

SCANARE CU AJUTORUL COMPUTER-
TOMOGRAFULUI IN TIMPUL
TRATAMENTULUI DE MODIFICARE
TERMICĂ A LEMNULUI

CT-SCANNING DURING HEAT
TREATMENT OF WOOD

Lars HANSSON

Associate Professor – Lulea University – Faculty of Wood Physics
Adresa/Address: SE-931 87 Skelleftea, Sweden
E-mail: lars.hansson@ltu.se

Ekaterina CHEREPANOVA

Research eng. – Lulea University – Faculty of Wood Physics
Adresa/Address: SE-931 87 Skelleftea, Sweden
E-mail: ekaterina.cherepanova@ltu.se

Tom MORÉN

Professor – Lulea University – Faculty of Wood Physics
Adresa/Address: SE-931 87 Skelleftea, Sweden
E-mail: tom.moren@ltu.se

Rezumat:

Experiențe anterioare privind tratarea termică a lemnului la scară industrială prin procesul ThermoWood® arată că pot interveni fisuri interne, mai mult sau mai puțin extinse, în cazul pieselor cu grosimi mari. Acest tip de defect este deosebit de problematic, deoarece aceste crăpături nu ajung la suprafața piesei de cherestea și astfel nu sunt vizibile pe piesele neprelucrate. Crăpăturile pot surveni în urma rindeluirii, producând degradarea costisitoare a materialului. Procesul tratării termice ThermoWood® poate fi divizat în șase perioade. Prima perioadă, cea de încălzire, este atunci când vapori saturați sunt injectați în uscător, a doua perioadă este cea de uscare, fie la temperatură de uscare înaltă, fie joasă, a treia perioadă este cea de încălzire și uscare finală, în a patra perioadă este menținută constantă temperatura pentru 2-4 ore, a cincea perioadă este cea de răcire, a șasea perioadă este cea de condiționare pentru reumezirea materialului, iar ultima perioadă este cea de răcire. La Departamentul de Fizica Lemnului, din cadrul Universității de Tehnologie Lulea din Skelleftea, a fost recent instalată o cameră climatică. Această cameră, conectată la un computer-tomograf (CT) face posibil studiul asupra modificărilor de densitate a lemnului în diferite condiții climatice. Deoarece temperatura maximă la care se poate ajunge în camera climatică este de 220°C, este posibil și studiul procesului de tratare termică la temperaturi înalte, nu numai al uscării convenționale. Obiectivul acestui studiu a fost de a utiliza tehnica de scanare CT în timpul tratării termice a lemnului, pentru a investiga dacă este posibilă detectarea fisurilor interne in situ /pe loc în timpul tratamentului.

Cuvinte cheie: scanare CT; ThermoWood®.

Abstract:

Earlier experiences from industrial heat treatment of wood with the ThermoWood® process show that more or less extensive internal cracking may occur for thicker dimensions. This type of timber damage is particularly troublesome because these cracks do not reach the surface and are thus not visible on unprocessed timber. After resawing or planing the boards, cracks can appear, resulting in costly downgrading of the material. The ThermoWood® heat treatment process can be divided into six periods. The first period, the heating period, is when saturated steam is injected into the kiln, the second period is the drying step, which can be either high or low temperature drying, the third period is when the final heating and drying take place, the fourth period is when the temperature is kept constant for about 2–4 hours, the fifth period is the cooling regime, the sixth period is the conditioning regime for remoistening the material, and the last period is the cooling one. At the Division of Wood Physics at Luleå University of Technology in Skellefteå a climate chamber has recently been installed. This climate chamber together with a CT-scanner makes it possible to study wood density changes in different climates. As the maximum temperature that can be reached in the climate chamber is 220 °C, it is also possible to study the heat treatment process, besides conventional air circulation drying. The aim of this study was to use the CT-scanning (CT) technique during heat treatment of wood in order to investigate whether it is possible to detect internal checking in situ during the treatment.

Key words: CT-scanning; ThermoWood®.

INTRODUCERE

În 1992, un computer-tomograf cu raze X a fost instalat la Universitatea de Tehnologie Lulea din Skelleftea. De atunci a fost utilizat pentru studii nedistructive avansate asupra diferitelor tipuri de caracteristici interne ale lemnului. Cu toate acestea, echipamentul de scanare cu CT a fost folosit, în diverse alte arii de studiu asupra lemnului, de la începutul anilor 1980. Utilizând scannerul CT, Lindgren (1992) a arătat o corelare între coeficienții CT, densitatea lemnului și valorile umidității în stare uscată. Mai mult de atât, Lindgren (1992) a arătat și corespondența dintre valorile reale și măsurătorile efectuate cu scannerul CT. În 2008, scannerul vechi CT de la Universitatea de Tehnologie Lulea din Skelleftea a fost înlocuit, iar la sfârșitul anului 2010/11, o nouă cameră climatică a fost instalată ca o completare a scannerului CT. Deoarece temperatura maximă la care se poate ajunge în camera climatică este de 220°C, este posibil studiul procesului de tratare termică la temperaturi înalte, precum și al uscării convenționale. Procesul de tratare termică investigat în cadrul prezentului studiu este ThermoWood® și a fost dezvoltat de către Centrul de Cercetare Tehnică din Finlanda (VTT; Viitaniemi și Jämsä 1996). În timpul acestui proces materialul este protejat cu vapori și este încălzit la o temperatură de cel puțin 180°C. Vaporii afectează de asemenea modificările chimice care au loc în lemn. Ca rezultat al tratamentului este creat un material ecologic (Asociația Internațională ThermoWood®, 2008). Materialul este mai stabil decât lemnul normal în condiții de umiditate variabilă și de asemenea devine mai închis la culoare. În plus, sunt îmbunătățite și proprietățile lui ca material izolator termic.

Experiențe anterioare privind tratamentul termic al lemnului la scară industrială prin procesul ThermoWood® arată că pot interveni fisuri interne, mai mult sau mai puțin extinse, în cazul pieselor cu grosimi mari. Acest tip de defect este deosebit de problematic deoarece aceste crăpături nu ajung la suprafața piesei de cherestea și astfel nu sunt vizibile pe piesele neprelucrate. Crăpături pot surveni în urma rindeluirii plăcilor, producând degradarea costisitoare a materialului. Johansson (2006) a arătat că fisurarea internă este dependentă de conținutul de umiditate.

Obiectivul acestui studiu a fost de a utiliza tehnica de scanare CT în timpul tratării termice a lemnului, pentru a investiga dacă este posibilă detectarea fisurilor interne in situ/pe loc în timpul tratamentului.

MATERIAL ȘI METODĂ

În studiul tratamentului termic au fost folosite epruvete de molid. Epruvetele au avut lungimea de 0,6m cu dimensiunile de 50x120mm și un conținut de umiditate mediu de 0,15 (15%), care a fost determinat prin metoda cântării și uscării. Înainte de

INTRODUCTION

In 1992 an X-ray computed tomography machine was installed at Luleå University of Technology in Skellefteå. It has been used since then for advanced non-destructive studies of different kind of internal characteristics of wood. However, CT-scanning equipment has been used in various areas of the study of wood since the early 1980s. By using the CT-scanner, Lindgren (1992) showed a correlation between CT-numbers, wood density, and dry weight moisture content (mc) values. Furthermore, Lindgren (1992) also showed the agreement between real values and CT measurement. In 2008 the old CT-scanner at Luleå University of Technology in Skellefteå was replaced and at the end of 2010/11 a new purpose-built climate chamber was installed as a complement to the CT-scanner. As the maximum temperature that can be reached in the climate chamber is 220°C, it is possible to study the heat treatment process as well as conventional air circulation drying. The heat treatment process which is used in this climate chamber is called ThermoWood® and was developed by the Technical Research Centre of Finland (VTT; Viitaniemi and Jämsä 1996). During this process the material is protected with steam and heated to a temperature of at least 180°C. The protective steam also affects the chemical changes taking place in the wood. As a result of the treatment, environmentally friendly material is created (International ThermoWood® Association, 2008). The material is more stable than normal wood in conditions of changing humidity and also becomes darker in colour. Furthermore, its thermal insulation properties are improved.

Earlier experiences from industrial heat treatment of wood with the ThermoWood® process show that more or less extensive internal cracking may occur for thicker dimensions. This type of timber damage is particularly troublesome because these cracks do not reach the surface and are thus not visible on unprocessed timber. After resawing or planing the boards, cracks can appear, resulting in costly downgrading of the material. Johansson (2005) investigated the cause of these cracks and showed that there was a significant difference in mass loss between heat treated boards with and without internal checking. Furthermore Johansson (2006) showed that it is apparently quite obvious that the internal checking is related to initial moisture content.

The aim of this study is to use a CT-scanning technique during heat treatment of wood in order to investigate whether it is possible to detect internal checking in situ during the treatment.

MATERIAL AND METHODS

In the heat treatment study, material from Norway spruce was used. The sample was 0.6m long with dimensions of 50x120mm and an average

tratament, capetele au fost etanșate cu un strat de silicon și apoi un strat de folie de aluminiu, urmat de un strat adițional de silicon. În timpul procesului de uscare, temperatura pieselor de lemn a fost măsurată în două poziții folosind termocupluri introduse în miezul plăcii. Termocuplurile au fost introduse în orificii burghiate și etanșate cu silicon.

Prin folosirea computer-tomografului (Siemens Somatom Emotion), împreună cu o cameră climatică (Fig. 1), densitățile lemnului pot fi determinate într-un mod nedistructiv, în diferite condiții climatice de uscare și tratare termică.

În termeni simpli, modul de lucru al tomografului se descrie astfel: fascicule de raze X sunt trimise, din diferite unghiuri, asupra obiectului de scanat, iar după transmisie, acestea sunt detectate și se măsoară intensitatea lor.

dry weight moisture content of around 0.15 (15%), which was determined by the oven-drying method. Before the treatment the ends were sealed with one layer of silicon closest to the wood surface and then one layer of aluminum foil followed by an additional layer of silicon. During the drying process, the temperature of the wood pieces was measured in two positions by thermocouples in the core of the board. The thermocouples were installed into drilled holes and sealed with silicon.

By using a computed tomography (CT) scanner (Siemens Somatom Emotion) together with a climate chamber (Fig. 1), wood densities can be nondestructively measured in different drying and heat treatment climates.



Fig. 1.

Computer-tomograf conectat la o cameră climatică / CT scanner together with the climate chamber.

Fasciculele care trec printr-o parte mai puțin densă, de exemplu în lemnul de alburn uscat, vor fi mai puternice în intensitate, în timp ce fasciculele care trec prin părți mai dense, de exemplu alburn umed, vor fi mai slabe în intensitate.

Această informație este procesată de computer, rezultând o imagine de secțiune transversală, de rezoluție 512×512 pixeli, în care densitățile obiectului sunt vizualizate pe o scală de gri. Lindgren (1992) a arătat că precizia determinării densității cu un computer-tomograf similar celui folosit în acest caz, este de $\pm 2\text{kg/m}^3$ pentru lemnul uscat și $\pm 6\text{kg/m}^3$ pentru lemnul umed, cu un conținut de umiditate variind între 0,6 și 1.

Camera climatică este proiectată, în termeni simpli, cu un tub intern și unul extern, unde un ventilator produce un curent de aer îndreptat către țevile de încălzire și apoi în tubul intern, unde materialul este așezat pentru tratare (Fig. 2). La capătul tubului intern, curentul de aer se întoarce către ventilator prin curgere în tubul extern. Un generator de vapori este utilizat pentru a crește umiditatea în cameră. Camera climatică poate asigura, de asemenea, condiționarea prin apă pulverizată și vapori, pentru a egaliza gradientul de umiditate, care poate fi cauzat de uscarea intensă. Întregul proces este controlat de un sistem de control dezvoltat de Valutec AB.

In simple terms, the way a CT-scanner works is that several beams of X-rays are sent from different angles through the scanning object, and after transmission they are detected and their strength is measured. Beams that pass through less dense parts, for example in dry sapwood, will be stronger, whereas beams that pass through denser parts, for example in wet sapwood, will be weaker. This information is computer processed, resulting in a cross-sectional image of 512×512 pixels in which the densities of the object are shown in grey-scale form. Lindgren (1992) showed that density accuracy in a CT-scanner similar to the one used here is $\pm 2\text{kg/m}^3$ for dry wood and $\pm 6\text{kg/m}^3$ for wet wood, with a dry weight moisture content ranging from 0.6 to 1.

The climate chamber is designed, in simple terms, with an inner and outer tube, where a fan causes the air to flow through the heating coils and then into the inner tube, where the material is placed for treatment (Fig. 2). At the end of the inner tube the air flow turns back to the fan by flowing in the outer tube. A steam generator is used to increase the humidity in the chamber. The climate chamber can also provide conditioning by water spray and steam in order to equalize the moisture gradient, which may have been caused by intense drying. The whole process is controlled by a control system developed by Valutec AB.

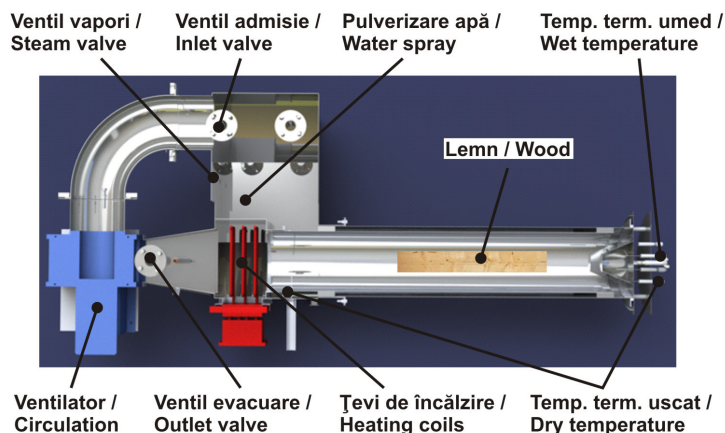


Fig. 2.

Părțile componente ale camerei climatice / Exploded drawing of the climate chamber.

În timpul procesului de tratare termică, 0,5 m din partea de mijloc a scândurii a fost scanată cu CT, strat după strat, fiecare de 10mm grosime, din 30 în 30 de minute. Astfel, 50 de imagini de densitate au fost obținute pentru fiecare perioadă de timp.

Procesul de tratare termică pentru ThermoWood® poate fi divizat în șapte perioade (Fig. 3). Prima perioadă (I), faza de încălzire, este atunci când vapori saturați sunt injectați în uscător, a doua perioadă (II) este faza de uscare a aerului cald și a treia perioadă (III) este faza de încălzire, când au loc încălzirea finală și uscarea. În timpul fazei de încălzire, are loc uscarea finală, în care aerul este saturat la maxim, astfel că acesta conține oxigen cât mai puțin posibil, pentru a evita aprinderea lemnului. În procesul de modificare termică (IV), temperatura este menținută constantă timp de 2-4 ore. În faza activă de răcire (V), temperatura scade. În faza de condiționare (VI) materialul este reumezit și ultima perioadă (VII) este faza de răcire, când temperatura scade.

During the heat treatment process 0.5 m of the middle part of the board was CT-scanned with a slice width of 10 mm every 30 minutes. Thus 50 density images were obtained for each time period.

The ThermoWood® heat treatment process can be divided into seven periods (Fig. 3). The first period (I), the warming up phase, is when saturated steam is injected into the kiln, the second period (II) is the warm air drying phase, which can be either high or low temperature drying, and the third period (III) is the heating phase, when the final heating and drying take place. During the heating phase, a final drying takes place in which the air is as saturated as possible so that it contains as little oxygen as possible, to avoid wood fire. In the thermo process (IV), the temperature is kept constant for about 2–4 hours. In the active cooling phase (V), the temperature falls. In the conditioning phase (VI) the material is remoistened, and the last period (VII) is the cooling phase, when the temperature falls.

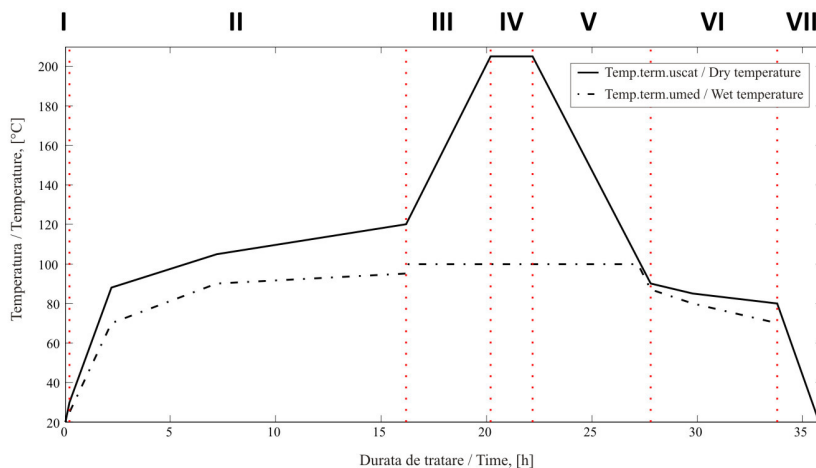


Fig. 3.

Regimul de tratare termică pentru ThermoWood® / Heat treatment (ThermoWood®) process schedule.

Regimul de tratare termică este astfel proiectat, încât să fie dur și să cauzeze crăpături interne. Astfel, s-a aplicat o durată scurtă de uscare, cu viteză mică și diferență psihrometrică mică, după cum se prezintă și în Tabelul 1.

The heat treatment schedule is designed to cause internal cracks, created by having a short drying period or a low drying speed, that is, with a low psychrometer difference, during this period. Table 1 shows the durations of the various phases during the heat treatment process.

Tabelul 1 / Table 1

Perioade de timp pentru diferitele faze ale regimului de tratare termică / Time periods for the different phases in the heat treatment schedule

Faza/Period	Durata/Hours
I	0.2
II	16.0
III	4.0
IV	2.0
V	5.8
VI	4.0
VII	2.0

**REZULTATE ȘI DISCUȚII
Procesul de tratare termică**

Fig. 4 arată temperatura măsurată în centrul epruvetei de lemn, temperatura termometrului uscat și pierderea de masă în timpul procesului de tratare termică.

**RESULTS AND DISCUSSION
The Heat Treatment Process**

Fig. 4 shows the measured wood core temperature and dry temperature and also the mass loss during the heat treatment process.

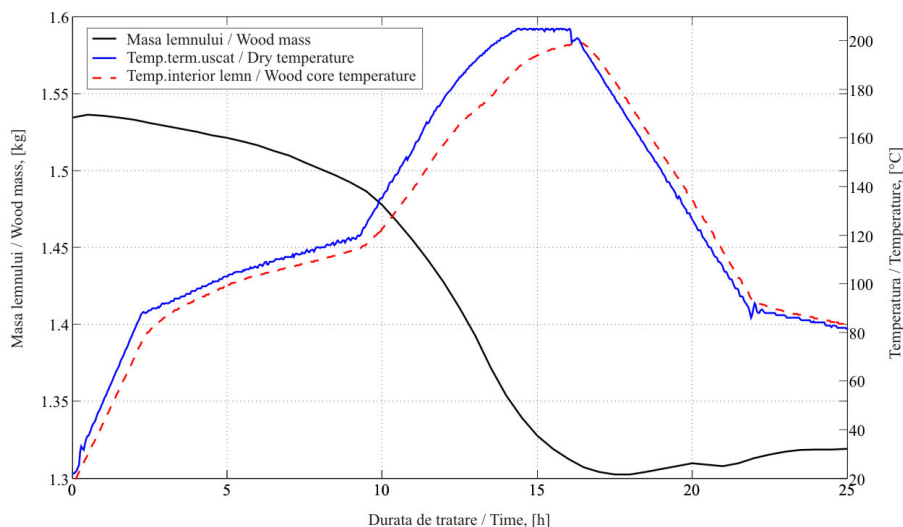


Fig. 4.

Temperatura măsurată în centrul epruvetei, temperatura termometrului uscat și pierderea de masă / Measured wood core temperature, dry temperature and mass loss.

Diferența dintre temperatura în centrul epruvetei și cea a aerului este de 5°C în timpul fazelor de încălzire și uscare cu aer cald. Prin urmare, nu este aproape nici o pierdere de masă în timpul acestor faze. Totuși, diferența crește puțin în timpul perioadei finale de încălzire, ceea ce indică un conținut de umiditate rămas în miezul lemnului, dat fiind că evaporarea necesită energie. Mai mult, curba pierderii de masă indică existența unui conținut de umiditate rămas în material, dat fiind că pierderea de masă începe să crească acut în timpul perioadei de

The difference between the core temperature and dry temperature is about 5°C during the warming up phase and the warm air drying phase. Hence there is almost no mass loss during these phases. However, the difference increases a bit during the final heating period, which indicates that there is moisture left in the wood core, since evaporation requires energy. Furthermore, the mass-loss curve indicates that there is moisture left in the material, since the mass loss starts to strongly increase during the final heating period. During this heating up phase

încălzire finală. În timpul acestei faze de încălzire, există o pierdere de substanțe extractibile, care ar putea afecta, de asemenea, pierderea de masă.

there is an amount of extractive substance loss, which could affect the rapid mass loss as well.

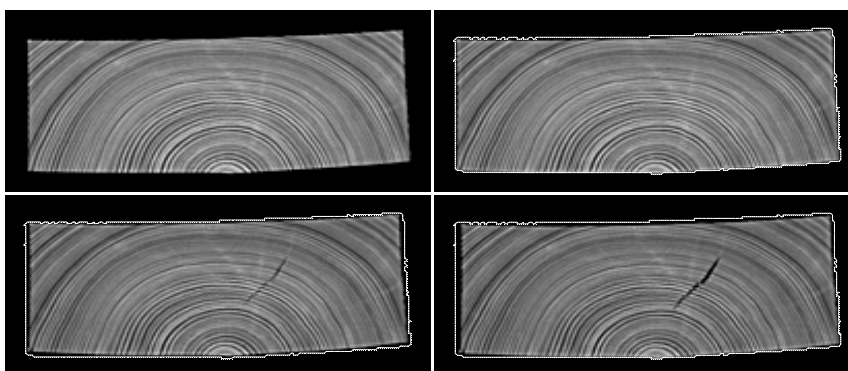


Fig. 5.

*Imagini preluate de CT în timpul procesului de tratare termică /
CT-scans during the heat treatment process.*

Fig. 5 prezintă imagini preluate cu tomograful de scanare CT din procesul de tratare termică, unde linia de contur albă, aflată la extremitatea piesei, pe imagini, arată conturul pentru piesa netratată. Figura din stânga sus prezintă o imagine la timpul zero, iar cea din dreapta sus arată o imagine preluată după aproximativ nouă ore de tratare în faza de uscare cu aer cald (II). Comparând imaginile stânga sus și dreapta sus, se poate observa cum piesa de lemn a început să se contragă puțin. Figura prezentată dedesubt arată o imagine preluată după aproximativ patru ore de tratare în faza de încălzire (III). În această fază o fisură a apărut și se poate observa că piesa s-a contras și mai mult, în comparație cu imaginile scanate în perioada precedentă, respectiv imaginea din dreapta sus. Imaginea a patra, reprezentând momentul când procesul intră în faza de modificare termică, arată cum fisura a devenit mai accentuată, iar piesa s-a contras și mai mult. Aceasta înseamnă că a existat un gradient de conținut de umiditate rămas în material, înainte ca procesul să intre în faza de încălzire, ceea ce a cauzat tensiune atât de mare în lemn, încât o fisură și-a făcut apariția.

CONCLUZII

Acest studiu arată că este posibilă detectarea fisurilor interne in situ în timpul tratării termice a lemnului. În plus, este de asemenea posibilă detectarea fazei procesului de tratare termică în care fisurile interne apar. Ansamblul format dintr-un computer-tomograf și o cameră climatică oferă împreună o oportunitate unică de a îmbunătăți regimurile de tratare, astfel încât să se obțină un produs de înaltă calitate.

MULȚUMIRI

Autorii sunt recunoscători Fundației de Cercetare și Dezvoltare Ångpanneföreningen pentru finanțarea acestui proiect.

Fig. 5 shows CT-tomography images from the heat treatment process, where the white contour line at the boundary of the wood piece images shows the boundary contour of the untreated wood piece. The top left figure shows an image from time zero and the top right figure shows an image from around nine hours in the warm air drying phase (II). When comparing the top left image with the top right image one can see that the wood piece has started to shrink a little. The below figure in Fig. 5, shows an image after around four hours in the heating up phase (III). At this phase a crack has occurred and one can also see that the piece has shrunk even more compared to the CT-scan from previous period, in the top right image. The below image to the right, i.e. the time when the process just enter the thermo process, shows that the crack has become larger and that the piece has shrunk even more. This means there was a moisture content gradient remaining in the material before the process entered the heating up phase, which caused such high tension in the wood material that a crack appeared.

CONCLUSIONS

This study shows that it is possible to detect internal checking in situ during the heat treatment of wood. Furthermore it is also possible to detect the phase of the heat treatment process in which the internal checking occurs. The CT-scanner together with the climate chamber gives a unique opportunity to improve the process schedules so that a high quality product is achieved.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors are grateful to Ångpanneföreningen's Foundation for Research and Development, for funding this project.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

JOHANSSON, D. (2005). Drying and Heat Treatment of Wood: Influences on Internal Checking. 3rd Nordic Drying Conference, Karlstad, Sweden.

JOHANSSON, D. (2006). Influence of Drying on Internal Checking of Spruce (*Picea abies* L.) Heat-Treated at 212°C. *Holtzforschung*, 60(5), 558-560.

LINDGREN, O. (1992). Medical CT-scanner for Non-Destructive Wood Density and Moisture Content Measurements. Ph.D. thesis. Luleå University of Technology, Division of Wood Technology.

VIITANIEMI, P., JÄMSÄ, S. (1996). Modification of Wood by Heat Treatment, VTT publications 814.

*** VALUTEC AB. Lasarettsvägen 35, SE-931 41 Skellefteå, Sweden, Home page: www.valutec.se.

*** International ThermoWood® Association. (2008). ThermoWood Handbook. Helsinki: International ThermoWood® Association.

*Traducerea articolului în limba română a fost realizată de /
Translation into Romanian performed by:
Lect.dr.eng. Emilia-Adela SALCĂ*