

**PREDICȚIA TEORETICĂ ȘI  
DETERMINAREA EXPERIMENTALĂ A  
TIMPULUI DE ÎNCĂLZIRE ÎN CAZUL  
TRATAMENTULUI TERMIC LA  
TEMPERATURI ÎNALTE AL LEMNULUI**

**THEORETICAL PREDICTION AND  
EXPERIMENTAL DETERMINATION OF  
HEATING TIME DURING HIGH-  
TEMPERATURE HEAT TREATMENT OF  
WOOD**

**LIU Xin-you**

PhD Student - Beijing Forestry University - College of Material Science and Technology  
Adresa/Address: Qinghua donglu nr. 35, 100083 Beijing, China  
E-mail: [andrewchina418@yahoo.com](mailto:andrewchina418@yahoo.com)

**ZHANG Bi-guang**

Prof.Dr. - Beijing Forestry University - College of Material Science and Technology  
Adresa/Address: Qinghua donglu nr. 35, 100083 Beijing, China

**YI Song-lin**

Prof.Dr. - Beijing Forestry University - College of Material Science and Technology  
Adresa/Address: Qinghua donglu nr. 35, 100083 Beijing, China

**Rezumat:**

*Predicția teoretică stă la baza cunoașterii fundamentale și aplicării corecte a unei tehnologii în procesul de producție. Prezentul studiu folosește o ecuație diferențială pentru predicția timpului de transfer termic dintre suprafața și miezul lemnului, cu aplicabilitate în estimarea duratei tratamentelor termice la temperaturi înalte. Predicția obținută a fost comparată cu rezultatele unui studiu experimental efectuat pe cherestea de plop chinezesc cu diverse grosimi (20, 40 și 60 mm). A fost monitorizat timpul necesar pentru ca miezul lemnului să atingă temperaturi de 100 °C, 130 °C și respectiv 180 °C, iar valorile obținute au fost comparate cu valorile din predicția teoretică. Rezultatul acestei comparații arată că valorile obținute experimental au fost conforme cu predicția teoretică și deci ecuația de calcul propusă constituie un instrument de predicție viabil.*

**Cuvinte cheie:** *tratament termic; lemn de plop; transfer de căldură; predicție teoretică; verificare experimentală.*

**INTRODUCERE**

Proprietățile superioare ale lemnului tratat termic la temperaturi înalte, respectiv: durabilitatea biologică, rezistența la variații climaterice, stabilitatea dimensională, caracterul ecologic, au determinat utilizarea sa pe scară din ce în ce mai largă atât pentru utilizări la interior, cât și la exterior, cum ar fi pentru mobilier și decorațiuni interioare, scări de lemn, amenajări în parcuri, saune etc. (Gu și Tu 2007, Wang ș.a. 2007).

Procesul tehnologic al tratamentului termic la temperaturi înalte al lemnului se derulează în trei etape (Fig. 1):

- prima etapă este cea de uscare cu aer cald;
- a doua etapă este cea de tratare propriu-zisă;
- ultima etapă constă în procesul de răcire și reglare a umidității lemnului.

În cadrul primei etape, cea de uscare cu aer cald,

**Abstract:**

*Theoretical prediction provides basic understanding and guidance to correctly implement a certain technology in the production process. The present study uses a differential equation to predict the heat transfer time between the surface and core layer of wood during the heat treatment, with applicability in estimating the duration of heat treatments at high temperatures. The obtained prediction was compared with the result of an experimental study performed on Chinese poplar wood with various thicknesses (20, 40 and 60mm). During this experiment, the time necessary for the core of wood to reach a temperature of 100 °C, 130 °C and finally 180 °C was monitored and the recorded values were compared with the predicted ones. The result of this comparison proved that the experimental values matched the theoretically predicted times, validating thus the applicability of the proposed equation as prediction tool.*

**Key words:** *heat treatment; poplar wood; heat transfer; theoretical prediction; experimental verification.*

**INTRODUCTION**

The improved properties of wood treated at high temperatures, such as: biological durability, resistance to climate oscillations, dimensional stability, as well as environmental protection, led to the increasing employment of these wood products in both indoor and outdoor uses, e.g. furniture, wooden staircases, urban arrangements in parks, saunas etc. (Gu and Tu 2007, Wang et al. 2007).

The technological process of high-temperature heat treatment of wood takes place in three steps (Fig.1):

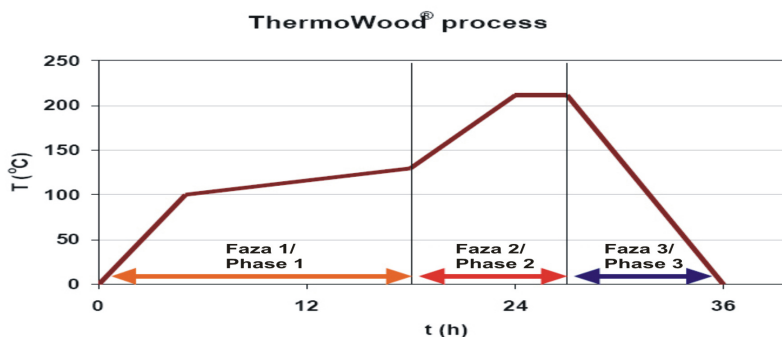
- the first step is represented by warm drying;
- the second step is the actual treatment;
- the last step consists in cooling and moisture equilibration in wood.

atât suprafața lemnului cât și straturile profunde ale acestuia se încălzesc uniform. Acest aspect are rol decisiv în obținerea unui tratament termic de calitate, mai ales în ceea ce privește lemnul cu o grosime semnificativă. În cazul în care suprafața lemnului și straturile profunde nu se încălzesc uniform, produsul obținut va avea defecte. De asemenea, durata uscării afectează durata și calitatea tratamentului termic propriu-zis. În cazul în care timpul de uscare este prea scurt, tratamentul termic de la nivelul straturilor profunde ale lemnului este insuficient, determinând obținerea unor produse de calitate inferioară. Dacă acest timp este prea lung, va genera un consum nejustificat de energie (Li ș.a. 2004).

Până în prezent sunt foarte puține informații cu referire la timpul necesar din cadrul tratamentelor termice la temperaturi înalte ale lemnului. Drept urmare, autorii acestei lucrări și-au propus dezvoltarea unui instrument teoretic de estimare suficient de precisă a acestei durate. Având la bază cunoștințele teoretice asupra procesului de încălzire cu aer cald a lemnului, s-a dedus timpul necesar pentru transferul termic, între stratul superficial și miezul lemnului, până când între cele două straturi se ajunge la faza de echilibru termic. Rezultatele obținute au fost ulterior comparate cu valori experimentale pentru verificarea și validarea modelului de calcul propus.

During the first step, drying in hot air, both the wood surface and the inner layers of wood are heated evenly. This has an important role in obtaining a qualitative heat treatment, especially when treating wood of great thickness. If the wood surface and inner layers are not uniformly heated, the final product is full of defects. Moreover, the drying time also affects the actual treatment time and quality. If the drying time is too short, the thermal treatment of the inner layers of wood is insufficient, thus leading to products of inferior quality. On the contrary, if this time is too long, it leads to energy waste (Li et al. 2004).

Currently, there is little information with respect to the required time in high-temperature thermal treatment of wood. Consequently, the authors of this paper, proposed themselves to develop a theoretical tool for estimating sufficiently accurate this duration. Based on their theoretical knowledge on wood heating processes, the authors inferred the necessary time of the heat transfer between the surface layer and the core layer of wood, until an equilibrium phase is reached between the two layers. The obtained results were compared with experimental values, for verification and validation of the proposed calculation model.



**Fig. 1.**

**Diagrama procesului de tratare termică la temperaturi înalte a lemnului / Diagram of the technological high-temperature heat treatment process (www.thermowood.fi)**

#### CALCULUL TEORETIC AL TIMPULUI DE ÎNCĂLZIRE

În cadrul tratamentelor termice ale lemnului există transfer termic atât între suprafața lemnului și mediul care transmite căldura, cât și între straturile interne ale lemnului. Pe tot parcursul tratamentelor termice, începând cu etapa de încălzire și finalizând cu ultima etapă, cea de răcire, există un transfer de căldura permanent dar variabil. Ca atare, cunoașterea distribuției și a modificărilor pe care le înregistrează câmpul termic în interiorul lemnului și mai ales pe secțiunea transversală a acestuia, aduce un aport decisiv în ameliorarea calității tratatamentelor termice și în minimizarea consumului energetic.

În situația în care transferul termic este variabil, fiecare punct din interiorul lemnului înregistrează o

#### THEORETICAL CALCULUS OF HEATING TIME

During thermal treatments of wood, a heat transfer takes place between the wood surface and the environment as well as between the inner layers. There is a permanent but variable heat exchange throughout the whole heat treatment duration, starting with the heating stage and ending with the cooling stage. Consequently, the knowledge of distribution and changes that occur in the thermal field inside wood, mainly in the cross section, would bring an important contribution to the improvement of thermal treatments quality and would minimise the energy consumption.

If the heat exchange is variable, every point inside wood registers a thermal variation that may be computed based on Fourier formula (Yang 1987):

variație a temperaturii care poate fi calculată pe baza ecuației lui Fourier (Yang 1987):

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{c\rho} \quad (1)$$

unde:

$t$  este temperatura înregistrată într-un punct arbitrar din interiorul lemnului (definit prin coordonatele  $x, y, z$ ) la momentul de timp  $\tau$ , în °C;

$\tau$  - timpul, în h;

$\lambda$  - conductivitatea termică a lemnului, în W/m·grd;

$c$  - căldura specifică a lemnului, în kJ/kg·grd;

$\rho$  - densitatea (masa specifică) a lemnului, în kg/m<sup>3</sup>;

$q_v$  - cantitatea de energie termică produsă pe unitatea de volum de lemn în unitatea de timp (în cazul lemnului, care este un material ce nu prezintă o sursă internă de căldură:  $q_v = 0$ );

$\frac{\lambda}{c\rho}$  - viteza de difuziune termică a lemnului, numită

și difuzivitate termică și notată cu  $a$  ( $a = \frac{\lambda}{c\rho}$  m<sup>2</sup>/h).

Deoarece în cazul cherestelei, lungimea acesteia depășește cu mult grosimea și lățimea, în derularea experimentului s-a aplicat o soluție de rășină epoxidică pe capetele pieselor, astfel încât variația termică care apare pe lungimea acestuia să poată fi neglijată. În acest mod s-a studiat doar transferul termic ce se înregistrează pe grosimea și lățimea lemnului (transfer termic bidirecțional) (Gao 2008). Ținând cont de aceste considerente și de orientarea fibrelor în raport cu axele (x-radial, y-tangențial; z-în lungul fibrelor), temperatura înregistrată în orice punct din interiorul lemnului la momentul de timp  $\tau$  poate fi calculată cu relația:

where:

$t$  is the temperature recorded in an arbitrary point inside wood (defined by the coordinates  $x, y, z$ ) at a given time  $\tau$ , in °C;

$\tau$  - time, in h;

$\lambda$  - thermal conductivity, in W/m·grd;

$c$  - specific heat of wood, in kJ/kg·grd;

$\rho$  - density of wood, in kg/m<sup>3</sup>;

$q_v$  - quantity of thermal energy produced per volume unit in the time unit (in the case of wood, which does not contain any heat source:  $q_v=0$ );

$\frac{\lambda}{c\rho}$  - thermal diffusion rate of wood, also called

thermal diffusivity and usually noted with  $a$  ( $a = \frac{\lambda}{c\rho}$  m<sup>2</sup>/h).

Since in the case of the wood, the length exceeds the thickness and the width, a particular solution was adopted for the experiment; the ends of the test pieces were covered with an epoxy sealing, so that the thermal variation that usually appears in wood length could be neglected. In this way only the thermal transfer that appears over the thickness and width was studied (a two-way heat transfer) (Gao 2008). Considering all these and also the orientation of wood fibres relative to the coordinate axes (x-radial; y-tangential; z-along the grain), the temperature recorded inside the timber at any point and at a given time  $\tau$  will be:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a_r \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + a_t \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \quad (2)$$

în care  $a_r$  și  $a_t$  reprezintă difuzivitatea termică a lemnului pe direcție radială și respectiv tangențială. Deoarece între valorile  $a_r$  și  $a_t$  nu există diferențe semnificative se acceptă simplificarea  $a_r = a_t = a$ . Valoarea coeficientului de difuzivitate termică ( $a$ ) variază în funcție de densitatea și umiditatea materialului lemnos.

Se cunosc condițiile de la începutul etapei de încălzire:  $\tau = 0$  și  $t = t_0$ . Se consideră că la începutul etapei de încălzire temperatura este uniform repartizată în interiorul lemnului. După demararea procesului de încălzire, temperatura suprafeței lemnului urcă, atingând în scurt timp valoarea  $t_1$ , valoare foarte apropiată de cea a mediului care transmite căldura.

Explicitând temperatura unui punct arbitrar din interiorul lemnului din ecuația lui Fourier rezultă o

where  $a_r$  and  $a_t$  represent the thermal conductivity in radial and tangential direction, respectively. Since there are no significant differences between  $a_r$  and  $a_t$ , one may consider that  $a_r = a_t = a$ . The value  $a$  varies as function of wood density and moisture.

The initial conditions (in the early stage of heating) are given:  $\tau = 0$  and  $t = t_0$ . It is considered that at the beginning of the warming stage, the temperature of each point inside wood is equal. After heating begins, the surface temperature of wood at rises and it will soon reach the value  $t_1$ , which is very close to that of the heating environment.

By expliciting the temperature of an arbitrary point inside wood from Fourier's equation, the following expression (infinite series) results:

expresie sub forma unei serii infinite:

$$t = t_1 + (t_0 - t_1) \frac{16}{\pi^2} \left[ e^{-\pi^2 \cdot \tau \left( \frac{a_x}{b^2} + \frac{a_y}{h^2} \right)} \sin \frac{\pi x}{b} \cdot \sin \frac{\pi y}{h} \right] + \dots \quad (3)$$

în care:

$b$  și  $h$  reprezintă lățimea și respectiv grosimea lemnului;

$t$  - temperatura punctului arbitrar ales din interiorul lemnului;

$t_1$  - temperatura mediului de tratare;

$\tau$  - timpul de încălzire.

Ecuția (3) permite determinarea teoretică a temperaturii unui punct arbitrar din interiorul lemnului după o durată de tratare dată. Cu cât se iau mai mulți termeni ai seriei în considerare, cu atât rezultatul este mai precis.

Pornind de la ecuația (2), există și posibilitatea rezolvării problemei inverse, de calculare a timpului necesar pentru ca un anumit punct să atingă o temperatura impusă, după relația:

where:

$b$  and  $h$  are the width and the thickness of wood;

$t$  - temperature of an arbitrary point inside wood;

$t_1$  - environment temperature;

$\tau$  - heating time.

Relation (3) allows the theoretical determination of the temperature of an arbitrary point inside wood after a given period of the treatment. The higher the number of series terms taken into consideration, the higher the result accuracy is.

Starting from equation (2), there also exists the possibility to solve the inverse problem, respectively to compute the necessary time needed by a certain point to reach a given temperature, according to the relation:

$$\tau = \frac{\ln(t_1 - t) + 2 \ln \pi - 4 \ln 2 - \ln(t_1 - t_0) - \ln \sin \frac{\pi x}{b} - \ln \sin \frac{\pi y}{h}}{-\pi^2 a \cdot \left( \frac{1}{b^2} + \frac{1}{h^2} \right)} \quad (4)$$

Ecuția (4) reprezintă modelul de calcul propus de autori pentru predicția teoretică a duratei de încălzire în cazul tratării termice la temperaturi înalte a lemnului.

Equation (4) represents the calculation tool proposed by the authors to theoretically predict the heating time of a high-temperature heat treatment.

## DETERMINAREA EXPERIMENTALĂ A TIMPULUI DE ÎNCĂLZIRE

### Material

Experimentele s-au efectuat cu lemn de plop chinezesc (*Populus tomentosa*), originar din zona de la periferia Beijingului, material uscat în aer liber. Materialul a fost selectat pe baza cererilor reale din producție (fără colorații, fără noduri, fără atac de ciuperci, fără fisuri sau alte defecte evidente). Umiditatea și dimensiunile materialului utilizat în cadrul experimentului se regăsesc în Tabelul 1.

### Echipament

Tratarea s-a efectuat într-o etuvă de tratare a lemnului cu termostat, fabricată de către autor, capabilă să asigure temperaturi între 25°C și 500°C în interiorul lemnului, mediul de tratare fiind vaporii supraîncălziți (umiditate relativă  $\varphi=100\%$ ). Instalația a fost echipată și cu un sistem de măsurare a temperaturii cu trei senzori, capabili să măsoare temperatura măsurată în trei puncte din interiorul lemnului simultan.

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE HEATING TIME

### The material

For this experiment, air-dry Poplar chinese wood (*Populus tomentosa*), originally from Beijing area was used. The material was selected according to the actual production demands (with no discoloration, no knots, no biological attack, no obvious cracks or other defects). The moisture and the sizes of the material used in the experiment are given in Table 1.

### Equipment

The treatment was performed in an oven, manufactured by the author, able to provide real temperatures inside the test material between 25°C and 500°C in superheated steam environment (RH=100%). The installation was equipped also with a measuring system of temperature with three sensors, capable of simultaneous measuring of the real temperature inside wood in three different points.

Tabelul 1/Table 1

**Caracteristicile materialului experimental / The characteristics of the material used in the experiment**

Nr.	Umiditate inițială / Initial MC [%]	Dimensiuni / Dimensions [mm]	Bucăți/Pcs.
1	8.6	150×75×20	20
2	9.3	150×75×40	20
3	10.4	150×75×60	20

**Metoda**

1) Pregătirea materialului de testat a cuprins: sigilarea lemnului la capete, găurirea lemnului, cântărirea și amplasarea celor 3 termometre.

Mai întâi s-a aplicat pe capetele lemnului o rășină epoxidică. În continuare au fost forate 3 găuri pe cantul lemnului, în lungul axului longitudinal central. Prima gaură a fost poziționată având centrul la distanța de 1mm de suprafața lemnului, a doua gaură a avut centrul localizat la 1/4 din grosimea materialului iar ultima gaură a avut centrul amplasat în centrul materialului de testat. Adâncimea găurilor a fost calculată la jumătate din lățimea materialului de testat. După finalizarea celor 3 găuri, piesele au fost cântărite cu o balanță cu precizie de 0,001g. Ulterior au fost introduse cele 3 termometre.

2) Tratarea termică: materialul de testat a fost introdus în instalația de tratare în mai multe șarje, pe grosimi. S-a monitorizat timpul necesar pentru ca centrul materialului lemnos să ajungă la temperaturile prestabilite (100°C, 130°C și respectiv 180°C). Când centrul epruvetelor a ajuns la temperatura de 180°C experimentul s-a încheiat. Tot atunci s-a notat și timpul total al tratamentului termic.

3) Analiza rezultatelor: valoarea calculată teoretic a timpului de încălzire a fost comparată cu valoarea obținută în urma experimentului mai sus menționat, precum și cu valoarea empirică utilizată pe larg în procesul tehnologic din producție.

Pentru calculul teoretic al duratei de încălzire, pe baza ecuației (4), s-a considerat valoarea coeficientului de difuzivitate termică pentru lemnul de plop:  $a = 0,00041\text{m}^2/\text{h}$  (Yi 1996, Siau 1989).

Valoarea empirică a timpului de încălzire, aplicată în practică conform standardului în vigoare privind uscarea artificială a chereștelei (LY/T 2002), se estimează în funcție de grosimea materialului, conform relației:

$$\tau (\text{empiric}) = 1,5d \quad [\text{h}] \quad (5)$$

unde  $d$  este grosimea materialului, în cm.

**REZULTATE ȘI DISCUȚII**

În Tabelul 2 se regăsesc valorile timpului de încălzire, timp necesar pentru a se atinge temperatura prevăzută în etapa de uscare din cadrul tratamentului de tratare termică a lemnului de plop. Valorile au fost monitorizate la diferite adâncimi față de suprafața

**Method**

1) The preparation of the testing material included: the sealing of the test pieces at both ends, drilling, weighing and placing of the three thermometers into the wood.

First the wood ends were sealed with epoxy resin. Three holes were drilled in the edges of the test pieces, along their central axis. The first hole was positioned with its centre at a distance of 1mm from the surface, the second hole centre was located at 1/4 of the wood thickness and the last hole had its centre right in the centre of the test piece. The depth of the holes was equal to the half width of the test material. After drilling the three holes, the tested material was weighed with a balance with a precision of 0.001g. In the end, the three thermometers were placed into the holes inside the test material.

2) The thermal treatment: the testing material was placed in the oven in separate batches corresponding to the material thickness. During the experiment, the time required for the core of the pieces to reach the foreseen temperatures (100°C, 130°C and 180°C respectively) was monitored. When the core of the sample reached the temperature of 180°C the experiment ended. At this point the total time of the heating treatment was also recorded.

3) Analysis of results: the theoretically computed values of the heating time were compared with the experimentally obtained ones, as well as with the empirical values, widely used in the industrial production process.

The theoretical calculus of the heating time was performed according to equation (4), where the value of the thermal conductivity of Chinese poplar wood was considered  $a = 0.00041\text{m}^2/\text{h}$  (Yi 1996, Siau 1989).

The empirical value of the heating time, broadly applied in practice according to the standard in force for kiln-drying of timber (LY/T 2002), is estimated as function of the material thickness, according to the relation:

$$\tau (\text{empirical}) = 1,5d \quad [\text{h}] \quad (5)$$

where:  $d$  is the material thickness, in cm.

**RESULTS AND DISCUSSIONS**

Table 2 displays the values of the heating time which was necessary to achieve the temperature foreseen for the drying stage within the thermal treatment process performed on poplar wood. These values were monitored at different depths inside wood, for three different wood thicknesses.

lemnului, pentru trei grosimi diferite de material lemnos.

În Fig. 2 este reprezentată grafic evoluția temperaturii în centrul pieselor de diferite grosimi. Pe grafic sunt reprezentate două curbe, corespunzătoare rezultatelor obținute experimental, comparativ cu cele calculate pe baza relației (4).

Fig. 2 describes the temperature evolution in the core of the samples of different thicknesses. Two curves are represented, corresponding to the values obtained experimentally, comparatively to the ones computed by means of equation (4).

Tabelul 2 / Table 2

**Durata de încălzire a lemnului de plop la diferite temperaturi, în funcție de grosimea lemnului și adâncimea considerată / Heating time of poplar wood at different temperatures, depending on wood thickness and the considered depth**

Grosimea materialului / Thickness [mm]	Timp / Time [min]	Temperatura/Temperature:					
		100 °C		130 °C		180 °C	
		Centru / Centre	La ¼ din grosime / At ¼ of thickness	Centru / Centre	La ¼ din grosime / At ¼ of thickness	Centru / Centre	La ¼ din grosime / At ¼ of thickness
20	Valoare teoretică / Theoretical value	18,3	16.3	47,5	45.5	82,6	80.6
	Valoare experimentală / Experimental value	23,5	21.7	60	55.5	104,3	99.9
40	Valoare teoretică / Theoretical value	60,9	54.5	158,4	151.9	275,5	269.0
	Valoare experimentală / Experimental value	70,4	58.3	165,8	158.6	301,6	296.1
60	Valoare teoretică / Theoretical value	107,3	95.9	279,0	233.3	485,2	393.8
	Valoare experimentală / Experimental value	115,4	108.3	288,5	247.1	520,9	421.1

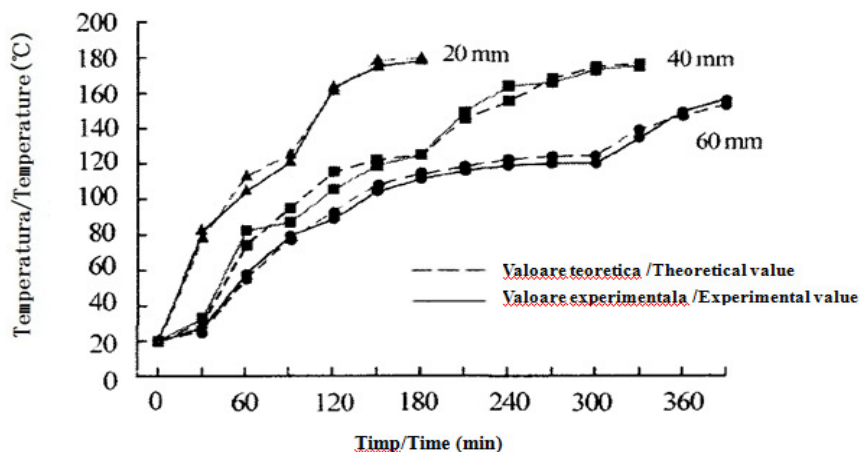


Fig. 2.

**Comparația dintre valoarea obținută prin calcul teoretic și cea obținută experimental în ceea ce privește timpul de încălzire la nivelul centrului materialului lemnos / Comparison between the theoretically computed and the experimentally obtained values of heating time at wood core level.**

Din Tabelul 2 și Fig. 2 se poate deduce că valorile calculate teoretic și valorile determinate experimental ale timpului necesar pentru ca centrul materialului să ajungă la temperatura stabilită sunt foarte apropiate. Valorile raportului între cele două valori pentru cele trei grosimi considerate ale materialului lemnos sunt foarte mari: 0,95; 0,99; 0,98, ceea ce confirmă validitatea

From Table 2 and Fig. 2, one can deduce that the theoretically computed values of time necessary for the centre of the material to reach the established temperature, as well as the experimentally obtained ones are very close. The ratio values between the theoretical and the experimental time for the three thicknesses considered are very high: 0.95, 0.99, and

formulei teoretice de calcul.

Formula empirică nu este aplicabilă proceselor de tratare la temperaturi înalte sub 180°C. Prezentul studiu demonstrează, pentru cazul particular al celor trei grosimi diferite de material lemnos, că valoarea empirică depășește cu mult atât valoarea teoretică cât și pe cea experimentală a timpului de încălzire (Fig. 3). Cu alte cuvinte, dacă se consideră valoarea empirică a timpului de încălzire drept reper în procesul tehnologic atunci aceasta va genera importante pierderi energetice.

0.98, which proves the accuracy of the theoretical formula.

The empirical formula however is not applicable in high-temperature treatment processes. The present study demonstrates particularly, for three different thicknesses of wood, that the empirical value of the heating time far exceeds both the theoretical value and the experimental one (Fig. 3). In other words, should the empirical value of the heating time be considered as reference value in the technological process, significant energy losses will be generated.

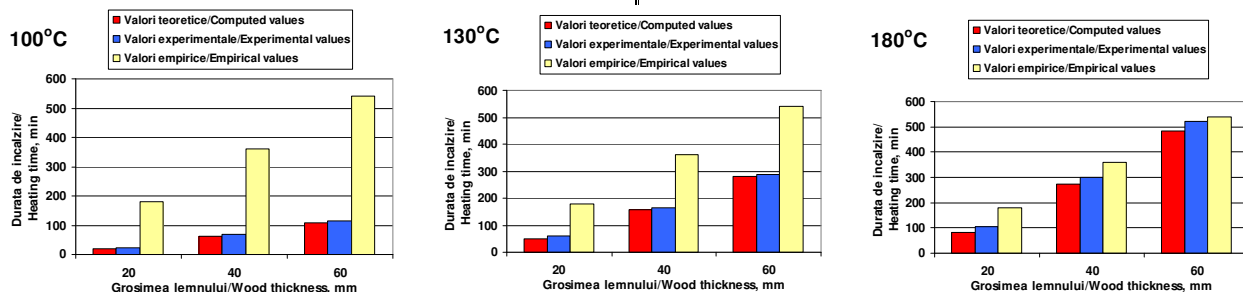


Fig. 3.

**Diferența între valorile empirice față de cele teoretice și experimentale ale duratei de încălzire a lemnului de plop la diferite temperaturi / Empirical values compared to theoretical and experimental values of heating time of poplar wood at different temperatures.**

Prin acest experiment s-a descoperit de asemenea că în faza de început a etapei de încălzire viteza de încălzire a materialului de testat este mai mare față de viteza de încălzire calculată teoretic. Ulterior, diferența se reduce, determinând o diminuare a transferului termic și ca atare o viteză de încălzire mai redusă. Cu cât temperatura suprafeței se apropie de temperatura mediului care transmite căldură, cu atât viteza de încălzire este mai mică. Materialul lemnos cu grosimi de 20mm, 40mm și respectiv 60mm, necesită pentru a atinge aceeași temperatură un timp care se supune următorului raport: 1:3:5.

By this experiment it was also found that the heating rate of the material during the first warming stage is higher than the heating rate computed theoretically. Subsequently, the thermal difference is reduced, causing a decrease in heat transfer and therefore a lower heating rate. As the heating rate approaches the temperature of the heating environment, the smaller it is. The timber with thicknesses of 20mm, 40mm and 60mm, requires a time that obeys the ratio 1:3:5 in order to reach the same temperature.

## CONCLUZII

1) Valorile determinate teoretic și experimental ale timpului de încălzire pentru lemnul de plop sunt foarte apropiate, coeficientul de interdependență fiind de peste 0,95. Acest lucru demonstrează aplicabilitatea metodei de calcul teoretic a timpului de încălzire. Prin punerea în practică a formulei de calcul se poate estima mai precis timpul de încălzire, acesta reducându-se cu mai mult de 30%, față de timpii aplicați curent în practică, cu reducerea aferentă a consumului energetic, în condițiile prezervării calității materialului lemnos supus tratamentului termic. De asemenea, cunoscându-se timpul de încălzire se poate estima temperatura fiecărui punct din interiorul materialului lemnos, controlându-se variația termică dintre stratul superficial și cel intern la o valoare de sub 10°C, prin aceasta ameliorându-se calitatea tratamentului termic.

## CONCLUSIONS

1) The theoretical and experimental values of the heating time are very close, the interdependence coefficient being over 0.95. This demonstrates that the theoretical calculation method of the heating time finds its application. By putting into practice this formula the heating time may be estimated, reducing this time by 30 % compared to the currently used times, a reduction being also present in the energy consumption in terms of preserving the quality of the timber subjected to thermal treatment. Moreover, by knowing the heating time, one may estimate the temperature of any point inside the timber, thus controlling the thermal variation between the superficial layer and the inner layer at a value below 10°C, which helps improving the quality of the heat treatment.

2) Valoarea empirică a timpului de încălzire depășește atât valoarea teoretică cât și pe cea experimentală a timpului de încălzire, la toate grosimile și toate temperaturile considerate. Din acest motiv, se consideră greșită adoptarea acestei metode de determinare a duratei de încălzire în procesele de tratare termică la temperaturi înalte, întrucât aceasta va cauza pierderi energetice semnificative.

Acest studiu se referă doar la lemn de plop uscat. Valoarea teoretică a timpului de încălzire în ceea ce privește alt tip de material lemnos, cu alt procent de umiditate, necesită studii individualizate.

2) The empirical value exceeds both the theoretical and experimental values of the heating time, for all wood thicknesses and temperatures considered. For this reason, it is considered wrong to apply this method in order to establish the heating time in high-temperature treatment processes, because significant energy losses will be engendered.

This study refers only to dry poplar wood. The theoretical value of the heating time for any other wooden species, with a different initial moisture content, requires individualized research.

#### BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- GAO, J.M. (2008). Science of Wood Drying (in Chinese language). Scientific Publishing House, Beijing.
- GU, L.B. TU, T.Y (2007). Characteristics and Uses of Carbonized Wood. Prefabricated Wood Panels (in Chinese language). China (5): 30-32.
- LI, X.J., ZHANG, B.G., YANG, T., WANG, Q.X. (2004). Initial Study of Heating Time in Wood Drying (in Chinese language). Journal of Beijing Faculty of Silviculture 26(2): 90-93.
- SIAU, J.F. (1989). Heat Transfer in Wood. Forestry Publishing House, Beijing, pp. 168-169
- WANG, S., YI, S.L., ZHANG, B.G. (2007). Influence of Thermal Treatments Upon Colour Modification of Poplar Wood. Proceedings of 11th China Wood Drying Conference ,Fuzhou,China, pp. 205-209
- YANG, S.M. (1987). Science of Heat Transfer (in Chinese language). Editura de Educație Populară, Beijing.
- YI, S.C. (1996). Wood Science. Forestry Publishing House, Beijing, pp. 133-134.
- \*\*\*(2003). Thermowood Handbook, Finnish Thermowood Association (www.thermowood.fi)
- \*\*\*(2002). LY/T 1068-2002 Chinese Standard Concerning the Kiln-Drying of Wood.

#### NOTĂ:

Lucrare publicată în limba chineză în revista: CHINA WOOD INDUSTRY Vol.23 No.2 pp.16-18

*Traducere în limba română și adaptare  
pentru revista PRO LIGNO: LIU Xin-you*

*Translation into English performed by:  
Eng. Ana-Adriana Tuduțe Trăistaru, PhD-Student*