

**CERCETARE EXPERIMENTALĂ ASUPRA
FORȚELOR DE UMFLARE DEZVOLTATE
DE LEMNUL DE FRASIN**

**EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE
SWELLING PRESSURE DEVELOPED BY
ASH WOOD**

Mihai ISPAS*

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

Rezumat:

Lucrarea prezintă rezultatele unei cercetări experimentale referitoare la forțele generate de umflarea lemnului de frasin (*Fraxinus excelsior* L.). Obiectivul cercetării a fost determinarea valorii și evoluției în timp a forțelor dezvoltate prin umflare, de la starea absolut uscată până la saturația fibrei, de către epruvete din lemn de frasin. Rezultatele arată valori maxime ale presiunii de umflare curinse între 3,10 MPa și 4,52 MPa precum și diferențe clare între mărimea presiunilor dezvoltate pe cele două direcții structurale luate în calcul: radială respectiv tangențială. Rezultatele pot fi utile pentru diferite aplicații, în special pentru domeniile mobilierului de exterior și al construcțiilor din lemn.

Cuvinte cheie: frasin; forțe de umflare.

INTRODUCERE

Este cunoscut faptul că lemnul exercită forțe semnificative asupra obstacolelor care îi împiedică umflarea generată de creșterea conținutului de umiditate. Aceste forțe, denumite generic "forțe de umflare" (sau "presiuni de umflare") afectează starea de echilibru a lemnului cauzând deformații sau chiar distrugereri ale structurilor/produselor din lemn.

Studiile efectuate clasifică presiunea de umflare în mai multe tipuri în funcție de situațiile întâlnite în realitate (Blomberg și Persson 2007). Așa-numita "presiune normală de umflare" (P_n) se măsoară atunci când umflarea este împiedicată total pe direcția de măsurare în timp ce pe celelalte direcții lemnul este liber să se umfle. Un alt tip este presiunea de umflare a lemnului parțial restricționat să se umfle (P_i). Restricțioarea totală a umflării pe direcțiile radială și tangențială (P_c) a fost de asemenea studiată, deoarece este întâlnită în multe situații practice (de ex. în unele tipuri de îmbinări). Presiunea de umflare influențată mecanic (P_m) este cea măsurată atunci când lemnul a fost supus inițial la o solicitare, de regulă de compresiune. Pre-comprimarea lemnului este utilizată în situațiile în care nu se dorește apariția de deschideri cauzate de uscare, între elemente (de ex. la tablurile podurilor din lemn, planșee etc.).

Presiunea de umflare a lemnului a fost studiată de-a lungul timpului (Tarkow și Turner 1958; Ivanov

Abstract:

The paper presents the results of an experimental research concerning the swelling pressure developed by ash wood (*Fraxinus excelsior* L.). The objective of the presented work was to determine the level and time evolution of the pressure developed by ash wood samples, when swelling from oven-dry state until the fiber saturation point was exceeded and maximum swelling was reached. The results show maximum values of the swelling pressure between 3.10 MPa and 4.52 MPa, as well as clear differences between the values of the swelling pressures in radial and tangential direction, respectively. The results can be useful for various applications related to wood products, especially for outdoor furniture and wood in constructions.

Key words: ash wood; swelling pressure.

INTRODUCTION

It is known that wood exerts significant pressure onto the obstacles restricting its swelling on moistening. This pressure, referred to as the wood swelling pressure, affects the stress state causing deformation and even damages of wood products.

Performed studies classify the swelling pressure into several types, corresponding to situations met in practice (Blomberg and Persson 2007). The normal swelling pressure (P_n) is registered when wood is totally restrained in the direction of measurement and free to swell in the others. Another type is the swelling pressure of incompletely restrained wood (P_i). The effect of restraining the specimen in both transversal directions on the swelling pressure (P_c) was tested, because this is common in many practical situations (e.g. to increase the strength in glued joints). Mechanically influenced swelling pressure (P_m) was measured by applying an initial stress. Pre-stressed wood is common where openings caused by shrinkage are unwanted (e.g. in the tread on a wooden bridge).

The swelling pressure developed by wood has been studied by several researchers (Tarkow and Turner 1958; Ivanov and Bajenov 1959; Perkitny and Helinska 1963; Stamm 1964; Rybarczyk and Ganowicz 1974; Mishiro 1976; Kollmann and Cote

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

și Bajenov 1959; Perkitny și Helinska 1963; Stamm 1964; Rybarczyk și Ganowicz 1974; Mishiuro 1976; Kollmann și Cote 1984; Mantanis ș.a. 1994; Krauss 2004 etc.). Cu toate că studiile efectuate până în prezent în domeniu sunt numeroase, ele nu au putut acoperi întreg spectrul de specii lemnoase, de aplicații ale acestora și de situații întâlnite în practică. Există de asemenea diferențe de opinii ale cercetătorilor referitoare atât la mărimea presiunilor de umflare a lemnului, la diferențele existente funcție de direcția de umflare cât și la mecanismul fizico-chimic al fenomenului umflării etc. De exemplu, Stamm (1964) a raportat o presiune teoretică de umflare de 1,630 atmosfere, în timp ce Tarkow și Turner (1958) au determinat presiunea de umflare la jumătate din acea valoare. De asemenea, Rowell (2012) arată că prin extrapolarea presiunii maxime de umflare la densitatea peretelui celular se obține o valoare de 91MPa, în timp ce o valoare teoretică bazată pe teoria presiunii osmotice ar fi de 158MPa.

Din punct de vedere practic, o mai bună înțelegere a comportării lemnului la umflare, a relaxării tensiunilor și curgerii mecano-sorptive este necesară, în scopul evitării ruperilor și deformațiilor, al creșterii duratei de viață a materialelor pe bază de lemn, a structurilor și produselor finite diverse, iar din această perspectivă trebuie spus că forțele (presiunile) de umflare sunt singurele elemente analitice palpabile care descriu nivelul de tensiune din interiorul lemnului în timpul umflării generate de creșterea umidității.

OBIECTIV

Obiectivul cercetării a fost determinarea valorii și evoluției în timp a forțelor dezvoltate prin umflare de la starea absolut uscată până la saturația fibrei, de către epruvete din lemn de frasin, pe direcție radială respectiv tangențială.

METHOD AND APPARATUS

În cadrul studiului au fost utilizate epruvete din duramen de frasin (*Fraxinus excelsior* L.). Acestea au fost obținute dintr-o singură piesă de cherestea uscată, debitată radial, cu dimensiunile: 28mm grosime, 150mm lățime și 1000mm lungime. Umiditatea măsurată a fost de 10%.

Din această piesă de cherestea au fost tăiate epruvete cubice (25 by 25 by 25mm), fețele acestora fiind orientate strict pe direcțiile transversală, tangențială respectiv radială (Fig.1).

S-au folosit 20 de epruvete: 10 epruvete x 2 direcții de măsurare a forței de umflare (radială respectiv tangențială). Epruvetele au avut un număr mediu de 5 inele anuale pe cm.

După obținerea epruvetelor, acestea au fost uscate într-o etuvă la temperatura de $103\pm 2^{\circ}\text{C}$, până la starea absolut uscată, iar apoi răcite într-un exicator până la temperatura mediului ambiant, de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$. Densitatea medie a epruvetelor în stare absolut uscată a fost de 780kg/m^3 .

1984; Mantanis *et al.* 1994; Krauss 2004 etc.). Although the studies carried out by now in the field are numerous, they couldn't cover the whole spectrum of wood species, applications and situations met in practice. There are also differences in the researchers' opinions referring to the values of swelling pressure, the differences between the values of the swelling pressures in radial and tangential direction, the physical-chemical mechanism of the swelling phenomenon etc. For example, Stamm (1964) reported a theoretical swelling pressure of 1.630 atmospheres, while Tarkow and Turner (1958) found an actual swelling pressure of about half that value. Also Rowell (2012) shows that by extrapolation of the maximum swelling pressure to the density of the cell wall, a maximum value of swelling pressure of 91MPa is obtained, while a theoretical value based on an osmotic pressure theory gave a result of 158MPa.

From the practical point of view, better understanding of the transverse swelling behaviour, relaxation of stresses and mechano-sorptive creep is needed, in order to avoid cracks and deformations and to increase service life of wood based materials, outdoor furniture, wooden structures and claddings boards and from this point of view the wood swelling pressure is the only experimentally determined index describing the stress in wood on its moistening.

OBJECTIVE

The objective of the presented work was to determine the level and time evolution of forces developed by some ash wood samples when swelling from oven-dry state until the fiber saturation point was exceeded and maximum swelling was reached, in radial and tangential direction, respectively.

METHOD AND APPARATUS

Ash (*Fraxinus excelsior* L.) heartwood samples, were used in this study. All the samples were obtained from a single, dry plank (edge-sawn timber), with ca. 28mm thickness, 150mm width and 1000mm length. The measured moisture content of the plank was 10%.

From the plank, cube block specimens (25 by 25 by 25mm) were cut, oriented so that the faces were strictly transversal, tangential and radial (Fig.1).

Twenty specimens were used within the experiments: 10 specimens x 2 directions of measuring the swelling force (radial and respectively tangential). The specimens had an average number of annual rings of 5 per cm.

Afterwards, the samples were dried in an oven at $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ to the oven-dry state and then cooled in an essicator to environmental temperature, of $20\pm 2^{\circ}\text{C}$. The average density of the samples in oven-dry state was 780kg/m^3 .

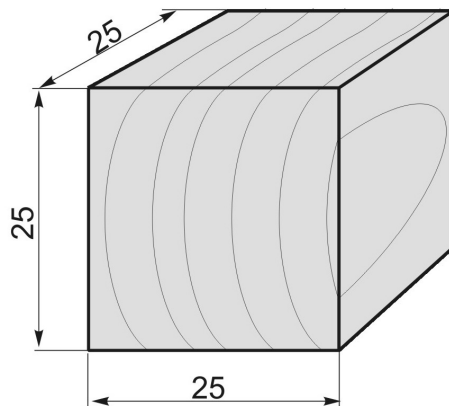


Fig. 1.

Forma și dimensiunile epruvetelor utilizate în studiul experimental / Shape and dimensions of the wood samples used within the experiments.

Pentru determinarea forțelor de umflare, epruvetele au fost introduse pe rând între platanele unei mașini de încercat tip ZD 10/90, conform schemelor prezentate în Fig. 2. După aplicarea unei forțe inițiale de 220N (0,035MPa), care să asigure contactul fără joc dintre epruvetă și platanele mașinii, s-a adăugat apă distilată în vasul în care s-a introdus epruveta (vezi Fig. 2), la temperatura camerei, până la imersia completă a epruvetei.

Forța exercitată de către epruvetă asupra platanelor a fost citită din 3 în 3 ore. Fiecare epruvetă a stat între platanele mașinii de încercat timp de 48 de ore. După 48 de ore de imersie umiditatea medie a epruvetelor a fost de 32,5% (cu valori individuale între 30,5% și 33,8%).

Au fost măsurate forțele de umflare atât pe direcție radială cât și tangențială (vezi Fig. 2). După măsurarea forțelor de umflare s-au determinat presiunile de umflare.

In order to determine the normal swelling pressure, the specimens were introduced one by one between the platens of the testing machine type ZD 10/90, according to the scheme presented in Fig. 2. After applying an initial force of 220N (0.035MPa), in order to ensure zero initial clearance, distilled water was added into the vessel containing the wood specimen (see Fig. 2), at room temperature, until the specimen was completely immersed.

The force exerted by the specimen upon the machine platens was read every 3 hours. All specimens were kept in-between the machine platens for 48 hours. After 48 hours of immersion, the average moisture content of the specimens was 32.5% (individual values between 30.5% and 33.8%).

The normal swelling forces both in radial and tangential direction (see Fig. 2) were measured. After measuring the swelling forces, the swelling pressures were determined.

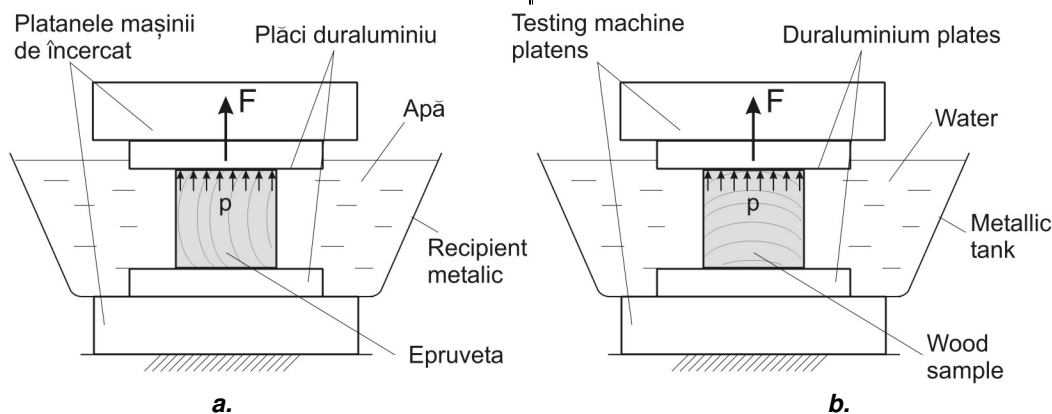


Fig. 2.

Schema dispozitivului experimental pentru măsurarea forțelor de umflare / Scheme of the experimental device for measuring the swelling forces:
a - măsurare pe direcție tangențială / measuring the tangential swelling force; b - măsurare pe direcție radială / measuring the radial swelling force.

REZULTATE

Rezultatele obținute după prelucrarea datelor experimentale sunt prezentate în Tabelul 1 și în Fig. 3 și 4.

RESULTS

The obtained results are presented in Table 1 and Fig. 3 and 4.

Tabelul 1 / Table 1

Presiunile de umflare – valori medii (p), abaterea medie pătratică (St.dev.) și coeficientul de variație (c_{var}), pentru direcțiile radială (Rad) și tangențială (Tg) la lemnul de frasin / Swelling pressures – average values (p), standard deviations (St.dev.) and coefficient of variance (c_{var}), in radial direction (Rad) and tangential direction (Tg) for ash wood

Timp, h	p, MPa (valori medii)		St.dev.		Cvar, %	
	Rad	Tg	Rad	Tg	Rad	Tg
0	0.035	0.035	0	0	0	0
3	1.75	2.37	0.22	0.18	12.5	7.52
6	2.55	3.32	0.25	0.14	9.72	4.29
9	3.04	3.88	0.20	0.14	6.64	3.74
12	3.30	4.13	0.19	0.18	5.89	4.41
15	3.38	4.17	0.19	0.20	5.64	4.87
18	3.39	4.18	0.19	0.20	5.75	4.86
21	3.38	4.15	0.19	0.21	5.72	4.98
24	3.33	4.09	0.18	0.20	5.31	4.93
27	3.25	4.01	0.17	0.19	5.14	4.68
30	3.16	3.95	0.16	0.17	4.94	4.27
33	3.10	3.87	0.14	0.16	4.51	4.09
36	3.02	3.81	0.15	0.16	4.81	4.09
39	2.97	3.76	0.14	0.16	4.86	4.18
42	2.94	3.73	0.15	0.16	5.18	4.22
45	2.89	3.70	0.17	0.17	5.93	4.64
48	2.85	3.67	0.18	0.17	6.15	4.69

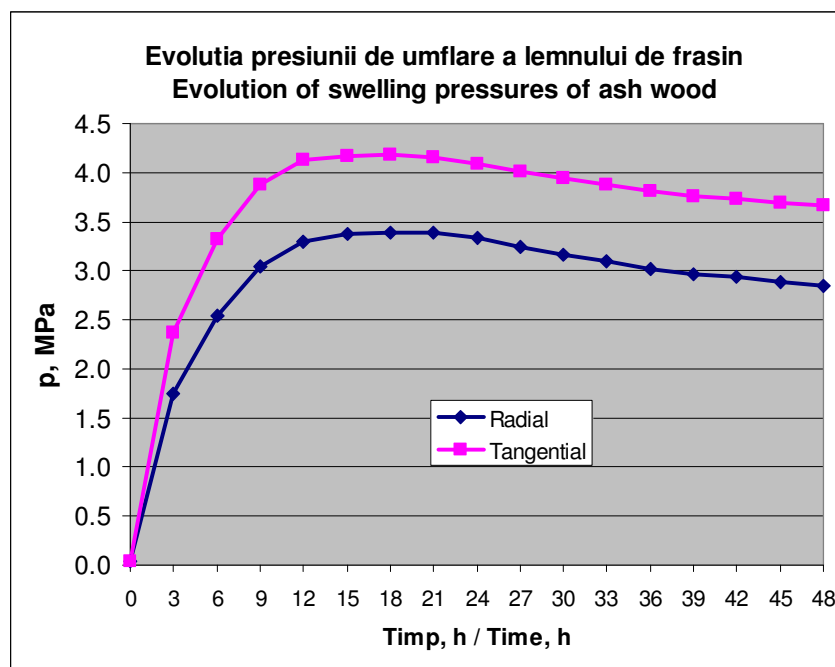


Fig. 3.

Evoluția presiunii de umflare în direcție radială respectiv tangențială la lemnul de frasin imersat în apă (valori medii) / Evolution of swelling pressure of ash wood, in radial and tangential direction during water immersion (average values).

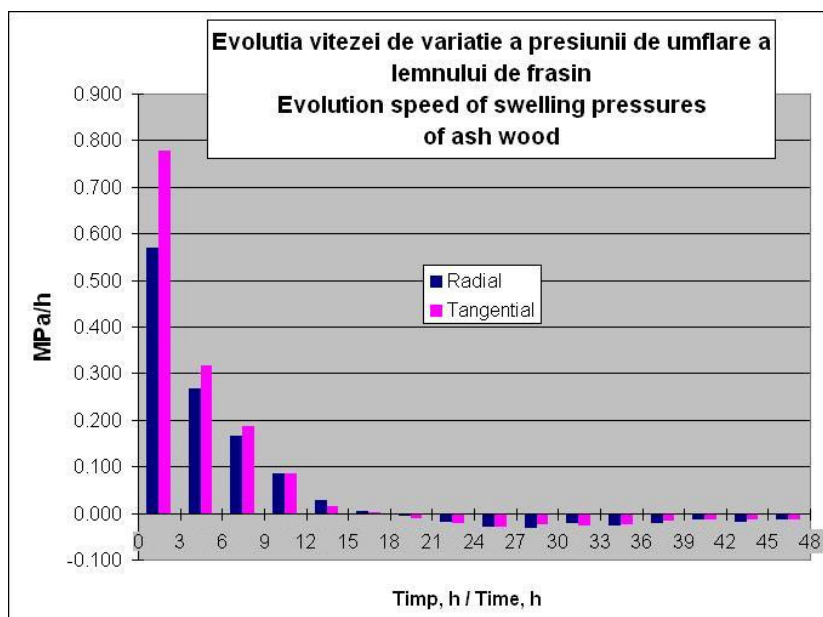


Fig. 4.

Evoluția vitezei de variație a presiunii de umflare în direcție radială respectiv tangențială la lemnul de frasin imersat în apă (valori medii calculate pe intervale de 3 ore) / Speed evolution of swelling pressure in radial and tangential direction for ash wood moisturized by water immersion (averages calculated at 3h intervals).

DISCUȚII și CONCLUZII

După analizarea rezultatelor se pot evidenția următoarele concluzii:

- atât pe direcție radială cât și pe tangențială, presiunea maximă de umflare a fost atinsă după aproximativ 15 ... 18 ore, cu o viteză medie de 0,19MPa/h pe direcția radială și 0,23MPa/h pe direcția tangențială (viteză medie calculată pentru primul interval de 18 ore de imersie);
- viteza de creștere a presiunii de umflare scade în timp, pe direcție radială de la 0,570MPa/h în primele 3 ore, la 0,267MPa/h în cea de-a doua perioadă (de la 3 la 6h), 0,166MPa/h în a treia perioadă (de la 6 la 9h), 0,085MPa/h în a patra (de la 9 la 12h), 0,028MPa/h în a cincea (de la 12 la 15h) și doar 0,004MPa/h în a șasea (de la 15 la 18h);
- același fenomen a fost înregistrat pentru direcția tangențială: viteza de creștere a presiunii de umflare scade în timp, de la 0,778MPa/h în primele 3 ore, la 0,317MPa/h în a doua perioadă (de la 3 la 6h), 0,185MPa/h în a treia perioadă (de la 6 la 9h), 0,085MPa/h în a patra (de la 9 la 12h), 0,015MPa/h în a cincea (de la 12 la 15h) și doar 0,001MPa/h în cea de-a șasea (de la 15 la 18h);
- maximumul presiunii de umflare pe direcția radială a fost de 3,39MPa respectiv de 4,18MPa pentru direcția tangențială; așadar presiunile maxime de umflare au fost mai mari pe direcție tangențială în medie cu 23,3% decât pe direcție radială, în concordanță cu rezultatele publicate de (Koponen și Virta 2004; Blomberg și Persson 2007; Ispas 2009 și

DISCUSSION and CONCLUSIONS

After analyzing the results, the following conclusions can be pointed out:

- in both radial and tangential direction, the maximum swelling pressure was attained after approx. 15 ... 18 hours, with an average evolution speed of 0.19MPa/h for the radial direction and 0.23MPa/h for the tangential one (for the entire period of the first 18 hours of immersion);
- the average evolution speed of the swelling pressure decreased in time, in radial direction from 0.570MPa/h in the first 3 hours to 0.267MPa/h in the second period (3 to 6h), 0.166MPa/h in the third period (6 to 9h), 0.085MPa/h in the fourth (9 to 12h), 0.028MPa/h in the fifth (12 to 15h) and only 0.004MPa/h in the sixth period (15 to 18h);
- the same phenomenon was recorded for the tangential direction of swelling: the average evolution speed of the swelling pressure decreased in time, from 0.778MPa/h in the first 3 hours to 0.317MPa/h in the second period (3 to 6h), 0.185MPa/h in the third period (6 to 9h), 0.085MPa/h in the fourth (9 to 12h), 0.015MPa/h in the fifth (12 to 15h) and only 0.001MPa/h in the sixth period (15 to 18h);
- the maximum average pressure for the radial direction was 3.39MPa respectively 4.18MPa for the tangential direction; the maximum average of the swelling pressures were higher in tangential direction than in radial one with 23.3%, in good agreement with the results reported in (Koponen and Virta 2004; Blomberg and Persson 2007; Ispas 2009 and Ispas

Ispas 2010) și în contradicție cu (Hofferber ș.a. 2006) care dau aceeași presiune de umflare independent de direcția de măsurare, dar în alte condiții de lucru (împiedicare a umflării simultan pe direcția radială și tangențială);

- după atingerea presiunii de umflare maxime s-a înregistrat o relaxare a tensiunilor din lemn, presiunea exercitată de către epruvete scăzând de la 3,39MPa la 2,85MPa (cu 15,9%) pe direcție radială, respectiv de la 4,18MPa la 3,67MPa (cu 12,2%) pe direcție tangențială, în concordanță cu rezultatele publicate de (Koponen și Virta 2004; Ispas 2009 și Ispas 2010);

- în scopul obținerii unui grad de relevanță mai înalt, urmărind realizarea unui program experimental mai larg, cu mai multe specii lemnoase.

2010) and in contradiction with (Hofferber *et al.* 2006) who gives the same swelling pressure independent of swelling direction but in restraining conditions of the specimens;

- after the maximum swelling pressure was attained, a relaxation of swelling stresses was recorded, the swelling pressure decreasing from 3.39MPa to 2.85MPa (with 15.9%) on radial direction respectively from 4.18MPa to 3.67MPa (with 12.2%) on tangential direction, in good agreement with the results reported in (Koponen and Virta 2004; Ispas 2009 and Ispas 2010);

- in order to attain a corresponding relevance degree, a much more extended experimental program is pursued, with several wood species.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

Blomberg J, Persson B (2007) Swelling pressure of semi-isostatically densified wood under different mechanical restraints. *Wood Science and Technology*, Springer Berlin / Heidelberg, Vol. 41, Nr. 5 / June, 2007, pp. 401-415. ISSN 0043-7719.

Hofferber BM *et al.* (2006) Effects of swelling forces on the durability of wood adhesive bonds. In: *Proceedings of the 29th Annual Meeting of The Adhesion Society, Inc.*, February 19-22, 2006, Jacksonville, Florida; pp. 187-189.

Ispas M (2009) Experimental Research on Wood Swelling Pressure. In: *Proceedings of the International Conference "Wood Science and Engineering in the Third Millennium", 7th edition, "Transilvania" University of Brasov, Romania, 04-06 June 2009*, pp. 41-44, ISSN 1843-2689.

Ispas M (2010) Considerations on the swelling forces of wood. *PRO LIGNO* 6(1):47-53, ISSN 1841-4737.

Ivanov IM, Bajenov VI (1959) Study Concerning the Physical Properties of Wood (in Russian). *Isdatelstvo Akademii Nauk SSSR, Moskva*.

Kollmann F, Cote WAJr (1984) *Principiile științei și tehnologiei lemnului (Principles of wood science and technology)*. I. Solid wood. Reprint, Springer-Verlag, Berlin.

Koponen S, Virta J (2004) Stress relaxation and failure behaviour under swelling and shrinkage loads in transverse directions. *COST E35 Workshop I*, 8 - 9 September 2004, Vila Real, Portugal.

Krauss A (2004) Swelling pressure of spruce wood along the grains moistened in humid air or water. *Folia Forestalia Polonica, Seria B, Zeszyt 35*, pp. 13-22.

Mantanis GI, Young RA, Rowell RM (1994) Swelling of wood. *Wood Science and Technology*, Springer Berlin / Heidelberg, Vol. 28, Nr. 2 / January, 1994, pp. 119-134. ISSN 0043-7719.

Mishiroy A (1976) Studies on the swelling pressure of wood. VII. On the swelling pressure and relaxation of wood). *Mokuzai Gakkaishi*, 22(2), 129-132.

Perkitny T, Helinska L (1963) Swelling pressure of wood in water and water-saturated air. *Holz als Roh- und Werkstoff*, Vol. 21, Nr. 1 / January, 1963, pp. 19-22.

Rowell RM (ed.) (2012) *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, 2nd edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL 33487-2742. ISBN 978-1-4398-5380-1.

Rybarczyk W, Ganowicz R (1974) A theoretical description of the swelling pressure of wood. *Wood Science and Technology*, Springer Berlin / Heidelberg, Vol. 8, Nr. 3 / September, 1974, pp. 233-241. ISSN 0043-7719.

Stamm AJ (1964) *Wood and Cellulose Science*. Ronald Press Co., New York, NY.

Tarkow H, Turner HD (1958) The swelling pressure of wood. *Forest Products Journal*, 8(7), pp. 193-197.