

EFECTUL TEMPERATURII ASUPRA CONTRAGERII LEMNULUI

THE TEMPERATURE EFFECT ON WOOD SHRINKAGE

Aurel LUNGULEASA

Transilvania University of Brasov, Romania

Rezumat. Lucrarea prezintă câteva aspecte ale influenței temperaturii asupra contragerii lemnului în general și asupra speciei de fag în special. După analizarea documentației existente în acest domeniu se trece la realizarea propriilor experimentări pe această problemă și se trag concluziile. Accentul este pus pe diferențele dintre contragerile radiale și tangențiale, dar se obține și relația de dependență pentru determinarea contragerii volumice în funcție de contragerile radiale și tangențiale.

Cuvinte cheie: contragerea lemnului, efectul temperaturii, uscarea lemnului

1. Aspecte introductive

Copacii pe picior conțin a cantitate mare de apă, sub forma de vapori, lichidă și chimic disociată. Conținutul de umiditate din bușteni variază cu sezonul de doborâre, tipul produsului lemnos (buștean, cherestea, furnir, placaj, placi din așchii de lemn, așchii, fibre etc.), diferitele părți ale bușteanului lemnos (alburn sau duramen, lemn timpuriu sau târziu, cherestea tangențială sau radială etc.). Se estimează că 1 m³ de buștean proaspăt doborât conține aproximativ 540 litri de apă [1].

Apa este reținută în structura celulară a lemnului (v. figura 1), celulă care este alcătuită din goluri celulare și membrane celulare. Apa care se găsește în golurile celulare și cele intercelulare se numește apă liberă, în timp ce apa din interiorul membranei celulare (din spațiile intermicelare și interfibrilare) se numește apă legată. După doborâre, dar mai ales după transformarea în cherestea sau alte produse lemnoase, lemnul verde va pierde umiditate de pe suprafața expusă la aer. Apa liberă se pierde înaintea apei legate. Aceasta însă reduce greutatea lemnului, dar nu afectează dimensiunile sale. Punctul în care apa liberă s-a eliminat și a rămas numai apă legată se numește punct de saturație a fibrei (PSF) și are o valoare medie procentuală de 30 %. Lemnul care se usucă la un conținut de umiditate sub acest nivel va face să crească nivelul contragerii, pe măsură ce membrana celulară a lemnului va pierde umiditate.

Lemnul de fag (indiferent de tipul semifabricatului sub care se găsește) are o contragere scăzută de 4,5 % pe direcție radială și una mai mare pe direcție tangențială, de 9,5 %. Contragerea pe direcție longitudinală este aproape neglijabilă, în jur de 0,4 %.

Abstract. The paper presents some aspects of the temperature influence on the wood shrinkage in general and especially on the beech specie. After analyzing the existing documentations it goes to make own experiments on this problem and are drawn the conclusions. Emphasis is placed on the differences between radial and tangential shrinkage but here is found the relationship for determining the volume shrinkage related to the radial and tangential ones.

Key words: wood shrinkage, the temperature effect, wood drying

1. Introductory aspects

Living trees contain a large quantity of water, in form of steam, liquid and chemically dissociated. The moisture content from logs will vary with the season to felling up, type of wooden products (log, timber, veneer, plywood, chipboard, chips, fiber etc.), different parts of the wood log (sapwood or heartwood, early wood or late wood, tangential or radial timber etc). It has been estimated that 1m³ of freshly felled log contains approximately 540 liters of water [1].

The water is held in the cellular structure of the wood (see Figure 1), which is made up of cell cavities and cell walls. The water held in the cell and intercell cavities is called free water, whereas the water inside of the cell walls (intermicelary and interfibrilary cavities) is called bound water. After felling and especially after conversion in timber or other wooden products, green wood will start to loose moisture from any freshly exposed surfaces. The free water is lost before the bound water. This reduces the weight of the wood but does not affect its dimensions. The point at which the free water has been removed and the bound water remains is called the fiber saturation point (FSP) and has a medium value of 30 %. Wood that is dried to moisture contents below this level will exhibit some degree of shrinkage as the cell walls lose moisture.

Beech specie (regardless of the blank type that is found) has a lower shrinkage of 4.5% on radial direction and 9.5 % on the tangential direction. The shrinkage on longitudinal direction is almost neglectable, namely about 0.4%.

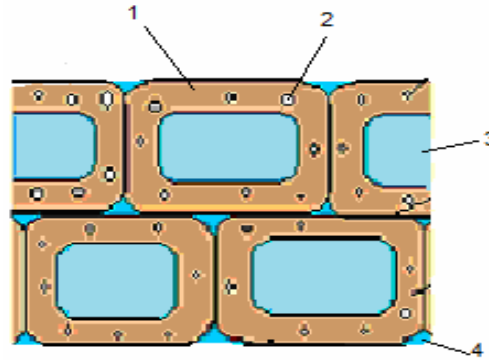


Figura 1. Localizarea apei în lemn: 1-membrană celulară; 2-golurile dintre microfibrele și micellele celulozice (apă legată); 3-lumenul celulei (apă liberă); 4-goluri intercelulare (apă liberă)

Figure 1. Location of water in wood: 1-cell wall; 2-cavities between cellulose micro fibrils and micelles (bound water); 3-cell lumen (free water); 4-intercellular cavities (free water)

Când lemnul pierde apă, echilibrul existent în membrana celulară (dat de forțele de atracție și respingere din interiorul membranei celulare) se rupe. Mai întâi se rupe legătura apei (dipolii OH) cu dipolii H⁺ ai lemnului și acest lucru va conduce la apropierea micelilor între ele și micșorarea membranei celulare. Acesta reprezintă de fapt contragerea lemnului [2]. Toate modificările dimensionale au loc numai în domeniul apei legate, adică sub punctul de saturație al fibrei (sub 30 %).

Contragerea lemnului apare când apa legată din lemn scade, mai ales când lemnul se usucă. Prin influența temperaturii de uscare, mărimea tensiunilor interne și calitatea lemnului obținut după uscare vor depinde semnificativ, așa că este necesară analiza influenței temperaturii asupra contragerii lemnului masiv. Contragerea lemnului se exprimă prin coeficienți liniari, pe direcție radială, tangențială și longitudinală și coeficienți volumici. Toți aceștia pot fi parțiali sau totali, așa cum se observă în figura 2, pentru cei volumici.

When wood loose water, the equilibrium of cell wall (given by the rejection and attraction forces inside of cell wall) is broken, firstly the water linking (OH dipoles) with the H⁺ dipoles are ruptured, and will conduct at the coming near of the micelles and decreasing of cell wall. This is the actually wood shrinkage [2]. All modifications of wood sizes take place only for bound water range, respectively bellow the fibre saturation point (approximately 30 % of moisture content).

Wood shrinkage appears when the bound water in wood decreases, especially when the wood dries. By the dependence of drying temperature the size of internal stresses and quality of wood obtained after drying depend significantly, so it is necessary to study the influence of temperature on the shrinkage of solid wood. Wood shrinkage is expressed by linear coefficients, on radial, tangential and longitudinal direction and volume coefficients. All of these coefficients can be totally or partially, as it can see in figure 2 for volume ones.

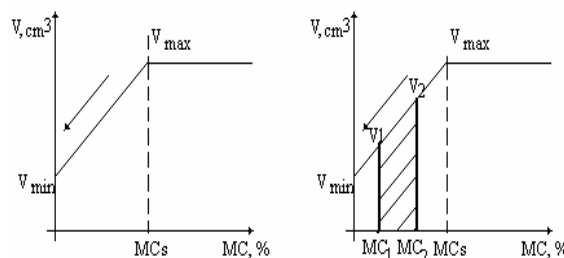


Figura 2. Coeficienții volumici totali (stânga) și parțiali (dreapta)
Figure 2. Total (left) and partial (right) volume coefficients of shrinkage

Stevens [3] a investigat în 1963 efectul temperaturii asupra contragerii și a găsit că, în general, contragerea tinde să crească ușor cu creșterea temperaturii. Cu creșterea vitezei de uscare contragerea cherestei va descrește. Toate acestea se întâmplă numai sub 30 % umiditate, care

Stevens [3] had investigated in 1963 the effect of temperature on shrinkage and found that, in general, the shrinkage tends to increase slightly with increasing of temperature. With increasing of drying speed the timber shrinkage will decrease. All these are happened only under 30% moisture

este sub punctul de saturație al fibrei. Oricum, sub 25 % conținut de umiditate, valoarea contragerii nu pare să fie afectată de temperatură sau de viteza de uscare a lemnului, conform aceluiași autor.

În 1970 Sitova [4] afirmă că atunci când lemnul se uscă încet, contragerea lemnului va fi mai mare decât la uscarea rapidă, elementul de creștere a vitezei fiind temperatura de uscare. Explicația se bazează pe creșterea vitezei procesului de uscare și apariția deformațiilor plastice reziduale pe secțiunea transversală datorită temperaturii înalte. Pentru a elucida acest lucru, experimentările au fost făcute pe scânduri de brad, pin și fag la temperaturi de 60, 70, 80, 90, 100 și 110 °C. Pentru a înlătura crăparea lemnului uscat sau apariția altor defecte ale uscării la temperaturi înalte, s-au efectuat câteva întreruperi în timpul testării, prin decuplarea termostatului electric câteva ore, având intenția clară de a elimina tensiunile interne din lemn și de a obține relaxarea materialului. Uscarea lemnului a pornit de la o umiditate inițială de 70 % (dar contragerea a plecat de la punctul de saturație al fibrei, de 30 %) până la o umiditate finală de 7 %. Rezultatele au fost sintetizate pentru cele trei specii examinate în figura 3. Se observă o curbă cu descreștere constantă pentru fag și o tendință generală de descreștere pentru rășinoase, dar cu o ușoară creștere pentru brad până la 90 °C și apoi o descreștere la 110 °C.

content, that is until fibre saturation point FSP. However below 25% moisture content the shrinkage value does not seem to be affected by temperature or by speed of wood drying, says the same author.

In 1970 Sitova [4] says that when the wood is dried slowly the wood shrinkage will be more than quick-drying, the element of speed increasing being the drying temperature. The explanation for that is placed on speeding up the drying process and the appearance of residual plastic deformation on the cross section of wood due to high temperatures. To elucidate that, the experiments were done on wooden planks of fir, pine and beech at temperatures of 60, 70, 80, 90, 100 and 110 °C. To avoid cracking of dry wood or other defects resulting from high-temperature drying, there were done some interruptions during the tests, performed by decoupling the thermostat few hours, which are intended to defuse tensions and obtain relaxation of the material. Wood drying was determined from an initial moisture content of 70% (but the shrinkage started from the fiber saturation point of 30%) to a final moisture content of 7%. The results are summarized for the three examined species in Figure 3. A steadily decreasing curve is observed for beech specie and the general tendency to decrease for resinous wood but a slight growth of the fir specie up to 90 °C and then decreases to 110 °C.

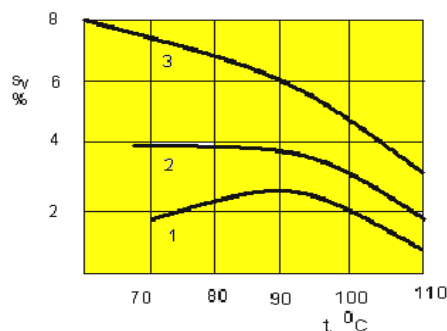


Figura 3. Influența temperaturii asupra contragerii lemnului (după Sitova): 1-brad; 2-pin; 3-fag
 Figure 3. Influence of temperature on wood shrinkage (after Sitova): 1-fir, 2-pine, 3-beech

Filipovici în 1965 [3] a stabilit că contragerea lemnului depinde de temperatura de uscare. Spre exemplu, piesele de fag uscate la temperatura de 25 °C au înregistrat o contracție tangențială totală de 11 %, iar dacă sunt uscate la 75 °C au avut 15,5 %. În consecință, valoarea contragerii crește cu creșterea temperaturii, ceea ce sugerează că proprietățile plastice ale fagului cresc cu creșterea temperaturii. Același autor a reliefat de asemenea influența dimensiunilor epruvetelor, anume că piesele mai groase se uscă mai greu, cu deformații plastice mai mari, și se contrag mai puțin decât cele subțiri.

Filipovici in 1965 [3] stated that, the wood shrinkage depends on drying temperature. For example, pieces of dried beech at a temperature of 25°C recorded a total tangential shrinkage of 11% and if are dried to 75°C of 15.5%. So, size of wooden shrinkage increases with the temperature increasing, which suggests that plastic properties of the beech wood increases with temperature. The same author also highlights the influence of sample sizes, saying that the thicker pieces have dried more difficult, with larger plastic deformation and they will shrink less than thinner materials.

2. Epruvete și metodologia de lucru

Pentru a studia influența temperaturii asupra contragerii lemnului masiv s-au folosit epruvete prismatice din fag, debitate din aceeași scândură, pe a se anihila influența condițiilor de creștere. Epruvetele au fost rindeluite pe toate fețele, au fost sortate cele fără defecte și să aibă toate fețele radiale sau tangențiale. Forma și dimensiunile epruvetelor se văd în figura 4.

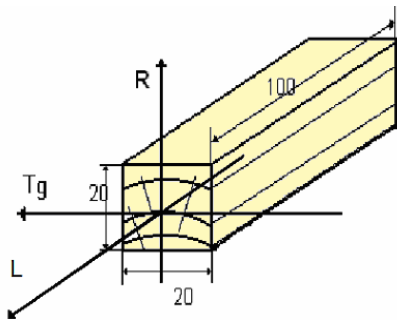


Figura 4. Dimensiunile epruvetelor lemnoase: R - radial; Tg - tangențial; L - longitudinal
Figure 4. Dimensions of wooden samples: R - radial; Tg - tangential; L - longitudinal

În timpul experimentărilor au fost analizați coeficienții totali ai contragerii liniare a lemnului, pe direcție tangențială și radială. Măsurarea dimensiunilor pe secțiunea transversală s-a realizat cu un șubler, având o precizie de măsurare de 0,02 mm. Pentru o mai bună sistematizare a valorilor, epruvetele lemnoase au fost grupate în mai multe categorii, anume pentru măsurători tangențiale și radiale, în grupe de 10 bucăți. Înaintea măsurării, epruvetele lemnoase au fost puse în apă, 2 cm sub nivelul apei, și au fost ținute până când acestea au atins nivelul punctului de saturație al fibrei PSF, respectiv până când s-a trecut de la starea apei legate la cea a apei libere din lemn.

Această condiție s-a bazat pe următoarea relație de calcul:

$$m_u \geq m_0 \cdot (1 + U) \quad [g] \quad (1)$$

unde:

- m_u - este masa epruvetelor umede, exprimate în g;
- m_0 - masa epruvetelor absolute uscate, în g;
- U - conținutul de umiditate, exprimat în g/g.

Spre exemplu, dacă masa epruvetei uscate este de 25 g și după introducerea în apă se dorește depășirea punctului de saturație al fibrei PSF de 30 %, masa trebuie să depășească 32,5 g. Pentru a asigura validitatea condiției de mai sus pentru tot grupul de epruvete, condiția se stabilește pentru fiecare epruvetă și se reține cea mai mică valoare a epruvetei cele mai defavorizate [5, 6, 7]. Se folosește relația următoare, iar masele pentru toate epruvetele trebuie să respecte această valoare de referință:

2. Samples and working methodology

In order to study the influence of temperature on shrinkage of solid wood, there were used prismatic beech specimens, cut from the same board to annihilate the influence of growth conditions. The samples were planned on their faces, were sorted on defects and to have all faces perfect radial and tangential. The shape and sizes of the samples were shown in Figure 4.

During the experiments it was taken into account the total coefficients of linear shrinkage, on tangential and radial direction. Measuring the dimensions on the cross section was performed with a caliper, with measurement accuracy of 0.02 mm. For a better systematization of all values the specimens were grouped into many categories, respectively for combined tangential and radial measurements in groups of 10 pieces.

Before the size measuring, the samples were placed in water, 2 cm below the water level and have been kept until they reached the fiber saturation point FSP, until when it moved their stare from the area of bound water to free water.

This condition was based on the following relationship for calculus:

where:

- m_u is mass of wet wooden specimen, in g;
- m_0 - absolutely dry mass of wooden specimen, in g;
- U - moisture content, in g/g.

For example, if the dry specimen mass is 25g and after introducing in water it wants to exceed the fiber saturation point FSP of 30%, the specimen mass must exceed the value of 32.5g. To ensure the validity of above condition for the entire group of wooden samples, the condition was established for each specimen and it retained the lowest value of the specimen most deprived [5, 6, 7]. Next relationship is used and the subsequent weightings of all specimens had to respect this last benchmark value:

$$M_a > \max\{m_1, m_2, \dots, m_{10}\} \quad (2)$$

După trecerea tuturor epruvetelor peste punctul de saturație, acestea sunt scoase din apă, sunt tamponate pe o hârtie sugativă pentru înlăturarea excesului de apă de pe fețe, apoi li se măsoară cele două dimensiuni ale secțiunii transversale și se cântăresc pentru determinarea masei. Mai departe, epruvetele au fost plasate în etuva de laborator pentru uscarea la 0 %. Temperatura a fost reglată la 120 °C și 60 °C, pentru a vedea dacă există diferențe ale contragerii funcție de temperatură.

After passage of samples over the fiber saturation point, they were removed from the water, were buffered on blotting paper to remove excess water on their faces, then they were measured the two dimensions of cross section and then weighed all specimen for obtaining their mass. Further, samples were placed in laboratory oven to dry down 0%. Drying temperatures were set at 120 °C and 60 °C to see if there are differences of wood shrinkage depending of drying temperature.

3. Calculul și exprimarea rezultatelor

Rezultatele măsurătorilor și a calcului au fost introduse în tabele, valorile cumulative fiind prezentate în tabelul 1. Relațiile pentru determinarea coeficientului de contragerie radială (S_r), tangențială (S_t) și volumică (S_v) a lemnului masiv au fost următoarele [8]:

3. The calculus and expression of results

The results of measurements and calculations were introduced inside of tables, cumulative table being introduced in table 1. Relations for the determination of radial shrinkage coefficient (S_r), tangential (S_t) and the volume one (S_v) were the next ones [8]:

$$S_r = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{r_{\max}} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$S_t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{\max}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3)$$

$$S_v = S_t + S_r - \frac{S_r \cdot S_t}{100}$$

unde (figura 5):

r_{\max} și t_{\max} sunt dimensiunile radiale și tangențiale maxime;
 r_{\min} și t_{\min} sunt dimensiunile radiale și tangențiale minime.

where (figure 5):

r_{\max} and t_{\max} are radial and tangential maximal dimensions;
 r_{\min} and t_{\min} are radial and tangential minimal dimensions.

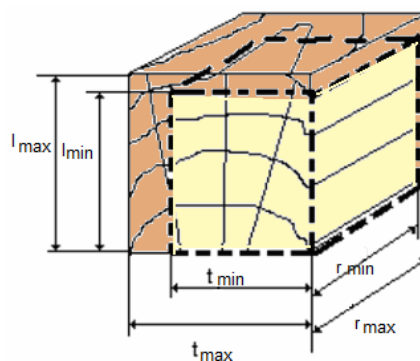


Figura 5. Modelul contragerii lemnului masiv: l_{\max} , r_{\max} , t_{\max} - dimensiuni longitudinale, radiale și tangențiale maxime;
 l_{\min} , r_{\min} , t_{\min} - dimensiuni longitudinale, radiale și tangențiale minime
 Figure 5. Sketch for solid wood shrinkage: l_{\max} , r_{\max} , t_{\max} - longitudinal, radial and tangential maximal dimensions;
 l_{\min} , r_{\min} , t_{\min} - longitudinal, radial and tangential minimal dimensions

Au fost efectuate și alte experimentări cu alte temperaturi intermediare, respectiv 80 și 100 °C, dar rezultatele obținute au avut valori neglijabile, cu diferențe sub 3 %.

There were made other testing with intermediate temperatures of 80 and 100 Celsius degrees, but the results have negligible values, with differences under 3%.

Tabelul 1. Valorile contragerilor radiale, tangențiale și volumice
Table 1. Values of radial, tangential and volume shrinkage

No.	Radial shrinkage, %		Tangential shrinkage, %		Volume shrinkage, %	
	60 °C	120 °C	60 °C	120 °C	60 °C	120 °C
1	5.2	5.4	10.1	9.7	14.77	14.57
2	5.6	5.3	9.8	9.6	14.85	14.59
3	5.4	5.3	9.6	9.8	14.45	15.04
4	5.3	5.2	10.2	10.2	14.95	14.86
5	5.5	5.3	10.0	10.1	15.55	14.59
Mean	5.4	5.3	9.9	9.8	14.91	14.72

4. Concluzii finale

Lucrarea abordează o chestiune de finețe a influenței asupra contragerii lemnului, respectiv influența temperaturii asupra contragerilor liniare și volumice. Rezultatele proprii au arătat că influența temperaturii asupra contragerii lemnului este ușor descrescătoare. Această influența ușoară este ușor dovedită de rezultatele controversate existente în literatura de specialitate.

Lucrarea s-a concentrat pe contragerile liniare radiale și tangențiale, considerând că acestea vor avea diferențe mari în funcție de temperatură, dar rezultatele obținute nu au confirmat acesta ipoteză.

S-a calculat de asemenea contrageria volumică, dar rezultatele au fost tot ne semnificative. S-a dovedit în acest fel că temperatura nu este un factor important al valorii contragerii lemnului, dar viteza de uscare a lemnului, dimensiunile cherestelei, specia lemnoasă și gradientul de uscare pot fi importanți. Un factor foarte important este viteza de uscare, care prin tensiunile create, în special prin apariția unor alte defecte la suprafață, cum ar fi colapsul și cementare superficială. Aceste defecte grave nu vor lăsa lemnul să se contrage liber, cauzând în acest fel alte defecte, precum crăpăturile și fisurile.

4. Final conclusions

The paper addresses a sensitive issue of influence on wood shrinkage, respectively the influence of drying temperature on linear and volume shrinkage. The own results showed that the influence of temperature on shrinkage is slightly decreasing. This slightly influence is easily proved by the controversial results existing in literature.

The paper has focused on linear tangential and radial shrinkage, believing that they will have big differences related to temperature, but the result did not confirm this hypothesis.

It has been also calculated the volume shrinkage, but results still remained insignificant. It turns out that temperature is not an important factor of wood shrinkage value, but wood drying speed, size of timber, wooden specie and rate of drying can be important. A very important factor is the drying rate that by the tensions created especially by the appearance of such defects on the surface as collapse and surface cementation. These worse defects will not let wood to be free subjected at shrinkage, causing a lot of others defects as cracks and fissures.

References

1. Comșa, Gh., Brenci, L.M.: *Modern technologies for laminated parquet*. Proceeding of Conference "Modern technologies, quality and restructuring", 2003, p. 41-44, Technical University of Moldova, ISBN 9975-9748-0-5, Chișinău, Moldova
2. Kadlec, J.: *Biological Wastes from Forestry Industry*. Proceeding of Conference "Trends of wood working, forest and environmental technology", 2006, Technical University in Zvolen, Slovakia, ISBN 80-228-1650-7, p. 101-105,
3. Filipovici, J.: *Wood study*. Vol. I, II. Ed. Didactică și Pedagogică, 1965, Bucharest, p. 44 (in Romanian)
4. Boieriu, C., Lica, D., Mihailescu, T.: *Technology of furniture*. Transylvania University Press, 2008, Brasov, ISBN 978-973-598-120-4 (in Romanian)
5. Moura, S., Abella, D., Anjos, O.: *Evaluation of wood basic density as an indirect measurement of the volume of wood raw material*. Proceeding of International Conference "Wood science and engineering in the third millennium", June, 2007, Brasov, ISSN 1843-2689, Transylvania University Press, p. 72-78
6. Câmpean, M.: *Study concerning the hysteresis of sorption and desorption for wood of various species and dimensions*, Proceedings of Conference "Wood science and engineering in the third millennium", 2009, Transylvania University Press, Brasov, p. 52-57, ISSN 1843-2689
7. Kollmann, F., Cote, Jr.: *Principles of Wood Science and Technology- Solid Wood (vol I)*, Springer, Berlin, New York, 1968
8. Bekhta, P., Potapova, O., Sedliacik, J., Hijiroglu, S.: *Technology of low-temperature veneer gluing in the manufacture of plywood*. Proceedings of Conference "Wood science and engineering in the third millennium", 2009, Transylvania University Press, Brasov, p. 270-275, ISSN 1843-2689