 500x80x35mm, respectiv 500x80x65mm, debitate din același buștean.

Pentru a asigura o bază relevantă de comparare a rezultatelor obținute în acest test față de primul, s-a utilizat un buștean de aproximativ aceeași vârstă (cca. 60 de ani), provenind din aceeași parcelă, debitat în aceeași perioadă a anului, astfel încât piesele de cherestea supuse ulterior celor două teste de înghețare să aibă umiditate inițială apropiată (în jur de 150%) și caracteristici macroscopice comparabile.

According to the results published within a previous paper (Szmotku et al. 2011a), the freezing at -25°C of green spruce timber for one week, followed by drying and conditioning at 12% m.c. determined only one significant modification at the frozen samples compared to the non-frozen controls, namely the increase by 28.8% of the shrinkage anisotropy coefficient (ratio between total tangential and radial shrinkage). None of the mechanical properties suffered significant reduction.

But how are the physical and mechanical wood properties affected by repeated freezing and thawing – like when green timber is stored for a longer period of time in an open yard during winter ?

Numerous studies concerning the effects of repeated freezing and thawing upon material properties were done with food (A Yi-MuGuLi et al. 2011, Maeda et al. 2005), in medical research (Boutros et al. 2000) and with textile fibres (Li et al. 2002) and they all revealed the negative impact, the substantial reduction of physical and mechanical properties of such a treatment. However, no reference regarding wood was found in literature, which emphasises the original character of the present paper.

OBJECTIVE

The main objective of the present study, part of a wider research regarding the influence of water freezing inside sawn spruce wood upon its properties, was the evaluation of some physical and mechanical properties of green spruce wood after being subjected to a cyclic freezing (-25°C for 12h) and thawing ($+10^{\circ}\text{C}$ for 12h) during one week. This approach mainly envisaged the influence of the temperature variation from negative to positive values, accompanied by repeated changes of the state of water in wood (7 times from liquid to solid and reverse). The results were then compared to the ones obtained after continuous freezing of wood at the same temperature (-25°C), but kept constant for the same period of time (1 week), named Test 1, in the following.

METHOD, MATERIAL AND EQUIPMENT

The material used within the present study consisted of spruce (*Picea abies* L.) boards with the following dimensions: 500x80x35mm and 500x80x65mm, cut from the same log.

In order to ensure a relevant comparison basis of the results from the two tests, the two logs were cut from the same area, during the same season and chosen so as to have almost the same age (ca. 60 years). This ensured similar initial moisture content (around 150%) and similar macroscopic characteristics of the timber boards used in the two different freezing tests.

Piesele de cherestea rezultate din al doilea buștean au fost supuse unui tratament ciclic de înghețare (la -25°C timp de 12h) și de dezghețare (la $+10^{\circ}\text{C}$ timp de 12h) pe parcursul unei săptămâni (7 cicluri) într-o cameră climatică FEUTRON tip 3423-16.

După aceasta, ca și în cazul primului test, piesele au fost uscate artificial cu regimul prezentat în Tabelul 1 și apoi condiționate timp de o săptămână la umiditatea de 12%, în vederea debitării epruvetelor pentru încercările fizico-mecanice.

The timber boards resulted from log N° 2 were subjected to a cyclic freezing (-25°C for 12h) and thawing ($+10^{\circ}\text{C}$ for 12h) treatment during one week (7 cycles) in a FEUTRON type 3423-16 climate chamber.

Afterwards, as in the first test, the boards were kiln-dried with the schedule presented in Table 1 and then conditioned for one week to 12% m.c, before being cut into specimens for the physical and mechanical tests.

Tabelul 1 / Table 1

Regim de uscare aplicat în cadrul experimentului / Drying schedule applied within the experiment

Faza/Phase	Temperatura/ Temperature, $^{\circ}\text{C}$	Umiditatea relativă a aerului/ Relative air humidity, %	Durata/ Duration, h
Încălzire inițială / Initial heating	50	80	8
Uscare propriu-zisă/ Actual drying	50	75	62
	50	70	27
	60	70	21
Condiționare/Conditioning	60	60	11
Răcire/Cooling	20	55	8

După uscare și condiționare s-au debitat epruvete standard pentru fiecare încercare, astfel:

- 42 epruvete cu dimensiunile 20x20x20mm pentru determinarea densității în stare anhidră și a coeficienților de anizotropie;
- 35 epruvete cu dimensiunile 300x20x20mm pentru determinarea rezistenței la încovoiere statică și modulului de elasticitate la încovoiere statică;
- 25 epruvete cu dimensiunile 70x20x20mm pentru determinarea rezistenței la tracțiune perpendicular pe fibre în direcția radială și tangențială;
- 27 epruvete cu dimensiunile 60x20x20mm pentru determinarea rezistenței la compresiune paralelă cu fibrele;
- 10 epruvete cu dimensiunile 150x50x50mm pentru determinarea rezistenței la smulgerea cuielei în direcția radială, tangențială și transversală.

Determinările s-au efectuat conform standardelor în vigoare (STAS 84-87, STAS 85/2-91, STAS 337/1-8, STAS 337/2-89, STAS 6291-89, STAS 86/1-87, STAS 8070-89, ASTM-D 1761-06).

Aparatura utilizată a cuprins mașina de încercări mecanice model-BT1 FB050TN.D30, produsă de firma germană Zwick, balanță electronică tip AXIS model AD 2000 cu precizie de 0,01g, șubler electronic cu precizie de 0,01mm și o etuvă electrică cu termostat produsă de firma Binder.

Toate valorile individuale obținute pentru fiecare parametru în parte, au fost introduse în programul de prelucrare statistică a datelor experimentale monofactoriale, realizat de Laurenzi (2010, 2011), astfel fiind generate 10 fișiere de lucru. Rularea programului permite pentru fiecare set de valori

After drying and conditioning, standard samples for each test were cut, as listed below:

- 42 samples with 20x20x20mm for the determination of the oven-dry density and of the anisotropy coefficients;
- 35 samples with 300x20x20mm for the determination of the static bending strength and MOE;
- 25 samples with 70x20x20mm for the determination of the tensile strength perpendicular to the grain in radial and tangential direction;
- 27 samples with 60x20x20mm for the determination of the compression strength parallel to the grain;
- 10 samples with 150x50x50mm for the determination of the nails withdrawal resistance in radial, tangential and transversal direction.

The tests were carried out according to the standards in force (STAS 84-87, STAS 85/2-91, STAS 337/1-88, STAS 337/2-89, STAS 6291-89, STAS 86/1-87, STAS 8070-89, ASTM-D 1761-06).

The equipment consisted of a mechanical testing machine model-BT1 FB050TN.D30, produced by Zwick, an electronic scale type AXIS model AD 2000 with 0.01g precision, an electronic sliding caliper with 0.01mm precision and a laboratory oven by Binder.

All individual values obtained for each property were introduced within the program for statistical processing of monofactorial experimental data, designed by Laurenzi (2010, 2011), thus being generated 10 data files. By running it, the program calculates and displays the main statistical parameters (Szmuktu et al. 2011a), and it also checks the normality of data repartition, which is compulsory in order to establish if there are statistically significant differences

calcularea și afișarea unei liste cu valorile principalilor parametri statistici (Szmotku ș.a. 2011a), inclusiv stabilirea normalității repartiției valorilor, condiție necesară pentru a stabili dacă există sau nu diferențe statistice semnificative la compararea mediilor (între epruvetele supuse testului 2 și cele de control, neînghețate, precum și între epruvetele înghețate prin cele două tratamente diferite). Nivelul de semnificație adoptat pentru această analiză a fost de 95%.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

În Tabelul 2 sunt sintetizate valorile obținute în urma prelucrării statistice a datelor experimentale privind proprietățile lemnului de molid supus testului ciclic de înghețare-dezghețare.

În Tabelul 3 se prezintă comparativ și rezultatele obținute în cadrul testului 1 și pentru epruvetele neînghețate. Pe baza acestor valori, s-au trasat graficele din Fig. 1 și 2, care ilustrează modificarea proprietăților lemnului în urma acestui tratament.

Analizând și comparând valorile obținute pentru epruvetele care au suferit înghețare-dezghețare ciclică cu cele neînghețate (Fig. 1), s-a constatat că toate proprietățile analizate, în special stabilitatea dimensională și rezistențele mecanice de bază, au suferit reduceri semnificative, astfel:

- densitatea în stare absolut uscată a scăzut cu 10%;
- instabilitatea dimensională a lemnului care a suferit înghețare a fost mai mare cu 30%;
- rezistența la încovoiere statică a scăzut cu 17% ;
- valoarea modulului de elasticitate la încovoiere statică a suferit o scădere majoră cu 29% ;
- rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre în direcție radială a scăzut cu 18%, iar în direcție tangențială cu 14%;
- rezistența la compresiune paralelă cu fibrele a fost influențată semnificativ, scăzând cu 30%;
- rezistența la smulgerea cuielor a scăzut cu 8% în direcție radială, și cu 1% respectiv 2% în direcția tangențială și transversală.

Analizând valorile din Tabelul 3 se observă că atât densitatea, cât și principalele proprietăți mecanice au fost mai grav afectate de tratamentul ciclic decât de menținerea constantă a temperaturii negative. Fig. 2 ilustrează diferențele înregistrate pentru fiecare proprietate. Astfel, se observă că rezistența la încovoiere este de 1,16 ori mai mică la lemnul înghețat în mod repetat decât la cel înghețat o singură dată; modulul de elasticitate este de 1,37 ori mai mic; rezistența la tracțiune în direcție radială este de 1,2 ori mai redusă; rezistența la compresiune paralelă este de 1,36 ori mai mică. Coeficientul de anizotropie și rezistența la smulgerea cuielor nu au înregistrat diferențe între cele două tratamente.

between the means compared (e.g. between the samples subjected to the cyclic treatment and the unfrozen controls, as well as between the samples subjected to the two different freezing tests). The significance level adopted within this evaluation was 95%.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Table 2 presents in a synthetic manner the values obtained after the statistical processing of the experimental data regarding the properties of spruce wood subjected to a cyclic freezing and thawing treatment.

Table 3 presents comparatively the results obtained within the first test and for the non-frozen control samples, as well. Based on these values, the graphs in Fig. 1 and Fig. 2 were drawn, which illustrate the modifications of the wood properties as consequence of this treatment.

By analysing and comparing the values obtained for the samples which suffered cyclic freezing and thawing to the non-frozen ones (Fig. 1), it could be established that all selected properties, especially the dimensional stability and the most important mechanical strengths suffered major reduction:

- the oven dry density was reduced by 10%;
- the dimensional instability of the wood which suffered freezing was higher by 30%;
- the bending strength was reduced by 17%;
- the value of MOE suffered a major lowering by 29%;
- the tensile strength perpendicular to the grain in radial direction was reduced by 18%, and in tangential direction by 14%;
- the compressive strength was significantly influenced, being reduced by 30%;
- the nails withdrawal resistance was reduced by 8% in radial direction, and by 1% and 2% in tangential and transversal direction, respectively.

By analysing the values in Table 3, one can notice that the density and all main mechanical properties were much more affected by the cyclic treatment than by the freezing at constant negative temperature. Fig. 2 illustrates the differences recorded in case of each property. The repeated freezing resulted in a 1.16 times lower bending strength, a 1.37 times lower MOE, a 1.2 times lower tensile strength in radial direction, a 1.36 times lower compressive strength than obtained for the single freezing. The shrinkage anisotropy coefficient and the nail withdrawal resistance did not differ for the two treatments.

Tabelul 2 / Table 2

Rezultate experimentale privind principalele proprietăți fizice și mecanice ale lemnului de molid înghețat-dezghetăat ciclic la -25°C / $+10^{\circ}\text{C}$ timp de o săptămână și apoi uscat la umiditate de 12% / Experimental results concerning the main physical and mechanical properties of spruce wood repeatedly frozen and thawed at -25°C / $+10^{\circ}\text{C}$ for 1 week, then dried at 12% m.c.

Tipul încercării/ Type of test	U.M.	Media/ Mean	Abaterea medie pătratică/ Standard deviation	Coeficient ul de variație	Valoare - p
Densitatea în stare density anhidră/ Oven dry density	kg/m ³	368	29	0.078	0.05259
Coeficientul de anizotropie (β_t/β_r)/ Anisotropy coefficient (β_t/β_r)	-	2.046	0.529	0.258	0.17466
Rezistența la încovoiere statică/ Bending strength	N/mm ²	55.29	10.167	0.184	0.89831
Modul de elasticitate la încovoiere statică / Modulus of elasticity in static bending	N/mm ²	6558.89	1613.075	0.246	0.5564
Rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre în direcția radială/ Tensile strength perpendicular to the grain in radial direction	N/mm ²	1.17	0.183	0.157	0.62018
Rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre în direcția tangențială/ Tensile strength perpendicular to the grain in tangential direction	N/mm ²	1.40	0.178	0.127	0.95088
Rezistența la compresiune paralelă cu fibrele/ Compressive strength paralell to the grain	N/mm ²	32.84	4.191	0.128	0.45851
Rezistența la smulgerea cuielor în direcția radială/ Nail withdrawal resistance in radial direction	N/mm ²	5.119	0.533	0.104	0.90878
Rezistența la smulgerea cuielor în direcția tangențială/ Nail withdrawal resistance in tangential direction	N/mm ²	5.917	0.546	0.092	0.92651
Rezistența la smulgerea cuielor în direcția transversală/ Nail withdrawal resistance in transversal direction	N/mm ²	3.454	0.320	0.093	0.91183

Tabelul 3 / Table 3

**Rezultate comparative privind principalele proprietăți fizice și mecanice ale lemnului de molid înghețat prin două tratamente diferite față de cel neînghețat/
Comparative results concerning the main physical and mechanical properties of spruce wood after being frozen under two different conditions and also against unfrozen wood.**

Tipul încercării/ Type of test	U.M.	Lemn neînghețat/ Unfrozen wood	Lemn înghețat continuu la -25°C / Continuous freezing at -25°C	Lemn supus tratamentului ciclic de înghețare- dezghețare/ Cyclic freezing and thawing
Densitatea în stare anhidră/ Oven-dry density	kg/m ³	410 ± 44	404 ± 26	368 ± 29
Coeficientul de anizotropie (βt/βr)/ Anisotropy coefficient (βt/βr)	-	1.441 ± 0.437	2.025 ± 0.425	2.046 ± 0.529
Rezistența la încovoiere statică/ Bending strength	N/mm ²	66.68 ± 7.704	64.00 ± 4.13	55.29 ± 10.167
Modul de elasticitate la încovoiere statică / Modulus of elasticity in static bending	N/mm ²	9203.59 ± 1219.248	9002.56 ± 924.69	6558.89 ± 1613.075
Rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre / Tensile strength perpendicular to the grain: - în direcția radială / in radial direction - în direcția tangențială / in tangential direction	N/mm ²	1.43 ± 0.206 1.63 ± 0.236	1.41 ± 0.173 1.53 ± 0.262	1.17 ± 0.183 1.40 ± 0.178
Rezistența la compresiune paralelă cu fibrele/ Compressive strength parallel to the grain	N/mm ²	46.67 ± 5.036	44.96 ± 3.60	32.84 ± 4.191
Rezistența la smulgerea cuielor / Nail withdrawal resistance: - în direcția radială / in radial direction - în direcția tangențială / in tangential direction - în direcția transversală / in transversal direction	N/mm ²	5.577 ± 0.661 5.961 ± 0.468 3.526 ± 0.487	5.554 ± 1.004 5.958 ± 0.676 3.373 ± 0.568	5.119 ± 0.533 5.917 ± 0.546 3.454 ± 0.320

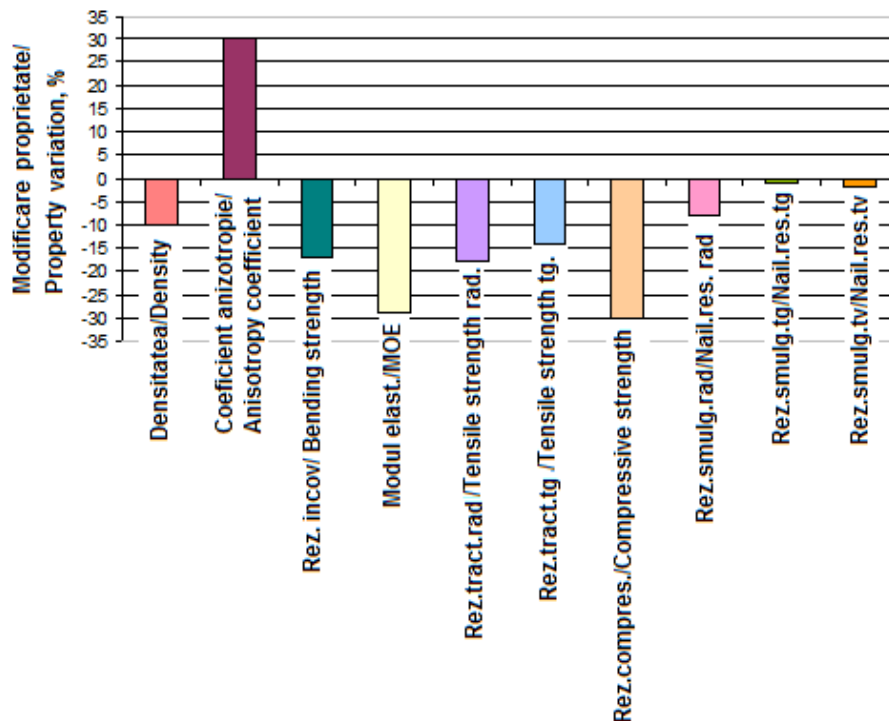


Fig. 1.

Modificarea procentuală a proprietăților fizico-mecanice selectate ale lemnului înghețat-dezghețat ciclic față de cel neînghețat / Percentual modification of the selected physical and mechanical properties of repeatedly frozen and thawed wood compared to non-frozen witness samples.

CONCLUZII

Analizând valorile obținute s-a constatat că tratamentul ciclic de înghețare-dezghețare a condus la reducerea mai pronunțată a tuturor proprietăților analizate ale lemnului de molid comparativ cu tratamentul de menținere în stare înghețată la temperatură constantă. În raport cu epruvetele-control (neînghețate), a crescut considerabil (cu 30%) coeficientul de anizotropie a contragerii și s-au redus cu 15...30% rezistențele mecanice.

Comparativ cu tratamentul de înghețare și menținere constantă a temperaturii negative, s-a constatat că tratamentul ciclic a agravat mai mult proprietățile mecanice, în special rezistența la compresiune și modulul de elasticitate la încovoiere, nu însă și stabilitatea dimensională.

MULTUMIRI

Această lucrare este susținută de Programul Operațional Sectorial de Dezvoltare a Resurselor Umane (POS DRU), finanțat de Fondul Social European și Guvernul României sub contractul numărul POSDRU/88/1.5/S/59321.

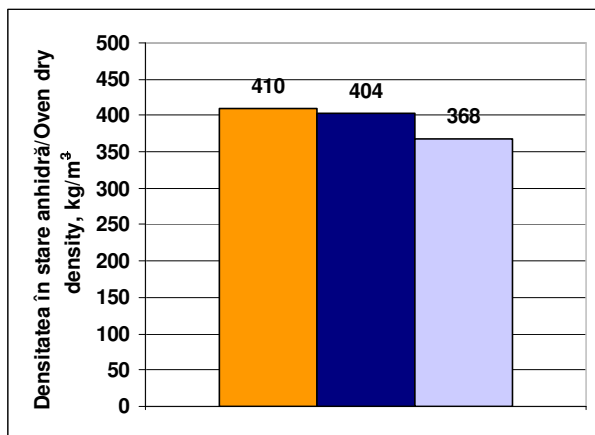
CONCLUSIONS

By analysing the obtained values, it could be established that the cyclic freezing and thawing treatment lead to a more significant reduction of all selected properties of spruce wood, comparatively to the freezing treatment with maintaining constant the negative temperature. Relative to the non-frozen control samples, the shrinkage anisotropy coefficient increased considerably (by 30%) and the main mechanical strengths decreased by 15...30%.

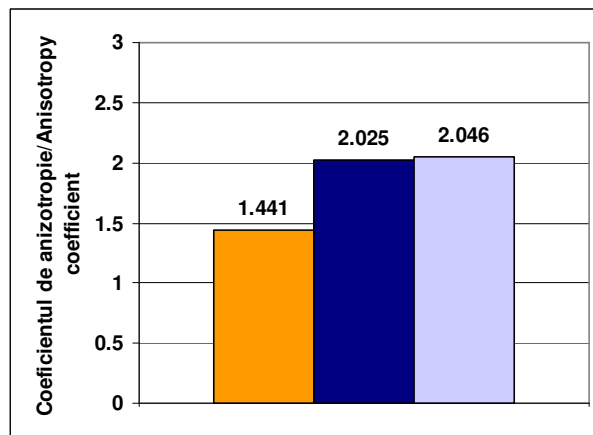
Compared to the continuous freezing process, the cyclic treatment resulted in more severe reduction of the mechanical strength, especially the compressive strength and the modulus of elasticity in bending, but it did not affect more the dimensional stability.

ACKNOWLEDGEMENT

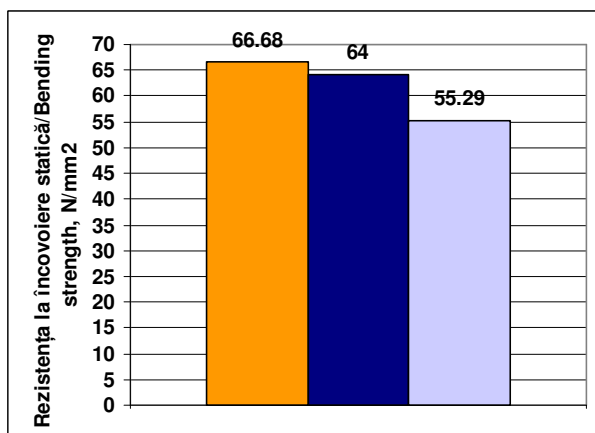
This paper is supported by the Sectoral Operational Programme Human Resources Development (SOP HRD), financed from the European Social Fund and by the Romanian Government under the contract number POSDRU/88/1.5/S/59321.



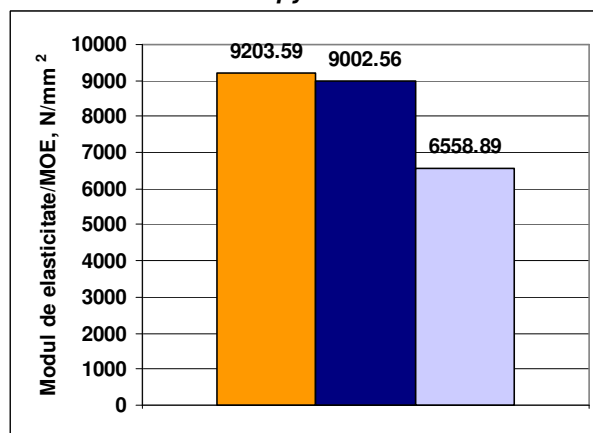
Densitatea în stare anhidră/Oven-dry density



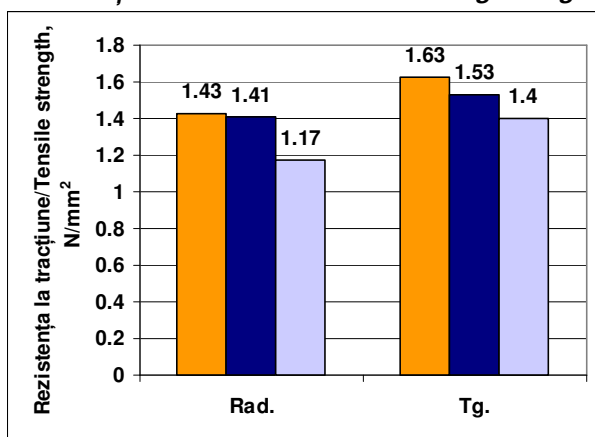
Coeficientul de anizotropie a contragerii/Shrinkage anisotropy coefficient



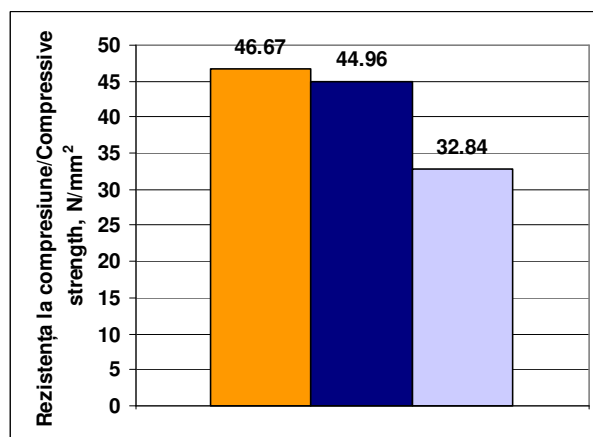
Rezistența la încovoiere statică/Bending strength



Modulul de elasticitate la încovoiere statică/MOE



Rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre / Tensile strength perpendicular to the grain



Rezistența la compresiune paralelă / Compressive strength parallel to the grain

Fig. 2.

Evaluare comparativă a efectelor celor două tratamente de înghețare asupra proprietăților lemnului de molid/ Comparative evaluation of the effects of the two freezing treatments upon the properties of spruce:

- lemn neînghețat / non-frozen controls;
- lemn înghețat și menținut la -25°C timp de o săptămână / wood frozen and maintained at -25°C for one week;
- lemn înghețat – dezghețat ciclic timp de o săptămână / wood cyclic frozen & thawed during one week.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

A Yi-MuGuLi, CAI, Y., CUI, Y., YU, S., QIAO, Z., CHEN, S., HUO, S. (2011). Effect of Repeated Freezing-Thawing on Quality Properties and Structure of Beef. *Journal of Food Science*, 2011, 32(7): 109-112.

BOUTROS, C.P., KASRA, M., GRYPAS, M. (2000). The effect of repeated freeze-thaw cycles on the biomechanical properties of canine cortical bone. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* (2000) 13(2): 59-64.

CÂMPEAN, M., ISPAS, M., POROJAN, M. (2008). Considerations on drying frozen spruce wood and effects upon its properties. *Drying Technology* 26, p.596-601.

GREEN, D. W., EVANS, J.W., LOGAN, J.D., NELSON, W.J. (1999). Adjusting modulus of elasticity of lumber for changes in temperature. *Forest Products Journal* 49(10), p.82-94.

ILIC, J. (1995). Advantages of pre-freezing for reducing shrinkage-related degrade in eucalyptus: General considerations and review of literature. *Wood Science and Technology* 29(4), p.277-285.

KÄRENLAMPI, P.P., TYNJÄLÄ, P., STRÖM, P. (2005). Phase transformations of wood cell wall water. *Journal of Wood Science* 51, p.118-123.

LAURENZI, W. (2010). Experimental Data Processing. Part 1. *Pro Ligno* 6(4), p.55-63.

LAURENZI, W. (2011). Experimental Data Processing. Part 2. *Pro Ligno* 7(1), p.51-59.

LI, M., ZHANG, C., LU, S., WU, Z., YAN, H. (2002). Study on porous silk fibroin materials: Influence of repeated freeze-thawing on the structure and properties of porous silk fibroin materials. *Polymers for Advanced Technologies* 13(8): 605-610. DOI: 10.1002/pat.159

MAEDA, T., MATSUURA, N., UTSUNOMIYA, T., SITSUJIAND, T., MORITA, N. (2005). Effects of repeated freezing and thawing treatments on retrogradation of starch in rice. 55th Australian Cereal Chemistry Conference and Pacific Rim Symposium, 3-5 July 2005.

MARINESCU, I. (1980). Wood drying and thermal treatment (in Romanian language). Vol II. Technical Publishing House Bucuresti.

MISHIRO, A. (1990). Effect of freezing treatments on the bending properties of wood. *Bulletin of Tokyo University* 82, p.177-189.

Verlag GmbH, Landsberg/Lech.

SZMUTKU, M.B., LAURENZI, W., CODREANU, C. (2011a). Influența înghețării asupra proprietăților lemnului de molid/Influence of freezing upon spruce wood properties. (Influence of freezing upon the properties of spruce wood). *Pro Ligno* 7(3), p. 39-48.

SZMUTKU, M.B., CÂMPEAN, M., SANDU, A.V. (2011b). Modificări microstructurale induse în lemnul de molid prin înghețare. (Microstructure Modifications Induced in Spruce Wood by Freezing). *Pro Ligno* 7(4), p. 26-31.

*** (1987) STAS 84-87. Lemn. Determinarea masei volumice (Wood. Determination of Density).

*** (1987) STAS 86/1-87: Lemn. Încercare la compresiune parale cu fibrele. (Wood. Testing in compression parallel to grain).

*** (1988) STAS 337/1-88. Lemn. Încercare la încovoiere statică (Wood. Determination of ultimate strength in static bending).

*** (1989) STAS 337/2-89: Lemn. Determinarea modulului de elasticitate la încovoiere statică (Wood. Determination of modulus of elasticity in static bending).

*** (1989) STAS 6291-89: Lemn. Determinarea rezistenței la tracțiune perpendicular pe fibre (Wood. Determination of tensile stress perpendicular to grain).

*** (1989) STAS 8070-89: Lemn. Determinarea rezistenței la smulgerea cuielor și șuruburilor. (Wood. Determination of nails and screws withdrawal resistance).

*** (1991) STAS 85/2-91. Lemn. Determinarea contragerii (Wood. Determination of Shrinkage).