

**STABILIREA PERFORMANȚEI UNEI
CAMERE DE USCARĂ DE LABORATOR
CU ȘI FĂRĂ DEFLECTOARE**

**PERFORMANCE ASSESSMENT OF A
LABORATORY DRYING KILN DESIGNED
WITH AND WITHOUT BAFFLES**

Bogdan BEDELEAN

Assist. univ. dr.ing. – TRANSILVANIA University in Brasov – Faculty of Wood Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Brasov, Romania
E-mail: bedelean@unitbv.ro

Daniela ȘOVA

Assoc prof. dr. eng – TRANSILVANIA University in Brasov - Faculty of Mechanical Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Brasov, Romania
E-mail: sova.d@unitbv.ro

Rezumat:

Această cercetare analizează dacă există o diferență semnificativă între performanța unei camere de uscare fără deflectoare și a unei echipată fie cu deflectoare superioare, fie cu deflectoare superioare și laterale, fie cu deflectoare superioare, laterale, orizontale și verticale. Influența deflectoarelor asupra performanței unei camere de uscare a fost analizată folosind atât măsurări experimentale, cât și valori obținute prin simulare. Metoda experimentală a fost folosită pentru măsurarea vitezei medii a aerului prin canalele active, iar simularea a fost necesară pentru a stabili influența vitezei medii a aerului asupra duratei de uscare și a consumului de energie. Simularea s-a realizat folosind aplicația informatică TORKSIM. Nu a existat nicio diferență semnificativă între performanța unei camere de uscare fără deflectoare și a unei cu deflectoare superioare. Dar, a existat o diferență semnificativă între performanța unei instalații de uscare fără deflectoare și a unei echipată fie cu deflectoare superioare și laterale, fie cu deflectoare superioare, laterale, orizontale și verticale. Noi am concluzionat că prin obturarea tuturor canalelor pasive, performanța unei instalații de uscare se îmbunătățește din două puncte de vedere: cel al duratei și cel al costului de uscare a unui metru cub de material.

Cuvinte cheie: uscarea cherestelei; viteza aerului; durata de uscare; consum de energie; cost de uscare.

INTRODUCERE

Din punct de vedere aerodinamic performanța unei camere de uscare este afectată negativ de faptul că o cantitate variabilă din debitul de aer, care depinde de strategia de încărcare a instalației și de construcția acesteia, parcurge canalele active practicate în stivele de material. Cealaltă cantitate este irosită prin canalele pasive superioare, laterale, orizontale și verticale, canale care rezultă în urma amplasării stivelor în instalație. (Sprague 2002, Riley 2006, Bedelean și Șova 2010).

Abstract:

This research tests whether there is a significant difference between a kiln designed without baffles and one designed with either top baffles, or top and lateral baffles, or top, lateral, horizontal and vertical baffles. The influence of baffles on the kiln performance was analyzed, by using both experimental and simulation methods. The experimental method was used to measure the mean air velocity through active channels. On the other hand, the simulation method was necessary to find out the influence of the previously measured mean air velocity on the drying time and energy consumption. The simulation was performed using TORKSIM software. There was no significant difference between a kiln designed without baffles and one with top baffles. But, there was a significant difference between a kiln designed without baffles and one designed with either top and lateral baffles or top, lateral, horizontal and vertical baffles. We concluded that the blocking of all passive channels from a drying kiln improves its performance from two points of view: drying time and drying cost per one cubic meter of wood.

Key words: timber drying; air speed; drying time; energy consumption; drying cost.

INTRODUCTION

From aerodynamic point of view, the drying kiln performance is negatively affected due to the fact that a quantity of the airflow, which is variable in regard to the kiln load strategy and its design, passes through the active channels; channels that are generated in the timber stacks. The other part is wasted through the passive channels that result as a consequence of the kiln loading strategy (Sprague 2002, Riley 2006, Bedelean and Șova 2010).

În România o parte din camerele de uscare sunt echipate cu defletoare superioare și mai rar cu defletoare superioare și laterale (Fig.1b și c). Folosirea defletoarelor orizontale și verticale reprezintă o soluție întâlnită doar la nivel de laborator (Fig.1d) (Bedelean și Șova 2010).

In Romania a part of the kilns are equipped with top baffles and seldom with top and lateral baffles in order to minimize the negative effects that are caused by the passive channels (Fig.1b & c). The use of horizontal and vertical baffles is up to the mills that exploit the kilns (Fig.1d). However, this option was met only at laboratory level (Bedelean and Șova 2010).

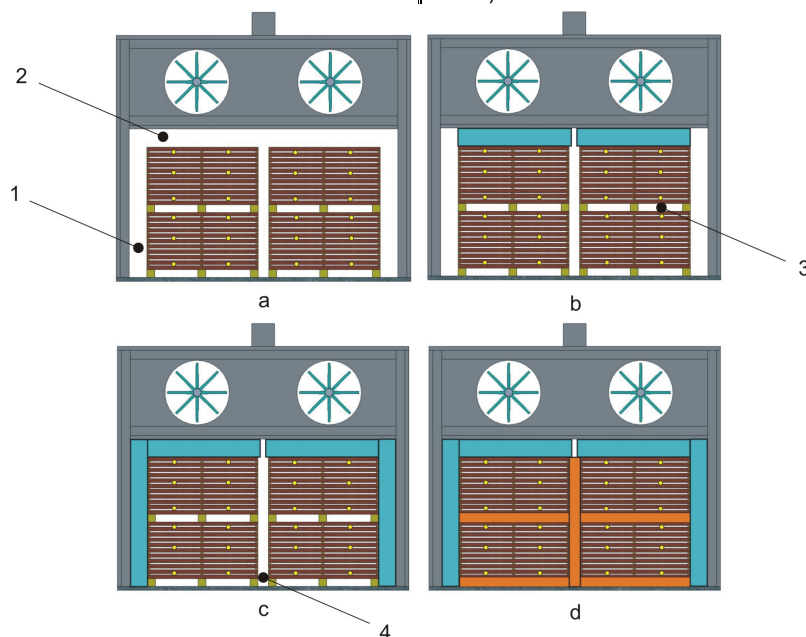


Fig.1.

Opțiuni de obturare a canalelor pasive într-o cameră de uscare / Options to block the passive channels in a drying kiln: a – instalație fără defletoare / kiln without baffles; b - instalație echipată cu defletoare superioare / kiln designed with top baffles; c – instalație echipată cu defletoare superioare și laterale / kiln designed with top and lateral baffles; d – instalație echipată cu defletoare superioare, laterale, orizontale și verticale / kiln designed with top, lateral, horizontal and vertical baffles; 1 – canale pasive laterale / lateral passive channels; 2 – canale pasive superioare / top passive channels; 3 – canale pasive orizontale / horizontal passive channels; 4 – canale pasive verticale / vertical passive channels.

Majoritatea cercetărilor evidențiază faptul că performanța unei instalații de uscare cu defletoare, analizată din punct de vedere al vitezei aerului și uniformității acesteia, duratei de uscare, consumului energetic și a costului de uscare a unui metru cub de material se îmbunătățește (Culpeper 2000, Sprague 2002, Riley 2006, Bedeleian și Șova 2010). Cu toate acestea, nu există un studiu comparativ care să stabilească ce diferențe există, și dacă acestea sunt semnificative, între performanța unei instalații de uscare fără defletoare și a uneia echipată fie cu defletoare superioare, fie cu defletoare superioare și laterale, fie cu defletoare superioare, laterale, orizontale și verticale (Fig.1). Cunoașterea acestui răspuns ajută la îmbunătățirea strategiei de selectare și exploatare a instalațiilor. Această strategie poate conduce la reducerea costului de uscare a unui metru cub de material datorită creșterii productivității anuale a instalației.

Most of the studies show that there is an improvement in the kiln performance, from the perspective of air velocity and its uniformity through active channels, drying time and energy consumption, when baffles are used (Culpeper 2000, Sprague 2002, Riley S. 2006, Bedeleian and Șova 2010). However, there is a lack of a comparative study regarding differences, and if these are significant, between the performance of a kiln without baffles and one designed with either top baffles, or top and lateral baffles, or top, lateral, horizontal and vertical baffles (Fig.1). To figure out the answer to this question can improve the drying kilns selection and exploitation strategy. This strategy might generate lower drying cost per one cubic meter of wood due to the increase of the kiln annual productivity.

OBIECTIVE

Această cercetare își propune să contribuie la completarea puzzle-lui cu privire la influența defletoarelor asupra performanței camerei de uscare. Lucrarea prezintă ce diferențe există și dacă acestea sunt semnificative, cu privire la performanța unei camere de uscare fără defletoare și a uneia cu diferite modalități de amplasare a defletoarelor (Fig.1), în comparație cu stadiul actual al cunoașterii.

METODĂ, MATERIALE ȘI APARATURĂ

Partea experimentală

Trei sute cincizeci și două piese de cherestea de molid (*Picea abies*), cu secțiunea egală cu 40x150mm și lungimea de 1450mm, au fost obținute de la o societate comercială, în scopul de a forma patru stive de material cu dimensiunile 1450x1200x825 mm. Acestea au fost amplasate într-o instalație de laborator cu capacitatea de 4m³ și echipată cu două ventilatoare axiale (Bedelean 2009). Pentru amplasarea stivelor în instalație sub forma unei matrice de tip 2x2 (două linii și două coloane) s-au folosit doisprezece suporturi din lemn cu dimensiunea de 1200x100x100mm. Această strategie de amplasare a stivelor în instalație a fost aplicată pentru a genera cele patru tipuri de canale pasive: superioare, laterale, orizontale, respectiv verticale (Fig.1).

Obturarea canalelor pasive s-a realizat folosind defletoare din aluminiu pentru canalele pasive superioare și laterale. Defletoarele pentru canalele orizontale și verticale au fost confecționate din membrană cauciucată, conform descrierii realizate de Bedelean (2009).

În fiecare stivă au fost generate douăzeci de canale active, sub forma unei matrice de tip 10x2, care reprezintă din punct de vedere statistic populația acestui studiu. Deoarece, în instalație au fost introduse patru stive de cherestea, populația a fost formată din 80 de canale active (N=80). Fiecare element al populației, respectiv canalul activ, a fost format prin stivuirea cherestelei folosind șipci cu dimensiunea de 1200x30x25mm. Prin urmare, dimensiunea unui canal activ a fost de 1200x680x25mm.

În scopul de a stabili ce diferențe există, din punct de vedere al vitezei medii a aerului, între cele patru variante de amplasare a defletoarelor, același eșantion de canale active (n=24) a fost testat pentru fiecare tratament. S-a utilizat, analiza de variație ANOVA (Pallant 2007). În plus, abaterea standard a distribuției vitezei aerului obținută pentru eșantionul considerat, a fost utilizată pentru a stabili tratamentul care îmbunătățește uniformitatea vitezei aerului prin canalele active. Analiza statistică a fost realizată cu ajutorul unui program specializat.

Testarea a constat în măsurarea vitezei aerului, în aceeași locație, la ieșirea aerului din canalele active, conform punctelor galbene evidențiate în Fig.1. Viteza aerului a fost măsurată

OBJECTIVES

The task of this research is to add a piece to the puzzle in what concerns the influence of baffles on the drying kiln performance. The paper analyzes if there are significant differences between the performance of a kiln designed without baffles and one with different baffle setups (Fig.1), comparative to the present state of knowledge.

METHOD, MATERIALS AND EQUIPMENT

Experimental part

Three hundred and fifty two boards of spruce (*Picea abies*), 40x150mm in cross section and 1450mm long were obtained from a local sawmill, in order to build four 1450x1200x825mm stacks. These were placed in a laboratory kiln with 4m³ capacity and equipped with two fans, as previously described by (Bedelean 2009). In order to place the stacks inside the kiln as a 2x2 matrix (two lines and two columns) twelve bolsters, 100x100mm in cross section and 1200mm long, were needed. This kiln loading strategy was applied in order to generate the four kinds of passive channels, such as: top, lateral, horizontal and vertical channels (Fig.1).

The blocking of the passive channels was performed by using baffles made of aluminum for the top and lateral baffles. The baffles for horizontal and vertical passive channels were made of rubber membrane, as previously described by Bedelean (2009).

In each stack there were generated twenty active channels, as a 10x2 matrix that represents, from statistical point of view, the population of this study. Because, in the kiln there were inserted four timber stacks, the population of this study was made of 80 active channels (N=80). Each subject of the population, meaning the active channel, was generated by stacking the timber with 1200x680x25mm stickers. Consequently, the dimension of an active channel was 1200x680x25mm.

In order to figure out the differences, from the mean air speed point of view, among the four baffle setups, the same sample of active channels (n=24) was tested in each treatment condition. Consequently, the one-way repeated measure analysis of variance (ANOVA) was needed (Pallant 2007). In addition to, the standard deviation of the air velocity distribution, which was obtained for each treatment, was used, to find out the treatment that improves the uniformity of the air speed through active channels. The statistical computation was performed using a statistical software.

The test consisted in the air velocity measurement, performed in the same locations, at the outlet of the airflow from the active channels, as pictured with yellow points in Fig.1. The air velocity was measured by use of an acquisition system made of four components. The first component was a rotating vane air velocity sensor (AHLBORN -

folosind un sistem de achiziție compus din patru componente. Prima componentă a fost senzorul pentru măsurarea vitezei aerului (AHLBORN - FVA915S220). A doua componentă a fost un data-logger (Almemo 2590 – 4S). A treia componentă a fost reprezentată de softul AMR Control. Ultima componentă a fost calculatorul de tip laptop. Pentru mai multe detalii privind sistemul de achiziție folosit, cititorul poate consulta studiul efectuat de Bedelean și Șova (2010). Pe parcursul măsurătorilor turația ventilatoarelor a fost aceeași pentru toate tratamentele (1450rpm).

Partea de simulare

Aplicația informatică TORKSIM, dezvoltată de SP Technical Institute of Sweden, a fost folosită pentru a analiza performanța unei instalații de laborator cu și fără deflectoare, din punct de vedere al duratei de uscare și a consumului de energie. TORKSIM este utilizat în peste 100 de societăți comerciale de profil din Scandinavia în scopul de a găsi soluții pentru creșterea capacității de uscare, sau pentru a eficientiza procesul din punct de vedere al consumului de energie și a costului de uscare (Salin 2008). Modelul de simulare are la bază ecuația de difuzie unidimensională și a fost testat la nivel industrial pe baza rezultatelor obținute pentru 28 de teste (Salin 1999). Descrierea detaliată cu privire la modelul de simulare folosit în acest studiu este prezentată în cercetările realizate de Salin (1999, 2007).

Fiecare simulare din această lucrare s-a realizat pe baza vitezei medii a aerului prin canalele active, măsurată experimental, conform celor menționate anterior. Celelalte mărimi de intrare au fost alese pe baza recomandărilor din manualul aplicației informatică TORKSIM (Tratek 2008). Mărimile care au fost utilizate și valorile acestora sunt prezentate în Tabelele 1 și 2.

FVA915S220). The second one was a data-logger (Almemo 2590 – 4S). The third one was the AMR Control software. The last one was a laptop computer. To find out more information about the acquisition system used in this study, the reader might consult the research study performed by Bedelean and Sova (2010). During the air velocity measurements the fans speed was equal to 1450rpm for all investigated options regarding the baffles placement.

Simulation part

The TORKSIM software, developed by the SP Technical Institute of Sweden, was used to analyze the kiln performance, from the drying time and energy consumption points of view. TORKSIM is used in more than 100 sawmills in Scandinavia in order to figure out solutions for the drying capacity increase or to make more efficient the drying process from energy and cost points of view (Salin 2008). The one-dimensional diffusion equation is the basis for the simulation model. It was tested at industrial level using 28 drying tests (Salin 1999). The detailed description of the simulation model used in this study is presented in the researches made by Salin (1999, 2007).

Each simulation run of this paper was performed based on the mean air velocity through the active channels, experimentally measured, as afore mentioned. The other input data were chosen according to recommendations specified in the Torksim manual (Tratek 2008) (Tables 1 and 2).

Tabelul 1 / Table 1

Datele de intrare folosite în simularea duratei de uscare / The input data used for the drying time simulation

Date de intrare / Input data	Valoare / Value
Specia lemnoasă / Wood species	Molid / Spruce
Grosimea cherestelei / Timber thickness	50 mm
Densitatea lemnului / Wood density	385 kg/m ³ *
Temperatura inițială a lemnului / Initial wood temperature	65 °C**
Umiditatea inițială a cherestelei / Green moisture content	74%
Viteza aerului pentru tratamentul / Air velocity used for treatment:	
A	2.36 m/s
B	2.35 m/s
C	3.57 m/s
D	5.37 m/s
Umiditatea finală / The target moisture content	10%

* conform Tratek (2008) / according to Tratek (2008)

** temperatura la începutul fazei de uscare propriu-zisă / the temperature at the beginning of the drying stage.

Tabelul 2 / Table 2

Datele de intrare folosite în simularea consumului de energie / The input data used for the energy simulation

Date de intrare / Input data	Valoare / Value
Umiditatea relativă a aerului din exterior / Average relative humidity of ambient air	54%
Temperatura în instalație la începutul procesului / initial temperature in the dryer	65 °C
Temperatura din exteriorul instalației (valoare medie pentru tot ciclul de uscare) / Ambient temperature (an average for the whole drying cycle)	25 °C
Greutatea pereților și a acoperișului / Mass in walls and roof	958.7 kg
Greutatea fundației / Mass in the floor (concrete plate)	2300 kg
Lungimea instalației / Dryer length	3.970 m
Lățimea instalației / Dryer width	2.520 m
Înălțimea instalației / Dryer height	3.230 m
Coeficientul de transmitere a căldurii al fundației / Heat transmission coefficient, floor	0.5 W/m ² K
Coeficientul de transmitere a căldurii al pereților și acoperișului / Heat transmission coefficient, walls and roofs	0.30 W/m ² K
Căldura specifică a pereților și acoperișului / Specific heat of walls and roof	0.90 kJ/kg °C
Căldura specifică a fundației / Specific heat of floor	0.90 kJ/kg °C
Temperatura fundației / Soil temperature	16 °C
Volumul de cherestea din instalație / Green timber volume in the kiln	4 m ³
Numărul de pereți care vin în contact cu exteriorul / Number of free walls	4 buc

Simularea procesului de uscare a necesitat elaborarea unui regim de uscare în funcție de timp. (Tabelul 3). Regimul a fost alcătuit folosind opțiunea "Schedule suggestion" aferentă programului TORKSIM. La elaborarea acestuia s-a avut în vedere ca valoarea tensiunii relative, care indică pericolul de apariție a crăpăturilor pe parcursul procesului de uscare, să fie egală sau sub 0.33 (Tratek 2008). Pentru regimul utilizat în simulare, valoarea tensiunii relative a fost de 0.30.

In order to run the simulation, a time-based drying schedule was developed by TORKSIM (Table 3). The schedule was built by using the "Schedule suggestion" option that is available in TORKSIM. The drying schedule was developed in such a manner that the relative stress value, which indicates that checks are close to occur, is less or equal to 0.33 (Tratek 2008). For the drying schedule used within the simulation, the relative stress value was equal to 0.30.

Tabelul 3 / Table 3

Regimul de uscare folosit pentru simulare / The drying schedule used within the simulation

Timpul, ore / Time, hours	Temperatura / Dry bulb temperature, °C	Temperatura termometrului umed / Wet bulb temperature, °C	Umiditatea relativă a aerului, % / Relative air humidity, %
0	66.71	65.00	92.4
10	70.22	65.00	78.9
20	70.95	65.00	76.4
30	73.52	65.00	68.4
40	77.38	65.00	58.4
50	80.00	62.05	45.6
60	80.00	57.94	36.6
70	80.00	54.07	29.3
80	80.00	52.00	25.8
90	80.00	52.00	25.8

Calculul economic

Analizarea celor patru tratamente din punct de vedere economic s-a realizat pe baza datelor din

Economic calculation

The kiln performance analysis, in what regards the drying cost was analyzed based on the data

Tabelul 4. Fiecare variantă de amplasare a deflectorilor a necesitat o investiție diferită. Diferența se datorează atât numărului de deflectoare necesare pentru fiecare tratament, cât și tipului de material folosit la confecționarea fiecărui tip de deflector.

presented in Table 4. For each baffle setup, the investment value was different. The difference is due to both, the number of baffles needed in each treatment and the kind of material used to manufacture each kind of baffle.

Tabelul 4 / Table 4

Datele de intrare folosite în calcularea costului de uscare / The input data used for the drying cost calculation

Date de intrare / Input data	Valoare / Value
Investiția / Investment for treatment	A 20000€
	B 20065€
	C 20196€
	D 20217€
Costul anual de întreținere / Annual maintenance cost	2%*
Salariul anual al personalului (doi muncitori) / Annual personnel cost (two workers)	7200 €
Costul energiei termice / Price of heat	0.030 Euro/kWh**
Costul energiei electrice / Price of electric power	0.073 Euro/kWh**
Durata anuală de funcționare a instalației / Annual running time of the kiln	5016 ore / hours
Prețul de achiziție a unui metru cub de material în stare verde / The selling price of one cubic meter of green wood	110€
Prețul de vânzare a unui metru cub de material uscat la umiditatea de 10% / The selling price of one cubic meter of dried wood up to the moisture content of 10%	180€
Durata normală de utilizare a instalației / Depreciation time of kiln	20 ani / years***

* din valoarea totală a investiției / from the total investment value.

** conform Bedelean(2009) / according to Bedelean(2009)

***conform Gjerdrum (2000) / according to Gjerdrum (2000)

Calculul economic a necesitat stabilirea costurilor fixe și variabile. În categoria costurilor fixe au fost incluse cheltuieli referitoare la salarii, întreținerea și deprecierea instalației. Costurile variabile au fost formate din cheltuieli referitoare la cheresteaua verde, energia electrică și termică.

Deoarece TORKSIM nu a evidențiat separat consumul de energie electrică și termică, divizarea acestuia s-a realizat pe baza rezultatelor obținute de Bedelean (2009). Respectiv, s-a aproximat că consumul de energie termică reprezintă 75.44% și cel electric 24.56% din consumul energetic total.

Determinarea perioadei de amortizare a investiției pentru fiecare tratament a presupus stabilirea unui venit anual datorat instalației de uscare. Pentru stabilirea venitului anual s-a considerat că 97% din cheresteaua uscată este vândută iar restul de 3% reprezintă pierderi datorate procesului de uscare și / sau altor factori (Trubswetter 2006). Perioada de amortizare s-a calculat pe baza profitului anual și a investiției necesare pentru fiecare tratament.

Cantitatea anuală de cherestea care se usucă s-a stabilit pe baza productivității instalației aferentă fiecărui tratament analizat. Productivitatea instalației s-a determinat în funcție de numărul de ore anual de funcționare a acesteia și de capacitatea camerei de uscare (Tabelele 2 și 4). Menționăm aici faptul că numărul de ore de funcționare a instalației s-a considerat același pentru fiecare tratament. De

The economic calculation needed to take into account both fixed and variable costs. In the category of fixed costs, there were included expenses regarding the salaries, kiln maintenance and depreciation. The variable costs took into account expenses regarding green timber, electric and thermal energy consumption.

Due to the fact that TORKSIM doesn't show separately the electric and thermal energy consumption, the separation was done based on the data obtained previously by Bedelean (2009), respectively, it was approximated that the thermal energy represents 75.44% and the electric energy 24.56% of the total energy consumption.

In order to establish the payback time of the investment required by each treatment it was necessary to figure out an annual income attributed to the drying kiln. Before figuring out the annual income, we estimated that only 97% of the total dried timber is sold; the other part of 3% is degraded due to the drying process or other factors (Trubswetter 2006). The payback time was calculated based on the annual profit and investment needed for each treatment.

The annual amount of dried timber was established based on the kiln annual productivity according to each analyzed treatment. The kiln productivity was determined according to the total annual running time and the kiln capacity (Tables 2 and 4). We would like to mention here that the total annual running time was considered the same for

asemenea, se mai menționează faptul că durata fazelor de încălzire, condiționare, și răcire nu a fost luată în calcul. Aceasta se datorează faptului că modelul de simulare utilizat nu precizează consumul de energie pentru fiecare fază a procesului de uscare.

Costul de uscare s-a stabilit prin împărțirea cheltuielilor referitoare la energie, salarii, întreținerea și deprecierea instalației la cantitatea de cherestea uscată vândută anual.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Valori experimentale

Testul statistic ANOVA a arătat că a existat o diferență semnificativă între mediile celor patru tratamente, Wilks' Lambda = 0.017, $F(3,21) = 406.42$, $p < 0.05$, mărimea efectului $\eta^2 = 0.983$. Media și abaterea standard pentru fiecare tratament sunt prezentate în Tabelul 5.

Pentru tratamentele A și B comparația multiplă a arătat că diferența dintre cele două medii nu a fost semnificativă ($p > 0.05$). Prin urmare, ipoteza de nul, care a susținut faptul că mediile celor două tratamente sunt egale, nu a fost respinsă. Pe baza acestui rezultat noi am concluzionat că nu există nici o diferență, din punctul de vedere al vitezei medii a aerului prin canalele active, între performanța unei instalații de uscare tip cameră fără deflectoare și a uneia echipată cu deflectoare superioare, ceea ce reprezintă un prim rezultat interesant al acestei cercetări. Un posibil motiv pentru acest rezultat îl constituie zona de recirculare care se dezvoltă la partea superioară a șarjei datorită muchiilor ascuțite ale coturilor instalației (Nijdam and Keey 2002, Bedelean 2009). O dată ce se dezvoltă zona de recirculare, canalele pasive superioare sunt blocate parțial sau total de către aceasta (Fig.2). În consecință, nu este necesară folosirea deflectoarelor superioare pentru primul rând de stive.

each treatment. In addition, we mention that the time needed for the heating, conditioning and cooling stages was not taken into account. This approach was required by the fact that the simulation model could not show the energy consumption for each stage of the drying process.

The drying cost was established by dividing the expenses regarding the energy, salaries, kiln maintenance and depreciation to the total amount of dried timber annually sold.

RESULTS AND DISCUSSION

Experimental data

The one way repeated measure analysis of variance ANOVA showed that there was a statistically significant difference among the mean values of the four treatments, Wilks' Lambda = 0.017, $F(3,21) = 406.42$, $p < 0.05$, partial eta squared = 0.983. The mean and standard deviations are presented in Table 5.

For the treatments A and B the pairwise comparison showed that the means difference was not statistically significant ($p > 0.05$). Consequently, the null hypothesis, which stated that the means were equal, was not rejected. Therefore, it can be concluded that there is no performance difference, from the point of view of the mean air velocity through active channels, between a kiln with and without top baffles, which is one first interesting finding of this research. A possible reason for this finding is the recirculation zone that is generated at the top of the load (Nijdam and Keey 2002, Bedelean 2009). Once this recirculation zone occurs, the top passive channels are partially or totally blocked by it (Fig.2). Therefore, there is no need to use the top baffles for the first line of stacks.

Tabelul 5 / Table 5

Parametrii statistici descriptivi obținuți pentru cele patru tratamente / The descriptive statistics parameters obtained for all treatments

Tratamentul / Treatment	Mărimea eșantionului / Sample size	Media / Mean (m/s)	Abaterea standard / Standard deviation (m/s)
A	24	2.36	0.83
B	24	2.35	0.83
C	24	3.57	0.65
D	24	5.37	0.46

De asemenea, comparația multiplă a evidențiat o diferență semnificativă, din punct de vedere al vitezei medii a aerului, între performanța unei instalații fără deflectoare (tratamentul A) și a uneia echipată cu deflectoare superioare și laterale (tratamentul C) ($p < 0.05$). Testul statistic ANOVA a mai indicat și o diferență semnificativă între o cameră de uscare fără deflectoare (tratamentul A) și una prevăzută cu deflectoare superioare, laterale,

Also, the pairwise comparison showed that there was a statistically significant difference, from the mean air velocity point of view, between a kiln without baffles (treatment A) and one with top and lateral baffles (treatment C) ($p < 0.05$). Also, there was a statistically significant difference between a kiln without baffles (treatment A) and one with top, lateral, horizontal and vertical baffles (treatment D) ($p < 0.05$). Moreover, there was a significant difference between

orizontale și verticale (tratamentul D) ($p < 0.05$). Mai mult, a existat o diferență semnificativă și între o cameră de uscare prevăzută cu defletoare superioare și laterale (tratamentul C) și o instalație echipată cu defletoare superioare, laterale, orizontale și verticale (tratamentul D) ($p < 0.05$). Prin urmare, se poate concluziona că mărirea vitezei medii a aerului prin canalele active a fost cauzată de către defletoarele laterale, în cazul tratamentului C și de către defletoarele orizontale și verticale, în cazul tratamentului D. Această mărire a avut loc datorită maximizării debitului de aer prin canalele active (Fig.3). În cazul tratamentului D am presupus că nu au existat pierderi prin canalele pasive.

a kiln with top and lateral baffles (treatment C) and one with top, lateral, horizontal, and vertical baffles (treatment D) ($p < 0.05$). Consequently, the null hypothesis, which stated that the means were equal, was rejected. Therefore, it can be concluded that the increase of the air velocity through active channels was caused by the lateral baffles, in case of treatment C and by the horizontal and vertical baffles, in case of treatment D. This increase of the mean air velocity was due to the airflow maximization through active channels (Fig. 3). In case of treatment D we assumed that there was no leakage through the passive channels.

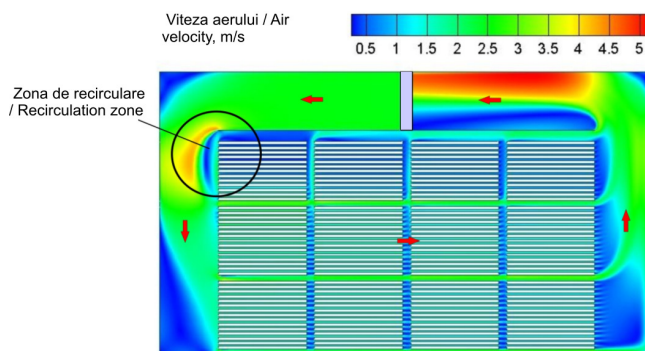


Fig. 2.

Zona de recirculare care se dezvoltă la partea superioară a șarjei pe perioada procesului de uscare / The recirculation zone that occurs at the upper part of the load during the drying process (Bedelean 2009).

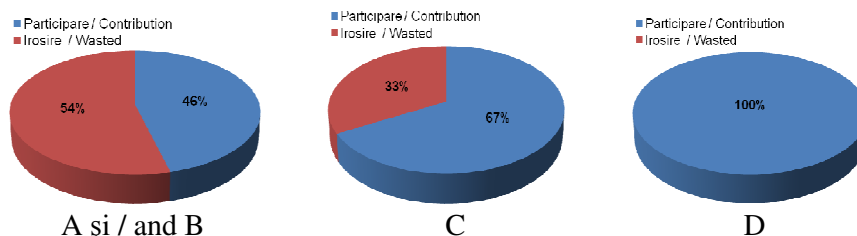


Fig. 3.

Repartiția debitului de aer prin canalele active în cazul celor patru tratamente / The airflow distribution through active channels in case of all treatments.

Pe baza abaterii standard am observat că atât tratamentul C, cât și tratamentul D a îmbunătățit uniformitatea vitezei medii a aerului prin canalele active (Tabelul 5). Tratamentul D a generat o uniformitate mai bună decât tratamentul C. Prin urmare, se poate concluziona că prin creșterea numărului de defletoare, o cantitate mai mare din debitul de aer va parcurge stivele de material. În consecință, viteza aerului va crește. De asemenea, și uniformitatea aerului se îmbunătățește, datorită minimizării surselor de perturbare a fluxului de aer (Câmpean 1997, Steiner ș.a. 2011).

Based on the standard deviation it has been observed that both treatments, C and D, increased the air velocity uniformity through active channels (Table 5). The latter generated a better uniformity than the former. Therefore, it can be concluded that more baffles conduct to more air and to a higher and more uniform air speed through active channels. This is due to the fact that once blocking the passive channels, the sources of airflow perturbations were minimized (Câmpean 1997, Steiner *et al.* 2011).

Valori obținute prin simulare

Simularea a arătat că durata de uscare propriu-zisă se diminuează în cazul tratamentelor C și D (Tabelul 6). Acest lucru s-a datorat faptului că viteza medie de circulație a aerului prin canalele active a fost mai ridicată în cazul tratamentelor C și D, comparativ cu tratamentele A și B.

Productivitatea anuală instalației a crescut în cazul tratamentelor C și D (Tabelul 6). Această creștere are la baza diminuarea duratei de uscare în cazul celor doua tratamente menționate anterior, fiind un avantaj ce conduce la creșterea numărului de cicluri de uscare anuale.

Consumul de energie anual s-a mărit în cazul tratamentelor C și D datorită faptului că și productivitatea instalației a fost mai mare în cazul acestora comparativ cu tratamentele A și B (Tabelul 6). Referitor la consumul de energie pentru uscarea unui metru cub de material, acesta a fost aproximativ același în cazul celor patru tratamente analizate.

Profitul anual obținut în cazul tratamentelor C și D crește comparativ cu tratamentele A și B, datorită faptului că cantitatea de material uscată vândută anual a crescut odată cu îmbunătățirea productivității instalației. Prin urmare, perioada de amortizare a instalației se diminuează pentru tratamentele C și D comparativ cu tratamentele A și B (Tabelul 6).

De asemenea, calculul economic a evidențiat un cost de uscare mai redus în cazul tratamentelor C și D, comparativ cu tratamentele A și B. Acest avantaj a fost cauzat de creșterea productivității instalației în cazul tratamentelor C și D.

Simulation data

The simulation has shown that the time of the drying stage was lower in case of treatments C and D than in case of treatments A and B (Table 6). This is due to the mean air speed through active channels that was higher in case of treatments C and D than in case of treatments A and B.

The kiln annual productivity increased in case of treatments C and D (Table 6). This increase is due to the time of the drying stage that was shorter in case of treatments C and D than in case of treatments A and B, being an advantage that leads to the increase in the number of drying cycles during a year.

The annual energy consumption is higher in case of treatments C and D, due to the higher productivity generated by these treatments, than in case of treatments A and B (Table 6). Regarding the energy consumption needed to dry one cubic meter of wood, it was almost the same during each treatment.

The annual profit generated by the treatments C and D is higher than in case of treatments A and B, due to the fact that the amount of dried timber that is sold annually is higher in case of treatments C and D than in case of treatments A and B, due to a higher kiln productivity. Accordingly, the kiln payback time decreases in case of treatments C and D with respect to treatments A and B (Table 6).

In addition, the economic calculation has shown a lower drying cost per one cubic meter of timber in case of treatments C and D than in case of treatments A and B. This advantage was caused by the increase of the kiln productivity in case of treatments C and D.

Tabelul 6 / Table 6

Variabilele dependente folosite pentru compararea tratamentelor / The dependent variable used to compare the treatments

Variabilele dependente / The dependent variables	Tratamentul / Treatment			
	A	B	C	D
Durata de uscare, ore / drying time, hours	81	81	78	75
Productivitatea instalației, m ³ /an / Kiln productivity, m ³ /year	248	248	257	268
Numărul de șarje anuale / Number of annual batches	62	62	~64	67
Cantitatea de material vândută anual / Amount of timber annually sold, m ³	240	240	249	259
Venit brut anual / Annual gross income, €	43200	43200	44820	46620
Consumul de energie / Energy consumption, kWh / m ³	226	226	227	228
- Energie termică / Thermal energy, kWh/m ³	170	170	171	172
- Energie electrică / Electric energy, kWh/m ³	56	56	56	56
Costul anual al energiei termice / Annual cost of thermal energy, €	1265	1265	1318	1383
Costul anual al energiei electrice / Annual cost of electric energy, €	1042	1042	1079	1126
Costul total al energiei / Total cost of energy, €	2307	2307	2397	2509
Costul cherestei verzi / Cost of green timber, €	27280	27280	28270	29480
Alte cheltuieli (salarii, întreținere, depreciere etc.) / Other expenses (salaries, maintenance, depreciation etc.)	8600	8604	8613	8615
Profit datorat instalației / Net operating income, €	5013	5009	5540	6016
Perioada de amortizare, ani / Payback time, years	3.99	4.00	3.64	3.36
Costul de uscare / The drying cost, €/m ³	45.44	45.46	42.84	41.50

CONCLUZII

Noi am realizat un studiu referitor la influența deflectorilor asupra performanței unei camere de uscare de laborator. Rezultatele noastre au arătat faptul că nu există nici o diferență semnificativă între performanța unei camere de uscare fără deflectoare și a uneia echipată cu deflectoare superioare. Acest rezultat se datorează faptului că viteza medie a aerului în cazul tratamentului B este aproximativ aceeași cu cea generată de configurația aferentă tratamentului A. Referitor la tratamentele C și D am obținut diferențe semnificative, atât între acestea, cât și comparativ cu tratamentele A și B. Tratamentul D, care a presupus obturarea tuturor canalelor pasive din camera de uscare, a asigurat o îmbunătățire a performanței instalației din punct de vedere al duratei de uscare și a costului de uscare a unui metru cub de material.

Dorim că aceste rezultate să fie integrate într-un ghid de criterii necesare îmbunătățirii alegerii și exploatarei camerelor de uscare pentru cherestea. Oricum, rămâne să formulăm și un răspuns la întrebarea dacă există un efect al deflectorilor asupra performanței unei camere de uscare exploatare în condiții industriale, unde factori precum numărul de stive amplasate în direcția fluxului de aer, neacoperirea capacității instalației, stive care conțin piese de cherestea cu lungimi diferite, și deflectoare deteriorate pot influența avantajul deflectorilor asupra performanței instalației.

MULȚUMIRI

Muțumim Consiliului Național al Cercetării Științifice din Învățământul Superior pentru ajutorul financiar oferit prin proiectele CNCSIS tip TD nr. 318 și PNII-PCE, ID_851.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- ALEON, D. (2001). *Sechage du bois. Guide Pratique*. CTBA.
- BEDELEAN, B. (2009). *Contribuții cu privire la studiul aerodinamic al camerelor de uscare a lemnului (Contributions to the study of wood drying kilns aerodynamics)*. PhD Thesis. Universitatea Transilvania din Brașov.
- BEDELEAN, B., ȘOVA, D. (2010). *Metodă de reducere a consumului de energie electrică la uscarea cherestelei (Method of reducing the electric energy consumption during timber drying)*. PRO LIGNO, 6(3):13-20.
- CÂMPEAN, M. (1997). *Tratamente termice ale lemnului. Uscarea cherestelei (Thermal Treatments of Wood. Wood Drying)*. Editura Universității Transilvania din Brașov.
- CULPEPPER, L. (2000). *Softwood drying*. Miller Freeman Books.
- GJERDRUM, P. (2000). *Cost efficient timber drying*. In: *Proceedings of the 2nd COST E15 Workshop on Quality Drying of Hardwood*, Sopron.
- NIJDAM, J., KEEY, R. (2002). *An experimental study of airflow in lumber kilns*. *Wood Science and Technology*, 36:19 – 26.
- PALLANT, J. (2007). *SPSS – A survival manual*. MacGraw Hill.
- RILEY, S. (2006). *Baffled about baffling! Why is it so important to baffle my drying stack*. *Wood Processing Newsletter* 38:1 – 3.
- SALIN, G.J. (2008). *Drying timber in progressive kilns. Simulation, quality, energy consumption, and drying cost considerations*. *Wood Material Science and Engineering*, 1-2: 12 – 20.

CONCLUSIONS

In summary, we have performed a study about the influence of baffles on the performance of a laboratory timber drying kiln. Our results showed that there was no significant difference, from the kiln performance perspective, between a kiln without baffles and one with top baffles. This was due to the mean air speed of treatment B that was almost the same with the air speed generated in case of treatment A. Regarding treatments C and D, we have obtained significant differences, from the kiln performance point of view, both, within treatments C and D and comparative to treatments A and B. Treatment D, in which all passive channels were blocked, generates an improvement in the kiln performance, from the perspective of the drying time and the drying cost per one cubic meter of wood.

We expect for these findings to be used as a guideline in order to improve the selection and exploitation of timber drying kilns. However, the question that remains to be answered, is the baffles effect on the kiln performance during industrial exploitation conditions, where factors such as: stacks number in the airflow direction, number of passive channels, unfilled kiln capacity, stacks with unequal board length and broken baffles might prevail over the advantages of baffles on kiln performance.

ACKNOWLEDGEMENT

We thank to the National University Research Council for the financial aid offered through the CNCSIS TD no. 318 and PNII-PCE, ID_851 research grants.

- SALIN, G.J. (2007). TORKSIM – simulation of the drying process. A tool for quality control. Cost E53 WG2 Meeting & Workshop “Wood drying – vision of tomorrow”, Riga. <http://www.coste53.net/downloads/WG2/WG2-Riga/Lectures/Riga2007-Salin.pdf>.
- SALIN, G.J. (1999). Simulation models; from a scientific challenge to a kiln operator tool. In: Proceedings of the 6th International IUFRO Wood Drying Conference, Stellenbosch, South Africa, 25-28 January (pp. 175 - 185).
- SPRAGUE, M. (2002). Drying System Design and Consideration. In: Proceedings of Quality Drying: The Key to Profitable Manufacturing, Quebec, p. 3 – 9.
- STEINER, Y.; VESTØL, G.I.; HORN, H.; SANDLAND, K. M. (2011) Impact of various measures to optimize the air velocity in an industrial wood – drying process. Wood Material Science and Engineering, 6: 15 – 22.
- TRATEK. (2008). TORKSIM v.5.0. User manual and instructions for evaluation of calculated results. SP Technical Research Institute of Sweden.
- TRUBSWETTER, T. (2006). Holztrocknung. Fachbuchverlag Leipzig.