

STUDIU EXPERIMENTAL PRIVIND
DINAMICA ÎNGHEȚĂRII ȘI DEZGHEȚĂRII
LEMNULUI DE MOLID

EXPERIMENTAL STUDY REGARDING
THE FREEZING AND THAWING
DYNAMICS OF SPRUCE WOOD

Maria - Bernadett SZMUTKU

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

Viorel POPA

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

Mihaela CÂMPEAN*

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

Rezumat:

Articolul prezintă rezultatele obținute cu privire la evoluția câmpului de temperatură în lemnul de molid (*Picea abies* L.), în timpul înghețării cu doi gradienti de temperatură diferiți: -10°C/h (înghețare rapidă) și respectiv -1°C/h (înghețare lentă) și apoi în timpul dezghețării la temperaturi de $+5^{\circ}\text{C}$, $+30^{\circ}\text{C}$, $+50^{\circ}\text{C}$.

Prin această abordare s-a urmărit simularea variațiilor de temperatură în lemn pe durata depozitării în aer liber pe timp de iarnă în două situații (când temperatura scade brusc și respectiv când scade treptat) și apoi la intrarea în uscător, în funcție de temperatura aplicată în faza de încălzire inițială.

Rezultatele obținute arată clar că viteza de înghețare influențează semnificativ durata și viteza de dezghețare, care cresc cu 13-17% în cazul în care piesele au înghețat lent (cu cca. -1°C/min) față de situația înghețării rapide (cu -10°C/min). De asemenea, s-a stabilit că temperatura recomandată a fi aplicată în faza de încălzire inițială la uscarea lemnului înghețat de molid este de 30°C în locul valorii uzuale de 50°C , deoarece la această temperatură se obține o uscare mai uniformă, fără a se prelunge semnificativ durata de uscare.

Cuvinte cheie: lemn de molid; dinamica înghețării, înghețare rapidă; înghețare lentă; dinamica dezghețării.

INTRODUCERE

Prezenta lucrare face parte dintr-o cercetare mai amplă (Szmotku 2012a) care a vizat evaluarea efectelor înghețării apei în lemn asupra proprietăților lemnului de molid și asupra comportamentului său la uscare.

Studiul efectuat pentru determinarea influenței înghețării asupra proprietăților fizice și mecanice ale lemnului de molid a relevat faptul că anumite condiții

Abstract:

The article presents the results regarding the evolution of the temperature field in spruce wood (*Picea abies* L.) during freezing at two different freezing rates: -10°C/h (rapid freezing) and -1°C/h (slow freezing) and then during thawing at $+5^{\circ}\text{C}$, $+30^{\circ}\text{C}$, $+50^{\circ}\text{C}$ temperature.

This approach aimed at simulating the temperature variations which occur inside timber during open air storage in winter in two situations (sudden vs. gradual drop of temperature), and then when the timber enters the drying kiln, depending on the temperature applied in the initial heating phase.

The results clearly show that the freezing rate significantly influences the thawing time and speed, which increase by 13-17% in the case of slowly frozen wood (at -1°C/min) compared to rapidly frozen wood (at -10°C/min). It was also established that the optimum temperature in the heating-up phase when drying frozen spruce is 30°C instead of the usual 50°C . This value leads to much better drying uniformity without significantly prolonging the drying time.

Key words: spruce wood; freezing rate; rapid freezing; slow freezing; thawing rate.

INTRODUCTION

The present paper is part of a wider research (Szmotku 2012a), which envisaged the evaluation of the effects of water freezing inside wood upon the properties of spruce wood and upon its drying behaviour.

The study performed, concerning the influence of freezing upon the physical and mechanical properties of spruce wood, revealed that certain

* Autor corespondent / Corresponding author

de expunere a cherestelei în stare verde pe timp de iarnă în aer liber pot afecta semnificativ proprietățile lemnului. Proprietățile cele mai afectate sunt: stabilitatea dimensională a lemnului (coeficientul de anizotropie), rezistența la încovoiere statică, modulul de elasticitate la încovoiere statică, rezistența la compresiune paralelă și duritatea Janka.

Expunerea continuă a lemnului verde de molid la temperatura negativă de -25°C (înghețare rapidă cu o viteză de scădere a temperaturii de -10°C/h) timp de o săptămână afectează semnificativ numai stabilitatea dimensională a lemnului, coeficientul de anizotropie la lemnul înghețat fiind cu 29% mai mare decât la lemnul neînghețat; proprietățile mecanice nu sunt afectate semnificativ în acest caz, reducerile maxime înregistrate fiind de doar 5-6% (Szmotku ș.a. 2011a).

În schimb, înghețarea lentă la aceeași temperatură (-25°C), dar cu o viteză de scădere a temperaturii mai mică, de -1°C/h , a condus la reduceri semnificative ale tuturor proprietăților mecanice (cu 20-32%) (Szmotku ș.a. 2013).

Tratamentul ciclic de înghețare-dezghetare a condus la reducerea cu 15-30% a tuturor proprietăților mecanice analizate ale lemnului de molid (Szmotku ș.a. 2012b), ceea ce a arătat că în ierarhia factorilor de influență, viteza de înghețare este mai importantă decât expunerea la variații de temperatură pe termen relativ scurt (o săptămână).

Cele mai vizibile reduceri (cu 24-38%) au fost înregistrate în cazul expunerii lemnului la înghețare-dezghetare naturală timp de 3 luni de iarnă (Szmotku ș.a. 2011b), astfel conturându-se durata îndelungată la variații de temperatură din domeniul negativ în cel pozitiv și invers ca fiind condiția cea mai dăunătoare asupra integrității structurale a lemnului verde depozitat în aer liber pe timp de iarnă.

Studiile la nivel microscopic realizate prin tehnici moderne de imagistică (SEM), cu privire la integritatea structurii lemnului după înghețarea în diferite condiții, au confirmat rezultatele obținute cu privire la afectarea proprietăților (Szmotku ș.a. 2011c, Szmotku ș.a. 2011d, Szmotku ș.a. 2011e).

OBIECTIV

Obiectivul prezentei lucrări l-a constituit urmărirea evoluției câmpului de temperatură în centrul unor piese de cherestea pe parcursul unui proces de înghețare și de dezghetare în funcție de viteza de înghețare și temperatura de dezghetare aplicate, în vederea stabilirii influenței acestor factori asupra duratei de uscare a cherestelei din stare înghețată.

METODĂ, MATERIALE ȘI APARATURĂ

Materialul lemnos utilizat în cadrul prezentei cercetări a constat în piese de molid (*Picea abies* L.), cu dimensiuni de 500x150x24mm, cu un conținut inițial de umiditate de 82% debitate din același

freezing conditions are able to affect significantly the wood properties.

The most affected properties are: the dimensional stability (the anisotropy coefficient), the bending strength, MOE, the compressive strength parallel to the grain and the Janka hardness.

Continuous exposure of green spruce wood at a negative temperature of -25°C (rapid freezing with a temperature decreasing rate of -10°C/h) for one week affects significantly only the dimensional stability, the anisotropy coefficient for frozen wood being by 29% higher than that of nonfrozen wood; the mechanical properties were not affected significantly in this case, the maximum reductions being around 5-6% (Szmotku et al. 2011a).

Unlike this, slow freezing at the same temperature (-25°C), but with a lower temperature decreasing rate (-1°C/h), lead to a significant reduction of all mechanical properties (by 20-32%) (Szmotku et al. 2013).

The cyclic freezing and thawing lead to a reduction by 15-30% of all analyzed mechanical properties of spruce wood (Szmotku et al. 2012b). This showed that, in the hierarchy of influencing factors, the freezing speed is more important than the exposure to temperature variations over a relatively short period of time (1 week).

However, the most visible reductions (by 24-38%) were recorded with the exposure of wood to natural freezing and thawing during 3 winter months (Szmotku et al. 2011b). Thus, it became obvious that the long-term exposure to temperature variations from negative to positive and reverse is the most damaging condition for the structural integrity of green timber stored in open air during wintertime.

Studies at microscopic level performed by means of modern imaging techniques (SEM), regarding the structural integrity of wood after being frozen under different conditions, also confirmed these results (Szmotku et al. 2011c, Szmotku et al. 2011d, Szmotku et al. 2011e).

OBJECTIVE

The objective of this paper was to follow the evolution of the temperature field in the center of timber pieces during a freezing and a thawing process, depending on the freezing rate and the thawing temperature applied, in order to establish the influence of these factors upon the drying duration of wood from frozen state.

METHOD, MATERIAL AND EQUIPMENT

The material used within this study consisted of spruce (*Picea abies* L.) boards sized at 500x150x24mm, with an initial moisture content of 82%, cut from the same log.

buștean.

Piesele de probă au fost mai întâi înghețate la -25°C cu viteza de înghețare impusă (înghețare rapidă și lentă), după care au fost menținute timp de 3 zile la această temperatură negativă și apoi au fost supuse încălzirii până la dezghețarea totală (atingerea temperaturii de $+1^{\circ}\text{C}$ în centrul piesei).

Atât înghețarea, cât și dezghețarea au fost efectuate într-o cameră climatică FEUTRON tip KPK 3423-16.

S-au efectuat în total șase teste de înghețare-dezghețare, prin combinarea a două valori ale vitezei de înghețare ($-10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ și $-1^{\circ}\text{C}/\text{h}$) până la temperatura de -25°C cu trei valori ale temperaturii de dezghețare ($+5^{\circ}\text{C}$, $+30^{\circ}\text{C}$ și $+50^{\circ}\text{C}$).

Prin această abordare s-a urmărit simularea variațiilor de temperatură în lemn pe durata depozitării în aer liber pe timp de iarnă în două situații (când temperatura scade brusc și respectiv când scade treptat) și apoi la începutul uscării, în funcție de temperatura aplicată în faza de încălzire inițială (dezghețare naturală / încălzire treptată / încălzire bruscă).

Piesele de probă au fost găurite pe cant la jumătatea lungimii până în centrul piesei (până la jumătatea lățimii), în vederea introducerii senzorilor digitali de temperatură 1-Wire tip DS18B20, pentru măsurarea continuă a temperaturii în interiorul lemnului în timpul proceselor de înghețare și dezghețare (Fig. 1). Un al patrulea senzor de temperatură, identic, a fost amplasat în aer, pentru a măsura, în paralel, temperatura mediului.

The samples were first frozen down to -25°C at the imposed freezing rate (rapid and slow freezing). Hereinafter, they were maintained for 3 days at this negative temperature and then heated until complete thawing (until $+1^{\circ}\text{C}$ was reached in the piece center).

Both the freezing and the heating (thawing) were performed in a FEUTRON KPK 3423-16 climate chamber.

A total of six freezing&thawing tests were carried out, by combining two freezing rates ($-10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ and $-1^{\circ}\text{C}/\text{h}$) until -25°C , with three thawing temperatures ($+5^{\circ}\text{C}$, $+30^{\circ}\text{C}$ and $+50^{\circ}\text{C}$).

This approach aimed at simulating the temperature variations which occur inside timber during open air storage in winter in two situations (sudden vs. gradual drop of temperature), and then at the beginning of the drying process, depending on the temperature applied in the initial heating phase (natural thawing / gradual heating / sudden heating).

Holes were drilled on the edge of the timber pieces at half length to the center of the piece (half width), in order to introduce digital 1-Wire DS18B20 temperature sensors, to continuously measure the temperature inside wood during freezing and thawing (Fig. 1). An identical fourth sensor was placed inside the kiln, in order to measure at the same time the temperature of the treating medium.

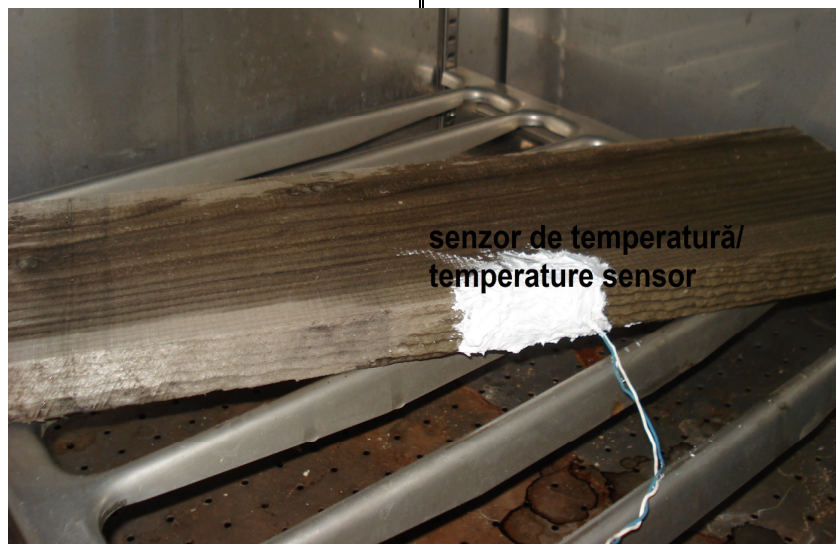


Fig. 1.

Amplasarea senzorului de temperatură în lemn / Placement of the temperature sensor inside wood.

Valorile temperaturii în lemn și în aer în timpul proceselor de înghețare și dezghețare au fost înregistrate automat cu ajutorul unui soft conceput în programul Borland Delphi și numit „Rețea de senzori

The temperature values inside wood and in air during the freezing and thawing processes were recorded automatically by using a special software, designed in the Borland Delphi program and called

pentru temperatură" (Popa 2012). Interfața programului este prezentată în Fig. 2.

"Temperature sensors network" (Popa 2012). The program's interface is presented in Fig. 2.

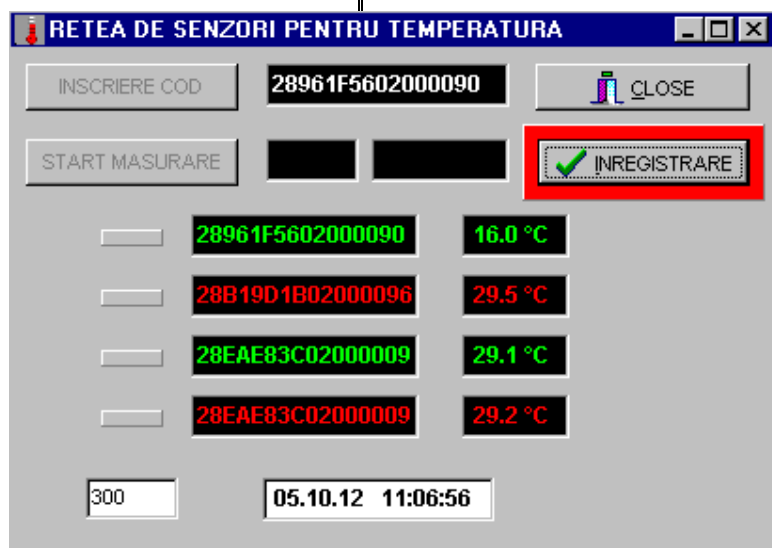


Fig. 2.

Interfața programului de citire și înregistrare a valorilor de temperatură / Program interface for the reading and recording of the temperature values.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

a) Înghețare rapidă și dezghețare la temperatura de +5°C

În Fig. 3 sunt prezentate curbele de variație a temperaturii în lemn și în aer în cadrul primului test: înghețare rapidă (viteza de scădere a temperaturii fiind de -10°C/h) până la atingerea în centrul piesei a temperaturii de -25°C, urmată de menținerea acesteia timp de 3 zile și apoi dezghețare într-un mediu de aer cu temperatura de +5°C (simulând dezghețarea naturală).

RESULTS AND DISCUSSIONS

a) Rapid freezing followed by thawing at +5°C temperature

Fig. 3 presents the temperature curves (inside wood and air) in the case of the first test: rapid freezing (by a -10°C/h temperature decreasing rate) until -25°C were reached in the center of the timber part, followed by the maintaining of this temperature for 3 days and then by thawing at +5°C air temperature (simulating thus natural thawing).

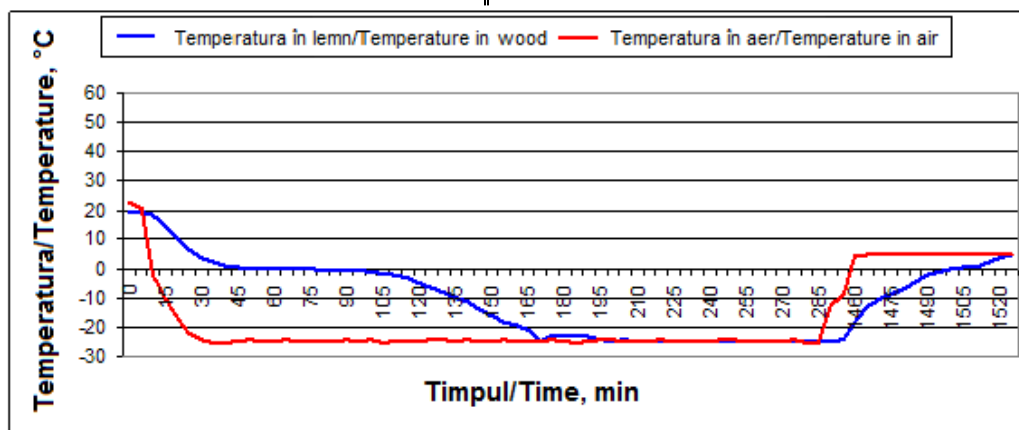


Fig. 3.

Variația temperaturii în lemn și în aer în timpul înghețării rapide și dezghețării la temperatura de +5°C / Variation of air temperature and temperature inside wood during rapid freezing and thawing at +5°C temperature.

Se poate observa că, proba a ajuns de la temperatura de 0°C la temperatura de -25°C în 200 minute. Viteza medie de scădere a temperaturii în timpul înghețării (după ce în centrul piesei a atins valoarea de 0°C) a fost de 7,8°C/h. Timpul de trecere de la temperatura de 0°C la temperatura de -1°C a fost 50 minute.

Dezghețarea probei de la temperatura de -25°C până la 0°C a durat 50 minute. Viteza medie de dezghețare (de la -25°C la +0,5°C în centrul piesei) a fost 0,52°C/min.

Durata totală a încălzirii, în care centrul piesei a ajuns de la 0°C la temperatura maximă (+5°C) a fost de 25 minute.

b) Înghețare lentă și dezghețare la temperatura de +5°C

Similar situației anterioare, Fig. 4 prezintă curbele de variație a temperaturii în lemn și în aer în cadrul celui de-al doilea test, diferența față de primul test constând doar în viteza de scădere a temperaturii aplicată în faza de înghețare, aceasta fiind mult mai mică, respectiv -1°C/h (valoare apropiată de cea frecvent întâlnită în realitate – pe durata depozitării în aer liber a cherestei pe timp de iarnă).

It can be noticed that, it took the sample 200 minutes to freeze from 0°C down to -25°C. The average temperature decreasing rate during the freezing process (after the center of the sample had reached 0°C) was 7,8°C/h. The time needed by the wood sample center to get from 0°C temperature to -1°C was 50 minutes.

The thawing of the sample from -25°C temperature to 0°C lasted 50 minutes. The average thawing rate (from -25°C to +0,5°C in the center of the sample) was 0,52°C/min.

The total heating time, during which the center of the sample raised its temperature from 0°C to the maximum temperature (+5°C) was 25 minutes.

b) Slow freezing followed by thawing at +5°C temperature

Similarly to the previous situation, Fig. 4 presents the temperature curves (inside wood and air) in the case of the second test. The difference compared to the first test is given only by the temperature decreasing rate applied, which was much lower this time: -1°C/h (a close value to those met in practice during the open-air storage of timber in wintertime).

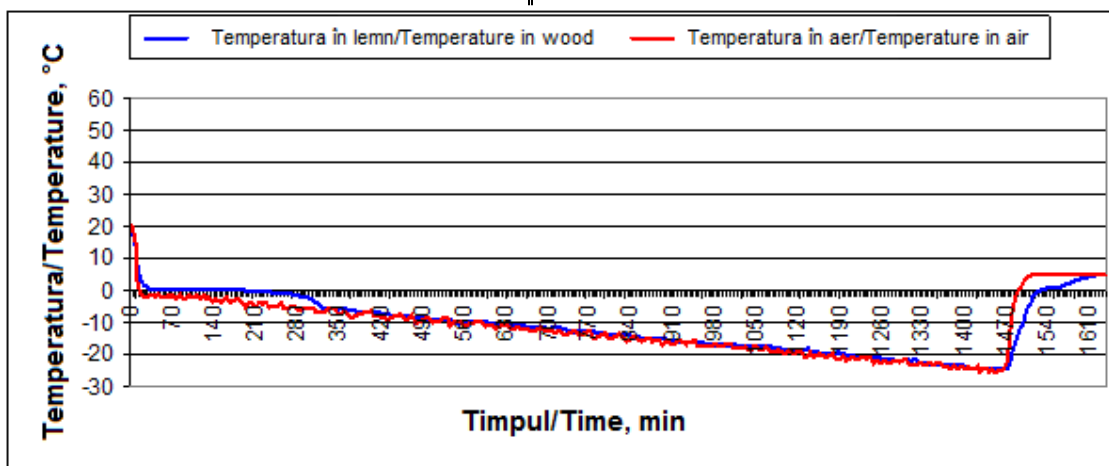


Fig. 4.

Variația temperaturii în lemn și în aer în timpul înghețării lente și dezghețării la temperatura de +5°C / Variation of air temperature and temperature inside wood during slow freezing and thawing at +5°C temperature.

Se poate observa că, proba a ajuns de la temperatura de 0°C la temperatura de -25°C în 1415 minute. Viteza medie de scădere a temperaturii în timpul înghețării lente (până ce centrul piesei a atins valoarea de 0°C) a fost de 1,1°C/h. Timpul de trecere de la temperatura de 0°C la temperatura de -1°C a fost 205 minute, de 4 ori mai îndelungat decât în cazul înghețării rapide.

Dezghețarea probei de la temperatura de -25°C până la 0°C a durat cu 10 minute mai mult decât în cazul înghețării rapide și anume 60 minute. Viteza

It can be noticed that, it took the sample 1415 minutes to freeze from 0°C down to -25°C. The average temperature decreasing rate during the freezing process (after the center of the sample had reached 0°C) was 1,1°C/h. The time needed by the wood sample center to get from 0°C temperature to -1°C was 205 minutes, 4 times longer than in the case of rapid freezing.

Thawing of the sample from -25°C to 0°C was by 10 minutes longer than in the first test, namely 60 minutes. The average thawing rate (from -25°C to

medie de dezghețare (de la -25°C la $+0,5^{\circ}\text{C}$ în centrul piesei) a fost $0,43^{\circ}\text{C}/\text{min}$, cu 17% mai mică decât în cazul piesei înghețate rapid.

Durata în care centrul piesei a ajuns de la 0°C la temperatura maximă ($+5^{\circ}\text{C}$) a fost de 110 minute, de 4,4 ori mai mare decât în cazul pieselor înghețate rapid, fapt pus pe seama dimensiunilor mai mari ale cristalelor de gheață care se formează la înghețarea lentă (Kopstad & Elgsaeter (1982)) și care necesită timp mai îndelungat pentru transformarea de fază.

c) Înghețare rapidă și lentă și dezghețare la temperatura de $+30^{\circ}\text{C}$

În Fig. 5 sunt prezentate curbele de variație a temperaturii în lemn și în aer în cadrul celui de-al treilea test, identic cu primul în faza de înghețare (înghețare rapidă), dar urmat de o dezghețare la temperatura de $+30^{\circ}\text{C}$ (simulând astfel o dezghețare blândă în cadrul fazei de încălzire inițială a procesului de uscare artificială).

Asemănător, testul al patrulea a coincis cu testul al doilea în faza de înghețare (înghețare lentă), după care dezghețarea s-a efectuat la $+30^{\circ}\text{C}$. Rezultatele sunt prezentate în Fig. 6.

Prin această abordare s-a urmărit pe de-o parte compararea duratelor de dezghețare sub influența creșterii temperaturii aplicate și pe de altă parte, compararea duratelor de dezghețare în funcție de viteza de înghețare.

$+0,5^{\circ}\text{C}$ in the center of the sample) was $0,43^{\circ}\text{C}/\text{h}$, by 17% lower than in the case of the rapidly frozen samples.

The total heating time, during which the center of the sample raised its temperature from 0°C to the maximum temperature ($+5^{\circ}\text{C}$) was 110 minutes, being thus 4.4 times longer than in the case of the rapidly frozen samples. This delay is attributed to the larger size of the ice crystals formed during slow freezing (Kopstad & Elgsaeter (1982)) which need a longer time for the phase transformation.

c) Rapid and slow freezing followed by thawing at $+30^{\circ}\text{C}$ temperature

Fig. 5 presents the temperature curves (inside wood and air) in the case of the third test, identical to the first one in the freezing phase (rapid freezing), but followed by thawing at $+30^{\circ}\text{C}$ air temperature (simulating thus a mild thawing during the initial heating phase of the kiln-drying process).

Similarly, the fourth test was identical to the second one in the freezing phase (slow freezing), after which the thawing occurred during the heating at $+30^{\circ}\text{C}$. the results are presented in Fig. 6.

Through this approach, the authors pursued first of all to compare the thawing times as function of temperature, but also to see if the freezing rate makes a difference in the thawing time or not.

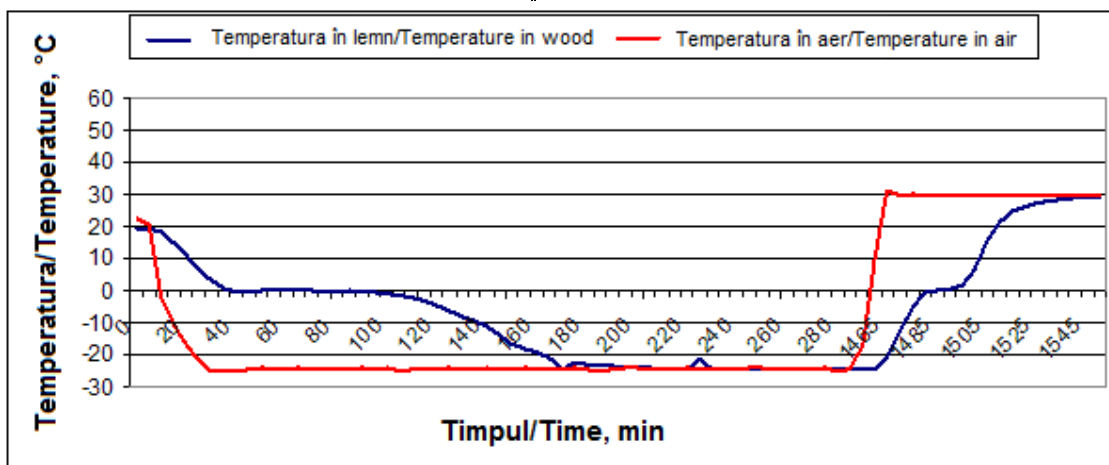


Fig. 5.

Variația temperaturii în aer și în lemn în timpul înghețării rapide și dezghețării la temperatura de $+30^{\circ}\text{C}$ / Evolution of air temperature and temperature inside wood during rapid freezing and thawing at $+30^{\circ}\text{C}$ temperature.

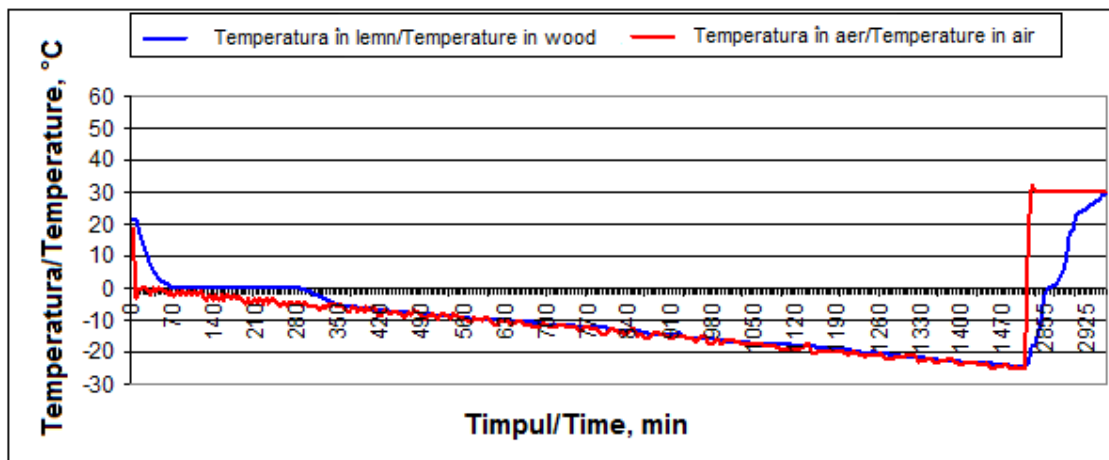


Fig. 6.

Variația temperaturii în aer și în lemn în timpul înghețării lente și dezghețării la temperatura de +30°C / Evolution of air temperature and temperature inside wood during slow freezing and thawing at +30°C temperature.

S-a observat că, în ambele cazuri (atât la piesele înghețate rapid, cât și la cele înghețate lent), temperatura mai mare (+30°C) a determinat creșterea vitezei de dezghețare cu cca. 30% față de cazul dezghețării “naturale” (la +5°C).

Referitor la influența vitezei de înghețare asupra vitezei de dezghețare, dacă în cazul încălzirii la +5°C viteza de dezghețare a fost cu 17% mai mică la piesele înghețate lent, în cazul temperaturii de +30°C, procentajul de scădere a fost ceva mai mic: cu 12%, respectiv influența vitezei de înghețare a fost mai puțin evidentă.

Și compararea duartelor de încălzire de la 0°C la temperatura maximă (+30°C) în cele două cazuri (piese înghețate rapid vs. piese înghețate lent) a confirmat această tendință de reducere a influenței vitezei de înghețare, durata de încălzire la piesele înghețate lent fiind doar de 1,46 ori mai mare decât la cele înghețate rapid (față de raportul de 4,4 înregistrat în testele la +5°C).

d) Înghețarea rapidă și lentă și dezghețare la temperatura de +50°C

În Fig. 7 sunt prezentate curbele de variație a temperaturii în cazul înghețării rapide până la temperatura de -25°C, urmată de dezghețare la temperatura de +50°C (simulând o dezghețare agresivă în cadrul fazei de încălzire inițială a procesului de uscare artificială).

Fig. 8 prezintă graficul înregistrat la ultimul test, cu înghețare lentă și dezghețare la +50°C.

It was noticed that in both cases (both for the rapidly and slowly frozen samples), the higher temperature (+30°C) determined the increase by ca. 30% of the thawing speed compared to the case of the “natural” thawing (at +5°C).

As far as the influence of the freezing rate upon the thawing rate is concerned, at +30°C, the influence was less evident than at +5°C: the thawing rate after slow freezing was by only 12% lower than after rapid freezing (compared to a decrease by 17% at +5°C).

By comparing the heating durations from 0°C to maximum temperature (+30°C) for the rapidly frozen vs. the slowly frozen samples, the slighter influence of the freezing rate was again noticed: the heating duration of the slowly frozen samples was by only 1,46 times longer than for the rapidly frozen samples (compared to the 4,4 ratio obtained at +5°C).

d) Rapid and slow freezing followed by thawing at +50°C temperature

Fig. 7 presents the temperature variation curves in case of rapid freezing to -25°C, followed by thawing at +50°C temperature (simulating thus an aggressive thawing during the initial heating phase of the kiln-drying process).

Fig. 8 shows the graph recorded at the last test, with slow freezing, followed by thawing at +50°C.

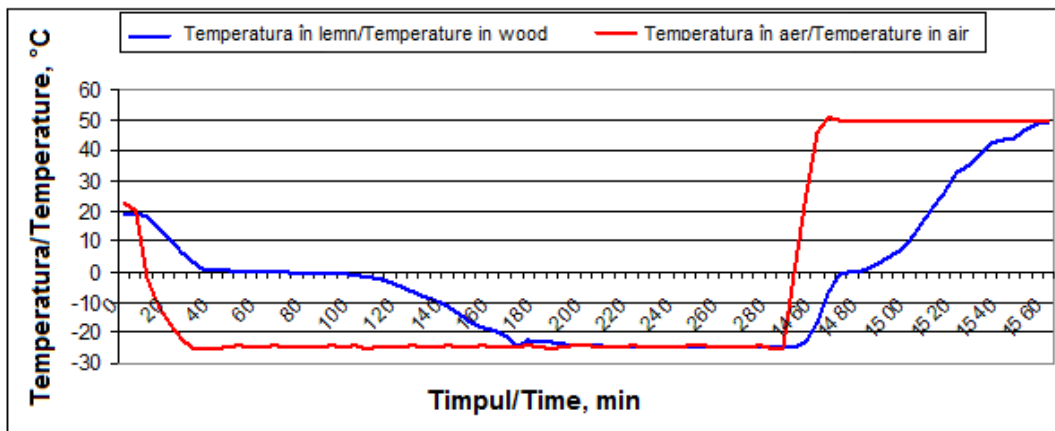


Fig. 7.

Variația temperaturii în aer și în lemn în timpul înghețării rapide și dezghețării la temperatura de +50°C / Evolution of air temperature and temperature inside wood during rapid freezing and thawing at +50°C temperature.

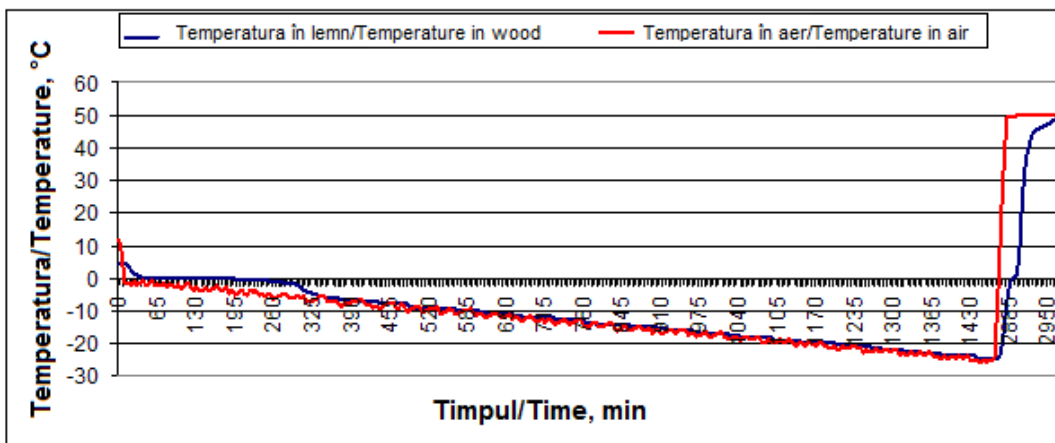


Fig. 8.

Variația temperaturii în aer și în lemn în timpul înghețării lente și dezghețării la temperatura de +50°C / Variation of air temperature and temperature inside wood during slow freezing and thawing at +50°C temperature.

Măsurătorile efectuate arată că proba înghețată rapid s-a dezghețat în 30 de minute (Fig. 7), iar cea înghețată lent în 35 de minute. Viteza medie de dezghețare (de la -25°C la +0,5°C în centrul piesei) a fost de 0,86°C/min la piese înghețată rapid, respectiv 0,74°C/min la cea înghețată lent. Astfel, raportul vitezelor de dezghețare înregistrate sub influența vitezelor de înghețare diferite este de 1,16, comparabil cu cel obținut la testele 1 și 2.

e) Sinteza rezultatelor

Rezultatele obținute în urma celor șase teste sunt sintetizate în Tabelul 1.

Referitor la durata și viteza de înghețare, rezultatele tuturor celor trei teste cu condiții identice au coincis, confirmând precizia corespunzătoare a echipamentului de măsurare adoptat.

The measurements showed that the rapidly frozen sample was thawed in 30 minutes (Fig. 7), while the slowly frozen sample thawed in 35 minutes. The average thawing rate (from -25°C to +0,5°C in the piece center) was 0,86°C/min with the rapidly frozen sample and 0,74°C/min with the slowly frozen one. Thus, the ratio of the thawing rates under the influence of the different freezing speeds was 1,16, a similar value to the one obtained after tests 1 and 2.

e) Overall results

The results obtained from the six tests are synthesized in Table 1.

Regarding the freezing duration and freezing rate, the results of all three tests with identical conditions were very close, confirming thus the accuracy of the measuring equipment employed.

Astfel:

- la toate cele trei teste de înghețare rapidă (1, 3 și 5) durata de înghețare a fost de 200 minute și viteza de înghețare a fost de 7,8⁰C/min;
- la toate cele trei teste de înghețare lentă (2, 4 și 6) durata de înghețare medie a fost de 1415 minute, corespunzătoare unei viteze de înghețare de 1,1⁰C/min.

Thus,

- in all three rapid freezing tests (1, 3 and 5), the freezing duration lasted 200 minutes and the freezing speed was 7,8⁰C/min;
- in all three slow freezing tests (2, 4 and 6), the freezing duration lasted around 1415 minutes, corresponding to a freezing speed of 1,1⁰C/min.

Tabelul 1 / Table 1

Valorile obținute la cele șase teste / The obtained values by the six tests

Tratament/Treatment	Durata de înghețare/ Freezing time min	Viteza de înghețare/ Freezing rate ⁰ C/h	Timpul de trecere de la 0 ⁰ C la -1 ⁰ C/ Time from 0 ⁰ C to -1 ⁰ C min	Durata de dezghețare/ Thawing time min	Viteza de dezghețare/ Thawing rate ⁰ C/min
Înghețare rapidă + dezghețare la +5 ⁰ C /Rapid freezing + thawing at +5 ⁰ C	200	7.8	50	50	0.52
Înghețare lentă + dezghețare la +5 ⁰ C /Slow freezing + thawing at +5 ⁰ C	1415	1.1	205	60	0.43
Înghețare rapidă + dezghețare la +30 ⁰ C /Rapid freezing + thawing at +30 ⁰ C	215	7.2	65	35	0.74
Înghețare lentă + dezghețare la +30 ⁰ C /Slow freezing + thawing at +30 ⁰ C	1420	1.0	225	40	0.65
Înghețare rapidă + dezghețare la +50 ⁰ C / Rapid freezing + thawing at +50 ⁰ C	200	7.8	50	30	0.86
Înghețare lentă + dezghețare la +50 ⁰ C / Slow freezing + thawing at +50 ⁰ C	1410	1.1	215	35	0.74

Comparând valorile obținute la probele înghețate rapid cu cele înghețate lent, se observă că durata de dezghețare este influențată semnificativ de viteza de înghețare, fiind cu 13-17% în cazul pieselor înghețate lent față de cele înghețate rapid. Acest rezultat trebuie pus pe seama dimensiunilor mai mari ale cristalelor de gheață care se formează la înghețarea lentă și care necesită timp mai îndelungat pentru transformarea de fază.

Graficul din Fig. 9 poate servi la determinarea duratei de dezghețare a cherestei de molid cu grosimea de 24mm, adică a acelei durate care prelungește de fapt durata de uscare (pe timp de iarnă) a sortimentelor înghețate față de cele neînghețate, în funcție de temperatura aplicată în instalația de uscare în faza de încălzire inițială.

By comparing the values obtained with the rapidly frozen samples with the slowly frozen ones, it can be noticed that the thawing time is significantly influenced by the freezing rate, being by 13-17% longer in the case of the slowly frozen samples. This result must be attributed to the larger size of the ice crystals formed during slow freezing, which need a longer time for the phase transformation.

The graph in Fig. 9 can be used to determine the thawing time of 24mm thick spruce timber, respectively that time which increases the drying time in winter, in the case of frozen grades compared to unfrozen ones, depending on the temperature applied during the initial heating phase of the kiln-drying process.

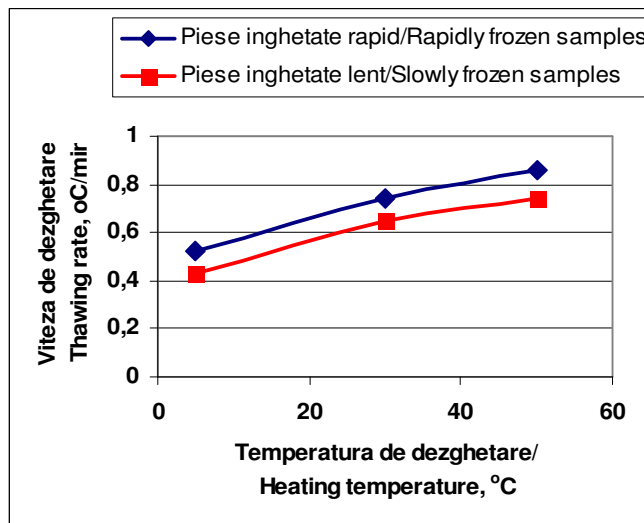


Fig. 9.

Viteza de dezghețare la diferite temperaturi în funcție de viteza de înghețare / Thawing speed at different temperature depending on the freezing speed.

CONCLUZII

Studiul privind evoluția câmpului de temperatură în lemn în timpul proceselor de înghețare și dezghețare, arată că durata de dezghețare și viteza de dezghețare sunt influențate semnificativ de viteza de înghețare. Rezultatele obținute arată o prelungire cu 13-17% a timpului de încălzire (dezghețare) în cazul pieselor înghețate lent.

În ceea ce privește importanța temperaturii aplicate în faza de încălzire, durata de dezghețare este de 1,4-1,5 ori mai mică în cazul aplicării temperaturii de 30°C față de dezghețarea naturală și nesemnificativ (de numai 1,15 ori mai mică) în cazul utilizării temperaturii de 50°C față de cea de 30°C. Cercetări realizate de Szmotku (2012a) privind calitatea uscării în funcție de temperatura utilizată în faza de încălzire a procesului de uscare au arătat că, la 50°C distribuția umidității finale pe grosimea piesei este mult mai neuniformă (în medie, ±4% comparativ cu ±1,5%), iar gradul de cementare este mai mare (2-3mm, față de 0-1mm) în cazul aplicării temperaturii de 50°C față de cea de 30°C. Chiar dacă diferențele nu sunt mari, corelarea rezultatelor privind durata și calitatea uscării, recomandă aplicarea temperaturii de 30°C în faza de încălzire la uscarea cherestelei înghețate, pentru a obține o calitate mai bună, prelungirea duratei de uscare fiind nesemnificativă.

MULȚUMIRI

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

The study regarding the evolution of the temperature field inside wood during the freezing and thawing processes, shows that the thawing time and the thawing rate are significantly influenced by the freezing rate. The results show an increase by 13-17% of the heating (thawing) time in case of slowly frozen samples compared to the rapidly frozen ones.

As far as the influence of the temperature applied during the heating phase is concerned, the thawing time is 1,4-1,5 times lower when heating at 30°C compared to natural defrosting. The increase of temperature from 30°C to 50°C leads to an insignificant (1,15 times) lowering of the thawing time. Studies performed by Szmotku (2012a) regarding the drying quality as function of the temperature applied in the initial heating phase of the kiln-drying process showed a much more uneven distribution of the final moisture content within the samples (average, ±4% compared to ±1,5%) and a higher casehardening degree (2-3mm compared to 0-1mm) when using 50°C as heating temperature compared to the situation when using 30°C. Even if the differences are not significant, when correlating the results concerning drying time and drying quality, it becomes obvious that the recommended temperature during the heating-up phase when drying frozen timber should not exceed 30°C, because at this value better quality with no significant prolongation of drying time is obtained.

ACKNOWLEDGEMENT

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

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

Popa V (2012) Automatizări în industria lemnului (Automation in Wood Industry). Vol. I., Editura Universității Transilvania din Brașov, ISBN 978-606-19-0116-6 gen. (978-606-19-0117-3 vol.I), 65-70.

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

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

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

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

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

Szmutku MB (2012a) Cercetări privind efectele înghețării apei în lemn asupra unor proprietăți fizico-mecanice ale lemnului de molid și asupra comportamentului său la uscare (Researches regarding the effects of water freezing inside wood upon some physical and mechanical properties of spruce wood and its drying behaviour). Teză de doctorat (Doctoral thesis), Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Ingineria Lemnului.

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

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