

INFLUENȚA ÎNGHEȚĂRII ASUPRA PROPRIETĂȚILOR LEMNULUI DE MOLID

INFLUENCE OF FREEZING 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

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

Codrin CODREAN

Assist.eng. – TRANSILVANIA University of Brasov, Faculty of Silviculture and Forest Engineering

Adresa/Address: B-dul Eroilor 29, 500036 Braşov, Romania

E-mail: c.codreanu@unitbv.ro

Rezumat:

Articolul prezintă rezultatele obținute cu privire la câteva proprietăți fizice și mecanice selectate ale lemnului de molid (*Picea abies* L.), esențiale pentru utilizarea acestuia în construcții, respectiv: densitatea în stare anhidră, coeficientul de anizotropie a contragerii, rezistența lemnului la încovoiere statică, modulul de elasticitate la încovoiere statică, rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre, rezistența la compresiune paralelă cu fibrele și rezistența la smulgerea cuielei, determinate conform standardelor în vigoare pe epruvete provenite din același buștean.

Bușteanul a fost împărțit în două părți egale în lungul planului central longitudinal, dintr-o parte fiind debitate piese care au fost supuse unui proces de înghețare la -25°C timp de o săptămână, iar din cealaltă parte fiind debitate piesele pentru epruvetele-martor (neînghețate). Toate piesele au fost uscate și condiționate la umiditatea de 12%, după care s-au debitat epruvete pentru încercările fizico-mecanice.

În urma prelucrării statistice a datelor experimentale cu ajutorul unui program special adaptat de prelucrare a datelor monofactoriale, s-au verificat caracterul aleator, normalitatea repartiției și principalii parametri statistici în vederea comparării valorilor obținute pentru lemnul care a suferit înghețare față de cel neînghețat.

Cuvinte cheie: lemn de molid; lemn înghețat; lemn pentru construcții; proprietăți fizice; proprietăți mecanice; prelucrare statistică a datelor.

INTRODUCERE

În timpul iernii, apa din interiorul lemnului depozitat în aer liber îngheață. Cividini (2001) precizează că la temperaturi de până la -30°C îngheață doar apa liberă din lemn (localizată în lumenul celulelor). La temperaturi mai scăzute îngheață și o parte din apa legată dacă durata de expunere este suficient de îndelungată (Kärenlampi ș.a. 2005).

Abstract:

The paper presents the results concerning some physical and mechanical properties of spruce wood (*Picea abies* L.), used as construction material, respectively: oven-dry density, shrinkage anisotropy coefficient, static bending strength and MOE, tensile strength perpendicular to the grain, compression strength parallel to the grain and the nails withdrawal resistance, all being determined according to the standards in force by means of samples cut from the same log.

The log was divided into two halves along the central longitudinal symmetry plane. The test pieces resulted from one half were frozen at -25°C for one week and the ones resulted from the second half were used for the witness-samples (these were not frozen). All test pieces were dried and conditioned at 12% moisture content. Hereinafter, standard samples for physical and mechanical tests were cut and tested.

The recorded values were statistically processed by means of a special adapted computer program for processing monofactorial experimental data. Thus, the randomness and normal repartition were verified, and the main statistical parameters were calculated, in order to compare the means of the different properties for previously frozen and unfrozen wood.

Key words: spruce wood; frozen wood; construction wood; physical properties; mechanical properties; statistical data processing.

INTRODUCTION

In winter, water inside wood stored in open air freezes. Cividini (2001) states that at temperatures higher than -30°C only free water (situated inside the cell lumina) freezes. At lower temperatures, a certain amount of bound water freezes as well, if the freezing duration is long enough (Kärenlampi et al. 2005).

Although there are not many studies on the effects

Deși studiile asupra efectelor înghețării apei în lemn nu sunt foarte numeroase, 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 unei sublimări) și revenirea la stare lichidă (în urma dezghețării) influențează proprietățile lemnului.

Întrucât obiectul prezentei cercetări îl constituie influența înghețării apei în lemn asupra proprietăților lemnului în utilizare (după uscarea), sunt detaliate în continuare doar referințele bibliografice cu privire la modificarea proprietăților lemnului care a fost înghețat, nu și rezultatele obținute de diverși cercetători prin testarea proprietăților lemnului în stare înghețată.

Primele studii asupra influenței înghețării asupra proprietăților fizice ale lemnului s-au efectuat în anii '60 și au vizat în principal posibilitatea de reducere a contragerii și colapsului aplicând uscarea în vid prin înghețare și sublimare (Erickson ș.a.1968, Kelsey 1963, Kübler ș.a 1962). Și studii mai recente (Ilic 1995) confirmă că înghețarea este o metodă eficientă de pretratare atât la uscarea foioaselor, cât și a rășinoaselor din regiunile temperate și tropicale pentru reducerea contragerii, colapsului și deformațiilor, determinând totodată reducerea duratei de uscare. Explicația (Ilic 1995) rezidă în efectul de pre-comprimare a pereților celulari în faza de înghețare, prin transformarea în gheață a apei din lumenul celulelor (mai ales la umidități inițiale mari ale lemnului, când lumenele sunt aproape pline). Acțiunea de "stoarcere" exercitată de lumenele dilatate asupra pereților celulari are drept efect și ruperea unor legături între apa legată și substanța lemnoasă, care determină migrarea unei părți din apa legată în lumenul celulelor. În timpul dezghețării, aceasta nu se mai întoarce în peretele celular, ci rămâne "liberă" și deci mai ușor de eliminat.

Studii efectuate de Câmpean ș.a. (2007) arată că procesul de înghețare este însoțit și de o pierdere de masă (umiditate) evidentă numai în domeniul apei libere. Testele efectuate cu lemn de brad cu umiditate inițială de 69% au condus la scăderea cu 5% a umidității după înghețarea la -30°C timp de 20h.

Referitor la efectele înghețării asupra proprietăților mecanice ale lemnului, revenind la presiunea exercitată de lumenele dilatate asupra pereților celulari în timpul înghețării, este foarte probabil ca aceasta să producă microfisuri în membrana celulară (Ilic 1995). Amplificate de tensiunile generate de procesele ulterioare de dezghețare forțată și uscare artificială, este îndreptățită temerea că acestea s-ar dezvolta, conducând la scăderea rezistențelor mecanice ale lemnului. Din păcate, în acest domeniu, literatura de specialitate nu oferă date decât asupra proprietăților mecanice ale lemnului în stare înghețată comparativ cu starea neînghețată la aceeași umiditate (Bodig și Jayne 2007, Green 1999, Mishiro 1990), astfel încât aspectul influenței înghețării apei în lemn asupra

of water freezing inside wood, it is a known fact that the state change of water from liquid to solid, then sometimes to gaseous (if sublimation occurs) and again to liquid (through thawing) influences the properties of wood.

Because the present study concerns the evaluation of the freezing influence upon the properties of wood in use (after drying), only references regarding the properties modification of wood which was subject to freezing will be detailed as follows, not also results obtained by different researchers by testing the properties of wood in frozen state.

The first studies concerning the influence of freezing upon the physical properties of wood were carried out in the '60s and they mainly envisaged the possibility to reduce shrinkage and collapse by freeze drying under vacuum conditions (Erickson et al. 1968, Kelsey 1963, Kübler et al. 1962). A more recent work (Ilic 1995) confirms that freezing is an efficient treatment method prior to drying, both for hardwoods and resinous woods from temperate and tropical regions, capable of reducing shrinkage, collapse and warp, and also of reducing the drying time. As explained by Ilic (1995), these would be due to the pre-compression effect of the cell walls during freezing, when the water transformation into ice inside the cell lumina is accompanied by a volume increase (especially with high initial moisture contents of wood, when the lumina are almost filled). This "squeezeing" action of the expanding cell lumina upon the cell walls also determines the break of some bonds between the liquid bound water and the wooden substance. This determines the migration of a certain amount of bound water into the cell lumen. During thawing, this amount of water will not go back into the cell wall, but it will remain "free" and thus easier to eliminate.

Studies performed by Câmpean et al. (2007) show that the freezing process is also accompanied by a mass (moisture) loss, evidenced only in the range of free water. The tests carried out with fir wood with an initial moisture content of 69% lead to the decrease by 5% of the moisture content after freezing at -30°C for 20h.

As far as the effects of freezing upon the mechanical properties of wood are concerned, going back to the pressure exerted by the expanding lumina upon the cell walls, it is most likely that this also generates microfissures in the cell membrane (Ilic 1995). Amplified by stresses generated by up-following processes, like forced thawing and artificial drying, these microfissures might evolve and produce a reduction of the mechanical strengths of wood.

Unfortunately, reference literature provides only results obtained on the mechanical properties of wood in frozen state compared to wood in unfrozen state at the same moisture content (Bodig and Jayne 2007, Green 1999, Mishiro 1990).

The influence of freezing upon the mechanical properties of wood after drying were studied only within a preliminary research carried out by Câmpean et al.

proprietăților mecanice ale lemnului după uscare constituie un domeniu explorat până în prezent numai în cadrul unor cercetări preliminare efectuate de Câmpăan ș.a. (2008) cu lemn de molid, dar care trebuie aprofundat.

OBIECTIVE

Studiul prezentat în această lucrare face parte dintr-o cercetare mai amplă, care vizează evaluarea influenței înghețării apei în lemn în piese de cherestea (pe timpul depozitării înainte de uscare) asupra proprietăților fizice și mecanice ale lemnului în utilizare (după uscare). Este vizată experimentarea a diferite condiții de înghețare și dezghețare (naturală/artificială, continuă/ciclică, bruscă/lentă) pentru a evalua comparativ efectele asupra proprietăților și a stabili condiții optime de încălzire/uscare pentru lemnul care a suferit una dintre aceste situații de înghețare pe timpul depozitării.

Lucrarea de față prezintă rezultatele obținute în urma primului test de înghețare continuă timp de o săptămână la temperatura de -25°C .

Utilizarea unui program performant de prelucrare statistică a datelor experimentale monofactoriale (Laurenzi 2010, 2011) a permis prelucrarea în timp relativ scurt a unui număr foarte mare de date, facilitând, pentru un număr de șapte proprietăți fizico-mecanice selectate, compararea valorilor obținute pentru lemnul care a suferit înghețare față de cel neînghețat.

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, conform schemei din Fig. 1.

(2008) with spruce wood, but which must be deepened.

OBJECTIVES

The present study is part of a wider research which envisages the evaluation of the influence of water freezing inside sawn wood (during open air storage before drying) upon the physical and mechanical properties of wood in use (after drying). The testing of different freezing and thawing conditions is envisaged (natural/artificial, continuous/cyclic, sudden/slow) in order to comparatively evaluate the results and to establish optimum heating and drying conditions for wood which suffered one of these freezing conditions during the open-yard storage.

This paper presents the results obtained within the first test, which was characterised by continuous freezing at -25°C for one week.

A performant program for statistical processing of monofactorial experimental data (Laurenzi 2010, 2011), enhanced the relatively rapid processing of a very large number of data. Thus, it was possible to obtain and compare the results for seven selected properties obtained for previously frozen and unfrozen wood.

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, according to the scheme presented in Fig. 1.

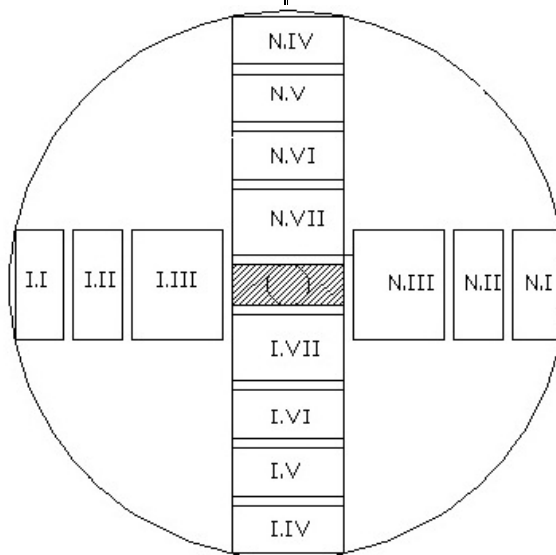


Fig. 1.

Schema de debitare a bușteanului / Log division scheme.

Jumătate din piese (cele notate cu I în Fig. 1) au fost supuse înghețării la temperatura de -25°C, timp de 1 săptămână, în camera climatică FEUTRON tip 3423-16; cealaltă jumătate a pieselor (notate cu N) s-au păstrat neînghețate, ca epruvete martor.

Atât piesele înghețate, cât și cele neînghețate au fost supuse apoi uscării și condiționării în camera climatică la umiditatea finală de 12%. Regimul de uscare aplicat este prezentat în Tabelul 1.

Half of the boards (the ones noted with I in Fig. 1) were frozen at -25°C for one week in a FEUTRON type 3423-16 climate chamber, while the other half of boards (noted with N) were kept unfrozen, as witness.

Hereinafter, both the frozen and unfrozen boards were dried and conditioned in the climatic chamber down to a moisture content of 12%. The drying schedule is presented in Table 1.

Tabelul 1 / Table 1

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

Faza/Phase	Temperatura/ Temperature, °C	Umiditatea relativă a aerului/ Relative air humidity, %	Durata/ Duration, h
Încălzire inițială (și dezghețare) / Initial heating (and thawing)	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:

- 100 epruvete cu dimensiunile 20x20x20mm pentru determinarea densității în stare anhidră și a coeficienților de contragere;
- 80 epruvete cu dimensiunile 300x20x20mm pentru determinarea rezistenței la încovoiere statică și modulului de elasticitate la încovoiere statică;
- 132 epruvete cu dimensiunile 70x20x20mm pentru determinarea rezistenței la tracțiune perpendicular pe fibre în direcția radială și tangențială;
- 70 epruvete cu dimensiunile 60x20x20mm pentru determinarea rezistenței la compresiune paralelă cu fibrele;
- 36 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).

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 20 fișiere de lucru. Rularea programului permite pentru fiecare set de valori identificarea valorilor afectate de erori aberante (testul

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

- 100 samples with 20x20x20mm for the determination of the oven-dry density and of the shrinkage coefficients;
- 80 samples with 300x20x20mm for the determination of the static bending strength and MOE;
- 132 samples with 70x20x20mm for the determination of the tensile strength perpendicular to the grain in radial and tangential direction;
- 70 samples with 60x20x20mm for the determination of the compression strength parallel to the grain;
- 36 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).

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 20 data files. By running it, the program allows identifying the data corrupted by aberrant errors (Chauvenet test), verifying the randomness (Young test), verifying the normality of data repartition (Hisquare test, Massey test and Shapiro-Wilk test), displaying the Gauss curve, calculating and displaying

Chauvenet), determinarea caracterului aleator (testul Young), verificarea normalității distribuției valorilor (testul Hisquare, testul Massey și testul Shapiro-Wilk), afișarea curbei lui Gauss, calcularea și afișarea unei liste cu valorile principalilor parametri statistici (media, mediana, dispersia, abaterea medie pătratică, coeficientul de variație, asimetria și excesul), afișarea unui raport statistic final, cu atestarea distribuției normale a valorilor și rezoluția „Accepta” (în cazul în care repartitia nu ar fi normală, raportul ar da rezoluția „Respinge”). În Fig. 2 este prezentat, un exemplu al modului în care s-au obținut rezultatele prelucrării statistice pentru fiecare parametru.

Pe baza valorilor măsurate conform ISO 2602 – 2:1980, s-a mai calculat limita inferioară a intervalului de confidență ($L_{5\%}^q$), care este un indicator important pentru compararea cu valoarea admisibilă a unui parametru dat.

După stabilirea normalității repartitiei valorilor, aplicând Testul t (Petersen 1991), s-au comparat mediile obținute pentru epruvetele care au fost înghețate față de epruvetele martor, pentru a se stabili dacă există sau nu diferențe statistice semnificative, la un nivel de semnificație ales de 95%.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

În Tabelele 2 și 3 sunt sintetizate valorile mediei, abaterii medii pătratice și ale limitei inferioare pentru fiecare parametru, pentru lemnul care a suferit înghețare (Tabelul 2) și respectiv pentru epruvetele martor neînghețate (Tabelul 3).

Tabelul 4 prezintă rezultatele testului t privind diferențele statistice semnificative - S - sau nesemnificative - N - între mediile obținute pentru lemnul înghețat comparativ cu cel neînghețat.

Analizând și comparând valorile obținute pentru epruvetele care au suferit înghețare cu cele neînghețate, se pot formula următoarele concluzii:

- densitatea în stare absolut uscată nu este influențată semnificativ de înghețarea artificială, valoarea medie obținută la lemnul neînghețat fiind mai mare cu numai 1,5% decât cea obținută la lemnul înghețat;
- stabilitatea dimensională a lemnului care a suferit înghețare este mult mai mică, valoarea coeficientului de anizotropie la lemnul înghețat fiind cu 29% mai mare decât cel al lemnului neînghețat;
- rezistența la încovoiere statică a scăzut prin înghețare, valoarea ei fiind cu 5% mai mică decât la lemnul neînghețat;
- valoarea modulului de elasticitate la încovoiere statică nu este influențată semnificativ de expunerea la temperatura negativă de -25°C ; conform rezultatelor obținute, modulul de elasticitate al lemnului care a suferit înghețare este cu numai 2% mai mică decât cea obținută la lemnul neînghețat;
- rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre în direcție radială nu a fost influențată semnificativ de înghețare, iar în direcția tangențială a scăzut cu 6% prin înghețare;

a list of the main statistical parameters (mean, median, variance, standard deviation, coefficient of variation, skewness and kurtosis), displaying a final statistical report, which ascertains the normal repartition and gives the resolution „Accept” (if the data repartition should not be normal, then the resolution would be „Reject”). Fig. 2 presents an example of the way in which the results of the statistical processing for each individual parameter were obtained.

Based on the measured values according to ISO 2602 – 2:1980, the confidence lower limit was calculated ($L_{5\%}^q$), which is an important indicator for the comparison with the admissible value of a certain parameter.

After establishing the normality of data repartition, the t-Test (Petersen 1991) was applied, in order to establish if there are statistically significant differences between the means obtained for frozen and unfrozen wood. The significance level adopted within this evaluation was 95%.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Tables 2 - 3 present in a synthetic manner the means, standard deviation values and the lower limit values obtained for each parameter, for previously frozen (Table 2) and respectively unfrozen (Table 3) wood.

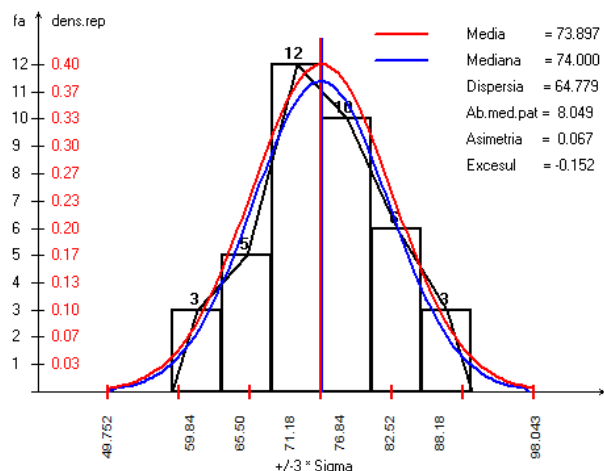
Table 4 presents the results of the t-Test regarding the statistically significant – S – or not significant – N - difference between the means obtained for frozen wood compared to unfrozen wood.

By analysing and by comparing the values obtained for the previously frozen and unfrozen samples, the following conclusions can be drawn:

- the oven dry density is not significantly influenced by freezing, the mean value obtained for nonfrozen wood being by only 1.5% higher than the one obtained for frozen wood;
- the dimensional stability of frozen wood is much lower, the value of the anisotropy coefficient for frozen wood being by 29% higher than for nonfrozen wood;
- the static bending strength decreased through freezing, its value being by 5% lower than for nonfrozen wood;
- the value of MOE is not significantly influenced by the exposure to the negative temperature; according to the obtained results, the value of MOE for frozen wood is by only 2% lower than the one obtained for nonfrozen wood;
- the tensile strength perpendicular to the grain in radial direction was not significantly influenced by freezing, and in tangential direction it increased by 6% through freezing;

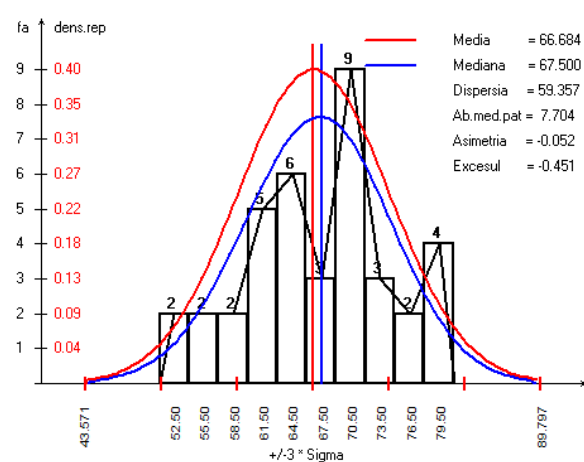
Nr de masuratori valide (Nr of valid observ.) = 39
Media (Mean) = 73.897
Mediana (Median) = 74.000
Dispersia (Variance) = 64.779
Abaterea medie patratica, Sigma (Std.dev) = 8.049
Coeficientul de variatie (Coeff. of variation) = 0.109
Asimetria (Skewness) = 0.067
Excesul (Kurtosis) = -0.152
Nr. de valori (%): Media +/- 1*Sigma (Mean - 1SD) = 69.2
Nr. de valori (%): Media +/- 2*Sigma (Mean - 2SD) = 94.9
Nr. de valori (%): Media +/- 3*Sigma (Mean - 3SD) = 100.0

Nr de masuratori valide (Nr of valid observ.) = 38
Media (Mean) = 66.684
Mediana (Median) = 67.500
Dispersia (Variance) = 59.357
Abaterea medie patratica, Sigma (Std.dev) = 7.704
Coeficientul de variatie (Coeff. of variation) = 0.116
Asimetria (Skewness) = -0.052
Excesul (Kurtosis) = -0.451
Nr. de valori (%): Media +/- 1*Sigma (Mean - 1SD) = 68.4
Nr. de valori (%): Media +/- 2*Sigma (Mean - 2SD) = 97.4
Nr. de valori (%): Media +/- 3*Sigma (Mean - 3SD) = 100.0



Descriptive Statistics	
Sample Size (N):	39
Measures of Central Tendency (Location)	
Mean:	73,897
Median:	74,000
Measures of Spread	
Std. Deviation:	8,049
Variance:	64,779
Range:	34,000
IQ Range:	9,500
Measures of Shape	
Skewness:	0,067
Kurtosis:	-0,152
Shapiro-Wilk Test for Normality (Royston's Sign.)	
H0:	Data are normally distributed
HA:	Data are not normally distributed
W Statistics:	0,98419
p-value:	0,84820
Level of significance:	0,05000
Conclusion:	Accept
Data are normallv distributed	

a.



Descriptive Statistics	
Sample Size (N):	38
Measures of Central Tendency (Location)	
Mean:	66,684
Median:	67,500
Measures of Spread	
Std. Deviation:	7,704
Variance:	59,357
Range:	30,000
IQ Range:	10,000
Measures of Shape	
Skewness:	-0,052
Kurtosis:	-0,451
Shapiro-Wilk Test for Normality (Royston's Sign.)	
H0:	Data are normally distributed
HA:	Data are not normally distributed
W Statistics:	0,97984
p-value:	0,71187
Level of significance:	0,05000
Conclusion:	Accept
Data are normally distributed	

b.

Fig. 2.

Rezultatele prelucrării statistice a datelor privind densitatea în stare anhidră a lemnului de molid care a fost înghețat (a) și respectiv neînghețat (b) /
Results of statistical data processing regarding the oven-dry density of frozen (a) and unfrozen (b) spruce wood.

Tabelul 2 / Table 2

Rezultate experimentale privind principalele proprietăți fizice și mecanice ale lemnului de molid înghețat la -25°C timp de o săptămână și apoi uscat la umiditate de 12% /
Experimental results concerning the main physical and mechanical properties of spruce wood frozen at -25°C for 1 week, then dried at 12% m.c.

Tipul încercării/ Type of test	U.M.	Media/ Mean	Abaterea medie pătratică/ Standard deviation	Limita inferioară/ Lower limit
Densitatea în stare density anhidră/ Oven dry density	kg/m ³	404	26	390
Coeficientul de anizotropie (β_t/β_r)/ Anisotropy coefficient (β_t/β_r)	-	2,025	0,425	1,804
Rezistența la încovoiere statică/ Bending strength	N/mm ²	64,00	4,13	62,04
Modul de elasticitate la încovoiere statică / Modulus of elasticity in static bending	N/mm ²	9002,56	924,69	9000,39
Rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre în direcția radială/ Tensile strength perpendicular to the grain in radial direction	N/mm ²	1,413	0,173	1,362
Rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre în direcția tangențială/ Tensile strength perpendicular to the grain in tangential direction	N/mm ²	1,538	0,262	1,402
Rezistența la compresiune paralelă cu fibrele/ Compression strength paralell to the grain	N/mm ²	44,96	3,60	43,89
Rezistența la smulgerea cuielor în direcția radială/ Nail withdrawal resistance in radial direction	N/mm ²	5,554	1,004	5,128
Rezistența la smulgerea cuielor în direcția tangențială/ Nail withdrawal resistance in tangential direction	N/mm ²	5,958	0,835	6,115
Rezistența la smulgerea cuielor în direcția transversală/ Nail withdrawal resistance in transversal direction	N/mm ²	3,373	0,568	3,132

Tabelul 3 / Table 3

Rezultate experimentale privind principalele proprietăți fizice și mecanice ale lemnului neînghețat de molid uscat la umiditate de 12% /

Experimental results concerning the main physical and mechanical properties of unfrozen spruce wood dried at 12% m.c.

Tipul încercării/ Type of test	U.M.	Media/ Mean	Abaterea medie pătratică/ Standard deviation	Limita inferioară/ Lower limit
Densitatea în stare densitate anhidră / Oven dry density	kg/m ³	410	44	388
Coeficientul de anizotropie (β_t/β_r) / Anisotropy coefficient (β_t/β_r)	-	1,441	0,437	1,225
Rezistența la încovoiere statică / Bending strength	N/mm ²	67,35	7,35	64,23
Modul de elasticitate la încovoiere statică / Modulus of elasticity in static bending	N/mm ²	9203,5 9	1219,24	8875,00
Rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre în direcția radială / Tensile strength perpendicular to the grain in radial direction	N/mm ²	1,436	0,206	1,373
Rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre în direcția tangențială / Tensile strength perpendicular to the grain in tangential direction	N/mm ²	1,635	0,077	1,592
Rezistența la compresiune paralelă cu fibrele / Compression strength paralell to the grain	N/mm ²	46,67	5,03	45,21
Rezistența la smulgerea cuielor în direcția radială / Nail withdrawal resistance in radial direction	N/mm ²	5,577	0,661	5,264
Rezistența la smulgerea cuielor în direcția tangențială / Nail withdrawal resistance in tangential direction	N/mm ²	5,961	0,468	5,748
Rezistența la smulgerea cuielor în direcția transversală / Nail withdrawal resistance in transversal direction	N/mm ²	3,526	0,487	3,312

Tabelul 4 / Table 4

Rezultatele testului t / Results of the t-Test

Tipul încercării/Type of test	Diferența statistică / Statistical difference
Densitatea în stare densitate anhidră/Oven dry density	N*
Coeficientul de anizotropie/Anisotropy coefficient	S**
Rezistența la încovoiere statică/Bending strength	N*
Modul de elasticitate la încovoiere statică / MOE	N*
Rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre în direcția radială / Tensile strength perpendicular to the grain in radial direction	N*
Rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre în direcția tangențială / Tensile strength perpendicular to the grain in tangential direction	N*
Rezistența la compresiune paralelă cu fibrele / Compression strength paralell to the grain	N*
Rezistența la smulgerea cuielor în direcția radială / Nail withdrawal resistance in radial direction	N*
Rezistența la smulgerea cuielor în direcția tangențială / Nail withdrawal resistance in tangential direction	N*
Rezistența la smulgerea cuielor în direcția transversală / Nail withdrawal resistance in transversal direction	N*

N* - diferență statistic nesemnificativă / statistically not significant difference;

S** – diferență statistic semnificativă / statistically significant difference.

- rezistența la compresiune paralelă cu fibrele nu este influențată de înghețare, valoarea ei fiind cu 4% mai mică decât cea obținută la lemnul neînghețat;

- rezistența la smulgerea cuielor a scăzut prin înghețare în toate cele trei direcții, dar nesemnificativ, cel mai mult în direcție transversală, cu 4,5% față de valoarea obținută la lemnul neînghețat.

Fig. 3 ilustrează modificările (reduceri sau majorări) înregistrate de proprietățile selectate ale lemnului înghețat la -25°C timp de o săptămână față de cel neînghețat.

Analizând comparativ valorile obținute la epruvetele debitate din piese exterioare (zonele I și IV din Fig. 1) față de cele obținute din piese din centrul bușteanului (zonele III, VI și VII) s-a constatat că, atât la lemnul înghețat, cât și la cel neînghețat rezistențele mecanice ale zonei exterioare sunt mai bune. Diferențele sunt însă mai mici la lemnul înghețat (de exemplu: rezistența la încovoiere statică a lemnului înghețat din zona exterioară a bușteanului este cu 14,8% mai mare decât a celui din zona interioară, în timp ce la lemnul neînghețat este cu 18% mai mare).

- the compressive strength parallel to the grain is not influenced by freezing, its values being by 4% lower than the one obtained for nonfrozen wood;

- the nails withdrawal resistance decreased by freezing in all three directions, but most in transversal direction, by 4.5% compared to unfrozen wood.

Fig. 3 illustrates the modifications (increases or decreases) suffered by the selected properties of dry wood which was frozen at -25°C for 1 week compared to unfrozen wood.

By analysing comparatively the values obtained with the samples cut from the outer parts of the log (I and IV in Fig.1) and the ones obtained from the inner parts (III, VI and VII), it could be established that for both frozen and unfrozen wood, the mechanical strengths of the outer area are better. The differences are smaller with the frozen wood (e.g.: the static bending strength of the frozen wood from the outer area of the log is by 14.8% higher than that of the inner area, while with unfrozen wood, it is 18% higher).

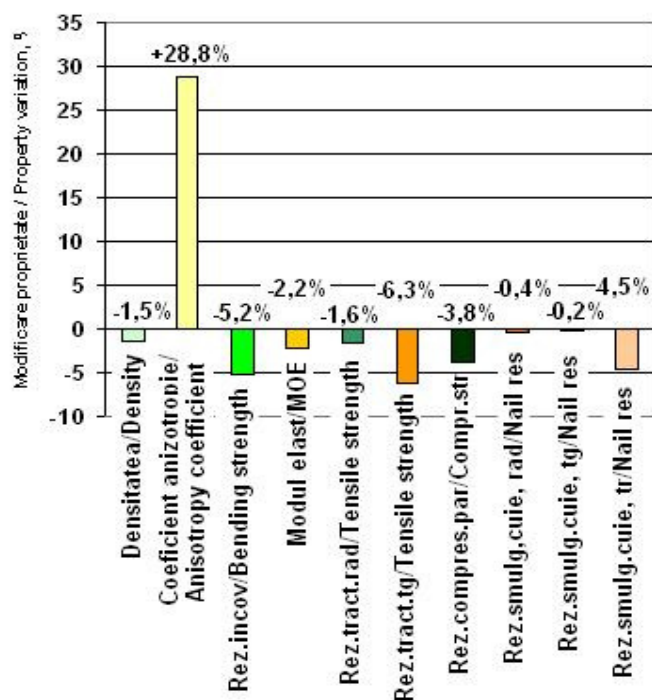


Fig. 3.

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

CONCLUZII

Acest studiu a relevat faptul că înghețarea prin expunerea continuă a lemnului verde de molid la temperatura negativă de -25°C timp de o săptămână afectează semnificativ stabilitatea dimensională a lemnului, coeficientul de anizotropie la lemnul înghețat fiind cu 29% mai mare decât la lemnul neînghețat. De

CONCLUSIONS

This study revealed that freezing affects to some extent the physical and mechanical properties of wood. The continuous freezing of green spruce wood at -25°C for one week affects significantly the dimensional stability, considering that the shrinkage anisotropy coefficient of frozen wood was found by

asemenea, sunt afectate dar într-o măsură mult mai mică rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre, în direcție tangențială (cu cca. 6%), rezistența la încovoiere statică (cu cca. 5%), rezistența la compresiune paralelă și la smulgerea cuielelor în direcție transversală (cu cca. 4%) și într-o măsură mai mică (cu cca. 2%) modulul de elasticitate la încovoiere statică și rezistența la tracțiune perpendicular pe fibre, în direcție radială.

Cercetările vor continua și cu alte condiții de înghețare și dezghețare/uscare pentru a verifica validitatea acestor rezultate și a formula recomandări privind eventuale regimuri speciale de uscare a cherestelei, pe timp de iarnă.

MULȚUMIRI

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

29% higher than for unfrozen wood. Also affected, but to a smaller extend (by only 5-6%) are the static bending strength and the tensile strength perpendicular to the grain in tangential direction.

Further tests, with different freezing and thawing/drying conditions are to be carried out, to verify the validity of these results and also to formulate some recommendations regarding eventual special drying conditions to be considered in wintertime for frozen timber.

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.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- BODIG, JAYNE. (2007). Manual for LS-DYNA Wood Material Model 143, August 2007, U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration, Research, Development and Technology, Thurner-Fairbank Research Center .
- CÂMPEAN, M. (2007). Study concerning the possibility of removing water from wood through freezing-defreezing cycles. In: Proceedings of 10th Int. IUFRO Wood Drying Conference, Orono – Maine (USA), pp. 106-111.
- CÂMPEAN, M., ISPAS, M., POROJAN, M. (2008). Considerations on drying frozen spruce wood and effects upon its properties. Drying Technology 26, p.596-601.
- CIVIDINI (2001). Conventional Kiln-Drying of Lumber. Nardi S.p.A. Milan, Italy.
- ERICKSON, H.D., SCHMIDT, R.N., LAING, J.R. (1968). Freeze-drying and wood shrinkage. Forest Products Journal 18(6), p.63-68.
- 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 eucaliptus: 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.
- KELSEY, K.E. (1963). The shrinkage-moisture content relationship for wood, with special reference to longitudinal shrinkage. Progress Rep. No.2. Subproject T.P. 8-3. CSIRO. Div. Forest Products.
- KÜBLER, H. (1962). Schwinden und quellen des holzes durch kalte. Holz als Roh und Werkstoff 20, p.365.
- 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.
- MISHIRO, A. (1990). Effect of freezing treatments on the bending properties of wood. Bulletin of Tokyo University 82, p.177-189.
- PETERSEN, H. (1991). Grundlagen der deskriptiven und mathematischen Statistik, Band 1. Ecomed Verlag GmbH, Landsberg/Lech.
- *** (1980) ISO 2602 – 2: 1980. Statistical Interpretation of Test Results-Estimation of the Mean.Confidence Interval.
- *** (1987) STAS 84-87. Lemn. Determinarea masei volumice (Wood. Determination of Density).
- *** (1987)STAS 86/1-87: Lemn. Încercare la compresiune paralelă 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 cuielelor și șuruburilor. (Wood. Determination of nails and screws withdrawal resistance).
- *** (1991) STAS 85/2-91. Lemn. Determinarea contragerii (Wood. Determination of Shrinkage).