

EFACTUL A DIFERITE CONDIȚII DE ÎNGHEȚARE ASUPRA COEFICIENTULUI DE DIFUZIVITATE A LEMNULUI DE MOLID

EFFECT OF DIFFERENT FREEZING CONDITIONS UPON THE DIFFUSION COEFFICIENT OF SPRUCE WOOD

Maria-Bernadett SZMUTKU

Dr.eng. – TRANSILVANIA University in Brasov – Faculty of Wood Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Brasov, Romania
E-mail: bernadett_20bv@yahoo.com

Robert NEMETH

Habil.dr.eng. – University of West Hungary in Sopron – Faculty of Wood Sciences
Adresa/Address: Bajcsy – Zsilinszky ut, nr. 4, H-9400, Sopron, Hungary
E-mail: nemethr@fmk.nyme.hu

Mihaela CÂMPEAN

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

Rezumat:

Lucrarea prezintă un studiu privind modificările aduse de diferite condiții de înghețare asupra difuzivității lemnului de molid (*Picea abies* L.).

S-au determinat coeficienții de difuzivitate a umidității în direcție radială și tangențială la 20 °C/35% și respectiv la 40 °C/35%, pe epruvete supuse inițial la înghețare rapidă (cu viteza de -10 °C/h) și respectiv la înghețare lentă (cu viteza de -1 °C/h) până la temperatura de -25 °C, urmată de menținerea epruvetelor în stare înghețată timp de o săptămână, comparativ cu epruvete provenite din același buștean, depozitate în aer liber pe timp de iarnă timp de 3 luni (decembrie-februarie) și cu epruvete neînghețate. Toate epruvetele au fost supuse testului de difuzivitate după ce au fost uscate până la o umiditate de 12%.

Aceste condiții experimentale au fost alese pentru a evalua influența vitezei de înghețare (rapidă vs lentă) și a duratei de expunere la temperaturi negative (1 săptămână vs 3 luni) asupra difuzivității umidității lemnului – proprietate importantă pentru dinamica procesului de uscare a lemnului.

Rezultatele arată că înghețarea rapidă la temperatura de -25 °C nu afectează difuzivitatea, în timp ce înghețarea lentă (cu o viteză de -1 °C/h) și mai ales expunerea îndelungată la temperaturi negative măresc difuzivitatea cu 15-33% față de lemnul neînghețat, valorile mai mari fiind înregistrate în direcție tangențială și la temperatura mai mare de determinare (40 °C).

Cuvinte cheie: difuzivitatea umidității; lemn de molid; lemn înghețat.

Abstract:

The paper presents a study concerning the modifications induced by different freezing conditions upon the moisture diffusion in spruce (*Picea abies* L.) wood.

The diffusion coefficients in radial and tangential directions were determined at 20 °C/35% and 40 °C/35%, on wood samples initially subjected to rapid freezing (at -10 °C/h freezing rate), respectively slow freezing (at -1 °C/h freezing rate), then maintained for 1 week in frozen condition, comparatively to samples originating from the same log but stored in an open yard for three winter months (December-February) and also compared to non-frozen samples. All samples were subjected to the diffusion test after being dried - to 12% mc.

These testing conditions were chosen so as to evaluate the influence of the freezing speed (rapid vs. slow freezing) and of the exposure duration to freezing conditions (1 week vs. 3 months) upon the moisture diffusion in spruce wood – which is an important property related to the dynamics of wood drying.

The results show that rapid freezing at -25 °C do not affect moisture diffusion, while slow freezing (at a freezing rate of -1 °C/h) and long-term exposure to negative temperatures increase moisture diffusion by 15-33% compared to unfrozen wood. The higher values were recorded in tangential direction and with the higher test temperature (40 °C).

Key words: moisture diffusion; spruce wood; frozen wood.

INTRODUCERE

În timpul depozitării lemnului pe timp de iarnă, apa în stare lichidă din lemn îngheață, ceea ce produce unele modificări în structura lemnului și a proprietăților sale (Bodig & Jayne 1993, Campean ș.a. 2008, Dyk & Rice 2005, Erickson ș.a. 1968, Green ș.a. 1999, Ilic 1995, Kwang ș.a. 2007, Lu ș.a. 2005, Mishiro 1990, Szmotku ș.a. 2011a, b, c, d, e, 2012, 2013).

Difuzivitatea umidității în lemn reprezintă mișcarea moleculară a apei legate din interiorul peretelui celular către suprafața materialului, atunci când între cele două zone există o diferență de concentrație a umidității.

Ea este caracterizată prin așa-numitul coeficient de difuzivitate D (ecuația 1), care depinde de specia și densitatea lemnului, de poziția probei din trunchi (zonă de alburn sau duramen), de temperatura și umiditatea lemnului. De asemenea, coeficienții de difuzivitate sunt diferiți după cele trei direcții de orientare structurală a lemnului, având valoarea maximă în direcție longitudinală.

$$D = \frac{K_M}{G} \cdot 100 \quad [\text{cm}^2/\text{s}] \quad (1)$$

$$G = \frac{\rho_{\text{lemn}}}{\left(1 + \frac{M}{100}\right) \cdot \rho_{\text{apă}}} \quad (2)$$

$$J = \frac{m_{n-1} - m_n}{r^2 \cdot \pi} [\text{g}/\text{cm}^2\text{s}] \quad (3)$$

$$K_M = \frac{J}{\frac{dM}{dx}} = \frac{J}{\frac{M_2 - M_1}{L}} [\text{g}/\text{cm}\%] \quad (4)$$

unde:

- m_{n-1} – masa obținută la cântărirea de (n-1), g
- m_n – masa obținută la cântărirea de (n), g
- r – raza epruvetei de formă cilindrică, cm
- D – coeficientul de difuzivitate, cm^2/s
- ρ_{lemn} – densitatea lemnului, g/cm^3
- $\rho_{\text{apă}}$ – densitatea apei, g/cm^3
- G – greutatea specifică a lemnului, g/cm^3
- M_1 – umiditatea produsă de cameră climatică, %
- M_2 – umiditatea produsă de soluție, %

Difuzivitatea umidității este o proprietate importantă pentru procesul de uscarea a lemnului, întrucât determină decisiv dinamica acestuia: cu cât coeficienții de difuzivitate ai unei specii sau sortiment lemnos sunt mai mari, cu atât eliminarea apei din lemn este mai facilă și se produce deci mai rapid.

INTRODUCTION

During the storage of timber in winter time, the liquid water in wood freezes, causing some changes in wood structure and property variations (Bodig & Jayne 1993, Campean et al. 2008, Dyk & Rice 2005, Erickson et al. 1968, Green et al. 1999, Ilic 1995, Kwang et al. 2007, Lu et al. 2005, Mishiro 1990, Szmotku et al. 2011a, b, c, d, e, 2012, 2013).

The moisture diffusion inside wood represents the molecular movement of the bound water located inside the cell walls towards the wood surface, when there exists a moisture concentration difference between the two zones.

The moisture diffusion is characterized by the so-called diffusion coefficient D (equation 1), which depends on wood species and density, on the position within the cross section of the tree (sapwood / heartwood), on wood temperature and moisture content. The diffusion coefficient is also different according to grain direction, being maximum in longitudinal direction.

$$D = \frac{K_M}{G} \cdot 100 \quad [\text{cm}^2/\text{s}] \quad (1)$$

$$G = \frac{\rho_{\text{wood}}}{\left(1 + \frac{M}{100}\right) \cdot \rho_w} \quad (2)$$

$$J = \frac{m_{n-1} - m_n}{r^2 \cdot \pi} [\text{g}/\text{cm}^2\text{s}] \quad (3)$$

$$K_M = \frac{J}{\frac{dM}{dx}} = \frac{J}{\frac{M_2 - M_1}{L}} [\text{g}/\text{cm}\%] \quad (4)$$

where:

- m_{n-1} – obtained mass at (n-1) weighing, g
- m_n – obtained mass at (n) weighing, g
- r – radius cylindrical specimen, cm
- D – diffusion coefficient, cm^2/s
- ρ_{wood} – wood density, g/cm^3
- ρ_w – water density, g/cm^3
- G – specific gravity of wood, g/cm^3
- M_1 – moisture produced by climate chamber, %
- M_2 – moisture produced by solution, %

Moisture diffusion is an important property for the wood drying behavior, as it determines decisively its dynamics: the higher the moisture diffusion, the shorter the drying time is.

Reference literature offers clear information on the diffusion coefficients for different species, in each structural directions, at different temperatures and moisture contents, or after a certain treatment (Simpson 1991, Kanagawa et al. 1992, Berit 1998,

Literatura de specialitate oferă informații clare asupra valorilor coeficientului de difuzivitate la diferite specii, într-o anumită direcție structurală, la diferite temperaturi și umidități, sau după un anumit tratament (Simpson 1991, Kanagawa ș.a. 1992, Berit 1998, Cai 2005, Fotsing & Tchagang 2005, Li ș.a. 2005, Tarmian ș.a. 2012), dar referințele privind valorile acestor coeficienți în cazul lemnului înghețat sunt mult mai puțin numeroase (Kübler 1962, Schmulsky & Shvets 2006).

OBIECTIV

Prezenta lucrare își propune tocmai aprofundarea acestui aspect, prin determinarea comparativă a coeficienților de difuzivitate a lemnului de molid, după diferite condiții de înghețare, pentru mai buna înțelegere a comportamentului lemnului înghețat la uscare.

METODĂ, MATERIALE ȘI APARATURĂ

Materialul folosit în cadrul prezentei cercetări a constat din piese de lemn de molid (*Picea abies* L.) cu următoarele dimensiuni: 500x150x24mm, tăiate din același buștean.

Un sfert dintre piesele debitate au fost înghețate rapid (cu o viteză de înghețare de -10°C/h) până la temperatura de -25°C și apoi menținute în stare înghețată timp de o săptămână. Alte 25% dintre piese au fost înghețate lent (cu o viteză de -1°C/h) până la aceeași temperatură de -25°C și menținute apoi în stare înghețată timp de o săptămână. Alte 25% din piese au fost expuse într-un depozit în aer liber timp de 3 luni de iarnă (decembrie-februarie). Conform condițiilor climatice locale (monitorizate zilnic și reprezentate în Fig. 1), valoarea minimă a temperaturii înregistrată în timpul acestui interval a fost -15°C iar valoarea medie a fost -4,5°C. Diferența maximă între zi și noapte a fost de 16°C și în medie de 6°C. Ultimele 25% dintre piese au constituit probe de referință (neînghețate). Înghețarea artificială a primelor două seturi de piese s-a realizat într-o cameră climatică FEUTRON tip 3423-16.

Toate probele, atât cele înghețate, cât și cele neînghețate, au fost apoi uscate și condiționate timp de 2 săptămâni la umiditatea de 12%, înainte de a fi suspuse testelor de determinare a difuzivității umidității.

Cai 2005, Fotsing & Tchagang 2005, Li et al. 2005, Babiak et al. 2008, Tarmian et al. 2012). However, the references regarding the values of these coefficients in case of frozen wood are low numbered (Kübler 1962, Schmulsky & Shvets 2006).

OBJECTIVE

The main aim of the present paper is exactly the deepening of this aspect, by comparative determination of the diffusion coefficients of spruce wood after different freezing conditions, having in view a better understanding of the drying behaviour of the frozen wood.

METHOD, MATERIALS AND EQUIPMENT

The material used within the present research consisted of spruce (*Picea abies* L.) boards with the following dimensions: 500x150x24mm cut from the same log.

A quarter of these boards were rapidly frozen at a rate of -10°C/h down to a temperature of -25°C and then maintained frozen for 1 week. An other quarter of the boards were slowly frozen (at a rate of -1°C/h) to the same temperature of -25°C and then maintained frozen for 1 week. Other 25% of the boards were exposed for 3 winter months (December-February) in an open-air yard. According to the daily recorded local climatic conditions (Fig. 1), the minimum temperature reached during this period was -15°C and the average was -4.5°C. The maximum day-and-night difference was 16°C, in average 6°C. The last quarter of boards were kept unfrozen (as controls). The freezing of the first two sets of boards was carried out in a FEUTRON type 3423-16 climatic chamber.

All probes, both the frozen and the non-frozen ones, were dried and conditioned at 12% mc for 2 weeks before being subjected to the diffusion tests.

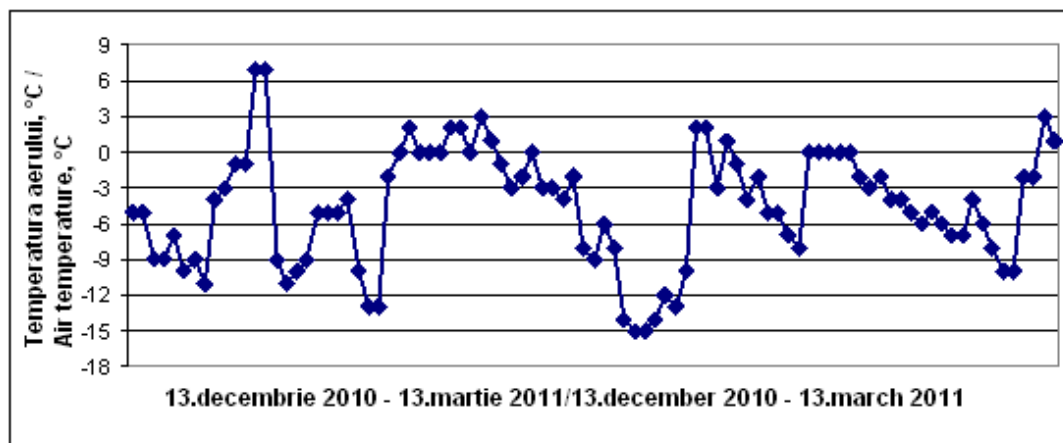


Fig. 1.

**Variația de temperatură în cele trei luni de expunere a pieselor în aer liber /
Temperature variation during the three months of outdoor exposure of the boards.**

Experimentul de difuzivitate s-a bazat pe ipoteza stării staționare și a fost efectuat în direcție radială și tangențială folosind “Metoda pahar” (EN ISO 12572:2001), în Laboratorul de Știința Lemnului, la Universitatea de Vest Ungaria din Sopron.

Pentru fiecare test de difuzivitate s-au debitat 80 de epruvete mici de formă cilindrică (cu diametrul 30mm și lungimea de 10mm), câte 20 din fiecare sortiment (înghețat rapid, înghețat lent, înghețat natural, neînghețat). Dintre acestea, jumătate au fost tăiate cu axa orientată în direcție strict radială și jumătate cu axa în direcție tangențială.

Fiecare epruvetă a fost introdusă într-un pahar Erlenmeyer umplut cu o soluție saturată de NaNO_2 (nitrit de sodiu).

Pentru prepararea acestei soluții a fost necesară selectarea materialelor chimice, astfel încât să se cunoască umiditatea relativă a acestora la schimbări de temperatură. Selecția s-a efectuat conform DIN 50008, astfel la temperatura de 20°C umiditatea relativă a soluției a fost 66%, iar la temperatură de 40°C a fost 61%.

Soluția de nitrit de sodiu a fost preparată astfel încât să se mențină saturată la ambele temperaturi folosite, dar să rămână destul la sfârșitul măsurării pentru a asigura umiditate relativă continuă și transportul umidității.

Paharele cu soluția de nitrit de sodiu și epruvetele de lemn au fost amplasate într-o cameră climatică Binder tip KBF, model 115 (Fig. 2).

Atât temperatura, cât și umiditatea relativă din camera climatică au fost menținute constante în timpul experimentelor, la valorile:

- 20 °C / 35% - în testul I
- 40 °C / 35% - în testul II.

Paharele Erlenmeyer au fost cântărite zilnic folosind o balanță analitică de laborator tip Kern ABJ model 220-4M (Fig. 3). Atunci când mișcarea apei a devenit uniformă în timp, astfel și diferențele

The moisture diffusion experiment based on the steady-state hypothesis was performed in the Wood Science Laboratory at the University of West Hungary in Sopron. The tests were carried out in radial and tangential direction, by using the “Cup method” (EN ISO 12572:2001).

For each of the two diffusion tests, 80 small, cylindrical-shaped samples with 30mm in diameter and 10mm length were used, namely 20 samples from each assortment (rapidly frozen, slowly frozen, naturally frozen and unfrozen wood). Out of these, half were cut with their length in radial direction and half with their length in tangential direction.

Each sample was introduced in an Erlenmeyer flask filled with a saturated solution of NaNO_2 (sodium nitrite). For the preparation of this solution it was necessary to select chemical materials with known dependency between the relative humidity and the temperature. The selection of this material was performed according to DIN 50008, thus at 20°C temperature the relative humidity of this solution was 66%, and at 40°C temperature was 61%.

The sodium nitrite solution had to be prepared so as to keep the saturation at both temperatures used, but also to remain enough until the end of the determination, so as to ensure continuous relative humidity and moisture transport.

The flasks with the sodium nitrite solution and the wood samples were placed in a climate chamber Binder type KBF, model 115 (Fig. 2).

Both the temperature and the relative air humidity in the climate chamber were kept constant during the experiments, at the following values:

- 20 °C / 35% - during the first test
- 40 °C / 35% - during the second test.

The Erlenmeyer flasks were daily weighed using a laboratory analytical balance type Kern ABJ model 220-4M (Fig. 3). When the water motion became uniform in time, thus steady state diffusion

de masă s-au stabilizat s-a realizat dufizivitatea în curent staționar, experimentul s-a considerat finalizat.

was achieved, the experiment was considered to be finished.



Fig. 2.

Amplasarea probelor preparate în camera climatică Binder tip KBF / Location of prepared samples into climate Binder chamber type KBF.

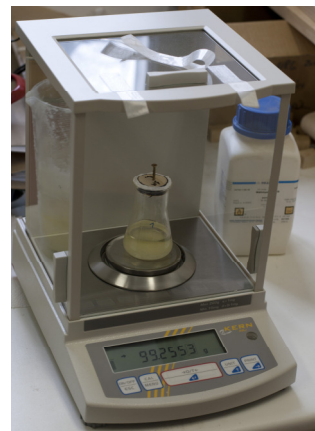


Fig. 3.

Cântărirea paharelor Erlenmayer / Weighing of Erlenmeyer flasks.

Pe baza masei umidității evaporate din pahar s-a stabilit cantitatea de apă (m) care trece printr-o arie de secțiune de 1cm^2 a probei în timp de o secundă. Cu ajutorul acestor valori s-au calculat apoi conform ecuației (1) valorile corespunzătoare ale coeficienților de difuzivitate a umidității în direcție radială și tangențială.

Valorile experimentale obținute la fiecare test au fost prelucrate cu ajutorul unui program dezvoltat de către Laurenzi (2011) pentru prelucrarea statistică a datelor experimentale monofactoriale. Astfel, s-au generat 16 baze de date. Valorilor obținute cu ajutorul acestui program, cu repartiție normală li s-a aplicat testul T (Petersen 1991), pentru a stabili dacă sunt sau nu diferențe statistice semnificative între mediile obținute la lemnul înghețat în diferite condiții și respective între lemn înghețat și cel neînghețat. Nivelul de semnificație adoptat în cadrul acestei evaluări a fost 95%.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Tabelele 1 și 2 prezintă rezultatele obținute (medii și abateri de la media pătratică) după prelucrarea statistică a valorilor individuale obținute pentru fiecare test.

Graficele din Fig 4 și 5 ilustrează creșterile înregistrate la această proprietate pentru lemnul înghețat în diferite condiții față de lemnul neînghețat.

Rezultatele ilustrate în Fig. 4 și 5 arată clar că, prin înghețare, coeficienții de difuzivitate au crescut față de valorile obținute la lemnul neînghețat, în ambele direcții de orientare structurală și la ambele temperaturi de experimentare.

De asemenea, ierarhia influenței condițiilor de înghețare a fost identică în toate situațiile considerate

Based on the mass of water evaporated from the flask, the amount of water (m) which passes through a 1cm^2 area section of the specimen during one second was established. Using these values and based on equation (1), the values of the diffusion coefficients in radial and tangential direction were calculated hereinafter.

The experimental values obtained in each test were processed by a computer program developed by Laurenzi (2011) for the statistical processing of monofactorial experimental data. Thus, 16 data files were generated. The values with normal repartition obtained this way were further used in a T test (Petersen 1991), in order to establish if there are statistically significant differences between the means obtained for wood frozen under different conditions and also between frozen and nonfrozen wood. The significance level adopted within this evaluation was 95%.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Tables 1 and 2 present the results (averages and standard deviations) obtained in each test after the statistical processing of the individual values.

The graphs in Fig. 4 and 5 illustrate the changes (increases) recorded by this property in the case of wood frozen in different conditions compared to unfrozen wood.

The results presented in Fig. 4 and 5 clearly show that freezing increases the diffusion coefficients, in both grain directions and with both experimental temperatures.

Also, the hierarchical influence of the different freezing conditions was identical in all considered situations (in radial and tangential direction and with both experimental temperatures): the smallest effect

(în ambele direcții de orientare structurală și la ambele temperaturi): cele mai mici creșteri (sub 5%) au fost înregistrate la înghețarea rapidă, urmată la distanță de înghețarea lentă (unde au ajuns până la cca. 20%), iar cele mai mari creșteri, de până la 33%, s-au înregistrat la expunerea naturală de lungă durată (ciclică) a lemnului la temperaturi negative.

(increase below 5%) was recorded with the rapidly frozen samples, followed by the slowly frozen samples (where the increase reached up to 20%) and the most important effect was established with the long-term (cyclic) open-air frozen samples, where the increase of the diffusion coefficients reached up to 33%.

Tabelul 1 / Table 1

Rezultate obținute la Testul I de difuzivitate / Results obtained for Test I of diffusion (25°C/35%)

Tipul lemnului / Type of wood	Direcția / Direction	Coeficientul de difuzivitate / Diffusion coefficient, *10 ⁻⁶ , cm ² /s	
		Media / Mean *10 ⁻⁶	Abatere medie pătratică / Standard deviation *10 ⁻⁶
Lemn neînghețat / Nonfrozen wood	Tg	1.430	0.205
	Rad	1.436	0.114
Lemn înghețat rapid / Rapidly frozen wood	Tg	1.446	0.118
	Rad	1.490	0.194
Lemn înghețat lent / Slowly frozen wood	Tg	1.549	0.205
	Rad	1.802	0.170
Lemn expus condițiilor naturale de aer liber timp de 3 kuni de iarnă / Wood exposed to natural open-air conditions for three winter months	Tg	1.824	0.034
	Rad	1.924	0.166

Tabelul 2 / Table 2

Rezultate obținute la Testul II de difuzivitate / Results obtained in the second diffusion test (40°C/35%)

Tipul lemnului / Type of wood	Direcția / Direction	Coeficientul de difuzivitate / Diffusion coefficient, *10 ⁻⁶ , cm ² /s	
		Media / Mean *10 ⁻⁶	Abatere medie pătratică / Standard dev. *10 ⁻⁶
Lemn neînghețat / Nonfrozen wood	Tg	5.142	0.786
	Rad	5.439	1.045
Lemn înghețat rapid / Rapidly frozen wood	Tg	5.362	0.623
	Rad	5.616	0.565
Lemn înghețat lent / Slowly frozen wood	Tg	6.103	0.860
	Rad	6.996	0.780
Lemn expus condițiilor naturale de aer liber timp de 3 luni de iarnă / Wood exposed to natural open-air conditions for three winter months	Tg	7.703	0.345
	Rad	8.188	0.796

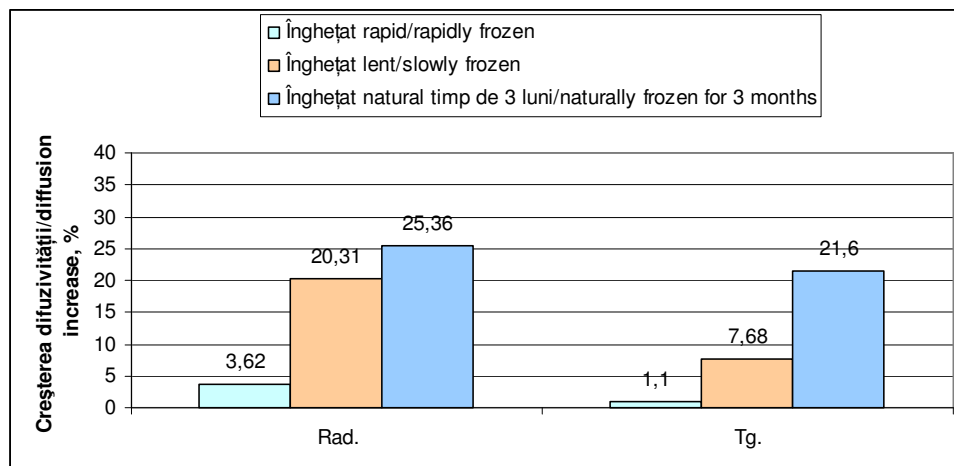


Fig. 4.

Modificarea procentuală a coeficientului de difuzivitate a lemnului de molid înghețat în diferite condiții față de lemnul neînghețat (obținute în cadrul testului I de difuzivitate la $t = 20^\circ\text{C} / 35\%$) / Percentual change in the diffusion coefficient of spruce wood frozen in different conditions compared to the nonfrozen wood (as obtained during diffusion test I, at $20^\circ\text{C}/35\%$).

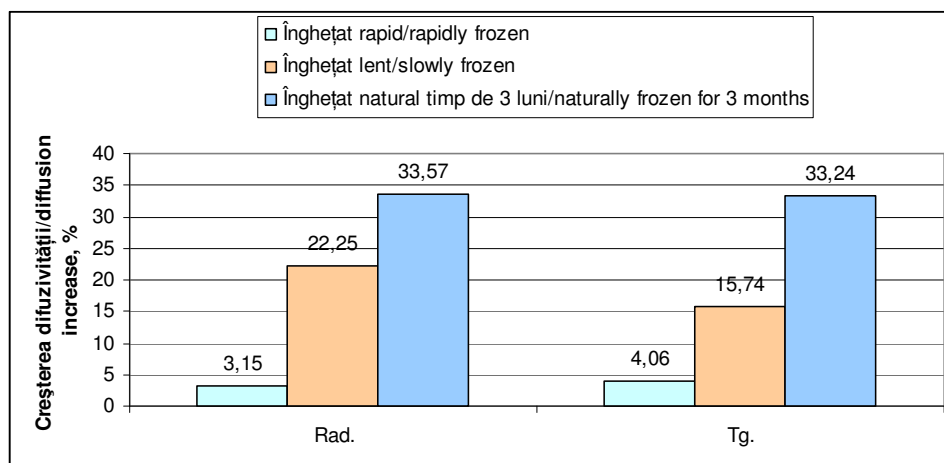


Fig. 5.

Modificarea procentuală a coeficientului de difuzivitate a lemnului de molid înghețat în diferite condiții față de lemnul neînghețat (obținute în cadrul testului II de difuzivitate la $t = 40^\circ\text{C} / 35\%$) / Percentual change in the diffusion coefficient of spruce wood frozen in different conditions compared to the nonfrozen wood (as obtained during diffusion test II, at $40^\circ\text{C}/35\%$).

În acest context s-a constatat foarte bună corelație cu rezultatele obținute de Szmütku ș.a. 2011e cu privire la influența condițiilor de înghețare asupra integrității structurale a lemnului, care au relevat aceeași ierarhie a lungimii microfisurilor produse în pereții celulari ai lemnului de molid înghețat în diferite condiții: inexistența microfisurilor după înghețarea rapidă, microfisuri cu lungime de 200-500 μm după înghețarea lentă și microfisuri cu lungime de 800-1500 μm după expunerea timp de 3 luni de iarnă în aer liber.

Se evidențiază astfel o legătură clară între crearea de noi pasaje pentru eliminarea umidității din lemn prin microfisurarea pereților celulari suferită în urma procesului de înghețare, cu atât mai mult cu cât condiții mai agresive de înghețare (înghețare lentă ciclică de lungă durată) au condus

A good correlation with the results obtained by Szmütku et al (2011e) regarding the influence of different freezing conditions upon the structural integrity of frozen wood was established, considering that the length of the microfissures caused by the different freezing conditions followed exactly the same hierarchy: no fissuring after rapid freezing, 200-500 μm long fissures after slow freezing and 800-1500 μm long fissures after 3 winter months of open air exposure.

A clear connection is thus evidenced between freezing and the creation of new paths for the elimination of water through microfissuring of the cell walls during the freezing process: the more aggressive (long therm cyclic slow freezing) the freezing conditions are, the more increase the values of the diffusion coefficients.

la creșterea mai importantă de difuzivitate.

Creșterile au fost, în general, mai mari în direcție tangențială și la temperatura mai ridicată (40°C, la testul II).

Ca și în cazul unor proprietăți fizice și mecanice investigate (Szmotku ș.a. 2013), viteza de înghețare are o influență importantă și asupra difuzivității, valorile înregistrate la epruvetele înghețate lent fiind cu cca. 20% mai mari comparativ cu cele de la epruvetele înghețate rapid.

Analizând rezultatele Testului t prezentate în Tabelul 3 se reconfirmă faptul că înghețarea rapidă nu are practic nicio influență asupra difuzivității, ci doar celelalte două condiții de înghețare aplicate, mai agresive.

The diffusion coefficient increases were generally higher in tangential than in radial direction and at the higher test temperature (40°C – in test II).

Same as in the case of some investigated physical and mechanical properties (Szmotku et al. 2013), the freezing rate has a significant influence upon diffusion, the values recorded with the slowly frozen samples being by ca. 20% higher than the ones obtained with the rapidly frozen samples.

The results of the t Test, presented in Table 3, reconfirm the fact that rapid freezing does practically not affect at all the moisture diffusion, while the other two freezing conditions, which were more aggressive.

Tabelul 3 / Table 3

Rezultatele Testului t / Results of t Test

Direcția structurală, test / Grain direction, test	Rezultatele Testului-t / Results of t-Test *				
	Rapid-Non	Lent/slow-Non	Natural-Non	Rapid-Lent/slow	Natural-lent/slow
Rad 20°C/35%	N	S	S	S	N
Tg 20°C/35%	N	S	S	S	S
Rad 40°C/35%	N	S	S	S	S
Tg 40°C/35%	N	S	S	S	S

*N - diferență nesemnificativă / not significant difference;

S- diferență semnificativă statistic / statistically significant difference

CONCLUZII

Coeficientul de difuzivitate a lemnului de molid (*Picea abies L.*) a fost examinat comparativ în funcție de condițiile de înghețare și față de lemnul neînghețat.

Rezultatele cercetării efectuate au relevat faptul că înghețarea apei în lemn afectează semnificativ difuzivitatea umidității în cazul menținerii îndelungate a cherestelei în aer liber pe timp de iarnă, precum și în cazul în care lemnul suferă o înghețare lentă.

Astfel, s-a stabilit că în cazul expunerii îndelungate a lemnului verde de molid la temperaturi negative, difuzivitatea sa crește cu cca. 30%, iar în cazul înghețării lente cu 15-20% față de cea a lemnului neînghețat. Valorile obținute pe direcție radială sunt puțin mai mari (cu 3...15%) decât în direcție tangențială, iar cele obținute la temperatura de 40°C sunt cu 72...76% mai mari față de cele obținute la 20°C.

DIRECȚIE VIITOARE DE CERCETARE

Cercetări viitoare urmează a stabili în ce măsură există o corelație între creșterea difuzivității apei în lemn în urma înghețării și durata de uscarea a lemnului înghețat comparativ cu cel neînghețat.

CONCLUSIONS

The moisture diffusion coefficient of spruce wood (*Picea abies L.*) was examined comparatively after different freezing conditions and also compared to non-frozen wood.

The research results revealed that water freezing inside wood affects significantly the moisture diffusion in case of long-term storage of timber in an open yard in wintertime, and also when the freezing occurs slowly.

It was established that the long-term exposure of green wood to negative temperatures increases its diffusion coefficients by ca. 30%, while the slow freezing leads to a 15-20% increase compared to non-frozen wood. The values obtained in radial direction are slightly higher (by 3...15%) than in tangential direction and the ones obtained at 40°C are by 72...76% higher than the ones obtained at 20°C.

FUTURE RESEARCH DIRECTION

Future research envisages to establish if there is a correlation between the moisture diffusivity increase through freezing and the drying time of frozen wood compared to non-frozen one.

MULTUMIRI

Aducem mulțumiri întregului colectiv de la Universitatea de Vest Ungaria din Sopron, Catedra de Știința Lemnului pentru timpul și sprijinul acordat în vederea realizării acestei cercetări.

Acest studiu a fost suportat de Clădirea de Mediu de energie eficientă prin proiectul TAMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068, sponsorizat de UE și de Fundația Socială Europeană.

ACKNOWLEDGEMENT

We hereby express our sincere thanks to the entire staff of the University of West Hungary in Sopron, from the Department of Wood Science, for the time and support allotted to this research.

This study was supported by the Environment conscious energy efficient building TAMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068 project sponsored by the EU and European Social Foundation.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- Babiak M, Hrcka R, Németh R (2008) High temperature effect on diffusion coefficient. Wood Research 53(3):37-46
- Berit T (1998) Hygroscopic Moisture Transport in Wood. PhD. Diss, Norwegian University of Science and Technology, Department of Building and Construction Engineering, Norvegia
- Bodig J, Jayne BA (1993) Mechanics of Wood and Wood Composites. Krieger Publishing Company, Malabar
- Cai L (2005) Determination of diffusion coefficients for sub-alpine fir. Wood Science and Technology, 7:153-162
- Câmpean M, Ispas M, Porojan M (2008) Considerations on drying frozen spruce wood and effects upon its properties. Drying Technology, 26:596-601
- DIN 50 008-1981. Klimate und ihre technische Anwendung Konstantklimrate
- Dyk H, Rice RW (2005) Ultrasonic wave velocity as a moisture indicator in frozen and unfrozen lumber. Forest Products Journal, 55(6):68-72
- EN ISO 12572:2001. Hygrothermal performance of building materials and products – Determinations of water vapour transmission properties.
- Erickson HD, Schmidt RN, Laing JR (1968) Freeze-drying and wood shrinkage. Forest Products Journal, 18(6):63-68
- Fotsing JAM, Tchagang CW (2005) Experimental determination of the diffusion coefficients of wood in isothermal conditions. Heat Mass Transfer, 41:977-980
- Green D W, Evans JW, Logan JD, Nelson WJ (1999) Adjusting modulus of elasticity of lumber for changes in temperature. Forest Products Journal, 49(10):82-94
- Ilic J (1995) Advantages of pre-freezing for reducing shrinkage-related degrade in eucaliptus: General considerations and review of lieterature. Wood Science and Technology, 29(4):277-285
- Kanagawa Y, Furuyama Y, Hattori Y (2005) Nondestructive measurment of moisture diffusion coefficient in wood drying. Drying Technology, 10(5):1231-1248
- Kübler H (1962) Schwinden und Quellen des Holzes durch Kälte. Holz als Roh- und Werkstoff, 20:365
- Kwang HL, Adya PS, Yoon SK (2007) Cellular characteristics of a traumatic frost ring in the secondary xylem of *Pinus radiata*. Trees, 21:403-410
- Laurenzi W (2011) Experimental data processing. Part 2. PRO LIGNO, 7(1):51-59
- Li X, Zhang B, Li W, Li Y (2005) Research on the effect of microwave pretreatment on moisture diffusion coefficient of wood. Wood Science and Technology, 39:521-528
- Lu J, Lin Z, Jiang J, Jiang J (2005) Liquid penetration of freeze-drying and air-drying wood of plantation Chinese fir. Journal of Forestry Research, 16(4):293-295
- Mishiro A (1999) Effect of freezing treatments on the bending properties of wood. Bulletin of Tokyo University, Faculty of Agriculture, Department of Forest Products, Tokyo, 82:177-189

Petersen H (1991) Grundlagen der deskriptiven und mathematischen Statistik. Vol.1, Ecomed Verlag GmbH, Landsberg/Lech.

Shmulsky R, Shvets V (2006) The effect of subzero temperature on FSP of cottonwood. Forest Products Journal, 56(2):74–77

Simpson WT (1991) Dependence of the water vapor diffusion coefficient of aspen (*Populus spec.*) on moisture content. Wood Science and Technology, 26:9-21

Szmutku MB, Câmpean M, Porojan M, Sandu AV (2011a) SEM applications for the study of modifications in wood cell membrane. Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods&Technologies, 5, Part 1:363-374

Szmutku MB, Laurezi W, Codreanu C (2011b) Influence of freezing upon spruce wood properties. PRO LIGNO, 7(3):39-48

Szmutku MB, Câmpean M, Sandu AV, Lică D (2011c) SEM analysis concerning the effect of freezing and thawing upon the structure integrity of spruce wood. Proc. 8th International Conference ICWSE, Wood Science and Engineering in the Third Millenium, Section 1:111-117

Szmutku MB, Câmpean M, Porojan M (2011d) Experimental study concerning the effect of different freezing and thawing conditions upon some physical and mechanical properties of spruce wood. Proc. 8th International Conference ICWSE, Wood Science and Engineering in the Third Millenium, Section 1:118-125

Szmutku MB, Câmpean M, Sandu AV (2011e) Microstructure Modifications Induced in Spruce Wood by Freezing. PRO LIGNO, 7(4):26-31

Szmutku MB, Câmpean M, Laurenzi W (2012) Influence of Cyclic Freezing and Thawing Upon Spruce Wood Properties. PRO LIGNO, 8(1):35-43

Szmutku MB, Câmpean M, Porojan M (2013) Strengths reduction of spruce wood through slow freezing. European Journal of Wood and Wood Products, DOI 10.1007/s00107-013-0667-6

Tarmian A, Remond R, Dashti H, Perré P (2012) Moisture diffusion coefficient of reaction woods: compression wood of *Picea abies* L. and tension wood of *Fagus sylvatica*. Wood Science and Technology, 46:405-417