

ANALYSIS OF A CONVECTIVE DRYING PROCESS OF PLUMS /

ANALIZA PROCESULUI DE DESHIDRATARE CONVECTIVĂ A PRUNELOR

PhD. Stud. Eng. Ingeaua M.¹⁾, Prof. PhD. Eng. Prisecaru T.¹⁾, Prof. PhD. Eng. Pirna I.²⁾, PhD. Eng. Sorică C.²⁾

¹⁾ University Politehnica of Bucharest / Romania; ²⁾ INMA Bucharest / Romania

E-mail: marius_imv@yahoo.com

Abstract: Fruits and vegetables play an important role in human nutrition providing vitamins, minerals, fibers and essential nutrients. In order to prolong the marketing of these products and ensure nutrients throughout the year, preservation by different methods of fruit and vegetables is necessary. Dehydration is one of the oldest forms of conservation of fruits and vegetables and is used in order to reduce both the water content of the product and thus the activity of microorganisms and their multiplication, and the mass and volume of products, the costs of packaging, storage and transport. This paper aims analyze a convective drying process of plums, in order to identify opportunities for the energy consumption optimization process through monitoring and controlling essential parameters like: temperature, relative humidity and air velocity, as well as automatic control algorithms of the dehydration process.

Keywords: convective dehydration, plum dehydration analysis, dehydration curve

INTRODUCTION

Fruits and vegetables play an important role in human nutrition. Besides vitamins and minerals fruits and vegetables are good sources of fiber and essential nutrients that have a number of beneficial effects on health such as antioxidants, anti-inflammatory, decreasing fats and have beneficial effects on blood pressure and endocrine functions [2]. To provide these elements thought the entire year, it is necessary to preserve of fruit and vegetables by different methods. Preservation using high temperatures or exposure to oxygen leads to the loss of a significant portion of nutrients, especially vitamins, some of which are destroyed at temperatures above 40 °C [8]. Dehydration is one of the oldest forms of conservation of fruits and vegetables [7]. The dehydration process reduces both water content of products in order to preserve them, as well as mass and volume reducing the cost of packaging, storage and transport [9]. It also reduces the activity of microorganisms and prevents their growth, which leads to the preservation of fresh edible products for a long time. After dehydration products must retain as many of their baseline characteristics such as flavor, color, nutritional value, vitamins etc.

Horticultural products contain large amounts of water, in most cases a percentage between 70% and 96%. By dehydration the content of water is reduced to percentages usually between 6% and 25%, depending on their final destination. In Table 1 presents data on fruit dehydration process [3, 4, 5, 10].

Rezumat: Fructele și legumele joacă un rol deosebit de important în alimentația omului prin aportul de vitamine, minerale, fibre și nutrienți esențiali. În vederea prelungirii perioadei de comercializare a acestor produse în extrasezon și asigurării elementelor nutritive pe tot parcursul anului, este necesară conservarea fructelor și legumelor proaspete prin diferite metode. Deshidratarea este una dintre cele mai vechi forme de conservare a fructelor și legumelor, fiind folosită în scopul reducerii atât a conținutului de apă al produselor și implicit a activității microorganismelor și înmulțirii acestora, cât și al masei și volumului produselor, a costurilor cu ambalarea, stocarea și transportul. Lucrarea își propune să realizeze o analiză a procesului de deshidratare convectivă a prunelor, în scopul identificării posibilităților de optimizare energetică a procesului prin monitorizarea și controlul parametrilor esențiali: temperatura, umiditatea relativă și viteza aerului, precum și a algoritmilor de conducere automată a procesului de deshidratare.

Cuvinte cheie: deshidratare convectivă, analiza deshidratării prunelor, curbă deshidratare

INTRODUCERE

Fructele și legumele joacă un rol deosebit de important în alimentația oamenilor. Pe lângă aportul de vitamine și minerale fructele și legumele reprezintă o sursă de fibre și nutrienți esențiali care au o serie de efecte benefice privind sănătatea cum ar fi antioxidanți, anti-inflamatorii, duc la scăderea grăsimilor și au efecte benefice asupra presiunii sângelui și a funcțiilor endocrine [2]. Pentru asigurarea acestor elemente pe întreaga perioadă a anului, este necesară conservarea fructelor și legumelor proaspete prin diferite metode. Conservarea produselor prin utilizarea temperaturilor înalte sau expunerea la oxigen duce la pierderea unei părți importante din nutrienți, în mod special de vitamine, unele dintre acestea fiind distruse la temperaturi de peste 40 °C [8]. Deshidratarea este una dintre cele mai vechi forme de conservare a fructelor și legumelor [7]. Prin deshidratare se reduce atât conținutul de apă al produselor, în scopul conservării acestora, cât și masa și volumul lor, a costurilor cu ambalarea, stocarea și transportul [9]. De asemenea, acest proces reduce activitatea microorganismelor și împiedică înmulțirea acestora, lucru care duce la păstrarea în stare comestibilă un timp mai îndelungat al produselor. În urma deshidratării produsele trebuie să își păstreze cât mai multe dintre caracteristicile inițiale cum ar fi: gustul, culoarea, valoarea nutritivă, vitaminele etc.

Produsele horticole conțin mari cantități de apă, în majoritatea cazurilor un procent cuprins între 70 % și 96%. Prin deshidratare procentul de apă se reduce de regulă până la procente cuprinse între 6 % și 25 %, în funcție de destinația finală a acestora. În Tabelul 1 sunt prezentate date privind procesul de deshidratare a fructelor [3, 4, 5, 10].

Table 1

Fruit dehydration process parameters

Nr.	Fruit	Duration [h]	Temperature [°C]	Final Humidity content [%]	Density [kg/m ³]
1	Apricots	18...24	45...50 / 55...65	15	4...5 (halves)
2	Cherries and sour cherries	6...10	45...55 / 65...72	6...12	6...8 and 8...10
3	Peaches	6...12	55...60	16	5...6
4	Plums	24...30	50...55 / 70...75	22...24	10
5	Grapes	12...20	50...55 / max. 70	13...20	8...10
6	Apples (slices)	6...10	50...60 / 70...72	5-12	6
7	Pears (slices)	5...9	45...50 / 65...70	10...12	13
8	Quince (slices)	6...8	65...70	22	10
9	Bananas (slices)	6...8	70	5-15	4...6
10	Strawberries (slices)	5...8	50...60	9-12	7...8

In case of fruits and vegetables, the dehydration can be done immediately after harvest to reduce their weight and size. Thus by applying dehydration early in the process chain can reduce the weight and volume of products thereby reducing transportation and storage costs.

Before dehydrating, fruits and vegetables are prepared by blanching or steaming to increase cell membrane permeability. Products prepared this way can be dehydrated more easily than uncooked products. Products may be sulfured or dipped in lemon juice to prevent color change during dehydration.

Depending on the subsequent use of products and their characteristics, fruits and vegetables can be dehydrated to a water content percentage that will not harm their characteristics. To keep the vegetables in optimal conditions, dehydration should be stopped at percentages ranging between 6 and 10%. In the case of fruit this percentage may be higher than in vegetables and can be between 12 and 25%.

Dehydration process leads to some changes in the products:

- decrease the volume;
- migration of soluble constituents;
- thermal browning;
- warp;
- reversibility of tissue;
- loss of volatile substances;

MATERIAL AND METHOD

For the analysed process we used convective dehydration, the most common method of dehydration of fruits and vegetables (Fig. 1), which uses a heat source and an agent for removing water vapor from the surface of the body subject to dehydration.

În cazul unor fructe și legume deshidratarea se poate realiza imediat după cules pentru reducerea masei și volumului ocupat de acestea. Astfel prin aplicarea deshidratării cât mai devreme în lanțul tehnologic se poate reduce greutatea și volumul produselor reducând astfel costurile cu transportul și depozitarea.

Înainte de deshidratare fructele și legumele sunt preparate prin opărire sau aburire pentru mărirea permeabilității membranelor celulare (blanșare). Produsele astfel preparate pot fi deshidratate mai ușor decât produsele nepreparate. Produsele se pot sulfata sau imersa în zeamă de lămâie pentru evitarea schimbării culorii în timpul deshidratării.

În funcție de utilizarea ulterioară a produselor cât și a caracteristicilor acestora, fructele și legumele pot fi deshidratate până la procente de umiditate care nu deteriorează caracteristicile acestora. Pentru păstrarea legumelor în condiții optime, deshidratarea trebuie făcută până la procente cuprinse între 6 și 10 %. În cazul fructelor acest procent poate fi mai ridicat decât în cazul legumelor și poate fi cuprins între 12 și 25 %.

Procesul de deshidratare duce la unele schimbări ale produselor:

- micșorarea volumului;
- migrarea componentelor solubile;
- brunificarea termică;
- scorjirea;
- reversibilitatea țesuturilor;
- pierderea substanțelor volatile.

MATERIAL ȘI METODĂ

Pentru procesul analizat am folosit deshidratarea convectivă, cea mai răspândită metodă de deshidratare a fructelor și legumelor (fig. 1), în care se folosește o sursă de căldură și un agent pentru îndepărtarea vaporilor de apă de pe suprafața corpului supus deshidratării.

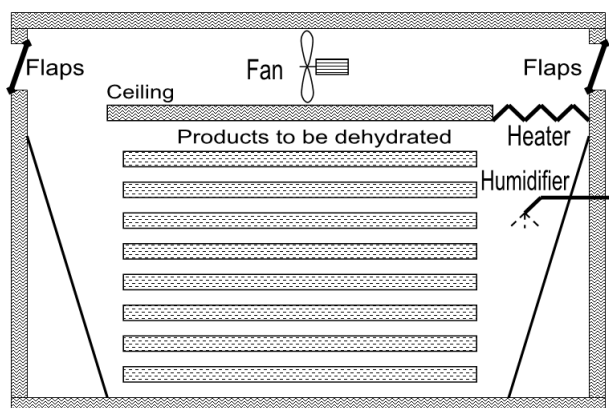


Fig. 1 - Chamber for convection dehydration - schematic drawing

To achieve a higher drying speed, the fruits have been cut in halves. [6]

In order to study the convective drying process of plums, we used a dehydration plant equipped with an automation system and a system for recording air parameters and mass of the products placed on one of its trays (Fig. 2).



Fig. 2 - Dehydration plant equipped with automation and monitoring system

Our dehydration process (Fig. 3) was divided into several main phases: heating, drying and cooling.

Procesul de deshidratare analizat (fig. 3) a fost împărțit în câteva faze principale: încălzirea, uscarea propriu-zisă și răcirea.

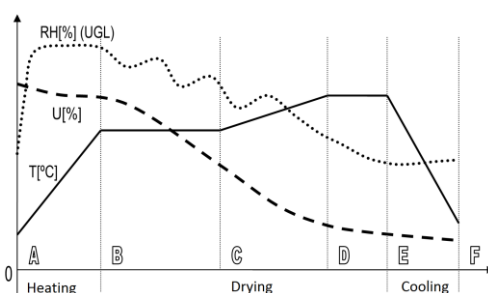


Fig. 3 - Dehydration stages

Heating (AB) was done in a saturated atmosphere to heat the products in a controlled manner. In a saturated atmosphere, the heat input is transferred to the products because the evaporation is stopped. The heating gradient was set to 20 °C/h. From the moisture chart we can see that drying curve falls very little in this phase, only as necessary to carry out air saturation. In most cases, heating is done in an atmosphere in which the partial pressure of the vapor on the surface of the products and the air's are equal ($RH < 100\%$).

Drying itself (BE) was realized by rising the temperature from 50 to 68°C in a 12 hour interval, at the same time venting out the moisture. For moisture exhaust, the flaps C1 and C2 were commanded in phase, while C3 was in antiphase to reduce air recirculation. The dehydration was stopped after 12 hours because we gathered all the necessary data for our analysis, dehydrating further being unnecessary for our purpose.

Cooling (EF) was done for 1 hour by venting in fresh air with 0% recirculation.

The plant has an enclosure made of polystyrene insulated panels and walls of stainless steel sheet, 24 perforated trays with dimensions of 0.62 x 0.62 m and a total drying area of 9.2 m².

As actuators, the installation presents: a fan of 0.75 kW / 1450 rpm for circulating hot air through the enclosure; a hot water heater for heating the air with the water inlet temperature of 70-90 °C provided by a boiler that runs on wood chips or sawdust, with a maximum power of 75 kW; two flaps for venting out moisture and a

Încălzirea camerei (AB) a fost făcută în atmosferă saturată pentru a încălzi cât mai controlat produsele. În atmosferă saturată toată căldura introdusă în incintă este cedată produselor deoarece evaporarea este oprită. Gradientul de încălzire a fost de 20 °C/h. Din graficul curbei de uscare se observă că umiditatea produselor scade foarte puțin în această fază, numai cât este necesar pentru a duce aerul la saturare. În majoritatea cazurilor încălzirea se face în atmosferă în care presiunea parțială a vaporilor de pe suprafața produselor și cea a vaporilor din aer sunt egale ($RH < 100\%$).

Uscarea propriu-zisă (BE) a constat în ridicarea temperaturii de la 50 la 68 °C într-un interval de 12 ore concomitent cu evacuarea umidității. Pentru evacuarea umidității și admisia de aer proaspăt erau acționate clapetele C1 și C2 în fază, iar C3 era acționată în antifază pentru obtinerea recirculării aerului. Procesul de deshidratare a fost oprit după 12 ore deoarece am obținut datele relevante necesare analizei, ne mai fiind necesară deshidratarea până la final.

Răcirea (EF) s-a efectuat pe durata a 1 oră prin aport de aer proaspăt și cu 0% recirculare.

Instalația are o incintă construită din panouri cu izolație din polistiren și pereți din inox, 24 tavi din tablă de inox perforat cu dimensiunile de 0.62 x 0.62 m și o suprafață totală de uscare de 9.2 m².

Ca elemente de execuție, instalația prezintă: un ventilator de 0.75 kW/1450 rpm pentru vehicularea aerului cald prin incintă; un radiator pentru încălzire alimentat cu apă caldă la temperatura de 70-90 °C furnizată de o centrală termică care funcționează cu tocătură sau rumeguș, cu o putere maximă de 75 kW; două clapete pentru evacuarea aerului umed și o clapetă

flap for air recirculation obstruction. The dehydration plant's layout is shown in Fig. 4.

pentru obturarea recirculării aerului. Schema instalației de deshidratare este prezentată în Fig. 4.

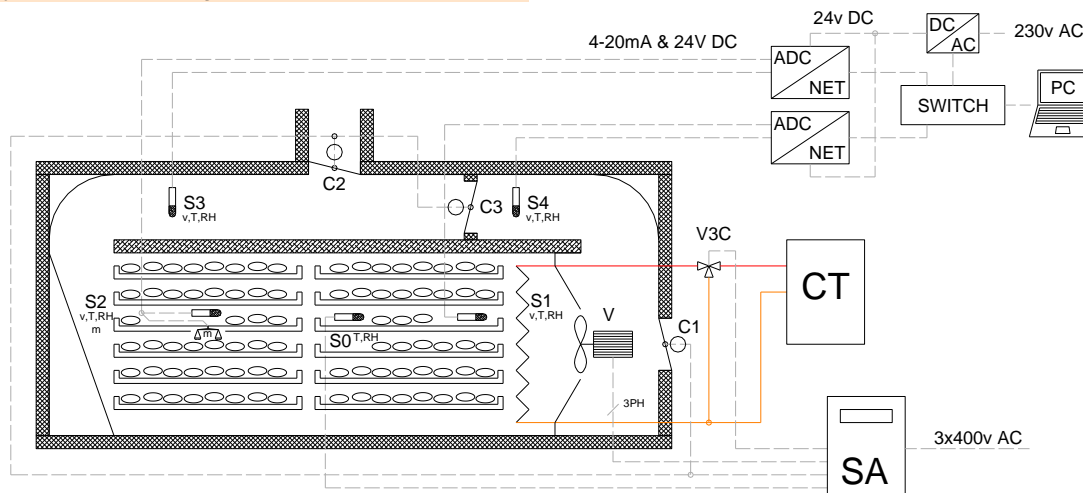


Fig. 4 - Dehydration plant layout

The significance of the elements in Figure 4 is as follows: S0 - T + RH probe for the automation system; S1 - v + T + RH probe placed immediately after the radiator; S2 - v + T + RH probe located between product trays; m - the load cell located under the middle tray; S3 - v + T + RH probe located prior to air discharge; S4 - v + T + RH probe placed after air recirculation obstruction flap; C1 - fresh air intake flap; C2 - moist air exhaust flap; C3 - recirculation obstruction flap.

Measuring accuracy in the working ranges are as follows: for temperature the accuracy is ± 0.4 °C, for relative humidity the accuracy is $\pm 2.5\%$ RH, for specific humidity the accuracy is ± 2 g/kg, and for air velocity the accuracy is $\pm (0.10 \text{ m/s} + 1\% \text{ of reading})$. The values are written in the database at a configurable interval, in this case being set at 10 seconds. The program generates an Access 2003 database, and the data can be exported in various formats used for further processing. The experiment consisted in 60 kg of plum dehydration. Plums were washed, sectioned in half and pits removed. Following these operations the remaining mass was 50 kg of products.

RESULTS

Pitted fruit's initial mass was 50 kg and the final mass after completion of the drying process was 15.2 kg, resulting for a product with 85% water content such as plums, i.e. 42.5 kg of water in fruits submitted dehydration, remained 7.7 kg water after dehydration, i.e. 50.6% moisture in the product dehydrated. The drying lasted about 12 hours. Products and dehydration chart are shown in Figures 5 and 6.

Semnificația elementelor din figura 4 este următoarea: S0 – sondă T+RH destinată sistemului de automatizare; S1 – sondă T+RH+v amplasată imediat după radiator; S2 – sondă T+RH+v amplasată între tăvile cu produse; m – doză tensometrică amplasată pe tava din mijloc; S3 – sondă T+RH+v amplasată înainte de evacuare; S4 – sondă T+RH+v amplasată după clapeta de oprire a recirculării; C1 – clapetă de admisie aer proaspăt; C2 – clapetă de evacuare aer umed; C3 – clapetă pentru oprirea recirculării.

Precizia de măsurare în gamele de lucru se prezintă astfel: pentru temperatură, precizia este de ± 0.4 °C, pentru umiditatea relativă de $\pm 2.5\%$ RH, pentru umiditatea specifică de ± 2 g/kg, iar pentru viteza aerului de $\pm (0.10 \text{ m/s} + 1\% \text{ din valoarea măsurată})$. Înregistrarea valorilor în baza de date se face la un interval configurabil, în cazul de față acesta fiind de 10 secunde. Programul generează o bază de date de tip Access 2003, datele din acesta putând fi exportate în diverse formate utilizate pentru prelucrări ulterioare. Experimentul a constatat în deshidratarea a 60 kg de prune. Prunele au fost spălate, secționare în jumătăți și sămburii au fost înlăturați. În urma acestor operații masa acestora a fost de 50 kg de produse.

REZULTATE

Masa inițială a fructelor fără sămburi a fost de 50 kg, iar masa finală după încheierea procesului de uscare a fost 15.2 kg, rezultând ca pentru un produs cu conținut de apă de 85%, cum ar fi prunele, 42.5 kg este apă în fructele proaspete, iar la final a rămas 7.7 kg apă, adică 50.6% umiditate în produsul deshidratat. Uscarea a durat aproximativ 12 ore. Produsele și graficul de deshidratare sunt prezentate în figurile 5 și 6.



Fig. 5 - Aspect products before, during and after dehydration

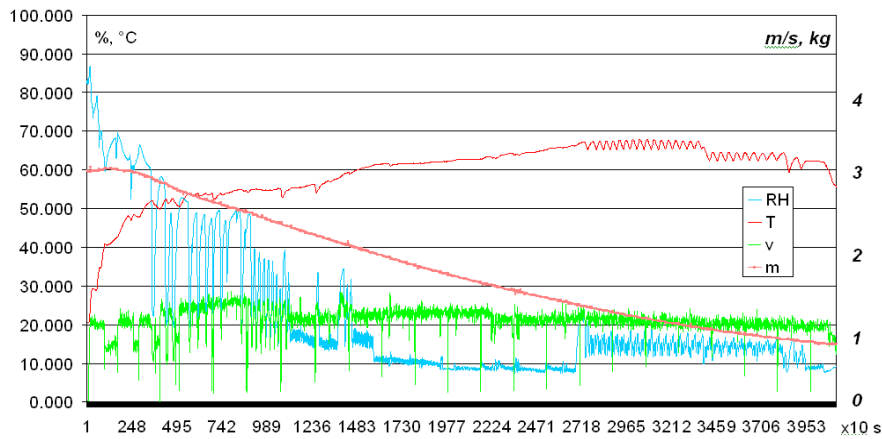


Fig. 6 - Plum drying chart

Air parameters variation during the drying process of plums for a period of 400 seconds is shown in Figure 7. We analyzed various parameters over several successive periods inside the air exhaust, a period being the time elapsed between the closing of the flaps, e.g. sample 1 and the next time the flaps are closing, sample 14 in this case.

Variația parametrilor aerului în timpul procesului de deshidratare a prunelor pe o perioadă de 400 de secunde, este prezentată în Figura 7. S-a analizat variația parametrilor de-a lungul mai multor perioade succesive de evacuare a aerului din incintă, o perioadă reprezentând timpul scurs între momentul închiderii clapetelor, de exemplu eşantionul 1 și următorul moment de închidere al acestora eşantionul 14 în cazul de față.

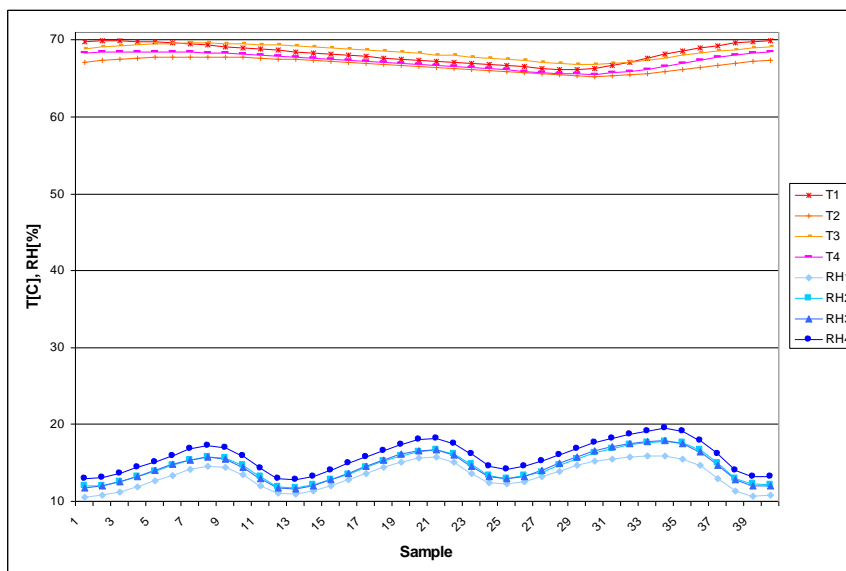


Fig. 7 - Air's parameter values in an interval of 400 seconds during the drying process studied (10 second samples)

The trial was set for total recirculation and air inside exhausted upon reaching a relative humidity threshold high enough to provide meaningful data for the analysis. Samples were extracted during the slow dehydration period because it has the longest time of all phases and improving its effectiveness, the efficiency of the entire process will be influenced. To analyze the process the flaps closing moments were chosen (samples 1 and 14) and flaps opening moments (samples 9 and 22). After closing the flaps, inside relative humidity increases between samples 1 and 9, and falls between samples 10-13 after flaps closing. The process is repeated in the subsequent intervals. For a quantitative analysis of the process we analyzed the amount of moisture in the air, because relative humidity cannot provide relevant information. Thus, the amounts of moisture values were calculated and the graph plotted in Figure 8.

Procesul a fost configurat pentru recircularea totală a aerului din incinta și evacuarea acestuia în momentul atingerii unui prag al umidității relative suficient de mare pentru a furniza date relevante analizei. Eșantioanele au fost extrase din perioada de deshidratare lentă deoarece aceasta are cel mai lung timp dintre toate fazele și prin îmbunătățirea eficienței acesteia, eficiența întregului proces va fi influențată. Pentru analiza procesului s-au ales momentele închiderii clapetelor (eșantioanele 1 și 14) și deschiderii clapetelor (eșantioanele 9 și 22). După închiderea clapetelor, umiditatea relativă din incintă crește în intervalul 1-9, iar din momentul deschiderii clapetelor aceasta scade în intervalul 10-13. Procesul se repetă similar în continuare în intervalele următoare. Pentru o analiză cantitativă a procesului am analizat cantitatea de umiditate din aer, deoarece umiditatea relativă nu poate oferi informații relevante. Astfel s-au calculat valorile cantității de umiditate și s-a trasat graficul din Figura 8.

$$x_n = 0.622 \cdot \frac{\varphi_n \cdot p_{As}}{p_B - \varphi_n \cdot p_{As}}, \text{ [kg/kg]} \quad (1)$$

where:

- x_n is the water vapor content [kg/kg];
- φ – is the relative humidity [RH % / 100];
- p_{As} - water vapor saturation pressure at the temperature at which the calculation is made [bar];
- p_B – Atmospheric pressure [bar].

With these values we can analyze various parameters such as the amount of moisture vaporized from the surface of the products, the amount of moisture discharged from the system and the rate of vaporization.

The amount of moisture vaporized from the product's surface reported per kg of air is represented by the difference between the amount of moisture measured by the sensor S1 placed before the products and its value measured by the sensor S3 placed after the products. The variation of this parameter is shown in Figure 9.

unde:

- x_n este cantitatea de vapori de apă în aer [kg/kg];
- φ – umiditatea relativă [RH % / 100];
- p_{As} - presiunea de saturație a vaporilor de apă la temperatura la care se face calculul [bar];
- p_B – presiunea atmosferică [bar].

Cu ajutorul acestor valori se pot analiza mai mulți parametri cum ar fi: cantitatea de umiditate vaporizată de pe suprafața produselor, cantitatea de umiditate evacuată din instalație și viteza de vaporizare.

Cantitatea de umiditate vaporizată de pe suprafața produselor raportată la un kg de aer este reprezentată de diferența dintre cantitatea de umiditate măsurată de senzorul S1 amplasat înaintea produselor și valoarea acesteia măsurată de către senzorul S3 amplasat după produse. Variația acestui parametru este prezentată în Figura 9.

$$dx_{3-1r}(n) = x_3(n) - x_1(n), \quad (2)$$

where n is the sample number.

unde n reprezintă indicele eșantionului.

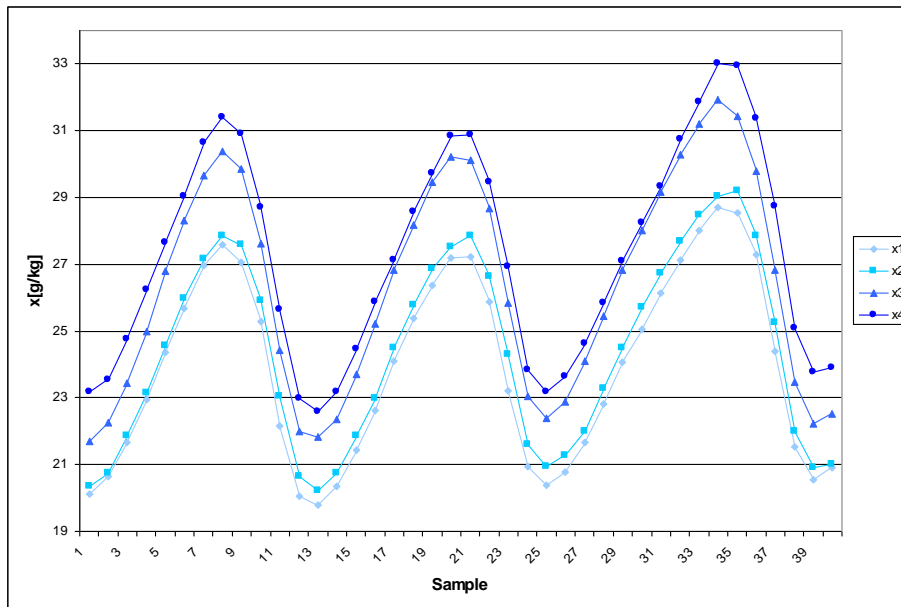


Fig. 8 - The values of the amount of moisture in the air

Since sensor calibration showed a measuring error for dx_{3-1} , the corrected real value becomes:

Deoarece calibrarea senzorilor a indicat o eroare de măsurare pentru dx_{3-1} , valoarea reală corectată a acesteia devine:

$$dx_{3-1r}(n) = x_3(n) - x_1(n) - \dot{\varepsilon}_{dx_{3-1}}; \quad \dot{\varepsilon}_{dx_{3-1}} = 1.923 \text{ g/kg} \quad (3)$$

By integrating the curve we can calculate the total amount of vaporized moisture that can provide important data on process speed, remaining time, etc.

Prin integrarea curbei se poate calcula cantitatea totală de umiditate vaporizată, valoare care ne furnizează date importante privind viteza procesului, timpul ramas, etc.

For the analyzed system, the difference between the previous values indicated by the S3 sensor and the current values of the S1 sensor will indicate the amount of moisture discharged from the system.

În cazul instalației analizate, diferența dintre valorile anterioare indicate de către senzorul S3 și cele actuale ale senzorului S1 ne va indica cantitatea de umiditate evacuată din instalație.

$$dx_{3-1r}(n) = x_3(n-1) - x_1(n) \quad (4)$$

where n is the sample number, and the real value corrected with the measuring error is:

unde n reprezintă indicele eșantionului, iar valoarea reală corectată cu eroarea de măsurare este:

$$dx_{3-1r}(n) = x_3(n-1) - x_1(n) - \dot{\epsilon}_{dx_{3-1}} \tag{5}$$

Figure 10 shows the trend of this parameter. If a process that takes place in optimal conditions, the integrals of these curves will be equal to the amount of moisture vaporized or amount of moisture discharged from the system.

În Figura 10 este trasată variația acestui parametru. În cazul unui proces care se desfășoară în condiții optime, integralele acestor curbe vor fi egale cu cantitatea de umiditate vaporizată, respectiv cantitatea de umiditate evacuată din instalație.

$$m_{vap} = \int dx_{3-1} \delta t ; m_{ev} = \int dx_{3-1} \delta t \tag{6}$$

Because we have discrete values we summarize these values and we get the amount of moisture vaporised per unit of mass of fluid that is circulated:

Deoarece dispunem de valori discrete vom însuma aceste valori și vom obține cantitatea de umiditate vaporizată raportată la unitatea de masă a fluidului în care se face difuzia:

$$m_{vap} = \sum_1^{40} dx_{3-1}(n) = 21.463 \text{ g/kg} \tag{7}$$

and the amount of moisture discharged from the system compared to the same unit mass is:

și cantitatea de umiditate evacuată din instalație raportată la aceeași unitate de masă ca fiind:

$$m_{ev} = \sum_1^{40} dx_{3-1}(n) = 21.398 \text{ g/kg} \tag{8}$$

The difference between the two values is the amount of moisture exhausted out of the enclosure:

Diferența dintre cele două valori reprezintă cantitatea de umiditate neevacuată din încălț, având valoarea de:

$$\Delta x = m_{vap} - m_{ev} = 0.0648 \text{ g/kg} \tag{9}$$

Note that the two values are very close, indicating that not all of the moisture has been evacuated from the system.

Observăm că cele două valori sunt foarte apropiate, ceea ce indică faptul ca nu toată cantitatea de umiditate a fost evacuată.

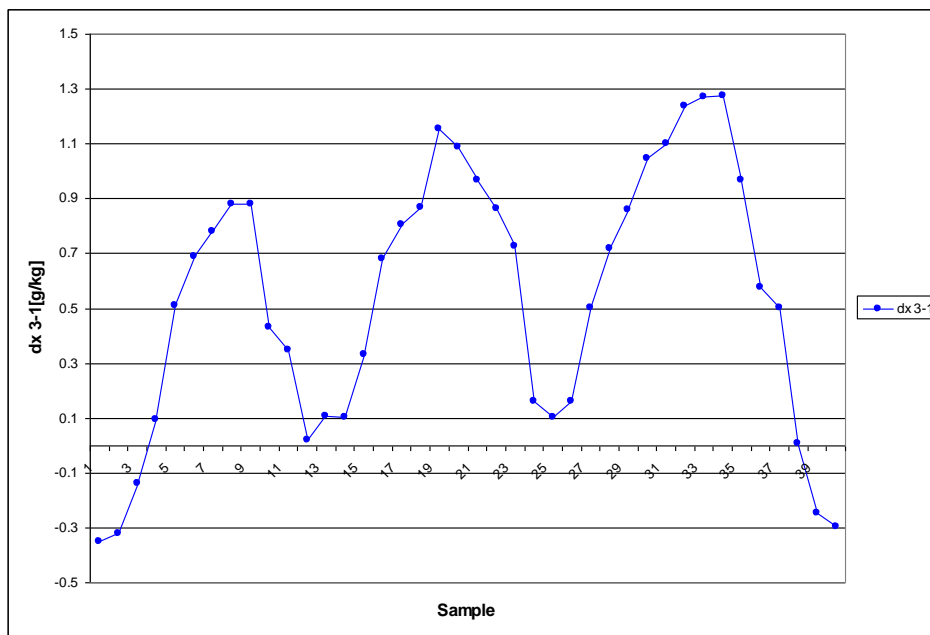


Fig. 9 - The amount of moisture vaporized from the surface of the products dx_{3-1} [g/kg]

To quantify the real value of the amount of moisture in the air the values must be reported for the mass of the air being circulated. Because in the experiment we used sensors to measure air velocity, we can calculate the mass flow rate of air circulated so the mean air velocity in the examined time being:

Pentru a putea cuantifica valoarea reală a cantității de umiditate valorile trebuiesc raportate la masa aerului supus măsurătorilor. Datorită faptului ca în experiment am utilizat și senzori pentru măsurarea vitezei aerului, vom calcula debitul masic de aer vehiculat, astfel viteza medie a aerului în intervalul de timp analizat fiind de:

$$\bar{v}_3 = \frac{\sum_{n=1}^{40} v_3(n)}{40} = 4.93 \text{ m/s} \quad (10)$$

for the sensor S3, in a flow section of $0.69\text{m} \times 0.4\text{m}$, meaning a flow surface S of 0.276m^2 . This being said, the air mass flow is:

în dreptul senzorului S3, într-o secțiune de curgere cu dimensiunile de $0.69\text{m} \times 0.4\text{m}$, adică o suprafață S de 0.276m^2 . Astfel debitul masic de aer este:

$$\dot{m}_3 = \rho_{aer} \cdot \bar{v}_3 \cdot S = 1.03 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4.93 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0.276\text{m}^2 = 1.401 \text{ kg/s} \quad (11)$$

where ρ_{aer} is the air density at an average temperature of 68°C . The same mass air flow is at sensor S1 and also on the product's surface, but the velocity is less because the flow section is larger. The average flow velocity in this area is:

unde ρ_{aer} este densitatea aerului la temperatura medie de 68°C . Același debit de aer este și în dreptul senzorului S1 și pe suprafața produselor, dar viteza de curgere este mai mică deoarece secțiunea de curgere este mai mare. Viteza medie măsurată de curgere a aerului în această zonă este:

$$\bar{v}_1 = \frac{\sum_{n=1}^{40} v_1(n)}{40} = 1.0549 \text{ m/s} \quad (12)$$

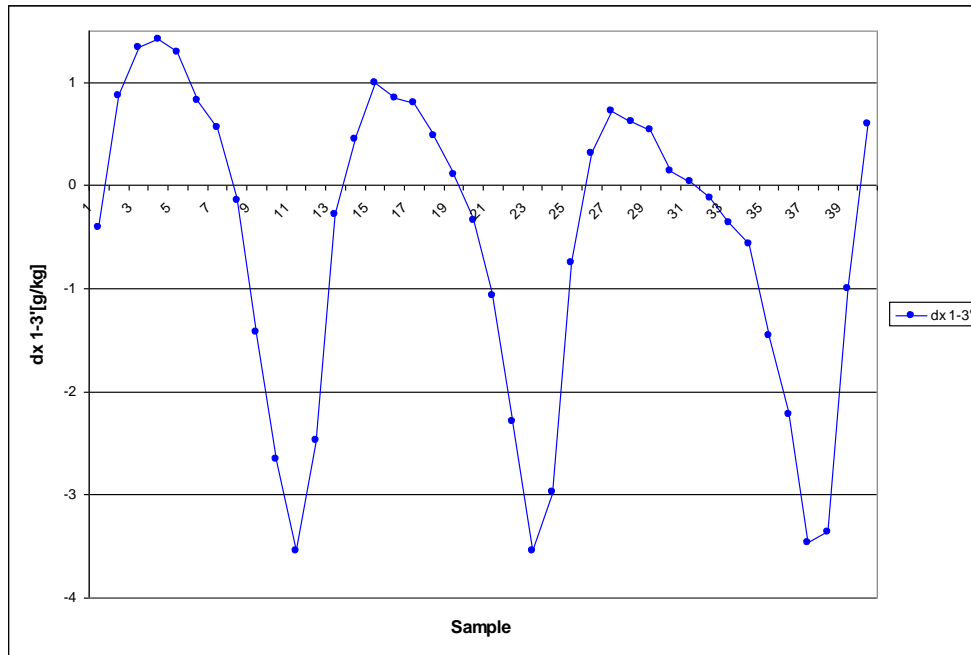


Fig. 10 - The amount of moisture discharged from the system dx_{1-3} , [g/kg]

If we multiply the value of $dx_{3-1}(n)$ with the air flow mass \dot{m}_3 , we will get the speed of moisture vaporization from the product's surface in respect to the unit of time \dot{m}_{3-1} :

Dacă înmulțim valoarea lui $dx_{3-1}(n)$ cu debitul masic de aer \dot{m}_3 , vom obține viteza de vaporizare a umidității de pe suprafața produselor raportată la unitatea de timp \dot{m}_{3-1} :

$$\dot{m}_{3-1} = dx_{3-1} \cdot \dot{m}_3, \text{ [g/s]} \quad (13)$$

where $\Delta t = 10\text{s}$ is the time interval between two consecutive samples.

unde $\Delta t = 10\text{s}$ este intervalul de timp între două eşantioane succesive.

In the period considered, the mass of vaporized moisture from the surface of products is:

În intervalul de timp analizat, masa umidității vaporizate de pe suprafața produselor este:

$$m_{total} = \sum_{n=1}^{40} (\dot{m}_{3-1}) \cdot \Delta t = 300.7 \text{ g} \quad (14)$$

For the period considered, the average surface speed of vaporization is:

$$\bar{m}_{1-40} = \frac{\dot{m}_{total}}{t_{total}} = \frac{300.7 \text{ g}}{400\text{s}} = 0.752 \text{ g/s} \quad (15)$$

To plot the specific moisture content based on dry material, versus time, the Henderson-Pabis model can be used [1]:

$$m_c = \frac{m_a}{m_s} = a \cdot e^{-k \cdot t}, \text{ [kg/kg]} \quad (16)$$

where: m_a is the moisture content;
 m_s is the mass of the solid content;
 $a = 5.906$ and $k = 0.000369$ are calculated coefficients.

So, for the studied process, the equation is:

$$m_c = 5.906 \cdot e^{-0.000369t}, R^2 = 0.9985 \quad (17)$$

where t is the time, measured in tens of seconds.

For an accurate calculation of coefficients the time period between the beginning and the end of the dehydration was examined, ignoring irrelevant information during heating.

Pentru intervalul de timp analizat, viteza de vaporizare medie pe suprafața produselor este:

Pentru trasarea graficului conținutului de umiditate specific raportat la materialul uscat, în funcție de timp, poate fi folosit modelul Henderson-Pabis cu ecuația [1]:

unde: m_a este conținutul de umiditate;
 m_s = masa substanței solide;
 $a = 5.906$ și $k = 0.000369$ - coeficienții calculați.

Astfel, pentru procesul studiat ecuația devine:

unde t reprezintă timpul în zeci de secunde.

Pentru calcularea cât mai exactă a coeficienților, s-a analizat perioada de timp între începutul deshidratării și sfârșitul acesteia, ignorând datele nerelevante din timpul încălzirii.

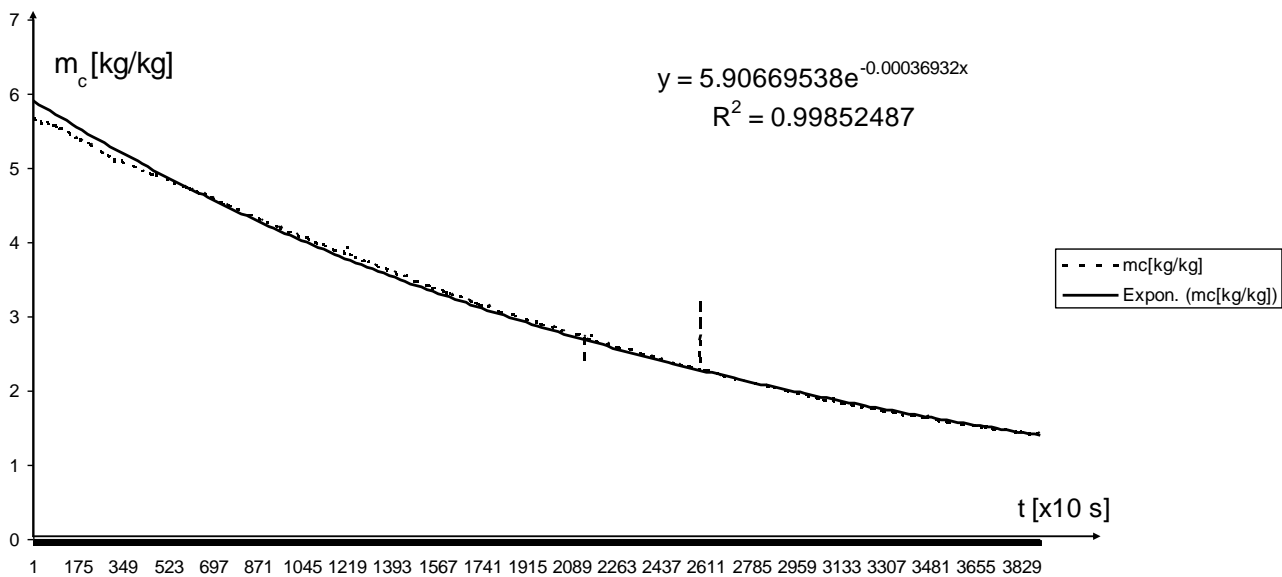


Fig. 11 - The amount of moisture depending on time

CONCLUSIONS

For effective control of dehydration equipment we need at least two sets of sensors placed before and after the products subjected to the process. Through this site we obtain vital information for increasing the process efficiency.

Using the calculated values we can get some important information regarding the development of the process even during dehydration, such as: the time until the end of the process, energy consumption, internal and external temperature of the products etc. The process time is a useful parameter that can be estimated after the passing of a certain time from the process because we need some data on the speed of dehydration to use a mathematical model such as Newton, Page, logarithm etc. The temperature of the inner and outer surfaces of the products

CONCLUZII

Pentru controlul eficient al unei instalații de deshidratare avem nevoie de cel puțin două seturi de senzori amplasate înainte și după produsele supuse procesului. Prin acest amplasament obținem informații vitale în eficientizarea acestuia.

Cu ajutorul valorilor calculate se pot afla informații importante privind desfășurarea procesului de deshidratare chiar în timpul acestuia, cum ar fi: durata până la sfârșitul procesului, consumul energetic, temperatura interioară și exterioară a produselor etc. Durata procesului este un parametru folositor care poate fi estimat după scurgerea unui anumit timp din proces deoarece avem nevoie de date privind viteza de deshidratare pentru a o introduce într-un model matematic cum ar fi Newton, Page, Logaritmic etc. Temperatura interioară și cea exterioară a produselor pot fi

can be calculated using the wet bulb temperature, since we know that the products have this surface temperature, so their inside must be at a lower or equal temperature of the wet bulb.

Due to the large measurement error of the sensors for this analysis, a calibration is required before starting the process. This eliminates the need for absolute calibration of each sensor which leads to savings in time and money. It is well known that a relative humidity sensor regardless of the method of transforming the physical size to electrical quantities can provide at best modest measurement accuracy. Because the environment in which they are used, these sensors would require a calibration pretty quick, but by implementing a relative calibration we can increase this interval as accurate absolute values we would provide more relevant information than obtained by a precision close to that provided by the manufacturer. After the relative calibration of the sensors can we choose to assign an offset value to one of the RH sensors so its value can be used in calculations and process control.

The Henderson-Pabis model, offers a good precision for the plum's dehydration process analysis with a square root error of: $R^2 = 0.9985$.

The data obtained from experimentation will allow optimization of automatic control algorithms and the entire dehydration process in order to improve its overall efficiency.

REFERENCES

- [1]. Ali Mohammadi, Shahin Rafiee, Alireza Keyhani and Zahra Emam (2009) - *Moisture Content Modeling of Sliced Kiwifruit (cv. Hayward) During Drying*;
- [2]. Barrett D.M., Lloyd B (2012) - *Advanced preservation methods and nutrient retention in fruits and vegetables*, wileyonlinelibrary.com. DOI 10.1002/jsfa.4718;
- [3]. Boyer R., Huff K, (2008) - *Using Dehydration to Preserve Fruits, Vegetables and Meats*, Virginia Tech publication pp. 348-597;
- [4]. Brekke J.E., Allen L (1966) - *Banana Dehydration*. Technical Progress Report No.153;
- [5]. Jalali V.R.R., Narain N., Da Silva G.F (2008) - *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, ISSN 0101-2061;
- [6]. Mohammad Sirousazar, Akbar Mohammadi-Doust and Bahram Fathi Achachlouei (2009) - *Mathematical Investigation of the Effects of Slicing on the Osmotic Dehydration of Sphere and Cylinder Shaped Fruits*, Czech J. Food Sci., no.27, pp. 95–101;
- [7]. Nikolay Valov, Irena Valova (2014) - *System for monitoring and control of the drying process*, International Conference on e-Learning'14;
- [8]. Njoku P.C., Ayuk A.A., Okoye C.V (2011) - *Temperature Effects on Vitamin C Content in Citrus Fruits*, Pakistan Journal of Nutrition 10 (12), pp. 1168-1169, ISSN 1680-5194;
- [9]. *** *Dehydrated Fruits and Vegetables* (1995) - Food And Agricultural Industry For U. S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Emission Factor and Inventory Group;
- [10]. *** *Quality Changes In Food Materials As Influenced By Drying Processes* (2014).

calculate cu ajutorul temperaturii termometrului umed, deoarece știm că suprafața produselor se află la acea temperatură, deci interiorul acestora se va afla la o temperatură cel mult egală cu temperatura termometrului umed.

Datorită erorii de măsurare a senzorilor, este necesară o calibrare relativă a acestora înainte de pornirea efectivă a procesului. Acest proces elimină necesitatea calibrării absolute a fiecărui senzor ceea ce conduce la economii de timp și financiare. Este bine cunoscut că un senzor pentru umiditate relativă în funcție de metoda de transformare a mărimii fizice în marime electrică poate oferi precizii de măsurare cel mult modice. Datorită mediului în care sunt utilizați, acești senzori ar necesita o calibrare destul de deasă, dar prin implementarea unei calibrări relative putem mări acest interval de calibrare deoarece valorile absolute exacte nu ne-ar oferi informații mai relevante decât obținem printr-o precizie apropiată de cea oferită de producător. După calibrarea relativă vom alege unul dintre senzori de RH pentru a i se atribui o valoare de offset pentru ca valoarea să poată fi utilizată în calcule și controlul procesului.

Modelul Henderson-Pabis oferă o precizie bună pentru analiza procesului de deshidratare al prunelor cu un coeficient de corelație $R^2 = 0.9985$.

Datele obținute în urma experimentării vor permite optimizarea algoritmilor de conducere automată a procesului de deshidratare în vederea eficientizării acestui proces.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Ali Mohammadi, Shahin Rafiee, Alireza Keyhani și Zahra Emam (2009) - *Modelarea Conținutului de Umiditate al Fructelor de Kiwi Feliate (soiul Hayward) în Timpul Uscării*;
- [2]. Barrett D.M., Lloyd B (2012) - *Metode de conservare avansate și retenția de nutrienți în fructe și legume*, wileyonlinelibrary.com. DOI 10.1002/jsfa.4718;
- [3]. Boyer R., Huff K (2008) - *Utilizarea Deshidratării pentru Conservarea Fructelor, Legumelor și Carnii*, Editura Virginia Tech pag. 348-597;
- [4]. Brekke J.E., Allen L (1966) - *Deshidratarea Bananei*, Raportul de Progres Tehnic nr.153;
- [5]. Jalali V.R.R., Narain N., Da Silva G.F (2008) - *Știința și Tehnologia Alimentară*, ISSN 0101-2061;
- [6]. Mohammad Sirousazar, Akbar Mohammadi-Doust and Bahram Fathi Achachlouei (2009) - *Investigarea Matematică a efectelor felierei asupra deshidratării osmotice a fructelor de forma sferică și cilindrică*, Jurnalul ceh de Științe Alimentare nr.27, pag. 95–101;
- [7]. Nikolay Valov, Irena Valova (2014) - *Sistem de monitorizare și control al procesului de uscare*, Conferința Internațională de e-Learning'14;
- [8]. Njoku P.C., Ayuk A.A., Okoye C.V (2011) - *Efectele Temperaturii asupra Conținutului de Vitamina C din Citrice*, Jurnalul Pakistanez de Nutritie 10 (12), pag. 1168-1169, ISSN 1680-5194;
- [9]. *** *Fructe și Legume Deshidratate* (1995) - Industria Alimentară și Agricolă pentru Agenția pentru Protecția Mediului din SUA, Biroul de Planificare a Calitatii Aerului și Standarde, Grupul Factor și Inventar de Emisie;
- [10]. *** *Schimbari Calitative în Produsele Alimentare ca urmare a Proceselor de Uscare* (2014).