

DETERMINAREA MODULULUI DE ELASTICITATE LA LEMNUL DE PIN D'ALEP (*PINUS HALEPENSIS MILL*) PRIN METODA ULTRASUNETELOR

DETERMINATION OF ELASTICITY MODULUS OF ALEPPO PINE WOOD (*PINUS HALEPENSIS MILL*) WITH THE ULTRASOUND METHOD

Abdelhakim DAoui

Assoc.Prof.Dr. - Université M'hamed Bougara
Adresa/Address: Boumerdès 35000 Algérie
E-mail: hdaouis@yahoo.fr

Abedellatif ZERIZER

Prof.Dr. - LMMC, GTT, Université M'hamed Bougara
Adresa/Address: Boumerdès 35000 Algérie
E-mail: zerizer_ab@yahoo.fr

Remy MARCHAL

Prof.Dr. - LABOMAP, ENSAM Cluny
Adresa/Address : 26 rue porte de Paris, Cluny 71250 France
E-mail: Remy.Marchal@CLUNY.ENSAM.fr

Rezumat:

În vederea determinării proprietăților mecanice - în speță a modulului de elasticitate - ale compozitelor fibroase, metodele nedestructive prezintă anumite avantaje. Tehnica ultrasunetelor, bazată pe măsurarea vitezei de propagare a unui impuls și ținând seama de coeficienții de elasticitate ai materialului, a permis realizarea unui studiu pe o specie indigenă foarte cunoscută, respectiv pinul de Alep (*Pinus halepensis Mill.*), cu luarea în considerare a proprietăților fizice ale acesteia, cum ar fi umiditatea și densitatea. Principalul scop al acestui studiu este găsirea corelațiilor dintre comportarea acustică a materialului și caracteristicile sale fizice și mecanice.

Cuvinte cheie: lemn, pin de Alep, tehnica ultrasunetelor, modul de elasticitate, densitate.

INTRODUCERE

Sunetul este un fenomen fizic perceput de urechea umană. El este generat de vibrații în solide, lichide sau gaze și este transmis sub formă de unde, care sunt oscilații regulate ale mediului de propagare. În ciuda faptului că aspectul lor diferă, diferitele tipuri de unde sunt caracterizate de aceiași parametri: viteză de propagare, lungimea de undă, frecvența. Frecvența sunetului depinde de caracteristicile sursei, în timp ce viteza de propagare depinde de natura materialului în care se deplasează unda, de densitatea și de elasticitatea acesteia (Gerl și Issi 1997). Dintre mai multe metode de măsurare, cea prin contact constă în măsurarea vitezei de propagare a undei ultrasonore cu ajutorul a doi traductori "lipiți" pe epruvetă. Traductorul este plasat direct pe piesă. Legătura acustică este asigurată de către agentul de cuplare, care poate fi vaselină, ulei, adeziv celulozic sau un gel special. Grosimea peliculei este de ordinul zecimilor de milimetru. Această tehnică este folosită în special în timpul controlului manual, ca de exemplu atunci când deplasarea traductorului este realizată de un operator.

Abstract:

With a view to determining the mechanical properties - specifically the modulus of elasticity - of fibrous composites, the nondestructive methods present certain advantages. The ultrasound technique, based on measuring the propagation velocity of an impulse and considering the elasticity coefficients of the material, enabled us to deal with the study of a well-known local species, namely Aleppo pine (*Pinus halepensis Mill.*), with consideration of its physical parameters such as moisture and density. The main goal of this step is to find correlations between the acoustic behavior of the material and its physical and mechanical characteristics.

Key words: wood, Aleppo pine, ultrasound technique, modulus of elasticity, density.

INTRODUCTION

The sound is a physical phenomenon perceptible by the human ear. It is produced by the vibrations of the solids, the liquids or gases, and is transmitted in the form of waves which are regular oscillations of the conveying medium. In spite of their different aspect, the various types of waves are characterized by the same parameters: propagation velocity, wavelength, frequency. The frequency of the sound depends on the characteristics of the source whereas the propagation velocity depends on the material in which the wave moves, its density and elasticity (Gerl and Issi 1997). Out of several available measuring techniques, the contact method consists in measuring the propagation velocity of an ultrasound wave by means of two transducers "glued" on the sample. The transducer is placed directly on the wood sample. The acoustic connection is ensured by the coupling agent, which may be grease, oil, cellulose adhesive or a special gel. The film thickness is of the order of the tenth of millimetre. This technique is especially employed at the time of manual control, i.e. when the displacement of the transducer is ensured by an operator.

OBIECTIV

Principalul scop al studiului prezentat în această lucrare este găsirea corelațiilor dintre comportarea acustică a materialului și caracteristicile sale fizice și mecanice, prin determinarea modulului de elasticitate longitudinal în funcție de viteza longitudinală de propagare a ultrasunetelor, măsurată cu ajutorul a două aparate diferite.

MATERIAL ȘI METODĂ**Noțiuni teoretice**

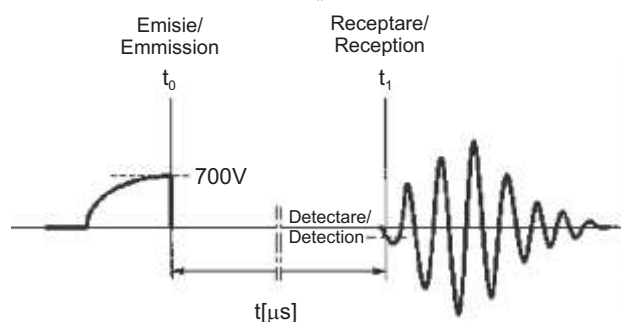
Măsurarea vitezei de propagare a sunetelor reprezintă o metodă alternativă pentru analiza și caracterizarea materialului. Într-un mediu liniar, elastic și uniform (Bucur 2000), viteza unei care se propagă este funcție de densitatea mediului și de constantele elastice "simple". Astfel, cunoașterea vitezelor de propagare într-un material elastic permite deducerea proprietăților mecanice ale acestuia. Utilizarea metodei cu ultrasunete pe elemente din lemn a fost subiect pentru mai mulți cercetări (Bordonne 1989 ; Brancheriau 2002 ; Bucur 2000 ; Gerl 1997 ; Ouis 2000 ; Sandoz 1996)(Fig. 1).

OBJECTIVE

The mean goal of this step is to find correlations between the acoustic behavior of the material and its physical and mechanical characteristics, by determining the longitudinal modulus of elasticity as function of the propagation velocity of ultrasounds in fibre length, as measured by means of two different devices.

MATERIAL AND METHOD**Theoretical Recall**

Measuring the propagation velocity of ultrasounds constitutes a method of choice for the analysis and the characterization of a material. In a linear, elastic and isotropic medium (Bucur 2000), the speed of a wave which is propagated there is a function of the density of the medium and its "simple" elastic constants. Thus, the knowledge of propagation velocities in a given material makes it possible to deduce its mechanical properties from them. The application of the ultrasound method on wood elements was the object of several researches (Bordonne 1989; Brancheriau 2002; Bucur 2000; Gerl 1997; Ouis 2000; Sandoz 1996)(Fig. 1).

**Fig. 1.**

**Time of loading, emission and reception of the piezoelectric sensors
(Ouis 2000)**

Metoda cu ultrasunete se bazează pe analiza propagării undelor elastice de joasă frecvență într-un mediu infinit. Viteza de propagare, care este variabila urmărită, este dedusă din ecuația mișcării:

$$\sigma_{ij,j} = \rho u_{t,t} \quad (1)$$

unde indicele după virgulă reprezintă derivata corespondentă (i, j, k), punctul de referință orto-normal pe axele reale; t – timpul; ρ - densitatea; u - vectorul de deplasare.

Viteza de propagare V a vibrațiilor longitudinale într-o bară prismatică, care formează un mediu elastic solid, este legată de coeficientul de rigiditate C_{LL} și densitatea (Timoshenko 1961):

$$V_L = \sqrt{\frac{C_{LL}}{\rho}} \quad (2)$$

Se poate aprecia că rigiditatea poate fi înlocuită de modulul de elasticitate, respectiv coeficientul de rigiditate longitudinal C_{LL} poate fi înlocuit de modulul de elasticitate longitudinal E_L și atunci ecuația de bază pentru exprimarea vitezei de propagare a

The ultrasound method is based on the analysis of the propagation of the elastic low frequency wave in an infinite medium. The propagation velocity, which is the sought variable, is deduced from the equation of the movement:

$$\sigma_{ij,j} = \rho u_{t,t} \quad (1)$$

where the index after the comma indicates the corresponding derivative (i, j, k), the reference mark ortho-normalized on the natural axes; t – time; ρ - density; u - vector displacement.

The propagation velocity V of the longitudinal vibrations in a prismatic bar, made up of a solid springy medium, is connected to the rigidity coefficient C_{LL} and the density (Timoshenko 1961):

$$V_L = \sqrt{\frac{C_{LL}}{\rho}} \quad (2)$$

One can estimate that rigidity can be replaced by the modulus of elasticity, respectively the longitudinal coefficient of rigidity C_{LL} may be replaced by the longitudinal modulus of elasticity E_L . Thus, the

undeii în lungul fibrelor capătă forma:

$$V_L = \sqrt{\frac{C_{LL}}{\rho}} = \sqrt{\frac{E_L(1 - \nu_{TR}^{\nu_{RT}})}{(1 - 2\nu_{LR}^{\nu_{RT}}\nu_{TL} - \nu_{LT}^{\nu_{TL}} - \nu_{LR}^{\nu_{RL}} - \nu_{RT}^{\nu_{TR}})\rho}} \quad (3)$$

unde ν_{ij} sunt coeficienții lui Poisson.

Este de notat că viteza de propagare după o axă este dependentă în primul rând de coeficientul de rigiditate (sau modulul de elasticitate) al axei considerate și de densitatea materialului. Viteza de propagare a undei elastice de joasă frecvență este astfel foarte sensibilă la proprietățile fizico-mecanice ale lemnului, caracteristică pe care se bazează utilizarea metodei ultrasunetelor ca metodă nedistructivă de evaluare a proprietăților mecanice ale lemnului (Bucur 1981; Sandoz 1996).

Materialul lemnos

S-a selectat lemn de rășinoase din specia pin de Alep (*Pinus halepensis* Mill). Epruvetele destinate cercetării au rezultat prin tăiere pe plin, fiind utilizați un număr de 5 arbori din stațiunea Zemmouri din Algeria. În ansamblu, au fost tăiate mai mult de 100 de epruvete, dar au fost selectate doar 90 de epruvete cu secțiunea de 50x50mm², fără nici un defect.

Epruvetele au fost, pe cât posibil, prismatice, cu fibră dreaptă, fără noduri sau defecte. Ele au fost selectate astfel încât inelele anuale să aibă o curbă neglijabilă și să fie paralele cu direcția tangențială prin lemn.

Densitatea și dimensiunile epruvetelor sunt prezentate în Tabelul 1.

expression of the propagation velocity in fibre length becomes:

$$V_L = \sqrt{\frac{C_{LL}}{\rho}} = \sqrt{\frac{E_L(1 - \nu_{TR}^{\nu_{RT}})}{(1 - 2\nu_{LR}^{\nu_{RT}}\nu_{TL} - \nu_{LT}^{\nu_{TL}} - \nu_{LR}^{\nu_{RL}} - \nu_{RT}^{\nu_{TR}})\rho}} \quad (3)$$

where ν_{ij} are Poisson's coefficients.

It is to be noticed that the propagation velocity on an axis is primarily dependent on the module of rigidity (or elasticity) of the axis considered and the density of the matter. The propagation velocity of an elastic low frequency wave will be thus very sensitive to the physical-mechanical properties of wood, which makes of it a non-destructive method of evaluation of properties of wood (Bucur 1981; Sandoz 1996).

Wooden Material

A resinous wood was retained: Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill). The specimens intended for the tests resulted by live sawing, carried out on a total of 5 trees of the station of Zemmouri in Algeria. On the whole, more than 100 specimens were cut, but one retained only ninety (90) specimens with the section of 50x50mm², clear of any defect.

The specimens were, in so far as possible, prismatic, with straight grain, without knots or defects. They are selected in such a way that the growth rings have a negligible curve and are parallel with the tangential direction of wood.

The density and dimensions of the specimens are presented in Table 1.

Tabelul 1 / Table 1

Identificarea speciilor lemnoase / Identification of wood species

Denumire comună / Common name	Zona / Region	Denumirea științifică / Scientific name	Densitatea / Density [kg/m ³]	Dimensiuni / Dimensions [mm]
Pin de Alep / Aleppo Pine	Zemmouri - Algeria	Pinus halepensis	570	50 x 50 x 1000

Aparatura de măsurare

Pentru măsurarea vitezei de propagare în prisme au fost utilizate două dispozitive de măsurare tip "TICO" și "PUNDIT". Ambele dispozitive sunt prevăzute cu un emițător și un receptor între care se determină timpul de propagare.

Epruvetele din lemn (90 de prisme din pin de Alep, secțiune 50x50mm²) au fost testate prin metoda cu ultrasunete, după cum se prezintă în Fig.2.

Measuring Apparatus

Two measuring devices "TICO" and "PUNDIT" were used to measure the propagation velocity in beams (Fig. 2). These devices all are provided with a transmitter and a receiver from which a travel time is calculated.

The wood samples (90 beams of Aleppo Pine, section 50x50mm²) were tested with the ultrasound method, as shown in Fig. 2.

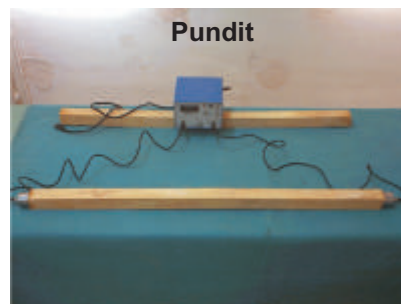
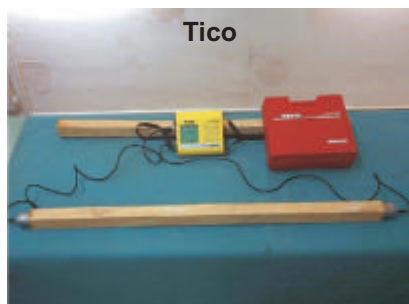


Fig. 2.

Măsurarea vitezei de propagare a undelor ultrasonore în epruvete din lemn de pin de Alep cu ajutorul aparatelor tip Tico și Pundit /
Velocity measurement of ultrasonic wave propagation Tico and Pundit on Aleppo pine wood samples.

Cercetările au arătat că pentru zonele cu defecte, undele ultrasonice pot găsi întotdeauna o cale de trecere (Bordonne 1989; Brancheriau 2002), nefiind oprite la vitezele acestora prea mici. Oricum, defectele în lemn sunt întotdeauna traduse prin discontinuitățile (neomogenitatea) materialului. Discontinuitățile sunt adevărate curbe de energie, astfel că acele singularități foarte mici sunt detectate prin măsurarea vârfurilor de energie. În acest studiu, toate măsurătorile au fost realizate la cele două capete ale prisme. Un impuls este trimis de emițător (Fig. 3) și este înregistrat timpul de deplasare (Bordonne 1989; Brancheriau 2002). Pentru a cunoaște distanța parcursă de fascicolul de unde emise, viteza de propagare V poate fi calculată astfel:

$$V = \frac{D}{T} \quad (4)$$

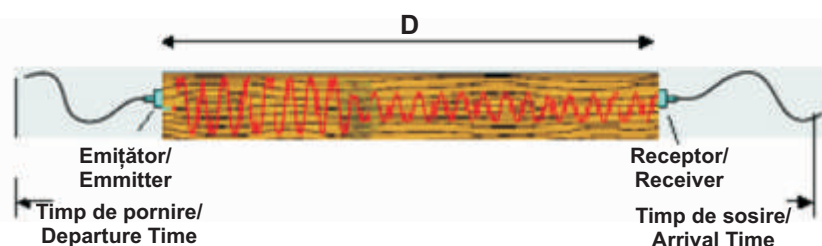


Fig. 3.

**Principiul măsurării duratei de propagare a undei /
Principle of measuring the wave propagation time.**

În general, cu creșterea vitezei, numărul defectelor întâlnite în cursul emiterii sunetelor scade. În fiecare caz, viteza obținută este comparabilă cu viteza de referință pentru specia lemnoasă considerată și asociată apoi cu umiditatea de referință (astfel ca măsurătorile să poată fi comparate).

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Relații între măsurătorile de viteză

Măsurătorile de viteză s-au realizat pe 90 de prisme. Cele două aparate de măsurare utilizate au condus la rezultate comparabile și au fost realizate în medie trei serii de măsurători per prismă. Fig. 4 prezintă relația liniară existentă între aceste viteze luate arbitrar, luând viteza măsurată pe Tico drept variabilă explicativă. De notat o constanță liniară semnificativă între viteza măsurată pe Tico și cea măsurată pe aparatul Pundit ($R = 0,88$ pentru $n = 90$).

Fig. 4.

**Relația între măsurătorile de viteză realizate cu
aparatură Tico și respectiv Pundit ($n=90$) /
Relation between velocity measurement Tico
and Pundit ($n=90$).**

Studies showed that for weak singularities, the ultrasound waves could always find a way of passage (Bordonne 1989; Brancheriau 2002), not penalizing whereas too slightly its speed. However, the singularities in wood are often translated by material discontinuities. Discontinuities are genuine waves of energy so that same the smallest singularities are detectable by the measurement of the peak of energy. In this study, all measurements were carried out on the two ends of the beam. An impulse is sent by the transmitter (Fig. 3), and the displacement time is given (Bordonne 1989; Brancheriau 2002). By knowing the distance covered by the package of emitted waves, the propagation velocity V can be calculated as follows:

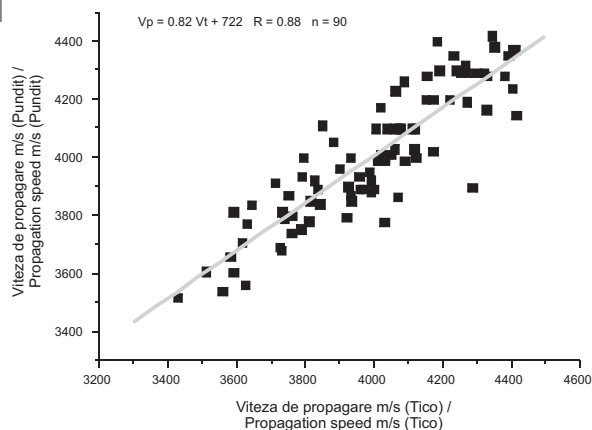
$$V = \frac{D}{T} \quad (4)$$

In a general way, with increasing speed the number of singularities met on the course of the transmitted wave gets lower. In each case, speed obtained is compared to a speed of reference of the wood species considered, and then related to a moisture content of reference (so that measurements are comparable).

RESULTS AND DISCUSSIONS

Relation Between Velocity Measurements

The velocity measurements were carried out on 90 beams. The two devices used provided appreciable results and an average of three series of measurements per beam was carried out. Fig. 4 presents the linear relation existing between these speeds by arbitrarily taking the speed of Tico like explanatory variable. One notes a very significant linear constraint between the speed of Tico and that of Pundit ($R = 0.88$ for $n = 90$).



Evaluarea modului de elasticitate prin metoda cu ultrasunete

Corelațiile dintre modulul de elasticitate longitudinal și densitate sunt pozitive (Fig. 5...8), atât pentru aparatul Tico, cât și pentru aparatul Pundit.

Evaluation of the Longitudinal Elasticity Modulus by the Ultrasound Method

The correlations between the longitudinal modulus of elasticity and the density are positive (Fig. 5...8), whether it is for the Tico or Pundit equipment.

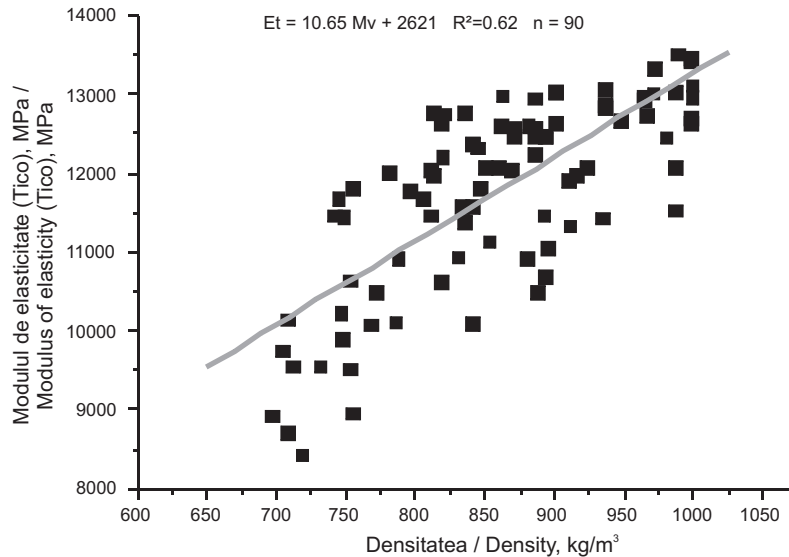


Fig. 5.

**Relația între modulul de elasticitate Tico și densitate /
Relation between the elasticity modulus Tico and the density.**

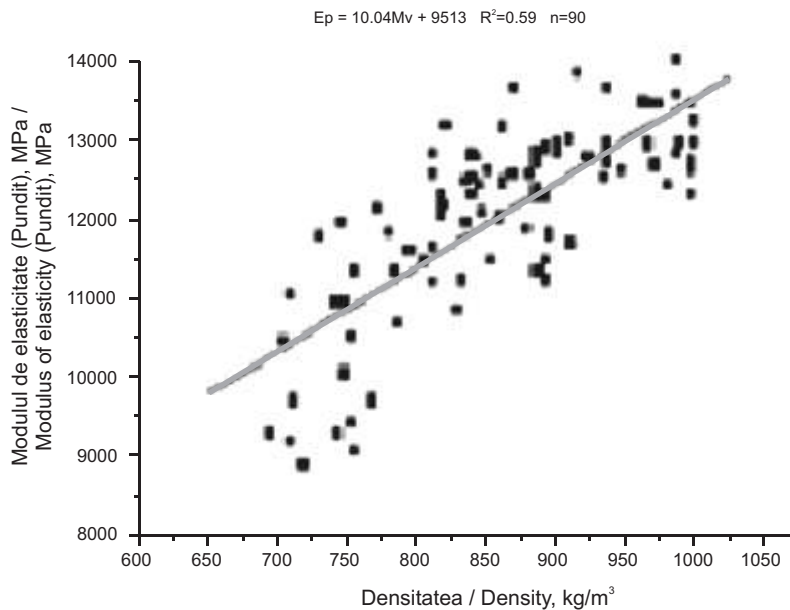


Fig. 6.

**Relația între modulul de elasticitate Pundit și densitate /
Relation between the elasticity modulus Pundit and the density.**

CONCLUZII

În cadrul acestui studiu a fost posibilă evaluarea eficacității echipamentelor utilizate (Tico și Pundit) a căror alegere a fost dictată de două criterii de bază: cheltuielile materiale relativ mici și utilizarea ușoară.

Se poate evidenția că literatura de specialitate ne-a permis cunoașterea anumitor metodologii și înțelegerea mecanismului relației de legătură cu proprietățile fizice și mecanice ale lemnului, pentru parametrii obținuți prin metoda ultrasunetelor care

CONCLUSION

Within this study, it was possible to evaluate the effectiveness of the equipment used (Tico and Pundit) whose choice was dictated on two basic criteria: relatively low financial investment and simple implementation.

It should be emphasized that the literature enabled us to take note of certain methodologies and to include/understand the mechanism of the relations which bind the physical and mechanical

este nedistructivă.

Din punct de vedere practic, acest experiment necesită determinări foarte precise pentru dimensiuni și masă pentru a aprecia densitatea în funcție de care se calculează întotdeauna modulul de elasticitate. De asemenea, s-a evidențiat faptul că principala cauză a dezavantajelor este asociată cu utilizarea prin contact direct a probelor (epruvetelor) care obligă la pregătirea materialului lemnos cu mare atenție.

properties of wood to the parameters obtained by the ultrasound method which is non-destructive.

From the practical point of view, this experiment requires the accurate determination of dimensions and weight in order to determine the density which allows the calculation of the elasticity modulus. It should be noted also that the main raised disadvantage is that relating to the use of the probes by direct contact obliges to prepare the wooden material carefully.

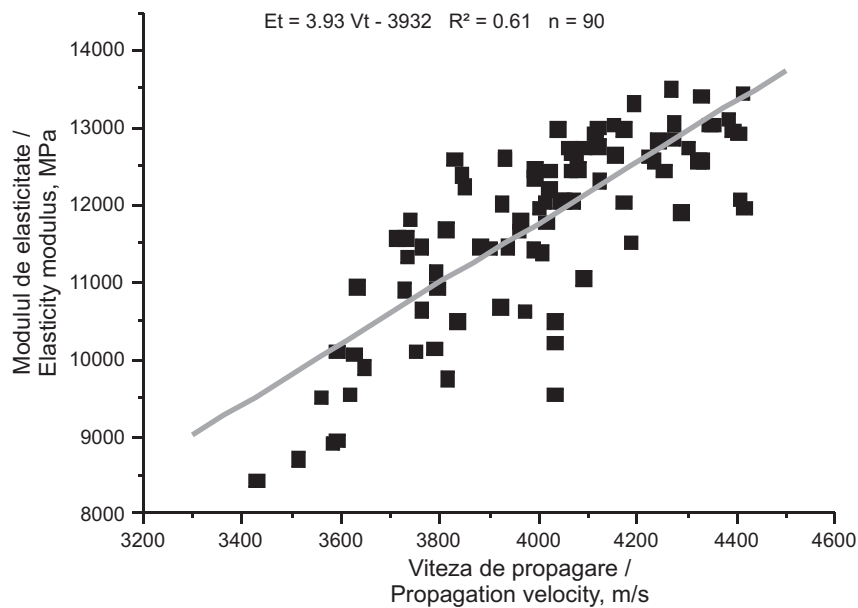


Fig. 7.

**Relația între modulul de elasticitate (T_{ico}) și viteza de propagare V_t /
Relation between the modulus of elasticity (T_{ico}) and the propagation velocity V_t .**

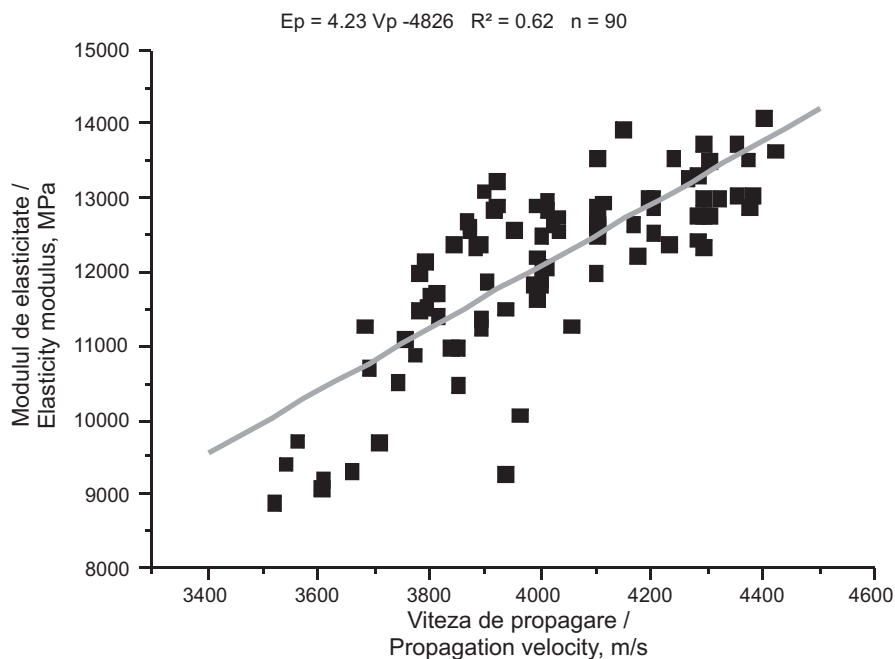


Fig. 8.

**Relația între modulul de elasticitate (P_{undit}) și viteza de propagare V_p /
Relation between the modulus of elasticity (P_{undit}) and the propagation velocity V_p .**

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

BORDONNE, P.A. (1989). Module dynamique et frottement intérieur dans le bois, mesures sur poutres flottantes en vibrations naturelles. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, 109p.

BRANCHERIAU, L. (2002). Expertise mécanique des sciages par analyses des vibrations dans le domaine acoustique. Thèse de l'université de la méditerranée-Aix Marseille II. Ecole supérieure de mécanique de Marseille, 267p.

BUCUR, V.; FEENEY, F. (2000). Attenuation of ultrasound in solid wood. Ultrasonics 30: 1992, pp. 76-81.

BUCUR, V. (2000). Anisotropy of wood expressed by ultrasonic velocities. 12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Sopron, Hungary, 2000, pp. 450.

BUCUR, V.; LANCELEUR, P.; ROGE, B. (2001). Acoustic properties of wood in tridimensional representation of slowness surfaces. Ultrasonics, Vol.40, 2001, pp. 537-541.

BUCUR, V. (1981). Détermination du module de Young du bois par une méthode dynamique sur carottes de sondage. Annals of Forest Science., Vol.38 N° 2, 1981, pp. 283-298.

GERL, M.; ISSI, J.P. (1997). Traité des matériaux, physique des matériaux. Presses polytechniques et universitaires romandes, 1997.

OUIS, D. (2000). Detection of decay in logs through measuring the dampening of bending vibrations by means of a room acoustical technique. Wood Science and Technology. **Vol. 34**. 2000, pp: 221-236.

SANDOZ, J.L. (1996). Ultrasonic solid wood evaluation in industrial applications. 10th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. 26.-28.09.1996 in Lausanne.

TIMOSHENKO, S.P. (1961) Théorie de l'élasticité. Lib. Polytechnique Ch. Beranger, Chap.1.2^{ème} édition.



**LAPROM
TRADING**

Comerț internațional cu cherestea, placaje, panel și alte produse din lemn.

Importator de:

- placaje pentru industria mobilei, ambalaje, decorațiuni interioare etc.;
- TEGO acoperit cu film fenolic STORA ENSO-Finlanda;
- furnire (engineered veneers);
- PFL;
- OSB;
- alte produse din lemn.

**Str. Dealul Melcilor, nr. 7
500103 Brașov - România
Tel. / Fax.: 0040 268 306495
E-mail: lapromro@yahoo.com
Mobil: 0741 209492**

Copyright of Pro Ligno is the property of Fundatia PRO Ligno and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.