

**TUNELUL EXPERIMENTAL DE USCARE -  
- DE LA TEORIE LA PRACTICĂ**

**THE LABORATORY WOOD DRIER -  
- FROM THEORY TO PRACTICE**

**Daniela ȘOVA**

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

**Virgil-Barbu UNGUREANU**

Prof.dr.eng. – TRANSILVANIA University in Brasov – Faculty of Mechanical Engineering  
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Brașov, Romania  
E-mail: [virbung@unitbv.ro](mailto:virbung@unitbv.ro)

**Adrian POSTELNICU**

Prof.dr.eng. – TRANSILVANIA University in Brasov – Faculty of Mechanical Engineering  
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Brașov, Romania  
E-mail: [adip@unitbv.ro](mailto:adip@unitbv.ro)

**Rezumat:**

*Pe baza principiului de similitudine, procesul de uscare a lemnului poate fi studiat pe un model de dimensiuni reduse, reprezentat de un tunel experimental de uscare (instalație de laborator), în locul camerei industriale de uscare, de mărime reală. În acest fel, studiul se simplifică, iar durata de uscare se reduce.*

*Instalația de uscare de laborator, dezvoltată de echipa de cercetare, este un tunel aerodinamic cu circuit închis, cu mediu controlat, prevăzut cu o zonă de testare de secțiune dreptunghiulară. Circulația aerului se realizează cu ajutorul unui ventilator centrifugal, iar încălzirea aerului se efectuează cu ajutorul unei baterii de rezistențe electrice. Alegerea ventilatorului și a rezistențelor electrice s-a efectuat pe baza calculelor aerodinamice și termice, prezentate în lucrare. Pentru realizarea umidificării aerului în condițiile impuse de regimul de uscare, instalația este prevăzută cu un minigenerator de abur, care injectează abur sau apă în curentul de aer. Proba de lemn este amplasată în tunelul de uscare pe un dispozitiv, conceput atât pentru susținerea și deplasarea pe verticală, cât și pentru cântărirea continuă a probei.*

*Prin aplicarea principiului similitudinii atât camerei de uscare, cât și instalației de laborator, s-a determinat viteza aerului din tunelul experimental de uscare pentru valori constante de temperatură și umiditate relativă a aerului. De asemenea, s-au calculat o serie de criterii de similitudine, caracteristice regimului de uscare aplicat.*

**Cuvinte cheie:** tunel experimental de uscare; cameră de uscare; principiul similitudinii.

**INTRODUCERE**

Uscarea industrială a lemnului se realizează în camere de uscare, care constau în principal dintr-un spațiu echipat cu ventilatoare, la partea superioară, în scopul circulației agentului de uscare și cu o

**Abstract:**

*Based on the principle of similarity, the wood drying process can be investigated on a scale model, which is the laboratory drier, instead of the full-size industrial drier. Thus, the investigation is simplified and the drying time reduced.*

*The laboratory drying kiln, developed by the research team, is a controlled climate air duct with closed circuit, fitted with a rectangular test section. The air flow is circulated by a centrifugal fan and the air heating is carried out by a set of electric resistances. The selection of the fan and of the heating resistances was performed according to the aerodynamic and thermal calculations, presented in the paper. For the air humidification, in accordance to the drying schedule requirements, the drier has a steam generator that prepares steam which is injected in the air. The wood sample is placed within the drier on a device conceived for both sample support and vertical motion and also, for continuous weighing.*

*By applying the principle of similarity for both, the industrial kiln and the laboratory drier, the required air velocity for the laboratory drier is determined, for constant values of the temperature and relative humidity of air. Different invariants, characteristic to the drying schedule that was applied, have been also calculated.*

**Key words:** wood drying kiln; laboratory drier; principle of similarity.

**INTRODUCTION**

Industrial wood drying is performed in lumber kilns, which consist basically in a room equipped with overhead fans for drying air circulation and heating coils for maintaining the temperature at the

baterie de încălzire pentru menținerea temperaturii la valorile stabilite de regimul de uscare utilizat. Umiditatea aerului este asigurată prin pulverizarea apei în curentul de aer și se controlează prin deschiderea coșurilor de admisie/evacuare a aerului, amestecând astfel aerul recirculat cu cel proaspăt. Cheresteaua este amplasată în cameră sub forma unei stive rectangulare, cu rânduri de plăci separate de distanțiere din lemn, de grosime uniformă, care generează spații libere pentru circulația aerului. Un plafon intermediar direcționează aerul către stivă, iar setul de deflectoare și de paravane dirijează curentul de aer prin stivă (Marinescu 1984).

Pentru scopuri experimentale, conform lui Molnar (Mujumdar 2007), camera de uscare este concepută ca un tunel aerodinamic cu mediu controlat. Materialul umed este amplasat în zona de testare a tunelului aerodinamic, pe o balanță. Temperatura și umiditatea agentului de uscare se măsoară cu ajutorul termometrelor umede și uscate. Debitul de aer se măsoară prin intermediul unui dispozitiv de îngustare a secțiunii de curgere și este reglat printr-un ventil de laminare. Temperatura și umiditatea aerului sunt controlate prin intermediul unei rezistențe electrice variabile și al unei supape de abur. Variația în timp a masei probei de lemn este măsurată continuu pe durata uscării.

Pentru descrierea comportării materialelor capilar poroase umede în timpul procesului experimental de uscare, se reprezintă curbele de uscare, care sunt relații grafice între variația masei și timp, în condiții staționare de uscare. Curbele de uscare se bazează pe măsurarea variației masei în timp, utilizând o instalație de uscare de laborator, a cărei schemă este indicată în (Kowalski 2003). Uscătorul experimental este descris după cum urmează: circulația ciclică a aerului este asigurată de un ventilator, iar o rezistență electrică preîncălzește curentul de aer. Materialul umed este amplasat pe talerul unei balanțe printr-o ușă cu autoetanșare. În acest fel, variația masei poate fi urmărită continuu. Temperatura și umiditatea aerului se mențin la valorile cerute, prin încălzire și un aport corespunzător de aer proaspăt (sau de vapori, dacă este necesar), sau printr-un transfer de aer saturat.

Pe baza acestor informații teoretice am pus în practică construcția și echiparea instalației de uscare de laborator luând în considerare similitudinea geometrică, dinamică și termică dintre camera industrială de uscare și instalația de laborator.

## OBIECTIVE

În această lucrare sunt prezentate construcția instalației experimentale de uscare și echipamentul de măsurare aferent, calculul aerodinamic și termic efectuat pentru alegerea ventilatorului și a rezistențelor electrice de încălzire a aerului, precum și rezultatele aplicării principiului similitudinii în cazul unei camere de uscare și al instalației de laborator, concretizate în viteza aerului din tunelul

drying schedule values. The air moisture is assured by spraying water in the air stream and it is controlled by opening the roof vents, thus mixing recirculated air with fresh air. The lumber is placed in the chamber as a rectangular stack with rows of boards separated by wooden stickers of uniform thickness that generate free spaces for air flow. An intermediary ceiling directs the air to the stack and baffles and curtains direct the airflow through the stack (Marinescu 1984).

For experimental purpose, the drying kiln is designed as a controlled climate air duct, as indicated by Molnar (Mujumdar 2007). The wet material is placed in the test section of the wind tunnel and it is mounted on a balance. The temperature and humidity of the drying air is measured by using wet and dry thermometers. The air flow rate is determined by means of an orifice meter. The desired airflow is adjusted by a throttle valve. The temperature and humidity of air are controlled by means of an electric heater and a steam valve. The time-varying mass of the wood sample is measured continuously during drying.

For the description of the experimental behaviour of wet capillary-porous materials during drying, drying curves are drawn, which are graphical relations between the mass decrement and time for stationary drying conditions. The drying curves are based on the mass decrement measurement in time in a laboratory drier, whose schematic is indicated in (Kowalski 2003). The experimental drier is described as follows: the air-standard cycle is performed by a fan and the electric heater preheats the circulated air. The dried material is placed on the scale pan through a self-sealing door. Thus the mass decrement variation may be observed continuously. The temperature and humidity of air can be maintained through heating and a suitable supply of fresh air (or vapour if needed), or an exchange of saturated air.

Based on the theoretical information we put in practice the construction of the laboratory drier considering geometric, dynamic and thermal similarity between the industrial kiln and the laboratory drier.

## OBJECTIVES

In this paper there are presented the structure of the experimental laboratory drier and the corresponding measuring equipment, the aerodynamic and thermal calculations, which were performed for the selection of the fan and of the electric resistances for the air heating, as well as the conclusions of the application of the similarity principle for the drying kiln and the laboratory drier, materialized in the air velocity of the experimental laboratory drier, for constant temperature and relative humidity values, the drying time and different invariants, such as Reynolds, Prandtl, Luikov and Fourier numbers, characteristic to the drying

experimental de uscare pentru valori constante de temperatură și umiditate relativă a aerului, durata de uscare și într-o serie de criterii de similitudine: Reynolds, Prandtl, Luikov și Fourier, caracteristic regimului de uscare aplicat.

## CONSTRUCȚIA ȘI CALCULUL AERODINAMIC ȘI TERMIC AL TUNELULUI EXPERIMENTAL DE USCARE

### Construcție și echipament de măsurare

Instalația de uscare de laborator constă dintr-un tunel aerodinamic cu circuit închis, prezentat în Fig. 1 și 2. Secțiunea este dreptunghiulară, având dimensiunile 145×175mm. Partea superioară a tunelului cuprinde zona de testare dreptunghiulară, cu dimensiunile secțiunii de 250×300mm și lungimea de 1500 mm, 1, prevăzută cu o ușă de vizitare etanșă, 2. Pentru reducerea pierderilor de căldură în mediul exterior, tunelul aerodinamic este izolat termic.

schedule that was applied.

## THE CONSTRUCTION AND THE AERODYNAMIC AND THERMAL CALCULATIONS OF THE EXPERIMENTAL LABORATORY DRIER

### Construction and Measuring Equipment

The laboratory drier consists of a wind tunnel with closed circuit, as shown on Fig. 1 and 2. Its rectangular section is 145×175mm. The upper part of the tunnel comprises the rectangular test section 1 with 250×300×1500mm, provided with a sealed tight door, 2.

The wind tunnel is heat insulated for lowering the heat losses. The air flow is driven by a centrifugal fan, 3, which absorbs recirculated air or a mixture of fresh and recirculated air. The air velocity is adjusted by means of a speed variation device and by opening the overhead vent. The air heating is carried out by a set of seven electric resistances, 4, mounted downstream to the fan.

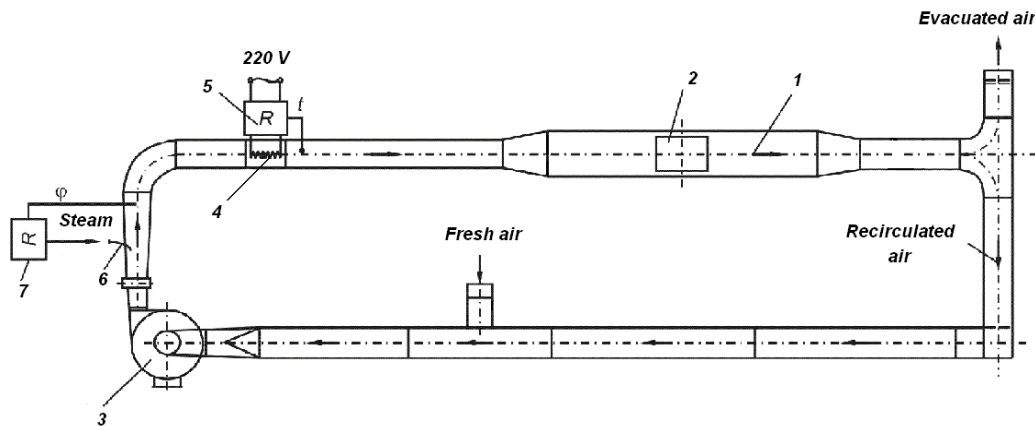


Fig. 1.

**Schema instalației de uscare de laborator proiectată / Schematic representation of the designed laboratory drier:**

**1-zona de testare/test section; 2-ușa/door; 3-ventilator centrifugal/centrifugal fan; 4-rezistențe electrice pentru încălzire/electric heater; 5-sistem de reglare automată a temperaturii/ automatic temperature adjustment system; 6-minigenerator de abur pentru umezire/steam injector; 7- sistem de reglare automată a umidității relative/ automatic relative humidity adjustment system.**

Circulația aerului se realizează cu ajutorul unui ventilator centrifugal, 3, care aspiră aer recirculat sau un amestec de aer proaspăt și aer recirculat. Reglarea vitezei aerului în instalație se efectuează cu ajutorul unui variator de turație sau al unei clapete situată pe racordul de aspirație al ventilatorului. Încălzirea aerului se realizează cu ajutorul unui set de șapte rezistențe electrice, 4, montate în aval de ventilator. Patru sunt cuplate permanent, celelalte sunt folosite pentru atingerea temperaturii impuse de regimul ales. Pentru menținerea constantă a temperaturii aerului din instalație, ea este echipată cu un sistem de reglare automată a temperaturii, 5, care afișează temperatura instantanee. Pentru realizarea umidificării aerului în condițiile impuse de

Four are permanently coupled, the other are used for acquiring the schedule required temperature. In order to maintain a constant temperature in the drying kiln, it is equipped with an automatic temperature adjustment system, 5 that displays the instantaneous temperature. For the air humidification, according to the drying schedule requirements, the drier is provided with a small steam generator that prepares steam which is injected in the air stream. The steam injector, 6 is placed on the vertical section of the tunnel between the fan and electric resistances. The humidity is controlled by an automatic relative humidity adjustment system, 7, with a display for humidity values reading.

regimul de uscare, instalația este prevăzută cu un minigenerator de abur, care pregătește și injectează abur în curentul de aer. Injectorul de abur, 6 este amplasat pe tronsonul vertical al tunelului, între ventilator și rezistențele electrice. Umiditatea aerului este controlată printr-un sistem de reglare automată a umidității relative, 7, prevăzută cu un ecran de afișare a valorilor de umiditate.

Proba de lemn este amplasată în instalația de uscare pe un dispozitiv, conceput atât pentru susținerea și deplasarea pe verticală, cât și pentru cântărirea continuă a probei. Schema dispozitivului este prezentată în Fig. 3.



**Fig. 2.**  
**Instalația de uscare de laborator / Laboratory drier**

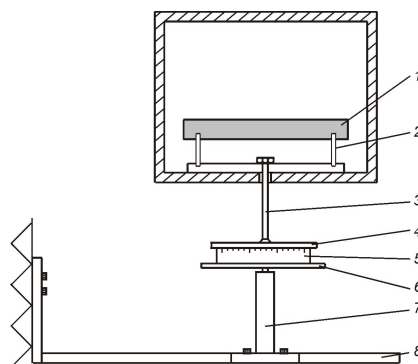
Dispozitivul proiectat pentru proba de lemn 1 constă dintr-un suport metalic 2 amplasat în interiorul zonei de testare a tunelului aerodinamic. Șurubul 3 este fixat prin intermediul unei piulițe de suport, iar celălalt capăt este montat rigid de placa 4. Acest subsamblu al dispozitivului se sprijină pe balanța 5, care este susținută de placa 6. Această placă este fixată de un actuator electric 7, care permite deplasarea uniformă, pas cu pas, în plan vertical, a dispozitivului. Întregul dispozitiv este susținut de brațul 8, care este fixat de peretele laboratorului, în așa fel încât dispozitivul să se afle într-un plan paralel cu suprafețele probei de lemn.

Viteza aerului este măsurată în plan vertical, în diferite puncte pe înălțimea secțiunii tunelului,

The wood sample is placed within the drier on a device conceived for both sample support and vertical motion and also, for continuous weighing.

The schematic representation of the device can be followed in Fig. 3.

The device for the wood sample 1 consists in a metallic support 2 placed inside the test section of the wind tunnel. Screw 3 is fixed with a nut on the support; the other end is fixed rigidly on plate 4.



**Fig. 3.**  
**Dispozitiv pentru susținerea și deplasarea pe verticală a probei de lemn / Device for wood sample support and vertical motion:**  
**1-proba de lemn/wood sample; 2-suport metallic/metallic support; 3-șurub/screw; 4-placă de fixare; plate; 5-balanță/scale; 6-placă/plate; 7-actuator electric/electric actuator; 8-braț/bracket.**

This assembly lies on balance 5, which is carried by plate 6. This plate is fixed on an electric actuator 7 that moves the device uniformly, step by step, in a vertical plane. The device is placed on bracket 8 that is fixed on the laboratory wall in such a way that the device lies in a plane parallel to the wood sample surface.

The bulk air velocity is measured in a vertical plane, in different points, on the height of the tunnel section using a kit of probes from KIMO (AMI 300). The average velocity is then calculated. The temperature and relative humidity of air are measured in different points in a plane parallel to the sample evaporation surface, using the same kit of probes from KIMO.

utilizând un set de sonde de la firma KIMO (AMI 300), după care se calculează viteza medie. Temperatura și umiditatea relativă a aerului se măsoară în diferite puncte într-un plan paralel cu suprafața de evaporare a probei, utilizând același set de sonde de la KIMO.

### Calculul aerodinamic și termic al tunelului aerodinamic

Se impune efectuarea unui calcul aerodinamic și termic al tunelului experimental de uscare pentru alegerea ventilatorului și a bateriei de rezistențe electrice de încălzire, care să asigure puterea termică necesară procesului de uscare.

#### Calculul aerodinamic

Se adoptă o viteză a aerului în tunelul aerodinamic  $w = 1.5$  m/s și o temperatură  $t = 60$  °C.

#### Creșterea secțiunii cu schimbare de formă a secțiunii de curgere

Trecerea de la o secțiune circulară la o secțiune dreptunghiulară și de la dimensiunile 115×98 mm la 145×175 mm necesită determinarea vitezei aerului la ieșirea din ventilator din ecuația conservării masei, care devine  $w_0 = 3.38$  m/s. Schimbarea formei secțiunii corespunde unghiurilor de conicitate pe două direcții perpendiculare  $\alpha_1 = 14$  ° și  $\alpha_2 = 19$  °, rezultând valoarea medie  $\alpha_m = 17$  °. Se alege coeficientul de

pierderi locale de presiune  $\zeta = 0.12 = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2}$  (Idelcik 1984).

#### Tronsoane liniare rectangulare verticale

Primul tronson vertical are lungimea  $l = 600$  mm. Se calculează diametrul hidraulic la valoarea  $D_H = 0.158$  m, iar criteriul Reynolds devine  $Re = 12216.495$ . Pentru determinarea coeficientului de pierderi liniare de presiune, se utilizează relația (1), (Idelcik 1984):

$$\lambda = 0.11 \left( \bar{\Delta} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} \quad (1)$$

Rugozitatea relativă  $\bar{\Delta}$  se obține din ecuațiile (2) și (3), (Idelcik 1984) și (Kiselev 1988):

$$\frac{b_0}{a_0} = \frac{D_H}{l} = \frac{0.158}{0.6} = 0.264 \quad (2)$$

Se alege valoarea rugozității  $\Delta = 0.2$  mm, iar valoarea sa adimensională devine:

### Aerodynamic and Thermal Calculations of the Wind Tunnel

The aerodynamic and thermal calculations are compulsory in order to select the fan and the set of heating resistances that can assure the required thermal power for the drying purpose.

#### Aerodynamic calculations

The air velocity in the wind tunnel is adopted as  $w = 1.5$  m/s and the temperature as  $t = 60$  °C.

#### Section increase with shape change of the flow section

The change of the section shape from circular to rectangular and from the dimensions 115×98 mm to 145×175 mm requires the determination of the air velocity at the fan's exit by use of the mass conservation law, which becomes  $w_0 = 3.38$  m/s. The change of the section shape corresponds to the cone angles of two perpendicular directions  $\alpha_1 = 14$  ° and  $\alpha_2 = 19$  °, the average value being  $\alpha_m = 17$  °. The coefficient of local pressure losses is selected at the value

$$\zeta = 0.12 = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2} \quad (\text{Idelcik 1984}).$$

#### Vertical rectangular linear sections

The first vertical section has the length  $l = 600$  mm. The hydraulic diameter is calculated at the value of  $D_H = 0.158$  m and Reynolds number results as  $Re = 12216.495$ . For the calculation of the coefficient of linear pressure loss, Equation (1), (Idelcik 1984), is used:

$$\lambda = 0.11 \left( \bar{\Delta} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} \quad (1)$$

The relative roughness  $\bar{\Delta}$  is determined from Equations (2) and (3), (Idelcik 1984) and (Kiselev 1988):

$$\frac{b_0}{a_0} = \frac{D_H}{l} = \frac{0.158}{0.6} = 0.264 \quad (2)$$

The roughness  $\Delta = 0.2$  mm is selected and thus its dimensionless value becomes:

$$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{l} = \frac{0.2}{158} = 0.001266 \quad (3)$$

The coefficient of major pressure loss is  $\lambda = 0.032$ .

$$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{l} = \frac{0.2}{158} = 0.001266 \quad (3)$$

Coeficientul de pierderi liniare de presiune obținut este  $\lambda = 0.032$ .

Al doilea tronson vertical liniar are de asemenea lungimea  $l = 600\text{mm}$ , iar coeficientul de pierderi liniare de presiune este în acest caz  $\lambda = 0.0248$ .

### Coturi

Pe lungimea tunelului aerodinamic sunt cinci coturi. Razele interioare și exterioare ale fiecărui cot sunt

$$r_0 = R - \frac{l}{2} = 217 - \frac{145}{2} = 144.5\text{mm și}$$

$$r_1 = R + \frac{l}{2} = 217 + \frac{145}{2} = 289.5\text{mm.}$$

Coeficientul de pierderi locale de presiune se calculează pe baza relației (4), (Idelcik 1984):

$$\zeta = 0.124 + 3.1 \left( \frac{l}{2R} \right)^{3.5} = 0.124 + 3.1 \left( \frac{145}{2 \cdot 217} \right)^{3.5} = 0.1908 \quad (4)$$

### Grătar (plasă) cu ochiuri pătrate (rezistențe de încălzire)

Coeficientul de pierderi locale de presiune se obține din ecuația (5), (Kiselev 1988):

$$\zeta_l = \frac{92 - 78m}{Re_a} + 0.7(1.05 - m) \quad (5)$$

în care porozitatea (coeficientul de goluri al plasei) are în cazul de față valoarea  $m = 0.319$ . Viteza aerului care curge prin secțiunea îngustată datorită prezenței rezistențelor de încălzire este

$w_1 = \frac{w}{m} = \frac{1.5}{0.319} = 4.702\text{m/s}$ , iar criteriul Reynolds va fi:

$$Re_a = \frac{4.702 \cdot 0.013}{19.4 \cdot 10^{-6}} = 3150.82 \quad (6)$$

Prin urmare, coeficientul de pierderi locale de presiune devine  $\zeta_l = 0.533$ .

### Tronsoane rectilinii

Tunelul aerodinamic cuprinde trei tronsoane liniare cu lungimile  $l = 1800\text{mm}$ ,  $550\text{mm}$  și  $4350\text{mm}$ . Diametrul hidraulic este  $D_H = 158\text{mm}$  (pentru fiecare), iar coeficientul de pierderi liniare de presiune este  $\lambda = 0.0248$ .

The second vertical linear section has also  $l = 600\text{mm}$  and the coefficient of major pressure loss is in this case  $\lambda = 0.0248$ .

### Elbows

There are five elbows on the length of the wind tunnel. The inner and outer radii of each elbow are

$$r_0 = R - \frac{l}{2} = 217 - \frac{145}{2} = 144.5\text{mm and}$$

$$r_1 = R + \frac{l}{2} = 217 + \frac{145}{2} = 289.5\text{mm.}$$

The coefficient of local pressure loss is calculated by use of Equation (4), (Idelcik 1984):

$$\zeta = 0.124 + 3.1 \left( \frac{l}{2R} \right)^{3.5} = 0.124 + 3.1 \left( \frac{145}{2 \cdot 217} \right)^{3.5} = 0.1908 \quad (4)$$

### Grate with quadratic meshes (heating resistances)

The coefficient of minor loss is calculated with Equation (5), (Kiselev 1988):

$$\zeta_l = \frac{92 - 78m}{Re_a} + 0.7(1.05 - m) \quad (5)$$

where the porosity (mesh coefficient) has the value  $m = 0.319$  in the present case. The velocity of the air that flows through the narrowed section due to the existence of the heating resistances is

$w_1 = \frac{w}{m} = \frac{1.5}{0.319} = 4.702\text{m/s}$  and Reynolds number becomes:

$$Re_a = \frac{4.702 \cdot 0.013}{19.4 \cdot 10^{-6}} = 3150.82 \quad (6)$$

Thus, the coefficient of local pressure loss is  $\zeta_l = 0.533$ .

### Linear sections

The wind tunnel has three linear evolving sections with the lengths  $l = 1800\text{mm}$ ,  $550\text{mm}$  and  $4350\text{mm}$ . The hydraulic diameter is  $D_H = 158\text{mm}$  (for each one) and the coefficient of major pressure loss is  $\lambda = 0.0248$ .

### Section increase

$$\text{For } \frac{l}{D_H} = \frac{1800}{158} = 11 > 10, n_1 = \frac{A_1}{A_0} = \frac{250 \times 300}{145 \times 175} =$$

$2.955$  and  $\alpha_1 = 26^\circ$ ,  $\alpha_2 = 31^\circ$  and  $\alpha_m = 28.59^\circ$ , respectively, the coefficient of local pressure loss is  $\zeta_{dif} = 0.4525$  (Idelcik 1984).

### Creștere de secțiune

Pentru  $\frac{l}{D_H} = \frac{1800}{158} = 11 > 10$ ,  $n_1 = \frac{A_1}{A_0} = \frac{250 \times 300}{145 \times 175} = 2.955$ , respectiv  $\alpha_1 = 26^\circ$ ,  $\alpha_2 = 31^\circ$  și  $\alpha_m = 28.59^\circ$ , coeficientul de pierderi locale de presiune este  $\zeta_{dif} = 0.4525$  (Idelcik 1984).

### Zona de testare

Zona de testare are lungimea  $l = 1.5$  m. Coeficientul de pierderi liniare de presiune în această zonă este  $\lambda = 0.0248$ . Se calculează diametrul hidraulic și viteza din legea conservării masei, după cum urmează:

$$D_H = \frac{4 \cdot 300 \cdot 250}{2(300 + 250)} = 272.727 \text{ mm} \quad (7)$$

și

$$w_2 = \frac{1.5 \cdot 0.145 \cdot 0.175}{0.25 \cdot 0.3} = 0.51 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (8)$$

Coeficientul de pierderi locale de presiune, care corespunde rezistenței locale, determinată de proba de lemn, este  $\zeta_l = 0.3$ .

### Micșorare de secțiune

Coeficientul de pierderi locale de presiune se calculează din ecuația (9), (Kiselev 1988):

$$\zeta_l = k_i \left( \frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2 \quad (9)$$

în care coeficientul de contracție a curentului  $\varepsilon$  se determină pe baza ecuației (10):

$$\varepsilon = 0.57 + \frac{0.043}{1.1 - n} \quad (10)$$

Constantele sunt  $n = \frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{n_1} = 0.338$ , respectiv  $k_i = 0.225$  (Kiselev 1988). Prin urmare, rezultă  $\varepsilon = 0.626$  și  $\zeta_l = 0.0803$ .

### Adaptarea la secțiunea de intrare a ventilatorului

Coeficientul de pierderi locale de presiune este  $\zeta = 0.12$ .

Pe baza vitezei aerului, dimensiunilor tunelului aerodinamic și a coeficienților de pierderi de presiune determinați, pierderea totală de presiune devine  $\Delta p = 4.7 \text{ N/m}^2$ .

Debitul volumic de aer se calculează din

### Test section

The test section has the length  $l = 1.5$  m. The coefficient of linear pressure loss for this section is  $\lambda = 0.0248$ . The hydraulic diameter is calculated and also, the velocity from the mass conservation law, as follows:

$$D_H = \frac{4 \cdot 300 \cdot 250}{2(300 + 250)} = 272.727 \text{ mm} \quad (7)$$

and

$$w_2 = \frac{1.5 \cdot 0.145 \cdot 0.175}{0.25 \cdot 0.3} = 0.51 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (8)$$

The coefficient of local pressure loss that corresponds to the local resistance, determined by the wood sample, is  $\zeta_l = 0.3$ .

### Section decrease

The coefficient of local pressure loss is calculated with Equation (9), (Kiselev 1988):

$$\zeta_l = k_i \left( \frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2 \quad (9)$$

where the coefficient of flow contraction  $\varepsilon$  is determined from Equation (10):

$$\varepsilon = 0.57 + \frac{0.043}{1.1 - n} \quad (10)$$

The constants are  $n = \frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{n_1} = 0.338$  and  $k_i = 0.225$ , respectively (Kiselev 1988). Thus, we have  $\varepsilon = 0.626$  and  $\zeta_l = 0.0803$ .

### The adaptation to the fan's entrance section

The coefficient of local pressure loss is  $\zeta = 0.12$ .

Based on the air velocity, the wind tunnel dimensions and the coefficients of pressure loss the total pressure loss are  $\Delta p = 4.7 \text{ N/m}^2$ .

The volume flow rate is calculated from Equation (11):

$$\dot{V} = w \cdot S = 1.5 \cdot 0.175 \cdot 0.145 = 0.038 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 137.025 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (11)$$

relația:

$$\dot{V} = w \cdot S = 1.5 \cdot 0.175 \cdot 0.145 = 0.038 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 137.025 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (11)$$

#### Calculul termic

Debitul de aer calculat este utilizat pentru determinarea puterii termice a instalației de uscare de laborator, în condițiile în care aerul se încălzește până la 60 °C, iar mediul exterior are temperatura de 15 °C. Densitatea aerului la temperatura din interiorul tunelului și căldura specifică la temperatura medie a aerului sunt  $\rho = 0.968 \text{ kg/m}^3$ , respectiv  $c_p = 1.015 \text{ kJ/kgK}$  (Ražnjević 1976). Puterea termică necesară se determină din ecuația (12):

$$\dot{Q} = \rho \cdot \dot{V} \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (12)$$

și devine  $\dot{Q} = 1.68 \text{ kW}$ .

Pierderile de căldură prin peretele tunelului aerodinamic se obțin din ecuația (13):

$$\dot{Q}_0 = \frac{\Delta t}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} A \quad (13)$$

în care  $\alpha_i$  și  $\alpha_e$  sunt coeficienții de transfer de căldură prin convecție, corespunzători aerului cald, respectiv rece ( $\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$  și  $\alpha_e = 23.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ );  $\delta_i$  sunt grosimile straturilor componente ale peretelui, format din tablă de oțel ( $\delta_1 = 2.5 \text{ mm}$ ), la interior, vată minerală ( $\delta_2 = 5 \text{ mm}$ ) și ghips ( $\delta_3 = 20 \text{ mm}$ ), la exterior;  $\lambda_i$  sunt coeficienții de conductivitate termică ai straturilor constitutive ( $\lambda_1 = 35 \text{ W/mK}$ ,  $\lambda_2 = 0.042 \text{ W/mK}$ ,  $\lambda_3 = 0.512 \text{ W/mK}$ )

$A$  este aria laterală exterioară a tunelului aerodinamic. Conform dimensiunilor exterioare ale tunelului aerodinamic, aria laterală este  $A = 11.568 \text{ m}^2$ . Prin urmare, valoarea pierderilor de căldură este  $\dot{Q}_0 = 1.6 \text{ kW}$ . Deci, pentru acoperirea pierderilor de căldură sunt cuplate în permanență patru rezistențe de încălzire (puterea unei rezistențe este 500 W), iar pentru asigurarea temperaturii impuse de regim se cuplează una până la trei din rezistențele rămase disponibile.

#### APLICAREA PRINCIPIULUI SIMILITUDINII ÎN CAZUL TUNELULUI EXPERIMENTAL DE USCARE. REZULTATE

Un proces investigat pe un model de dimensiuni reduse trebuie supus teoriei similitudinii pentru a obține rezultate corecte cu privire la instalația de dimensiuni reale. Teoria similitudinii stabilește condițiile prin care cercetarea de laborator poate fi aplicată proceselor similare, reale. Una din condițiile generale cu privire la similitudinea proceselor fizice constă în faptul că termenii adimensionali de referință (criteriile de similitudine)

#### Thermal Calculations

The flow rate that was calculated can be used to determine the thermal power of the laboratory drier, if the air is heated to 60 °C and the surroundings temperature is 15 °C. The density of air at the tunnel inside temperature and the specific heat of air at the average air temperature are  $\rho = 0.968 \text{ kg/m}^3$  and  $c_p = 1.015 \text{ kJ/kgK}$ , respectively (Ražnjević 1976). The required thermal power is determined with Equation (12):

$$\dot{Q} = \rho \cdot \dot{V} \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (12)$$

and becomes  $\dot{Q} = 1.68 \text{ kW}$ .

The heat losses through the wind tunnel walls are obtained from Equation (13):

$$\dot{Q}_0 = \frac{\Delta t}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} A \quad (13)$$

where  $\alpha_i$  and  $\alpha_e$  are convective heat transfer coefficients, corresponding to hot and cold air, respectively ( $\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$  and  $\alpha_e = 23.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ );  $\delta_i$  are the wall layer thicknesses corresponding to steel sheet ( $\delta_1 = 2.5 \text{ mm}$ ), inside, mineral wool ( $\delta_2 = 5 \text{ mm}$ ) and gypsum ( $\delta_3 = 20 \text{ mm}$ ), outside;  $\lambda_i$  are the thermal conductivities of the constitutive layers ( $\lambda_1 = 35 \text{ W/mK}$ ,  $\lambda_2 = 0.042 \text{ W/mK}$ ,  $\lambda_3 = 0.512 \text{ W/mK}$ );  $A$  is the external lateral area of the wind tunnel.

According to the wind tunnel external dimensions, the lateral area is  $A = 11.568 \text{ m}^2$ . Thus, the value of the heat losses is  $\dot{Q}_0 = 1.6 \text{ kW}$ . Therefore, to cover the heat losses there are permanently coupled four heating resistances (the power of one resistance is 500 W), and in order to achieve the schedule required temperature there are coupled one to three of the available resistances.

#### THE APPLICATION OF THE PRINCIPLE OF SIMILARITY TO THE WIND TUNNEL. RESULTS

A process investigated on a scale model must be subject of the theory of similarity, in order to get reliable results for the full-size equipment. The theory of similarity establishes the conditions under which the laboratory research can be applied to similar, real processes. One of the general conditions of similarity of physical processes is that the dimensionless reference terms (criteria of similarity) of similar processes must be numerically equal (Isachenko et al. 2000).



ai proceselor similare trebuie să fie numeric egali (Isachenko ș.a. 2000).

Studiul procesului pe o instalație de dimensiuni reale poate fi înlocuit de investigarea aceluiași proces pe un model la scară redusă și în cazul uscării convective, unde intervin procese de transfer de căldură și de masă. Dacă procesul dezvoltat pe un model la scară redusă este din punct de vedere calitativ similar cu cel dezvoltat pe instalația la scară reală, rezultatele obținute pe model pot fi aplicate instalației reale. În acest fel, procesele similare pot fi apreciate ca fiind identice, dar aplicate la scări diferite. (Isachenko ș.a. 2000).

Analiza dimensională este foarte importantă pentru extrapolarea rezultatelor experimentale de laborator (pe un model prototip) la sistemul la scară reală. Trebuie îndeplinite două criterii pentru a realiza un astfel de obiectiv. Primul se referă la similitudinea dimensională, prin care toate dimensiunile prototipului trebuie să fie în același raport cu cele ale sistemului la scară reală. Al doilea se referă la similitudinea dinamică, prin care termenii adimensionali relevanți trebuie să fie numeric egali în cazul modelului prototip și al sistemului la scară reală (Faghri ș.a. 2010).

O generalizare a analizei dimensionale și a corolarului ei, teorema  $\pi$  în cazul unei clase de procese în care unele din mărimile care definesc aceste procese au valori fixe pentru toate cazurile studiate, este prezentată în (Sonin 2004).

Există multe aplicații ale teoremei  $\pi$  sau Buckingham, printre care se include și transferul de căldură și masă. De exemplu, ipotezele similitudinii în cazul stratului limită atmosferic (SLA), prin utilizarea criteriilor adimensionale caracteristice, sunt trecute în revistă în (Kramm și Herbert 2009). Ideea fundamentală a analizei dimensionale (teorema Buckingham) constă într-o formă matematică generalizată. Pentru ilustrarea funcțiilor acestei metode eficiente și a modului în care ea poate fi aplicată pentru deducerea unei serii de soluții corecte, prin utilizarea procedurii formale de adimensionalizare, sunt reprezentate mai multe variante care sunt relevante pentru structura turbulenței SLA.

De asemenea, Wei ș.a. (2011) au dezvoltat un model matematic care descrie relația între concentrația de ozon și o serie de parametri importanți în generarea ozonului pe baza teoriei analizei dimensionale.

Analiza dimensională a fost aplicată și în cazul proceselor de uscare. Astfel, Kachru & Matthes (1976) au dezvoltat o ecuație de estimare a duratei de uscare și a conținutului de umiditate instantaneu al orezului brut umed în timpul uscării unei serii în strat gros, prin utilizarea similitudinii și analizei dimensionale.

Santamaria ș.a. (2011) prezintă studiul transferului nestaționar de masă în timpul uscării maniocului prin utilizarea parametrilor adimensionali,

The study of the process on full-size equipment can be replaced by the investigation of the same process on a scale model also in the conditions of convective drying, where heat and mass transfer processes occur. If the process developed on the scale model is qualitatively similar to that developed on the full-size equipment, the test results obtained on the model can be applied to the full-size equipment. Thus, similar processes can be regarded as identical, but taken on a different scale (Isachenko ș.a. 2000).

Dimensional analysis is very important to extrapolate the laboratory experimental results (prototype model) to the full scale system. Two criteria must be fulfilled to perform such an objective. First, dimensional similarity, in which all dimensions of the prototype and the full scale system must be in the same ratio, should be fulfilled. Secondly, dynamic similarity should be respected, in which relevant dimensionless groups are the same for the prototype model and the full scale system (Faghri et al. 2010).

A generalization of the dimensional analysis and its corollary, the  $\pi$  - theorem, to the class of problems in which some of the quantities that define the problem have fixed values in all the cases that are of interest is presented in (Sonin 2004).

There are many applications of Buckingham's  $\pi$  - theorem, including heat and mass transfer. For example, similarity hypotheses for the atmospheric surface layer (ASL) are reviewed in (Kramm and Herbert 2009) using non-dimensional characteristic invariants, referred to as  $\pi$  - numbers. The basic idea of this dimensional - invariants analysis (Buckingham's theorem) is described in a mathematically generalized formalism. To illustrate the task of this powerful method and how it can be applied to deduce a variety of reasonable solutions by the formalized procedure of non-dimensionalization, various instances are represented that are relevant to the structure of ASL turbulence.

Wei et al. (2011) also developed a mathematical model, which describes the relation between ozone concentration and some major parameters that are of importance in ozone generation, according to the dimensional analysis theory.

The dimensional analysis was applied also to drying processes. Thus, Kachru & Matthes (1976) have developed a prediction equation for the drying time and instantaneous moisture content of wetted rough rice during thick-layer batch drying by using similitude and dimensional analysis.

Santamaria et al. (2011) presented a study of the transient mass transfer process during the drying of cassava using non dimensional parameters, which allows a better design of industrial dryers.

A generalized dimensionless model of paddy drying was developed from a validated partial

care permite o mai bună proiectare a uscătoarelor industriale.

Un model adimensional generalizat pentru uscarea orezului brut a fost dezvoltat pe baza unei ecuații diferențiale validate ca model de uscare, utilizând analiza dimensională corespunzătoare teoremei Buckingham (Zare ș.a. 2012). În modelul adimensional generalizat s-au luat în considerare toți parametrii de uscare necesari pentru estimarea conținutului de umiditate al orezului în timpul procesului de uscare.

În cazul uscării lucernei la umidități de 8~10% pentru depozitare și prelucrare, Wu (2004) a obținut parametrii de uscare și a proiectat un uscător rotativ pe baza metodei analizei dimensionale.

Instalația de uscare de laborator propusă reprezintă modelul la scară redusă al camerei industriale de uscare, care este la scară reală. Proba de lemn care se usucă în tunelul aerodinamic are la rândul ei dimensiuni reduse: 240×240×20 (mm), care corespund dimensiunilor secțiunii transversale a tunelului aerodinamic.

Spațiul format între două plăci de lemn și distanțiere (canalul de curgere a aerului) din camera industrială de uscare, care este simulat în tunelul aerodinamic, este reprezentat în Fig. 4.

Datele din Tabelul 1 corespund camerei de uscare (coloana din stânga) și tunelului aerodinamic (coloana din dreapta). Am considerat ca exemplu, parametrii de uscare (constanți) ai molidului (*Picea abies*) supus uscării convective.

Viteza curentului de aer din zona de testare a tunelului aerodinamic, precum și durata de uscare au fost calculate ca urmare a aplicării principiului similitudinii, care impune ca termenii adimensionali de referință să fie numeric egali. Se observă o valoare apropiată a vitezei față de cea obținută în urma efectuării calculului aerodinamic (relația 8). De asemenea, s-au determinat o serie de grupuri adimensionale de referință (criterii de similitudine) caracteristice procesului de uscare, și anume criteriile Reynolds, Prandtl, Luikov și Fourier.

differential equation (PDE) drying model using the dimensional analysis of Buckingham theorem (Zare et al. 2012). This generalized dimensionless model considered all drying parameters in an equation to predict the grain moisture content during the drying process.

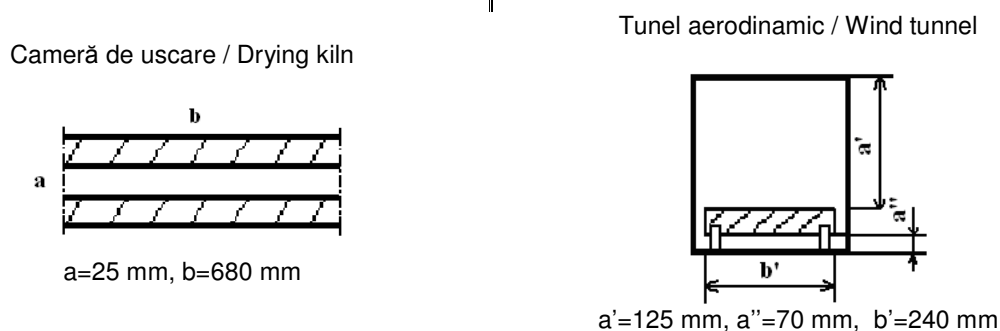
For fresh alfalfa drying to moisture contents of 8~10% for storage and processing, Wu (2004) used the dimensional analysis method to design the rotary dryer and determine the drying parameters.

The proposed laboratory drier is the scale model of the full-size industrial drying kiln equipment. The wood sample that is dried in the wind tunnel has also small dimensions: 240×240×20 (mm), which are appropriate to the cross-section wind tunnel dimensions.

The space between two wood boards (air flow channel) in the drying kiln that is simulated in the wind tunnel is represented on Fig. 4.

The following data from Table 1 correspond to the drying kiln (left column) and to the wind tunnel (right column). We have considered as an example, the drying schedule of spruce (*Picea abies*) submitted to convective drying.

The velocity of the air flow in the test section of the wind tunnel and the drying time were calculated as result of the application of the similarity principle, which requires for all dimensionless terms to be numerically equal. It can be observed a very close value with respect to that obtained from the aerodynamic calculations (Equation 8). There was also determined a range of reference dimensionless groups (similarity criteria) that are characteristic to the drying process, such as Reynolds, Prandtl, Luikov and Fourier numbers.



**Fig. 4.**  
**Simularea canalului de curgere a aerului / Simulation of the air flow channel.**

Tabelul 1 / Table 1

**Rezultatele principiului similitudinii aplicat camerei de uscare și tunelului aerodinamic / The results of the similarity principle applied to the drying kiln and the wind tunnel**

Cameră de uscare/Drying kiln	Tunel experimental proiectat/Experimental kiln
<p>Viteză / Velocity: <math>w = 3</math> m/s</p> <p>Temperatură: <math>t = 60</math> °C</p> <p>Durată de uscare / Drying time: <math>\tau = 136</math> h</p> <p>Dimensiunea caracteristică (diametru hidraulic)/ Characteristic dimension (hydraulic diameter): <math>d_e = \frac{4ab}{2b} = 2a = 0.05</math> m</p> <p>Coeficientul de viscozitate cinematică / Coefficient of kinematic viscosity: <math>\nu(t) = 19.4 \cdot 10^{-6}</math> m<sup>2</sup>/s</p> <p>Coeficientul de difuzie/ Diffusion coefficient: <math>D(t) = 1.593 \cdot 10^{-5}</math> m<sup>2</sup>/s</p> <p>Coeficientul de difuzivitate termică/ Coefficient of thermal diffusivity: <math>a(t) = 27.6 \cdot 10^{-6}</math> m<sup>2</sup>/s</p>	<p>Viteză / Velocity: necunoscută / unknown (calculată mai jos/calculated below)</p> <p>Temperature: <math>t = 60</math> °C</p> <p>Durată de uscare/Drying time: necunoscută/unknown (calculată mai jos/calculated below)</p> <p>Dimensiunea caracteristică (diametru hidraulic)/ Characteristic dimension (hydraulic diameter): <math>d_e' = \frac{4(a'+a'')b'}{2b'} = 2(a'+a'') = 0.39</math> m</p> <p>Coeficientul de viscozitate cinematică / Coefficient of kinematic viscosity: <math>\nu(t) = 19.4 \cdot 10^{-6}</math> m<sup>2</sup>/s</p> <p>Coeficientul de difuzie/ Diffusion coefficient: <math>D(t) = 1.593 \cdot 10^{-5}</math> m<sup>2</sup>/s</p> <p>Coeficientul de difuzivitate termică/ Coefficient of thermal diffusivity: <math>a(t) = 27.6 \cdot 10^{-6}</math> m<sup>2</sup>/s</p>
Se calculează:	There are calculated:
<p>Criteriul Reynolds/Reynolds number: <math>Re \left( = \frac{wd_e}{\nu(t)} \right) = 7731.959</math></p> <p>Criteriul Prandtl / Prandtl number: <math>Pr \left( = \frac{\nu(t)}{a(t)} \right) = 0.703</math></p> <p>Criteriul Luikov/ Luikov number: <math>Lu \left( = \frac{D(t)}{a(t)} \right) = 0.577</math></p> <p>Criteriul Fourier/ Fourier number: <math>Fo \left( = \frac{a(t)\tau}{b^2} \right) = 29.22</math></p>	<p>Criteriul Reynolds/Reynolds number: <math>Re \left( = \frac{w'd_e'}{\nu(t)} \right) = 7731.959</math></p> <p>Viteză / Velocity: <math>w' = 0.4</math> m/s</p> <p>Criteriul Prandtl / Prandtl number: <math>Pr \left( = \frac{\nu(t)}{a(t)} \right) = 0.703</math></p> <p>Criteriul Luikov/ Luikov number: <math>Lu \left( = \frac{D(t)}{a(t)} \right) = 0.577</math></p> <p>Criteriul Fourier/ Fourier number: <math>Fo \left( = \frac{a(t)\tau}{b'^2} \right) = 29.22</math></p> <p>Durata de uscare / Drying time: <math>\tau' = 16.94</math> h</p>

**CONCLUZII**

Instalația de uscare de laborator pe care am dezvoltat-o și descris-o în această lucrare reprezintă modelul la scară redusă al camerei de uscare. Ea este concepută pentru probe de lemn cu dimensiunile 240×240×20 (mm). Instalația este echipată cu instrumente de măsurare a vitezei aerului, atât în volum, cât și în stratul limită, a temperaturii și umidității relative, respectiv cu sisteme de indicare și reglare a vitezei, temperaturii și umidității relative a aerului. Ventilatorul și

**CONCLUSIONS**

The laboratory drier that was developed and described in this paper is the scale model of the drying kiln. It was designed for wood samples with the dimensions 240×240×20 (mm). The wind tunnel is equipped with air velocity and temperature measurement tools, for both, bulk and boundary layer, with relative humidity measurement tools and with velocity, temperature and relative humidity display and adjustment systems, respectively. The fan and heating resistances were selected on the

rezistențele de încălzire au fost alese pe baza unor calcule aerodinamice și termice, preliminare.

Pe baza principiului similitudinii care s-a aplicat pentru modelul la scară redusă și camera de uscare de dimensiuni reale, am determinat grupurile adimensionale relevante, corespunzătoare proceselor de transfer de căldură și de masă, și anume criteriile Reynolds, Prandtl, Luikov și Fourier. Din condițiile de similitudine ale proceselor fizice, care impun ca termenii adimensionali de referință (criteriile de similitudine) să fie numeric egali, am obținut viteza aerului și durata de uscare corespunzătoare instalației de uscare de laborator.

Considerăm că instalația de uscare de laborator este un model de instalație util pentru studiul proceselor de transfer de impuls, căldură și masă care au loc în timpul uscării. Soluțiile ecuațiilor diferențiale asociate cu condițiile de unicitate, care descriu aceste procese sunt corecte și sunt valabile pentru procesele similare dezvoltate în camera industrială de uscare. În schimb, duratele și costurile de uscare sunt mai mici.

Obiectivele unor cercetări viitoare se referă la măsurarea vitezei și temperaturii aerului în stratul limită format la suprafața de evaporare a probei de lemn. În acest scop se va utiliza un anemometru miniatural cu fir cald care va fi deplasat de către un actuator electric orizontal de-a lungul probei de lemn. În acest fel, se măsoară viteza și temperatura aerului în diferite puncte de-a lungul probei. Inițial, suprafața probei vine în contact cu anemometrul. Apoi, proba de lemn se deplasează în jos prin intermediul actuatorului încorporat în dispozitivul pentru susținerea și deplasarea pe verticală a probei, pentru efectuarea măsurărilor de viteză și temperatură pe grosimea stratului limită. Aceste măsurări permit determinarea câmpurilor de viteză și temperatură în stratul limită, a grosimii lui, a gradientilor de viteză și temperatură, precum și a fluxurilor de energie cinetică și termic. Prin utilizarea analogiei dintre transferul de căldură și de masă, se poate obține și grosimea stratului limită de difuzie și ca urmare, fluxul de masă.

#### MULȚUMIRI

Autorii aduc mulțumiri Consiliului Național al Cercetării Științifice din Învățământul Superior, pentru finanțarea proiectului de cercetare PNII-PCE, ID\_851: Aplicarea metodei termodinamicii proceselor ireversibile la optimizarea procesului de uscare a materialelor capilar-poroase.

basis of prior aerodynamic and thermal calculations.

According to the principle of similarity that was applied for the scale model and the full size drying kiln, we have determined the relevant dimensionless groups, corresponding to heat and mass transfer processes, such as Reynolds, Prandtl, Luikov and Fourier numbers. From the conditions of similarity considered for physical processes, in according to which the dimensionless reference terms (criteria of similarity) of similar processes must be numerically equal, we have obtained the velocity of air and the drying time applied to the laboratory drier.

We consider that the laboratory drier is a useful model for the study of momentum, heat and mass transfer processes during drying. The results of the differential equations associated with the conditions of unambiguity are accurate and valid for the similar processes developed in the drying kiln. Instead, the drying times and costs are much lower.

The objectives of further research refer to velocity and temperature measurement in the boundary layer formed at the evaporation surface of the wood sample. In this respect it will be used a miniature hot wire anemometer that will be moved by a horizontal electric actuator along the wood sample. Thus, the air velocity and temperature are measured in different points along the sample. Initially, the sample surface will be in contact with the anemometer. Then, the wood sample is moved downwards due to the actuator that is incorporated in the device designed for sample support and vertical motion, in order to perform the velocity and temperature measurements in the boundary layer. These measurements allow the determination of the velocity and temperature fields in the boundary layer, its thickness, the velocity and temperature gradients and the kinetic energy and thermal fluxes. By use of the analogy between the heat and mass transfer, the thickness of the diffusion boundary layer can be obtained, and accordingly, the mass flux.

#### ACKNOWLEDGEMENT

The work was supported by the National University Research Council, through the research project PNII-PCE, ID\_851: The application of the irreversible processes thermodynamics method to the optimization of the capillary-porous materials drying process.

#### NOTAȚII FOLOSITE / NOMENCLATURE OF SYMBOLS USED

$A$	arie laterală / lateral area, $m^2$
$a$	coeficient de difuzivitate termică / thermal diffusivity, $m^2/s$
$c_p$	căldură specifică / specific heat, $kJ/kgK$
$D$	coeficient de difuzie / diffusion coefficient, $m^2/s$
$D_H$	diametru hidraulic /hydraulic diameter, m
$Fo$	criteriul Fourier / Fourier number

$k_i$	coeficient / coefficient
$l$	lungime / length, m
Lu	criteriul Luikov / Luikov number
$m$	porozitate / porosity (mesh coefficient)
$n$	raport de secțiuni / sections rate
$\Delta p$	pierderi de presiune / pressure loss
Pr	criteriul Prandtl / Prandtl number
$\dot{Q}$	putere termică / heat flux
$r, R$	raze / radii, m
Re	criteriul Reynolds / Reynolds number
$S$	secțiune / section, m <sup>2</sup>
$t$	temperatura aerului / temperature of air, °C
$\dot{V}$	debit volumic / flow rate, m <sup>3</sup> /s
$w$	viteza aerului / air velocity, m/s
$\alpha$	unghi de conicitate / cone angle, ° coeficient de transfer de căldură convectiv / heat transfer coefficient, W/m <sup>2</sup> K
$\delta$	grosime / thickness, m
$\Delta$	rugozitate / roughness, mm
$\epsilon$	coeficient de contracție / coefficient of flow contraction
$\lambda$	coeficient de pierderi liniare de presiune / coefficient of major pressure loss, coeficient de conductivitate termică / thermal conductivity, W/mK
$\nu$	coeficient de viscozitate cinematică / kinematic viscosity, m <sup>2</sup> /s
$\zeta$	coeficient de pierderi locale de presiune / coefficient of minor pressure loss
$\rho$	densitate / density, kg/m <sup>3</sup>
$\tau$	durată / time, h

## BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- FAGHRI, A.; ZHANG, Y.; HOWELL, J. (2010). Advanced heat and mass transfer. Global Digital Press, Columbia.
- IDELCIK, I.E. (1984). Îndrumător pentru calculul rezistențelor hidraulice (Handbook of hydraulic resistances calculation). Editura Tehnică, București.
- ISACHENKO, V.P.; SEMYONOV, S.; SUKOMEL, A.S.; OSIPOVA, V.A. (2000). Heat transfer. University Press of the Pacific, Honolulu.
- KACHRU, R.P.; MATTHES, R.K. (1976). Kinetics of batch drying of deep-bed rough rice using dimensional analysis. Cereal Chemistry, 53(1): 61-71.
- KISELEV, P.G. (1988). Îndrumar pentru calcule hidraulice (Guidebook for hydraulic calculations). Editura Tehnică, București.
- KOWALSKI, S.J. (2003). Thermomechanics of drying processes. Springer, Berlin.
- KRAMM, G.; HERBERT, F. (2009). Similarity hypotheses for the atmospheric surface layer expressed by non-dimensional characteristic invariants – a review. The Open Atmospheric Science Journal, 3: 48-79.
- MARINESCU, I. (1984). Proiectarea instalațiilor de ameliorare termică a lemnului (Design of heat treatment equipment of wood). Universitatea din Brașov.
- MUJUMDAR, A.S./MOLNAR, K. (2007). Handbook of industrial drying/Experimental techniques in drying. Taylor & Francis, New York.
- RAŽNJEVIĆ, K. (1976). Handbook of thermodynamic tables and charts. Hemisphere, Washington DC.
- SANTAMARIA, H.; DURANGO, N.; BULA, A.; SANJUAN, M. (2011). Nondimensional analysis of cassava transient drying in packing beds. Latin American Applied Research, 41: 87-93.
- SONIN, A.A. (2004). A generalization of the  $\Pi$ -theorem and dimensional analysis. Applied Physical Sciences, 101(23): 8525–8526.
- WEI, S.; HU, Z.J.; ZHANG, Y.F. (2011). Dimensional analysis to ozone generation by pulsed streamer discharge in dry air. Advanced Materials Research, 204-210: 828-833.
- WU, H. (2004). Alfalfa drying properties and technologies. Nature and Science, 2(4): 65-67.
- ZARE, D.; JAYAS, D.S.; SINGH, C.B. (2012). A generalized dimensionless model for deep bed drying of paddy. Drying Technology, 30 (1): 44-51.