

RECEPȚIONAT

Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare

La data: _____

AVIZAT

Secția AȘM _____

RAPORT ȘTIINȚIFIC FINAL **privind executarea proiectului de cercetări științifice**

(caracterul cercetărilor: aplicative/fundamentale, denumirea concursului)

(perioada de implementare a proiectului, anul/anii)

*Simularea matematică computerizată a fenomenelor de transfer în produse vegetale
umede la tratarea cu microunde*

Cifrul Proiectului _____

Direcția Strategică _____

termen de executare: 31 decembrie 2019

Conducătorul proiectului

(numele, prenumele)

(semnătura)

Directorul organizației

(numele, prenumele)

(semnătura)

Consiliul științific/senat

(numele, prenumele)

(semnătura)

L.Ș.

CHIȘINĂU 2019

CUPRINS

1. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE PROPUSE SPRE REALIZARE ÎN CADRUL PROIECTULUI	3
2. REZULTATELE ȘTIINȚIFICE OBȚINUTE ÎN CADRUL PROIECTULUI	3
2.1. Descrierea fenomenului de brunificare a produselor vegetale.....	3
2.2. Studiarea piersicilor ca materie primă pentru deshidratare și ca produs bogat în polifenoli.....	5
2.3. Studiarea merelor ca materie primă pentru deshidratare și ca produs bogat în polifenoli.....	21
2.3. Simularea computerizată al fenomenului de curgere a fluidului în timpul uscării produselor vegetale	28
2.4. Studiarea semințelor de struguri ca materie primă pentru deshidratare.....	29
2.5. Elaborarea modelului matematic pentru uscarea produselor vegetale umede	39
3. CELE MAI RELEVANTE REALIZĂRI OBȚINUTE ÎN CADRUL PROIECTULUI	51
9. APRECIEREA ACTIVITĂȚII ȘTIINȚIFICE PROMOVATE LA EXECUTAREA PROIECTULUI (PREMII, MEDALII, DIPLOME ETC.).	51
10. REZUMATUL RAPORTULUI CU EVIDENȚIEREA REZULTATULUI, IMPACTULUI, IMPLEMENTĂRILOR, RECOMANDĂRILOR.....	52
11. CONCLUZII	53

1. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE PROPUSE SPRE REALIZARE ÎN CADRUL PROIECTULUI

Scopul propus spre realizare în cadrul proiectului este simularea matematică și computerizată a fenomenelor de transfer din produsele vegetale umede în scopul optimizării procesului de deshidratare cu aplicarea microundelor.

Obiectivele:

1. Analiza piersicilor, merelor și a semințelor de struguri ca materie primă pentru deshidratare;
2. Studiul bibliografic al metodei de uscare prin tratarea produsului cu microunde și selectarea teoretică a regimurilor de uscare cu utilizarea curenților de frecvență supraînaltă;
3. Studiul fenomenului de brunificare în procesul de deshidratare a produselor vegetale;
4. Elaborarea cineticii procesului de deshidratare a piersicilor și merelor prin convecție, cu aplicarea microundelor și prin metoda combinată;
5. În urma prelucrării rezultatelor experimentale ale procesului de deshidratare urmează determinarea parametrilor tehnologici optimi de tratare termică prin convecție, microunde și metoda combinată;
6. În urma uscării probele deshidratate sunt vidate și trimise la laborator pentru determinarea conținutului de polifenoli la tratarea termică prin diferite metode cu deferiți parametri tehnologici
7. Efectuarea modelului matematic al procesului de uscare al produselor vegetale
8. Simularea computerizată al fenomenului de curgere a fluidului în timpul uscării produselor vegetale.

2. REZULTATELE ȘTIINȚIFICE OBȚINUTE ÎN CADRUL PROIECTULUI

2.1. DESCRIEREA FENOMENULUI DE BRUNIFICARE A PRODUSELOR VEGETALE

Brunificarea enzimatică

Brunificarea enzimatică este una dintre cele mai importante reacții de culoare care afectează merele, reacție catalizată de **polifenoloxidaze**. Fenomenul de brunificare enzimatică se poate observa la mere, banane, cartofi, pere, piersici, struguri albi, frunze de ceai, boabe de cafea, fasolea verde, ciuperci, creveți, homari, etc.

Tipuri de brunificare:

1. brunificare enzimatică (datorată polifenoloxidazelor)
2. caramelizarea (reacție de oxidare a glucidelor)
3. oxidarea lipidelor
4. oxidarea vitaminei C
5. reacția Maillard (reacție de îmbrunare dintre aminoacizi și glucide reducătoare cu o grupare aldehidică). Reacția se finalizează cu formarea de polimeri azotați de brunificare sau melanoidine.

Factorii care influențează apariția procesului de reunificare:

1. Oxigenul – necesar pentru ca reacția de brunificare să apară
2. Tratamentul termic- brunificarea crește cu creșterea temperaturii până când polifenol oxidaza este inactivată
3. pH-ul optim pentru declanșarea reacției de brunificare este situat între 5 și 7. Dacă pH-ul este mai jos de valoarea 3 enzima va fi inactivată
4. ioni de metal – cuprul este necesar pentru acțiunea polifenol oxidazei; și ioni de fier cresc rata reacției

Gradul brunificare enzimatică a merelor este corelat de conținutul tisular în polifenoloxidaza activă, conținutul fenolic al țesutului, pH, temperatură și disponibilitatea oxigenului în țesut !!!

Mecanismul reacției de reunificare enzimatică.

Polifenoloxidazele catalizează oxidarea fenolilor la o-quinone. O-quinonele formează astfel, prin reacții de polimerizare spontane, compuși cu masă moleculară mare sau pigmenți bruni (melanine). Aceste melanine pot în schimb să reacționeze cu aminoacizi și proteine, conducând la accentuarea culorii brune.

Pierderile economice datorate brunificării merelor.

Creșterile pe piața fructelor și legumelor prevăzute pentru viitor nu vor avea loc dacă brunificarea enzimatică nu este înțeleasă și controlată. Brunificarea enzimatică este una dintre cele mai devastatoare reacții pentru mere ca obiect de uscare. S-a estimat că mai mult de 50% din pierderile înregistrate la fructe se datorează brunificării enzimatice. Asemenea pierderi au condus la creșterea interesului pentru înțelegerea și controlul enzimelor fenoloxidaze din alimente. Merele, avocado, bananele, strugurii, piersicile și diverse alte fructe, sunt susceptibile la brunificare și prin urmare determină pierderi economice pentru agricultori.

Metode de control utilizate în brunificarea enzimatică la mere ca produs de uscare

1. Eliminarea oxigenului – cea mai simplă metodă de control a brunificării enzimatice, prin imersarea produselor în apă înainte de a fi gătită sau prin adăugarea la suprafața lor de acizi care să întârzie procesul de brunificare.
2. Aplicarea de tratamente termice pentru a denatura și inactiva enzima. Are ca efect distrugerea microorganismelor și reducerea conținutului de zahăr oferind produselor o culoare strălucitoare.
3. Controlul pH-ului pentru a preveni brunificarea enzimatică se face prin adăugare de acizi (citric, malic, ascorbic, fosforic). Valorile scăzute de pH (3) reduc brunificarea. Un inhibitor eficient al polifenoloxidazei este acidul ascorbic. Pentru majoritatea polifenoloxidazelor pH optim este cuprins între 5-7.

4. Aplicarea de dioxid de sulf și sulfiți – inhibitori puternici ai enzimei.
5. Ultrafiltrarea, utilizată în industria alimentară pentru eliminarea moleculelor mari de polifenoloxidaze din vinul alb și din sucurile de fructe.
6. Tratatamentul cu dioxid de carbon supercritic (SC-CO₂) are ca efect distrugerea microorganismelor, fiind aplicat și pentru a inactiva polifenoloxidazele din homari, creveți și cartofi, inactivare datorată scăderii pH-ului prin producerea de acid carbonic din dioxid de carbon.
7. Deshidratarea – pentru a fi activă, polifenoloxidaza are nevoie de multă apă. Astfel, prin deshidratare se poate obține doar inactivarea acestei enzime, nu și distrugerea ei. Metodele comune de deshidratare sunt: deshidratarea prin congelare – apa este eliminată prin sublimare, sub vacuum. O altă metodă se referă la scăderea activității apei prin adăugare de substanțe chimice de legare a apei, de exemplu: clorura de sodiu, sucroza, glicerol, etc.

2.2. STUDIAREA PIERSICILOR CA MATERIE PRIMĂ PENTRU DESHIDRATARE ȘI CA PRODUS BOGAT ÎN POLIFENOLI

În prezent, la nivel global, piersicul ocupă locul trei după măr și prun în funcție de suprafață și volumul de producție. Republica Moldova exportă anual cca. 5-7 mii tone de piersici proaspeți.

Piersicii au o apreciere înaltă datorită gustului excelent determinat de finețea pulpei și aroma plăcută. Valoarea alimentară înaltă a piersicilor se datorează compoziției complexe și echilibrate de circa 87,5% apă, 12,49% substanțe uscate totale și (10,54%) substanțe uscate solubile. Conținutul de zahăr este de 8,4g pentru 100g de produs și o aciditate titrabilă de 0,5% cu pH – 4. **Compoziția chimică** la general este prezentată de proteine (0,9 g/ pentru 100g de produs), lipide (0,3 g/ pentru 100g de produs) și de glucide (9,90 g/ pentru 100g de produs). **Prezența mineralelor** se evidențiază prin conținutul sporit de Potasiu (190 mg/ pentru 100g de produs), Fosfor (20 mg/ pentru 100g de produs), Magneziu (9 mg/ pentru 100g de produs), și de Calciu (6mg/ pentru 100g de produs). Piersicii fiind un produs cu un **conținut variat de vitamina** A (326 IU), C (6,6 mg/ pentru 100g de produs), E (0,70 mg/ pentru 100g de produs) și Colină (6,1 mg/ pentru 100g de produs).

Datorită faptului că piersicii sunt un produs sezonier cu o durată de recoltare foarte restrânsă și un termen de păstrare redus, cantități mari rămân nevalorizate. Una din metodele eficiente de păstrare a acestui produs valoros este uscarea. Această metodă de procesare permite reducerea spațiilor de depozitare, mărirea considerabilă a duratei de păstrare și obținerea în esență a unui produs nou cu beneficii pentru sănătate. **Piersicii proaspeți și uscați** sunt foarte bogați în vitamina A, au puține calorii și un conținut mare de zahăr, sunt o sursă bogată de carbohidrați, fitonutrienți, antioxidanți, carotenoizi - cu rol important în sănătatea ochilor, flavonoidele care protejează împotriva cancerului și bolilor de

inimă. Pe lângă aceea prezintă și alte beneficii pentru sănătate, cum ar fi stimularea sistemului imunitar, ajută la normalizarea tranzitului intestinal, stimulează sucurile gastrice, sunt benefice în gastrită, reduc riscul de apariție a bolilor cardiace, a artritei, previn apariția cancerului datorită conținutului mare de provitamină A; eficiente în anemie, eficiente în hipertensiune arterială, benefice în astm și bronșită, litiaza renală, etc.. Pentru realizarea compartimentului experimental în calitate de materie primă s-au folosit trei soiuri de piersic cu următoarele caracteristici:

SPRING CREST, *Original* obținut la Fort-Valley Georgia, SUA. ***Pomul*** de vigoare mare, productiv, înflorire timpurie abundentă. ***Fructul*** de mărime mijlocie (70-110 g), forma fructului rotundă foarte regulată. Pelița slab pubescentă, excelent colorată în roșu- închis, lucios și striuri longitudinale mai închise la culoare. Pulpa galbenă fără infiltrații roșii în jurul sâmburelui, cu textură fină, destul de fermă, dar succulentă cu gust aromat. Sâmburele este semiaderent la pulpă. ***Epoca de maturare*** cu 22-24 zile înainte de Redhaven. (prima decadă a lunii august). ***Particularitățile tehnologice*** soi timpuriu cu productivitate înaltă, dar necesită o rărire destul de severă, altfel fructele rămân mici. Înflorind ceva mai timpuriu poate fi afectat de înghețurile târzii de primăvară. Rezistă foarte bine la transport. Este omologat din anul 2015 pentru Zonele pomicele de Centru, Sud și Sud-Est ale Republicii Moldova.

CARDINAL, *Original* obținut la Fort-Valley, Georgia, SUA. ***Pomul*** are vigoare media, cu ramuri mixte scurte având muguri floriferi repartizați pe toată lungimea, înfloarește abundent relativ timpuriu. ***Fructul*** de mărime mijlocie (80-140 g), de formă globulară asimetrică. Pelița de culoare galbenă acoperită pe cea mai mare parte cu bordo, pubescență slabă. Pulpa este galben portocalie, mijlociu de succulentă, fină, potrivit de consistentă, dulce-acidulată, foarte bună la gust. Pulpa este aderentă la sâmbure. ***Epoca de maturare*** în decada a treia a lunii iulie. ***Particularitățile tehnologice*** soi foarte productiv, rezistența la ger și secetă este mijlocie, preferă soluri fertile și irigate. Fructele sunt rezistente la transport. Este omologat din anul 1980 în Zonele pomicele de Centru și de Sud-Est ale Republicii Moldova.

REDHAVEN, *Original* obținut la Stațiunea experimental South-Haven, Michigan, S.U.A. ***Pomul*** de vigoare mijlocia spre mare, înfloarește în perioada mijlocia, intră pe rod în anul 3 de la plantare. ***Fructul*** de mărime mijlocie spre mare (130-170 g), forma fructului rotunjită sau rotunjit-ovală. Pelița fin pubescentă, de grosime mijlocie, aderentă la pulpă, colorată în galben portocaliu, acoperită cu roșu intens punctat și striat peste 90% suprafață. Pulpa galben-portocalie puțin roșie lângă sâmbure, mijlociu de succulentă, dulce acidulată cu gust plăcut. Semiaderentă la sâmbure. ***Epoca de maturare*** în prima decadă a lunii august. ***Particularitățile tehnologice*** se apreciază ca unul din cele mai bune soiuri, servește ca etalon, productivitate înaltă, fructifică regulat. Preferă soluri fertile și irigate, are rezistență mijlocie la secetă. Este sensibil la bășicarea frunzelor și la cancerul uscat al ramurilor. Este omologat din anul 1980 pentru zonele pomicele de Centru și de Sud-Est ale Republicii Moldova.

Pentru a studia procesul de uscare, soiurile de piersici au servit ca materie primă: SPRINGCREST, CARDINAL ȘI REDHAVEN. Fructele de piersici proaspete au fost caracterizate prin fermitate, conținut de substanță uscată și umiditate inițială. Tabelul 1

Tabelul 1. Caracteristicile piersicilor proaspeți

Soiuri de piersici	Fermitatea (Kg f/cm ²)	Subst. uscate (%)	Umiditatea (%)
SPRING CREST	1,22	10,65	89,35
CARDINAL	1,07	10,52	89,48
RED HAVEN	0,88	11,33	88,67

Uscarea probelor de piersici s-a realizat la instalația de laborator prezentată în figura 1 care permite studiul proceselor de uscare prin convecție, cu aplicarea microundelor și combinată. În calitate de agent termic poate fi folosit atât aerul, cât și diferite gaze, cum ar fi CO₂. Agentul termic se încălzește în caloriferul 4 care permite obținerea unui diapazon de temperaturi de la 20 – 100 °C, iar menținerea temperaturii necesare se face cu ajutorul convertorului de temperatură (6). Pentru cazul nostru, au fost folosite cinci temperaturi ale agentului termic, și anume: 50±0,9°C, 60±1,1°C, 70±1,3°C, 80±1,4°C și 90±1,6°C. Înregistrarea temperaturii și umidității agentului termic se face cu ajutorul senzorilor (DALLAS 8820 – eroarea ±0,1°C) și (DALLAS 8820 – eroarea ±0,5%), care sunt montați în conducta de reciclare a acestuia nemijlocit la intrarea și la ieșirea din camera de lucru (1).

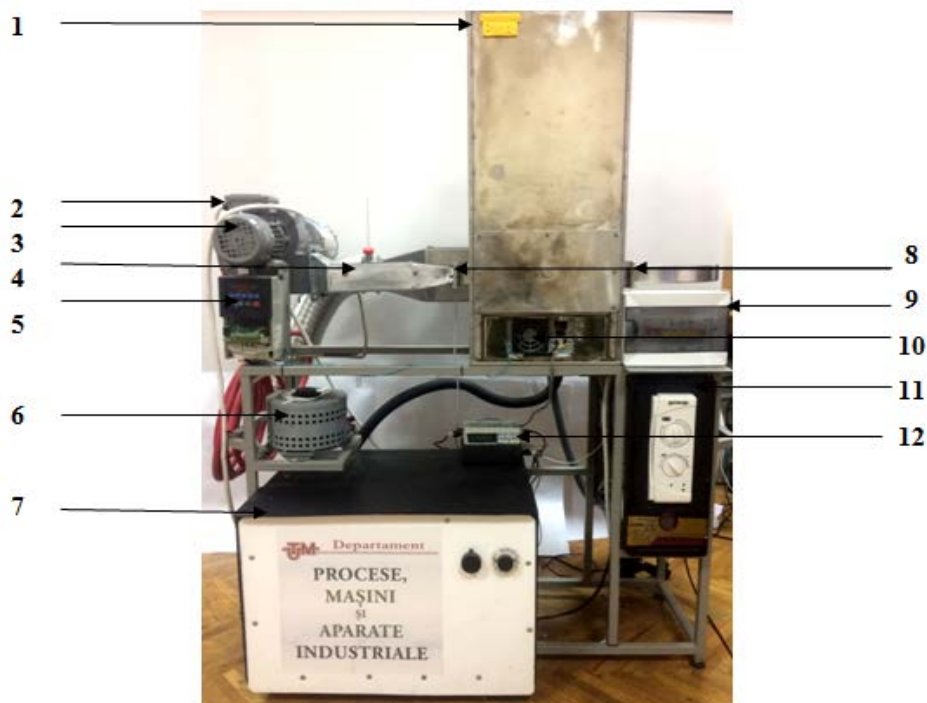


Figura 1. Instalație experimentală de uscare: camera de uscare cu 1, 2-motor electric, 3 ventilatoar, 4 rezistoare electrice, convertor de frecvență 5, controler de temperatură 6, dispozitiv auxiliar 7, senzori de temperatură și umiditate 8, bloc de control SHF 11, dispozitiv electronic de monitorizare și înregistrare a datelor de intrare și ieșire 12.

Reciclarea agentului termic are loc cu ajutorul ventilatorului (VORTICE SPA) (3) de puterea 0,16 kW care asigură o viteză a aerului până la **3,0 m/s**. Pentru cazul nostru, au fost folosite cinci viteze ale agentului termic, și anume: **0,5±0,05 m/s, 1,0±0,05 m/s, 1,5±0,06 m/s, 2,0±0,07 m/s și 2,5±0,08 m/s**. Modificarea și menținerea vitezei agentului termic se făcea la schimbarea turației ventilatorului (3) prin intermediul convertorului de frecvențe (5). Viteza agentului termic s-a măsurat cu anemometrul (AM50 – eroarea ±3%).

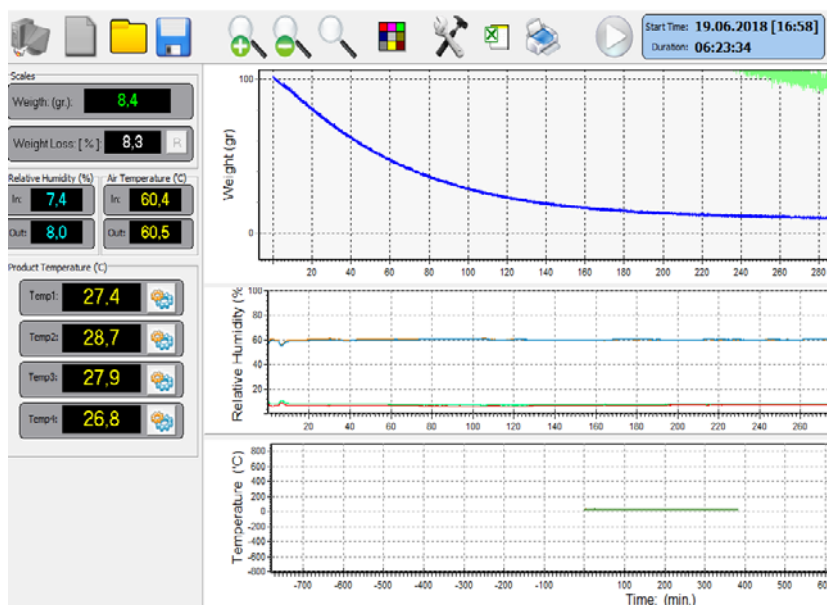


Figura 2. Procesarea electronică a datelor 1-cadran (se indică curba de scădere a masei produsului), 2-cadran (se indică temperatura agentului de lucru la intrare și ieșire din camera de uscare) 3-cadran (se indică umiditatea agentului de lucru la intrare și ieșire din cameră)

În camera de lucru piersicii se aranjează pe un suport, care se sprijină pe cântarul electronic ([G&G JJ2000B](#) – eroarea ±0,01 g) (10), aceasta permite înregistrarea online a scăderii de masă pe parcursul întregului proces de uscare. Pentru măsurarea suprafeței temperaturii produsului pe parcursul procesului de uscare sa folosit termometrul infraroșu (IR laser – eroarea ±2,0% sau ±2,0 °C). Toți senzorii încorporați în instalație sunt uniți la calculator, astfel încât în regim online erau înregistrate scăderea de masă a produsului, temperatura și umiditatea agentului de uscare (figura 2). Temperatura suprafeței produsului și viteza agentului de uscare puteau vizualizați la necesitate. **Pentru pregătirea piersicilor către uscare** au fost selectați piersici copti cu umiditatea inițială de 89,5±0,75%. Inițial piersicii au fost spălați sub un șuvoi de apă de temperatura camerei, șterși cu un șervețel uscat și examinați vizual și tactil să corespundă cerințelor tehnice, după care au fost tăiați în rondele de grosime bine determinată.

Elaborarea cineticii procesului de deshidratare a piersicilor prin convecție

În urma a multiplelor cercetări bibliografice se cunoaște că cinetica procesului de uscare este determinată de mulți parametri atât ai procesului tehnologic (viteza, umiditatea, temperatura agentului de uscare, etc.), cât și a proprietăților produselor supuse uscării (conductibilitatea termică, porozitatea, densitatea, parametrii geometrici, etc.), pentru cazul nostru a piersicului. Forma curbilor de

uscare ale piersicilor uscați prin convecție la diferite temperaturi ale agentului de uscare este tradițională, observându-se o scădere stabilă a umidității în timp (figura3). Durata scăderii umidității de la cea inițială de 89,5 și până la cea finală de 18 % este funcție de temperatura agentului termic. Astfel, la viteza agentului termic de 2,0 m/s cu umiditatea inițială de 89.46% pentru temperatura de 50°C durata de uscare a fost de **270 min.**, pentru temperatura de 60°C a fost de **225 min.**, pentru temperatura de 70°C a fost de **185 min.**, pentru temperatura de 80°C a fost de **160min.**, și pentru temperatura de 90°C durata de uscare a fost de **110 min.**

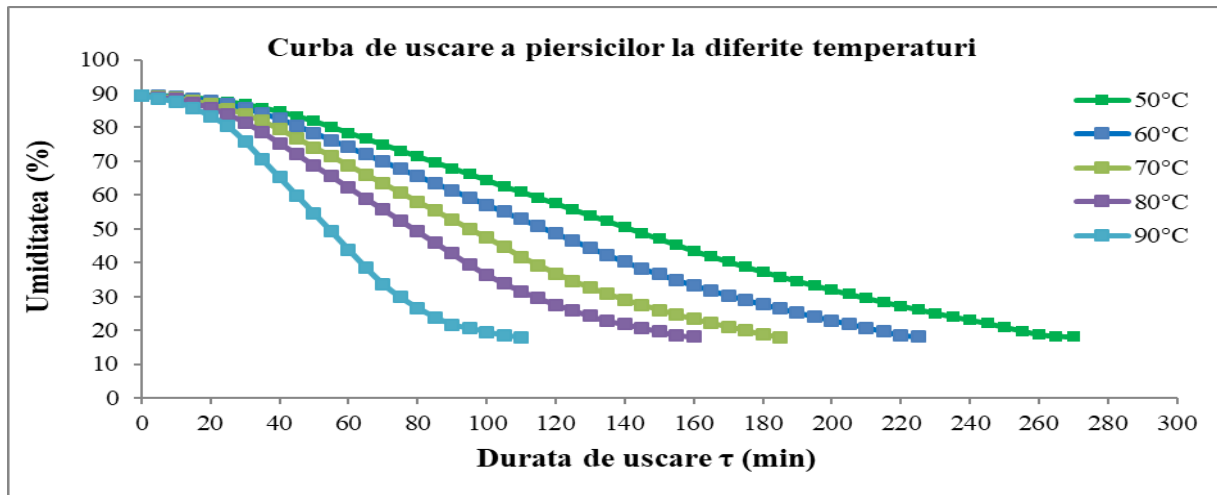


Figura 3. Curbele de uscare prin convecție a piersicilor de soiul SPRINGCREST la diferite temperaturi ale agentului termic. (Viteza agentului termic 2,0 m/s, umiditatea inițială a agentului termic 60 %, grosimea rondelei 3,0 mm)

În figura 4 sunt prezentate curbele vitezei de uscare a piersicilor la diferite temperaturi. Forma curbelor de asemenea corespunde celor clasice, descrise în sursele bibliografice anterioare. Se observă prezenta acelor trei perioade de uscare și anume perioada 1 – de încălzire a produsului, 2 – a vitezei constante de uscare, 3 – a vitezei de uscare în scădere.

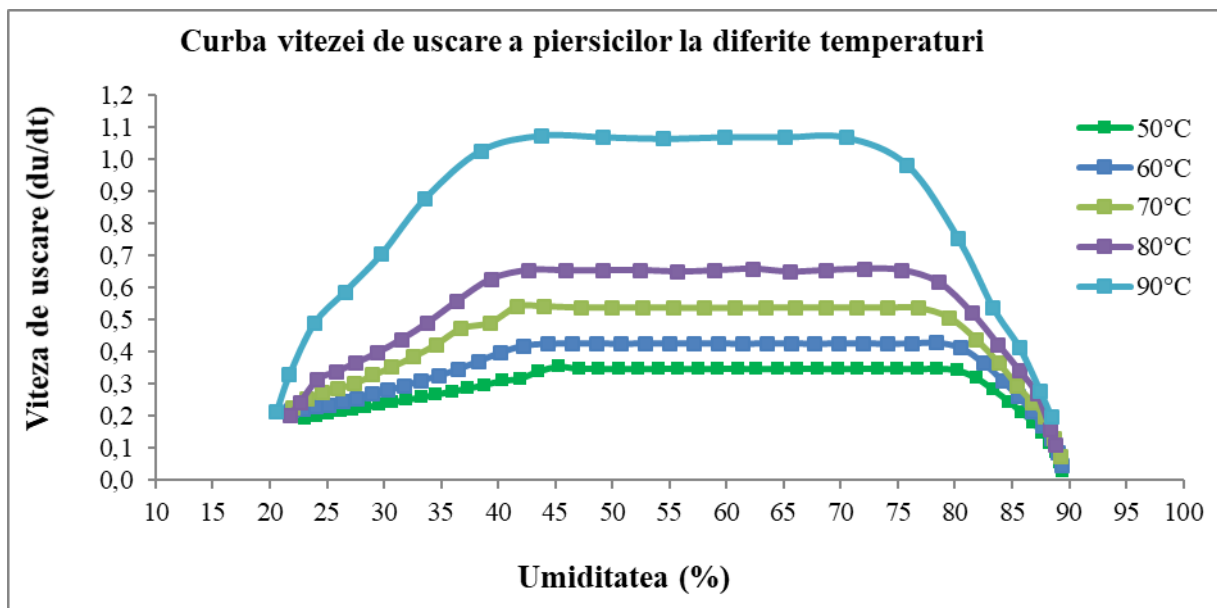


Figura 4. Curbele vitezei de uscare prin convecție a piersicilor de soiul SPRINGCREST la diferite temperaturi ale agentului termic. (Viteza agentului termic 2,0 m/s, umiditatea inițială a agentului termic 60 %, grosimea rondelei 3,0 mm)



Din grafice se observă, că odată cu creșterea temperaturii agentului termic de la 50 C și până la 90 C viteza de uscare și ea crește. Mai mult ca atât, pentru cazul vitezei agentului de uscare 2,0 m/s și umidității inițiale a acestuia de 60 % creșterea vitezei de uscare are loc de la 0,35 m/s până la 1,05 m/s conform unei legități de polinom (1):

$$\frac{du}{dt} = 0,0005 \cdot t^2 - 0,048 \cdot t + 0,976, \quad R^2 = 0,976 \quad (1)$$

Totodată, s-a observat și o oarecare corelare dintre durata vitezei constante de uscare și temperatura agentului termic, Astfel, odată cu creșterea temperaturii agentului termic în limitele 50–90 C, durata perioadei a doua – a vitezei de uscare constante a scăzut de la 155 min. până la 70 min., ceea ce la rândul său reduce esențial durata procesului de uscare.

Transferul de masă în produs în mare măsură este influențat de gradientii de umiditate și de temperatură, dar și de grosimea stratului de produs pe care umiditatea necesită să o parcurgă [14-15].

În acest context a fost studiată și cinetica procesului de uscare a piersicilor la diferite grosimi ale rondelelor, și anume **2mm, 4mm, 6mm, 8mm, și 10mm**. Conform (figurilor 5 – 7). La uscarea prin convecție a piersicilor de soiul SPRINGCREST la viteza agentului termic de 2,0 m/s cu temperatura de 60 °C și umiditatea inițială de 65,0 % curbele de uscare pentru diferite grosimi ale rondelelor poartă același caracter (figura 5), diferit fiind numai unghiul de înclinare a acestora.

Mai mult ca atât, corelația dintre variația grosimii rondelelor și unghiul de înclinare a curbelor de uscare poartă un caracter invers proporțional, ceea ce determină că reducerea grosimii rondelelor accelerează procesul de uscare, fapt confirmat și de către curbele vitezei de uscare (figura 6) care denotă o creștere a vitezei de uscare la micșorarea grosimii rondelei. Astfel, la grosimea rondelei de 10 mm s-a înregistrat o viteză de uscare de $0,21 \pm 0,024$ %/min, pe când la grosimea de 2 mm – $0,47 \pm 0,063$ %/min. Scăderea vitezei de uscare odată cu creșterea grosimii rondelei de piersici în limitele 2 – 10 mm. are loc conform ecuației (2):

$$\frac{du}{dt} = 214,3 \cdot 10^3 \cdot t^2 - 72,86 \cdot t + 0,496, \quad R^2 = 0,998 \quad (2)$$

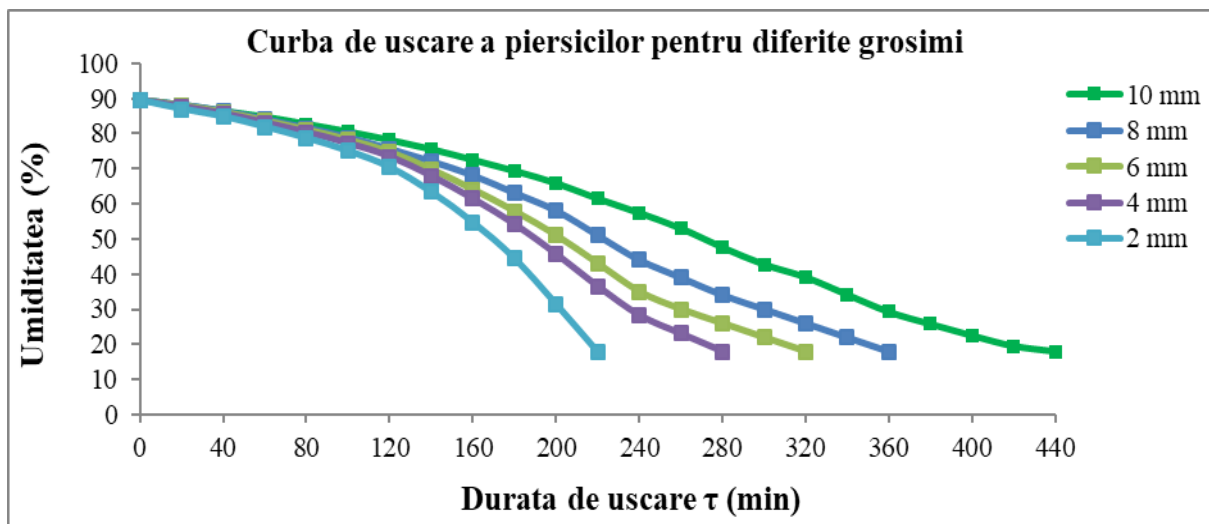


Figura 5. Curba de uscare a piersicilor de soiul SPRINGCREST pentru diferite grosimi a rondelilor (Viteza agentului termic 2,0 m/s, umiditatea inițială a agentului termic 65,0 %, temperatura agentului termic 60 °C)

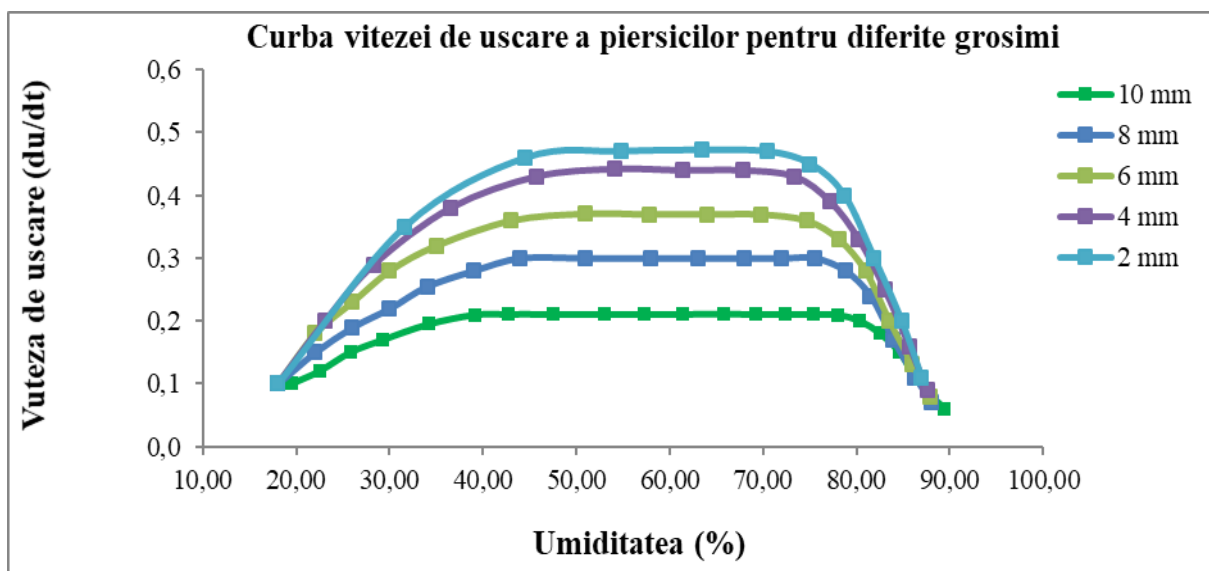


Figura 6. Curba vitezei de uscare a piersicilor de soiul SPRINGCREST pentru diferite grosimi ale rondelilor (Viteza agentului termic 2,0 m/s, umiditatea inițială a agentului termic 65,0 %, temperatura agentului termic 60 °C)

Cum sa menționat anterior, micșorarea grosimii rondelilor de piersici reduce și durata de uscare, astfel conform figurii 7 se observă că runde de piersic cu grosimea de **2mm** la uscare prin convecție într-un flux de aer de viteza 2,0 m/s, temperatura 60 °C și umiditatea inițială de 60,0 % au durata minimă de uscare – **220 min.**, cele cu grosimea de **4mm** au o durată de uscare de **280 min.**, pentru grosimea de **6 mm** durata este de **320 min.**, pentru **8 mm** a durat **360min.**, și pentru grosimea de **10 mm** durata de uscare este de **440 min.** Corelația dintre durata de uscare și grosimea stratului de produs, a rondelilor, în limitele 2 – 10 mm. poartă un caracter linear (3):

$$\tau(\delta) = 0,0378 \cdot \delta - 6,224, \quad R^2 = 0,983 \quad (3)$$

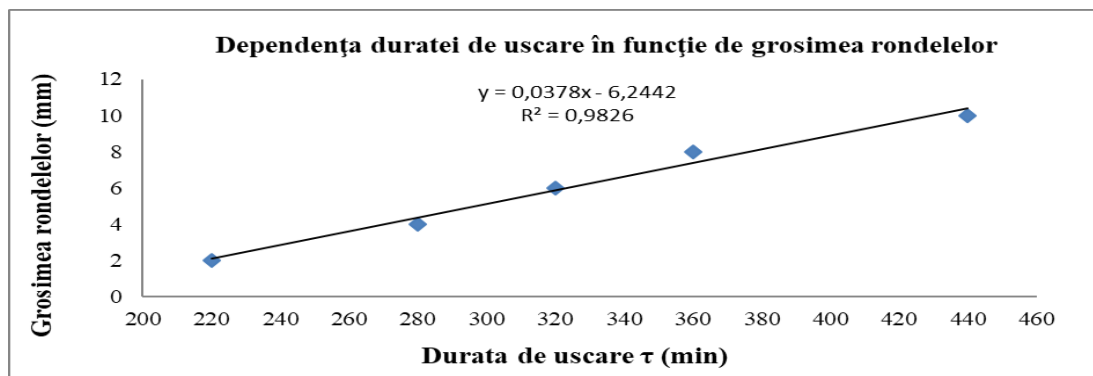


Figura 7. Dependenta duratei de uscare a piersicilor de soiul SPRINGCREST în funcție de grosimea rondelor (Viteza agentului termic 2,0 m/s, umiditatea inițială a agentului termic 65,0 %, temperatura agentului termic 60 °C)

Procesul de uscare a produselor umede, în particular și a piersicilor, în mare măsură este influențat și de viteza agentului termic. În figura 8 sunt prezentate curbele de uscare și în figura 9 curbele vitezei de uscare ale piersicului tăiat în runde de grosimea 3,0 mm la temperatura agentului termic de 60 °C pentru diferite viteze a acestuia. Atât curbele de uscare, cât și cele ale vitezei de uscare ne indică la o intensificare a procesului odată cu creșterea vitezei agentului termic.

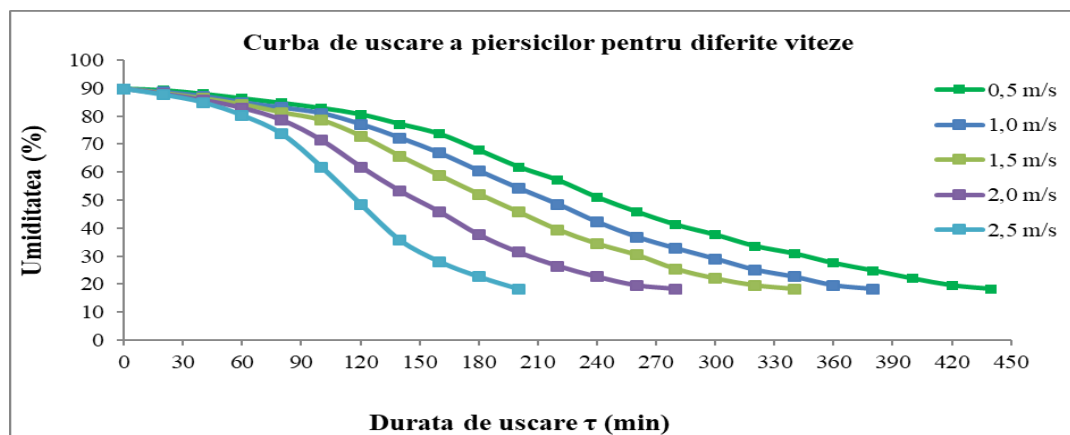


Figura 8. Curba de uscare a piersicilor pentru diferite viteze ale agentului termic (Umiditatea inițială a agentului termic 65,0 %, temperatura agentului termic 60,0 °C, Grosimea rondelor de piersic 3,0 mm)

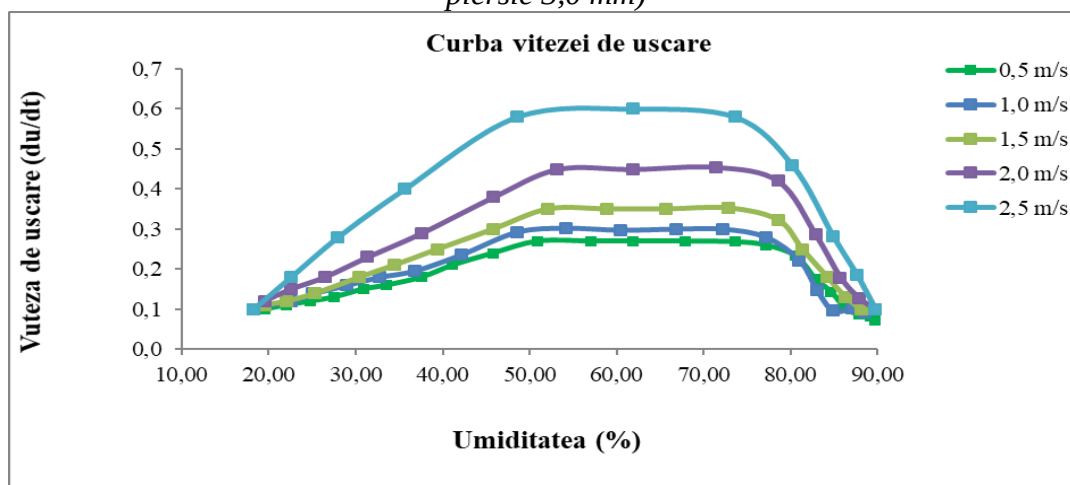


Figura 9. Curba vitezei de uscare a piersicilor pentru diferite viteze ale agentului termic (Umiditatea inițială a agentului termic 65,0 %, temperatura agentului termic 60,0 °C, Grosimea rondelor de piersic 3,0 mm)

În urma cercetărilor fig.8 și 9, sa-u obținut următoarele rezultate: la viteza agentului termic **0,5 m/s** sa obținut o durată de uscare de **440 min.**, la viteza de **1,0 m/s – 380 min.**, la viteza de **1,5 m/s – 340 min.**, la viteza **2,0 m/s – 280 min.**, și la viteza **2,5 m/s** durata de **200 min.** Conform figurii 10 dependența duratei de uscare a piersicilor de viteza agentului termic ($\tau = f(v)$) în limitele 0,5 – 2,5 m/s este **liniară**, ecuația (4)

$$\tau(v) = -0,0085 \cdot v + 4,291, \quad R^2 = 0,987 \quad (4)$$

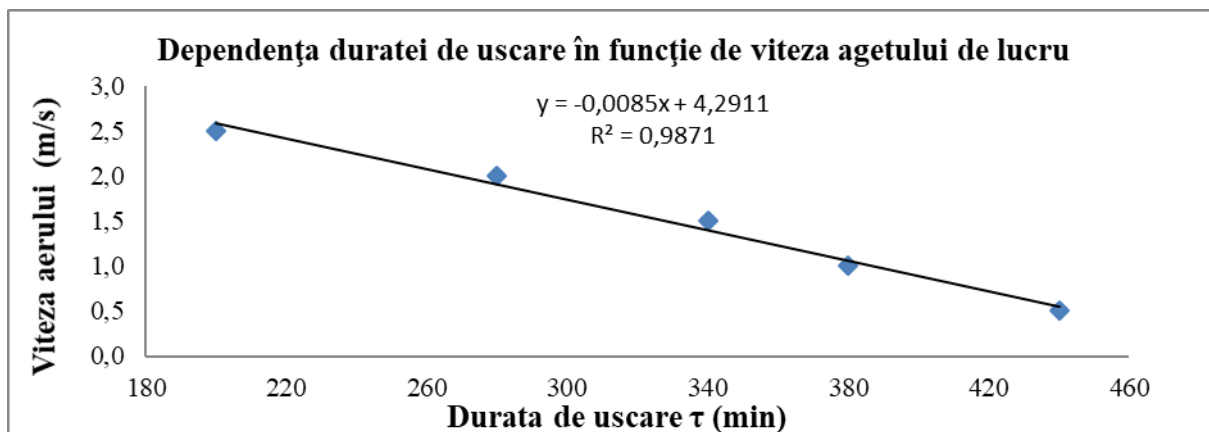


Figura 10. Dependenta duratei de uscare a piersicilor în functie de viteza agentului termic (Umiditatea inițială a agentului termic 65,0 %, temperatura agentului termic 60,0 °C, Grosimea rondelilor de piersic 3,0 mm)

Pe parcursul cercetării cineticii procesului de uscare a piersicilor au fost studiate așa soiuri ca SPRINGCREST, CARDINAL și REDHAVEN. Atât curbele de uscare, cât și cele ale vitezei de uscare posedă același caracter, ceea ce denotă că acele mici diferențe ale proprietăților fizice, mecanice și termice ale diferitor soiuri puțin influențează fenomenele de transfer în procesul de uscare. Duratele de uscare la diferite soiuri diferă în mediu cu **± 10 - 15 min.**, ceea ce constituie **8–6%** (figura 11).

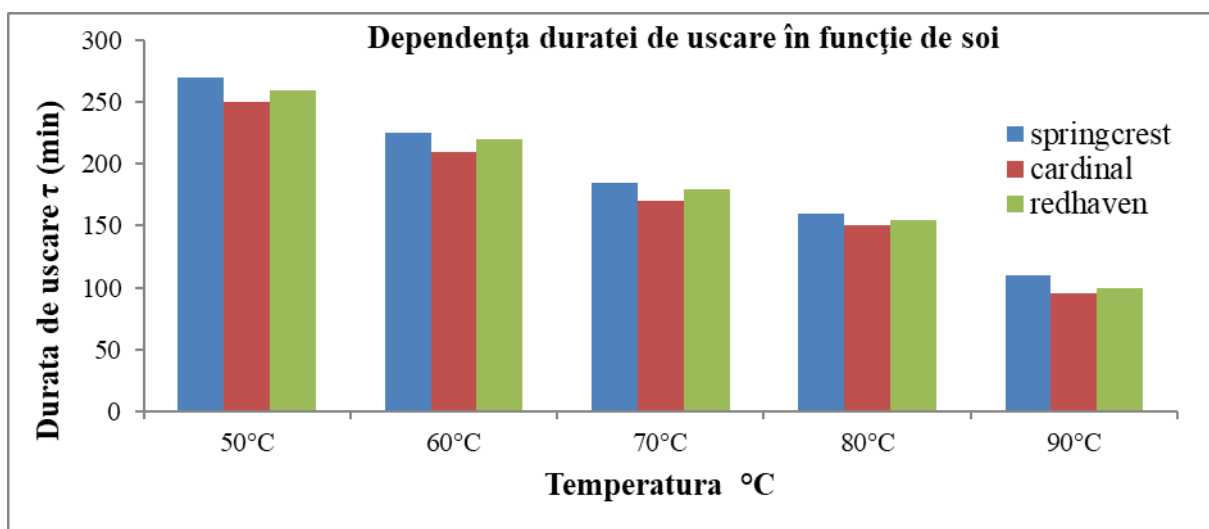


Figura 11. Dependenta duratei de uscare a piersicilor în functie de soi ($\tau = f(soi)$)

Ca rezultat al studiului cineticii procesului de uscare au fost obținute mostre de produs uscat pentru diferite temperaturi și viteze a agentului termic, și și diferite grosimi ale rondelilor. Interes deosebit prezintă aspectul exterior al persicilor uscați la diferite temperaturi, deoarece uscarea, ca proces termic, poate fi însoțită de diferite efecte nedorite cum ar fi caramelizarea zahărului, brunificarea polifenolilor, etc.

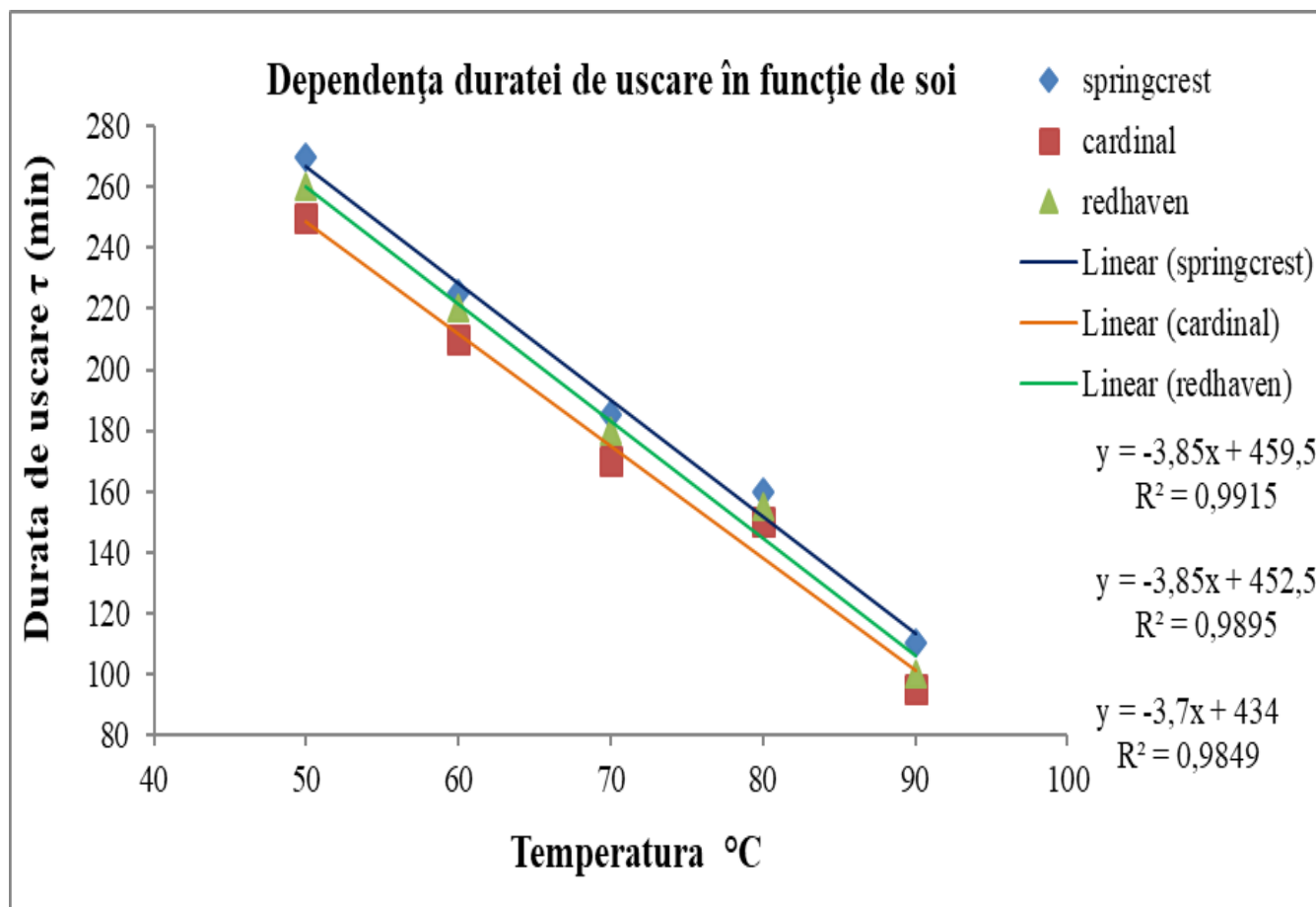


Figura 12. Dependența duratei de uscare a persicilor în funcție de soi ($\tau = f(\text{soi})$)

În urma procesului de uscare a persicilor se prezintă Tabelul 2 unde sunt prezentate mostre de persici uscate până la umiditatea de 18% prin convecție la temperaturile de 50°C, 60°C, 70°C, 80°C și 90°C; mostre uscate cu diferite grosimi ale rondelilor de persici 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, și 10 mm; și mostre de persici uscate la diferite viteze ale aerului 0,5 m/s, 1,0 m/s, 1,5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s.

Prezentarea mostrelor au avut scopul de a arăta cum depinde aspectul exterior al persicilor prin aplicarea diferitor parametri tehnologici, din poze se observă că rondelile de persici uscate la temperaturile de 50°C și 60°C sunt mai atractive decât cele uscate la temperaturi 70°C, 80°C și 90°C, de asemenea persicile uscate la o grosime de 2, 4 mm posedă un exterior mai delicios decât cele uscate la 6, 8 sau 10 mm., și în final rondelile uscate la viteza aerului de 2,0 m/s ținând cont de durata de uscare prezintă un interes mai mare decât acela uscate la viteza de 0,5, 1,0, 1,5 și 2,5 m/s.

Tabelul 2. Mostre uscate de piersic:

la temperaturile:	cu grosimile:	la viteze ale aerului:
		
50°C	2 mm	0,5 m/s
		
60°C	4 mm	1,0 m/s
		
70°C	6 mm	1,5 m/s
		
80°C	8 mm	2,0 m/s
		
90°C	10 mm	2,5 m/s

Elaborarea cineticii procesului de deshidratare a piersicilor cu aplicarea microundelor

Durata scăderii umidității de la cea inițială de $\pm 90\%$ și până la cea finală de $\pm 18\%$ este funcție de putere magnetronului (**Magnetron de 600W**). Astfel, la viteza agentului termic de $\pm 2,0$ m/s cu umiditatea relativă de $\pm 65\%$ pentru **490W** durata de uscare a fost de **40 min.**, pentru **370W - 100 min.**, pentru **230W - 200 min.**, pentru **150W – 280 min.**, **120W – 320min.** Cu toate că inițial sa observat ca unele regimuri erau fie prea intensive sau viceversa oricum sau făcut cercetări, pentru **490W și 370W după 30 min și 80 min** persistă miros și pete de arsură pe produs), iar pentru **120W** din contra pentru acest regim al microundelor în condițiile date uscarea practic nu e posibilă sau cu o durată excesiv de îndelungată. **Figura 13, 14**

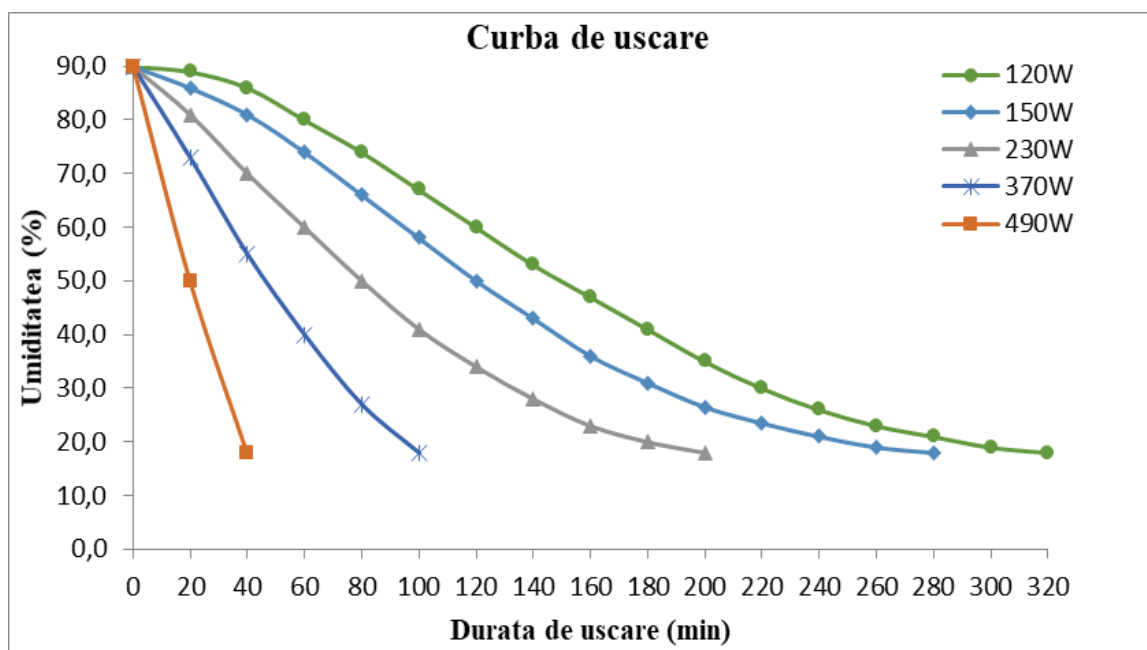


Figura 13. Curba de uscare a piersicilor la diferite regimuri ale microundelor
Pentru magnetronul de 600W (120-490W)

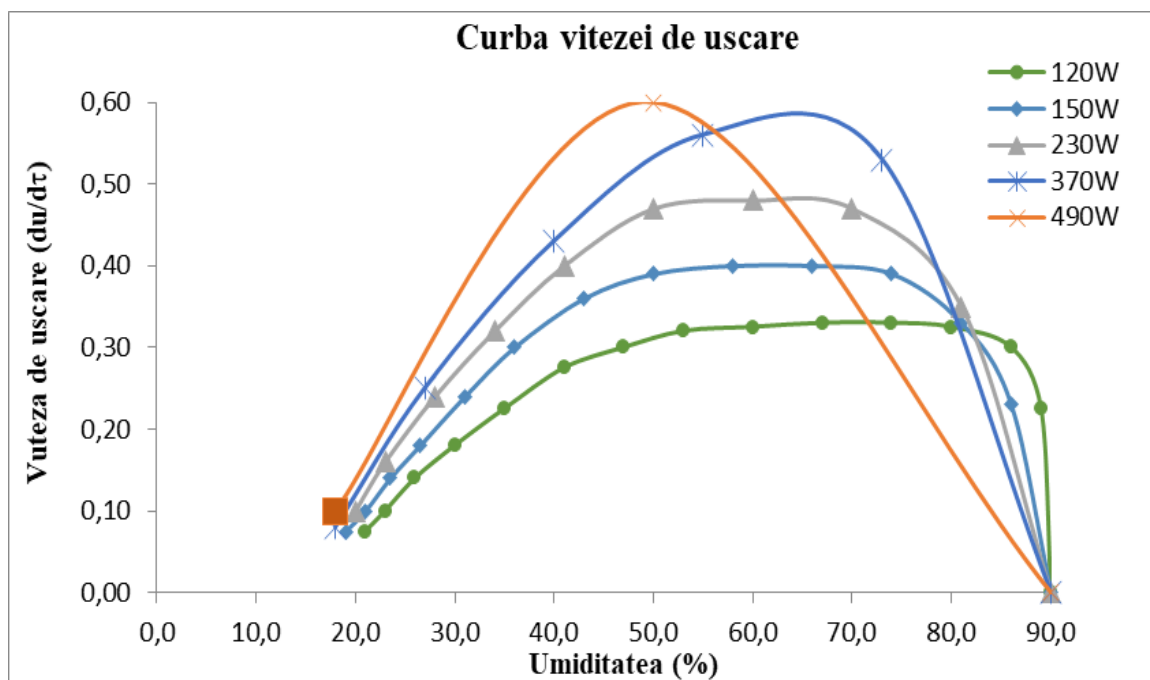


Figura 14. Curba vitezei de uscare a piersicilor la diferite regimuri ale microundelor
Pentru magnetronul de 600W (120-490W)

În procesul de cercetare sau utilizat și magnetronul de **900W**, pentru a cerceta dependența dintre puterea magnetronului și durata de tratare cu microunde asupra produsului. Caracterul geometric al curbelor de uscare nu diferă de cel al uscării SHF anterioare, respectiv sau obținut pentru **360W-80min**, **315W-120min**, **270W-160min**, **225W-200min**, **180W-260min**. Figura 15,16.

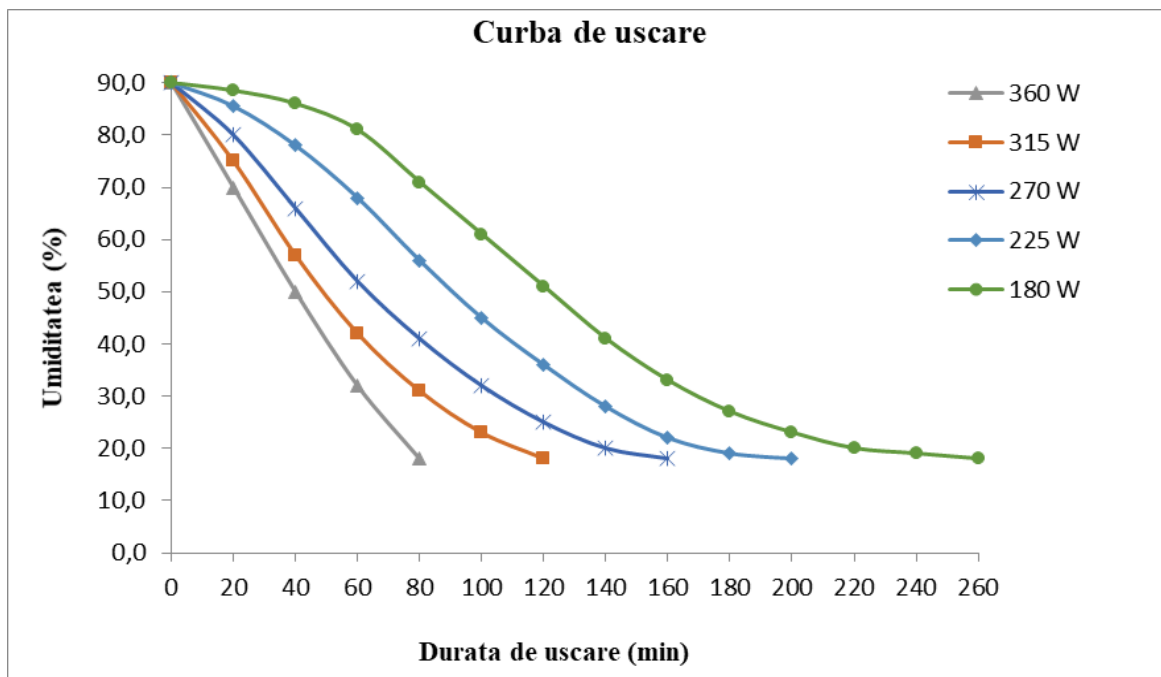


Figura 15. Curba de uscare a piersicilor la diferite regimuri ale microundelor
Pentru magnetronul de 900W (180-360W)

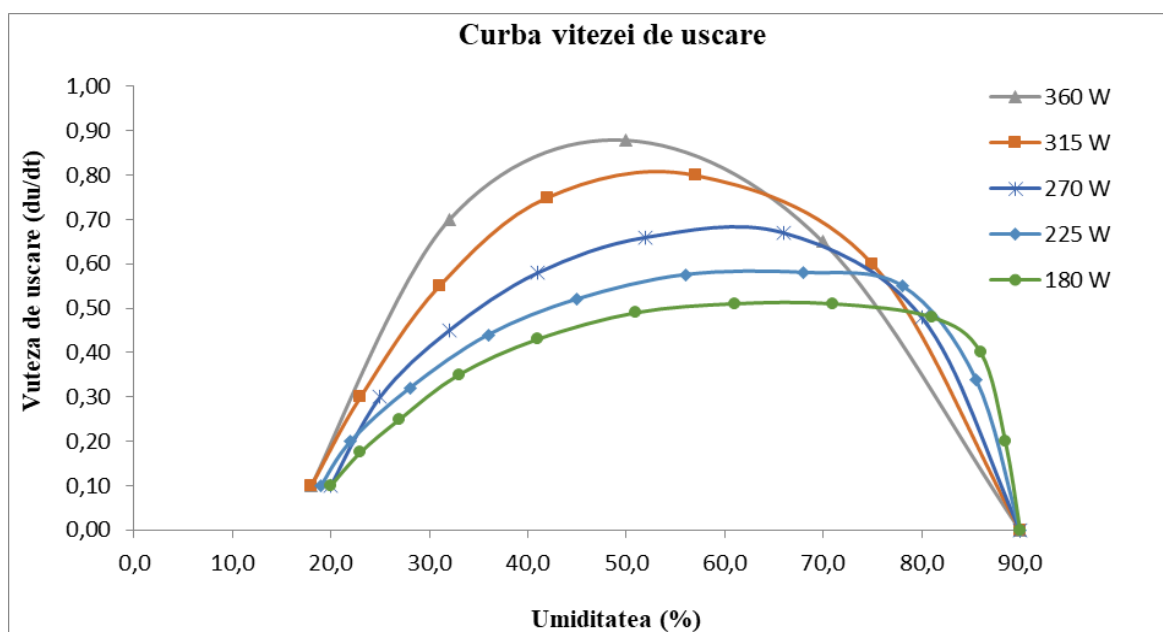
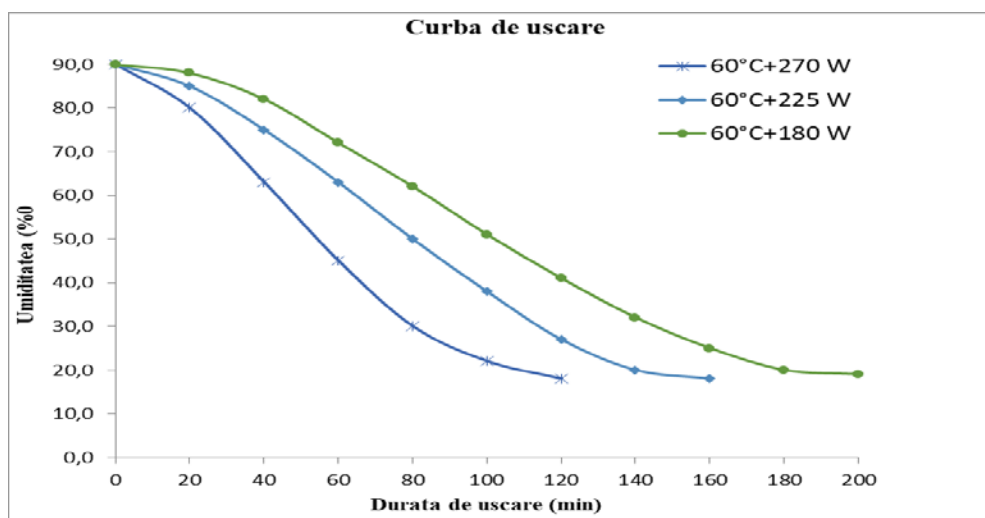


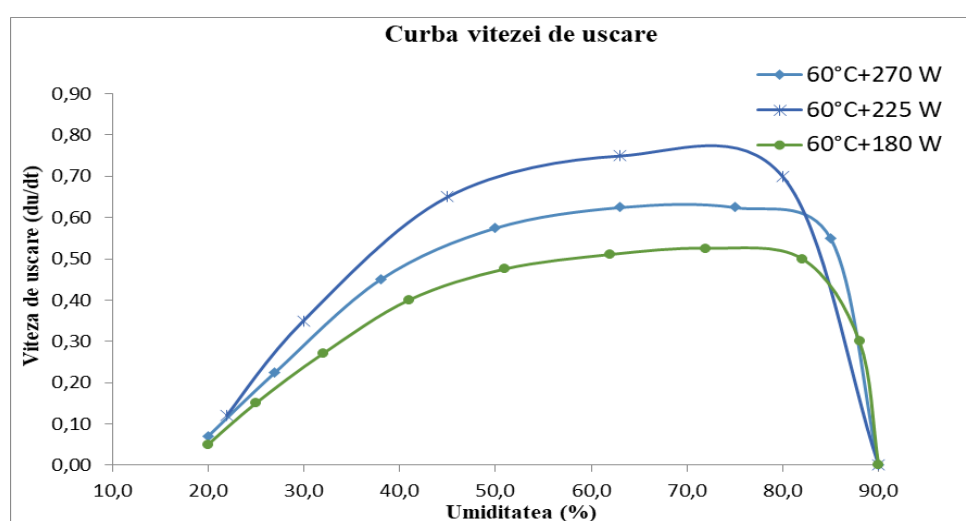
Figura 16. Curba vitezei de uscare a piersicilor la diferite regimuri ale microundelor
Pentru magnetronul de 900W (120-490W)

Elaborarea cineticii procesului de deshidratare a piersicilor prin metoda combinată

În procesul de cercetare a procesului de uscare a piersicilor prin combinarea simultană a convecției și microundelor sa utilizat convecția la 60° și microundele la 180W, 225W, 270W, deoarece doar acești parametri prezintă interes în cercetare. **Figura 17, 18**

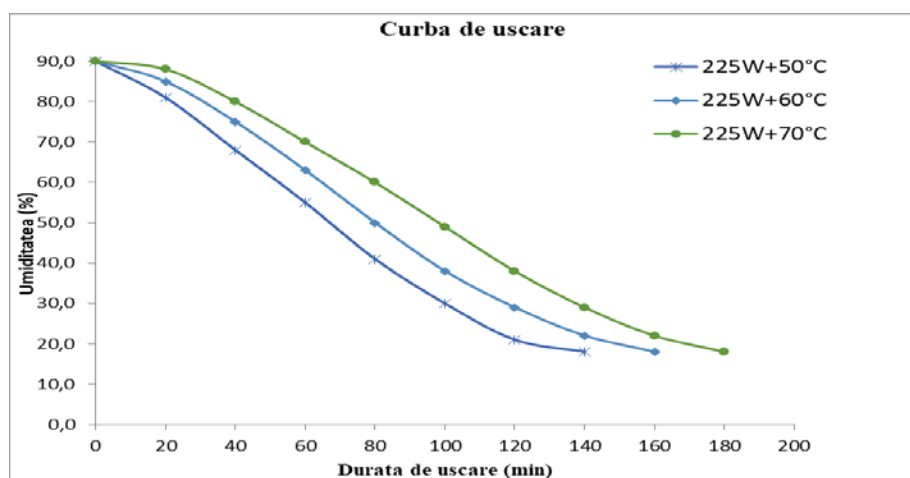


**Figura 17. Curba de uscare a piersicilor prin metoda combinată
60°C+180W, 225W, 270W**

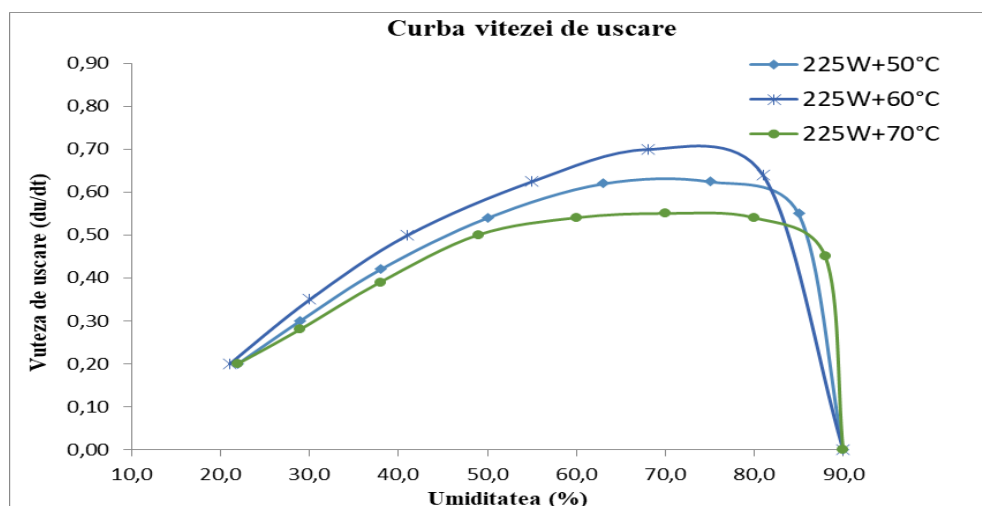


**Figura 18. Curba vitezei de uscare a piersicilor prin metoda combinată
60°C+180W, 225W, 270W**

De asemenea în procesul de cercetare a procesului de uscare a piersicilor sa utilizat și combinarea simultană a microundelor și convecție, 225W și convecția la 50°C, 60°C, 70°C. **Figura 19, 20**



**Figura 19. Curba de uscare a piersicilor prin metoda combinată
225W+50°C+60°C+70°C**



**Figura 20. Curba de uscare a piersicilor prin metoda combinată
225W+50°C+60°C+70°C**

În urma uscării prin convecție la diferite temperaturi unele mostrele de piersici sau vidat și sau transmise la laboratorul de cercetare unde sa analizat conținutul de zahăr. Tabelul 3

Tabelul 3. Conținutul de zahăr al piersicilor prin convecție

Temperatura uscării °C	Fructoza g/100g	Glucoza g/100g	Zaharoza g/100g	Suma g/100g
50	14,35	16,48	25,15	55,96
60	15,34	20,15	31,56	67,05
70	12,38	14,26	19,76	44,40
80	12,01	11,52	20,59	44,12
90	10,12	9,53	18,87	38,52

Tabelul 4. Analiza conținutului de polifenoli a mostrelor de piersici deshidratate prin aplicarea microundelor cu magnetronul de 600W

Proba	Abs.	Abs. finala	Conc. mg/mL	Conc. Finala	Continut polifenoli mg AG/g planta	Continut polifenoli mg AG/100 g planta
120W	1,57	0,6568	0,41	6,62	28,75	2875,15
120W	1,61	0,6045	0,38	6,10	27,13	2713,20
150W	2,00	0,9110	0,61	8,25	35,57	3557,25
150W	1,91	0,8920	0,57	8,11	34,13	3413,71
230W	1,85	0,7565	0,52	7,15	29,00	2900,45
230W	1,80	0,7310	0,50	7,58	30,55	3055,43

Tabelul 5. Analiza conținutului de polifenoli a mostrelor de piersici deshidratate prin aplicarea microundelor cu magnetronul de 900W

Proba	Abs.	Abs. finala	Conc. mg/mL	Conc. Finala	Continut polifenoli mg AG/g planta	Continut polifenoli mg AG/100 g planta
270W	2,77	0,7578	0,51	7,72	42,37	4237,17
270W	2,02	1,01	0,69	10,39	41,55	4155,89
225W	2,13	1,1109	0,77	11,51	46,02	4602,43
225W	2,50	0,932	0,80	12,78	40,58	4058,48
180W	1,38	0,366	0,24	3,53	20,01	2001,00
180W	1,41	0,425	0,45	5,65	28,89	2889,90

Tabelul 6. Analiza conținutului de polifenoli a mostrelor de piersici deshidratate prin convecție și cu aplicarea microundelor

Proba	Abs.	Abs. finala	Conc. mg/mL	Conc. Finală	Conținut polifenoli mg AG/g planta	Conținut polifenoli mg AG/100 g planta
60°C+270W	1,7	1,8	1,13	16,91	40,257	40257,21
60°C+225W	1,66	0,66	0,9	18,01	50,31	5031,01
60°C+180W	1,65	0,65	0,44	6,60	29,639	29639,12

Tabelul 7. Analiza conținutului de polifenoli a mostrelor de piersici deshidratate cu aplicarea microundelor și convecție

Proba	Abs.	Abs. finala	Conc. mg/mL	Conc. Finală	Conținut polifenoli mg AG/g planta	Conținut polifenoli mg AG/100 g planta
225W+50°C	1,34	0,32	0,20	3,05	12,20	1220,14
225W+60°C	1,40	0,39	0,25	3,75	15,00	1500,43
225W+70°C	1,15	0,14	0,07	1,06	4,26	425,57

Concluzie: În urma cercetării procesului de uscare a piersicilor sau analizat mai multe soiuri SPRINGCREST, REDHAVEN, CARDINAL, dar cel mai bun soi pentru cercetare sunt piersiciile REDHAVEN. Din punct de vedere calitativ (conform analizei organoleptice, conținutului de zahăr, conținutul de polifenoli și activitatea antioxidantă) și economic (conform consumului de energie) sa constatat că la uscarea prin convecție temperatura optimă de uscare este în jur de 60°C, grosimea rondelei de ±3mm și viteza aerului de 2m/s; pentru uscarea cu aplicarea microundelor regimul optim

este de 225W cu aceiași parametri ai feliilor de piersic și al fluxului de aer; și pentru metoda combinată temperatura optimă de 60°C și regimul de 225W.

2.3. STUDIAREA MERELOR CA MATERIE PRIMĂ PENTRU DESHIDRATARE ȘI CA PRODUS BOGAT ÎN POLIFENOLI

Merele reprezintă circa 70% din suprafața totală de livezi din Moldova. În ceea ce privește volumul de producție și de export a fructelor uscate, merele ocupă locul trei. Actualmente, Registrul de Stat al Soiurilor de Plante din Moldova include 64 de soiuri diferite, dintre care soiurile Banana de Iarnă, Idared, Golden Delicious, Red Delicious, Mantuaner, Speranța, Șafran, etc. sunt utilizate pentru uscare. În dependență de tehnologia de uscare aplicată, merele uscate sunt divizate în două categorii principale: “inele” – mere rotunde decojite fără semințe în mijloc; și felii rotunde de măr cu pieliță și semințe. Prima categorie necesită echipament special de decojire, tăiere și extragere a semințelor, pe când a doua categorie nu are nevoie de aceste dotări. De obicei, merele “inele” sunt cu cel puțin 50% mai scumpe decât feliile și la moment, producția acestora este limitată la doar câteva companii bine echipate. Actualmente există o inițiativă de a lansa “chips-uri” din mere – un produs absolut nou pentru piața locală și care este destinat vânzării cu amănuntul. Producerea necesită materie primă de cea mai înaltă calitate, condiții speciale pentru depozitare și ambalaje de calitate superioară – toate acestea făcând produsul mai degrabă unul de “nișă” decât de uz industrial.

Tabelul 8. Compoziția fenolică a pielii diferitor soiuri de mere, mg/100g

	Soiuri de mere						
Compus fenolic	Gala	Golden Delicious	McIntosh Summerland	Paula Red	Primevert	Reinette Russet	Spartan
Acid clorogenic	112,1	99,3	122,7	113,8	35,2	277,2	122,5
Acid neoclorogenic	0,0	5,7	18,8	15,6	ND	27,6	17,9
Acid p-cumaroilchinic	14,2	11,2	44,5	32,3	14,9	69,6	13,6
Total acizi hidroxicinamici	126,3	127,0	219,5	186,9	51,1	396,6	154,0
Catehina	13,9	6,7	23,7	104,0	23,5	69,9	39,6
Epicatehina	269,4	203,3	195,0	277,1	445,2	214,8	207,4
Procianidina B1	32,3	19,4	185,7	44,7	49,8	59,2	43,3
Procianidina B2	208,4	168,6	115,7	148,1	282,5	228,1	142,1
Total procianidine	607,9	455,5	617,1	688,7	974,1	730,3	555,5
Cianidin-3-galactoozid	77,9	0,0	46,5	77,4	168,4	0,0	105,4
Cianidin-3 galactozid echiv.	5,0	0,0	0,0	0,0	10,4	0,0	4,5

Total cianidine	82,9	0,0	46,5	77,4	178,8	0,0	109,9
Chercetin-3-galactozid	173,5	117,4	115,6	54,5	86,7	16,1	66,1
Chercetin-3-xilozid	31,3	23,0	100,9	26,7	33,6	13,0	20,3
Chercetin-3-arabinozid	34,7	30,6	51,5	38,2	72,1	16,4	20,6
Chercetin-3-ramnozid	12,1	4,4	108,6	45,6	11,6	29,7	44,5
Total flavonoli	422,4	319,4	514,3	220,0	487,6	90,6	194,1
Floridzin	31,6	73,5	43,5	49,8	86,3	668,6	40,0
Floretin derivat	49,6	57,1	29,5	26,7	24,6	485,2	22,1
Total dihidrohalcone	81,2	130,6	73,0	76,5	110,9	1286,7	62,1
Indicele fenolic total ^a	1320,5	1031,9	1470,1	1249,2	1802,3	2504,0	1075,3

Merele de soiul Idared sunt de mărime mare spre mijlociu, cu forma variabilă, de la globuloasă-aplatizată până la conică-globuloasă. Pelița este potrivit de tare, slab unsuroasă, lucitoare, acoperită cu pruină slabă. Culoarea acoperitoare - roșie, uneori cu striuri mai întunecate, foarte atrăgătoare și ocupă 45-80% din suprafața fructului. **Pulpa:** de culoare alba-crem de tărie mijlocie, fină, crocantă, succulentă, cu gust acidulat-dulce, bine echilibrat, foarte plăcut și aromă potrivită. **Perioada de coacere:** merele se coc și se culeg în decada a 2-a a lunii septembrie. **Productivitatea** pomilor este de 25-32 t/ha. Fructele sunt rezistente la manipulare și transport, se păstrează foarte bine 200-220 de zile, se folosesc în stare proaspătă și sunt indicate pentru industrializare.

Cercetarea cineticii procesului de uscare a merelor cu aplicarea microundelor

Pe parcursul studiului cineticii procesului de uscare sa utilizat soiul de mere Roșu, Idared cu umiditatea inițială 85%, sau folosit 5 regimuri ale microundelor și sau deshidratat până la umiditatea finală de 18%, respectiv este observabil dependența duratei de uscare în funcție de puterea microundelor pentru un regim mai intensiv se manifestă o durată de uscare mai redusă. Figura 21

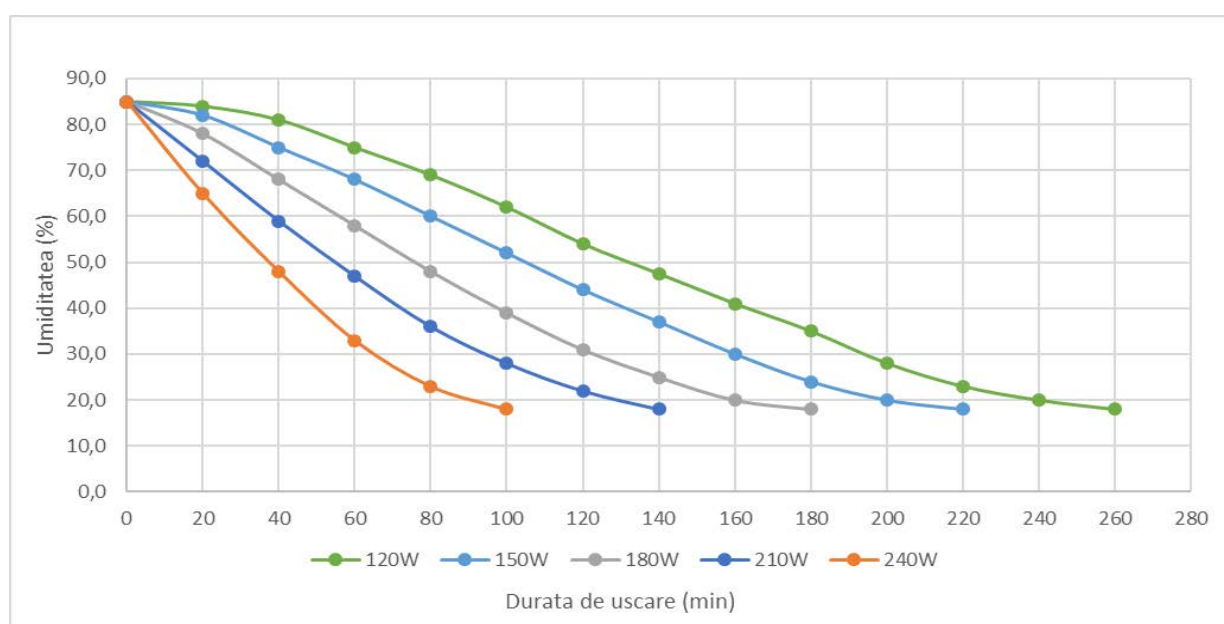


Figura 21. Curba de uscare a merelor Idared cu aplicarea microundelor

Sau elaborat curbele vitezei de uscare la aceleași regimuri ale microundelor, conform caracterului geometric al acestor curbe se observă prezenta acelor trei perioade clasice de uscare I-de încălzire a produsului, II-de evaporare constantă a umidității, II- de descreștere a vitezei de uscare. se poate de afirmat că cu cât viteza de uscare este mai înaltă cu atât perioada a doua de evacuare a umidității constante este mai redusă ce diminuează considerabil durata de uscare al întregului proces. Figura 22

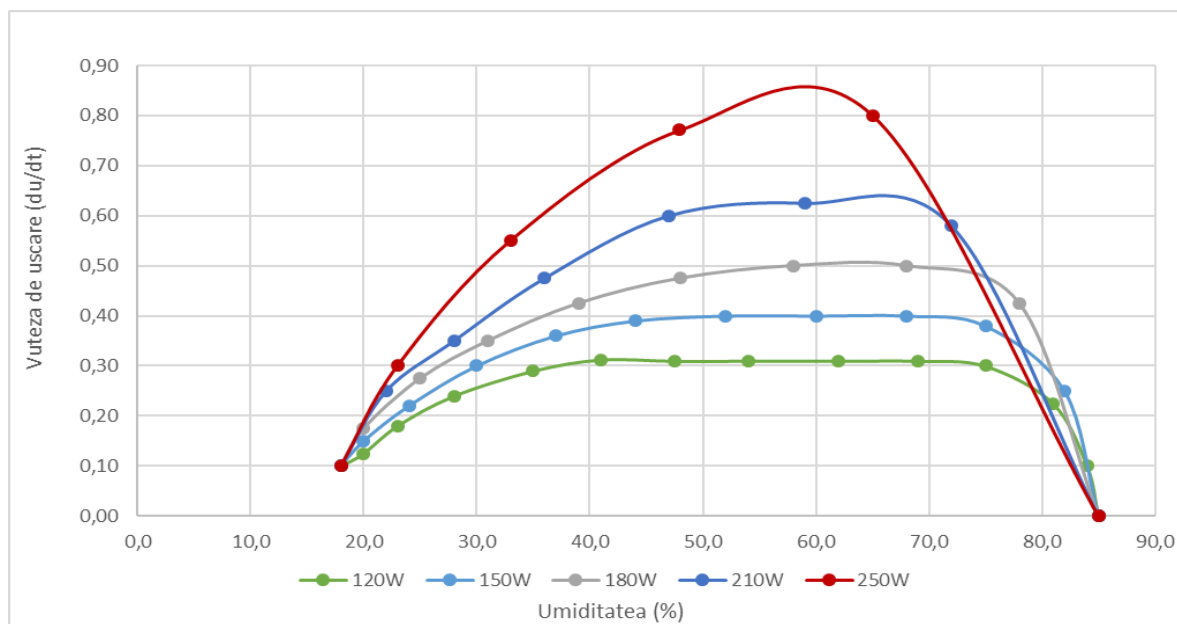


Figura 22. Curba vitezei de uscare a merelor Idared cu aplicarea microundelor

Cercetarea cineticii procesului de uscare a merelor prin convecție

În urma studiului cineticii procesului de uscare a merelor Idared cu aplicarea ca sursă de energie clasică convecția cu cinci regimuri termice 50 - 90°C, sau obținut curbele de uscare cu același caracter clasic, evident durata de uscare în acest caz se majorează cu aproximativ 20-30 minute. Figura 23

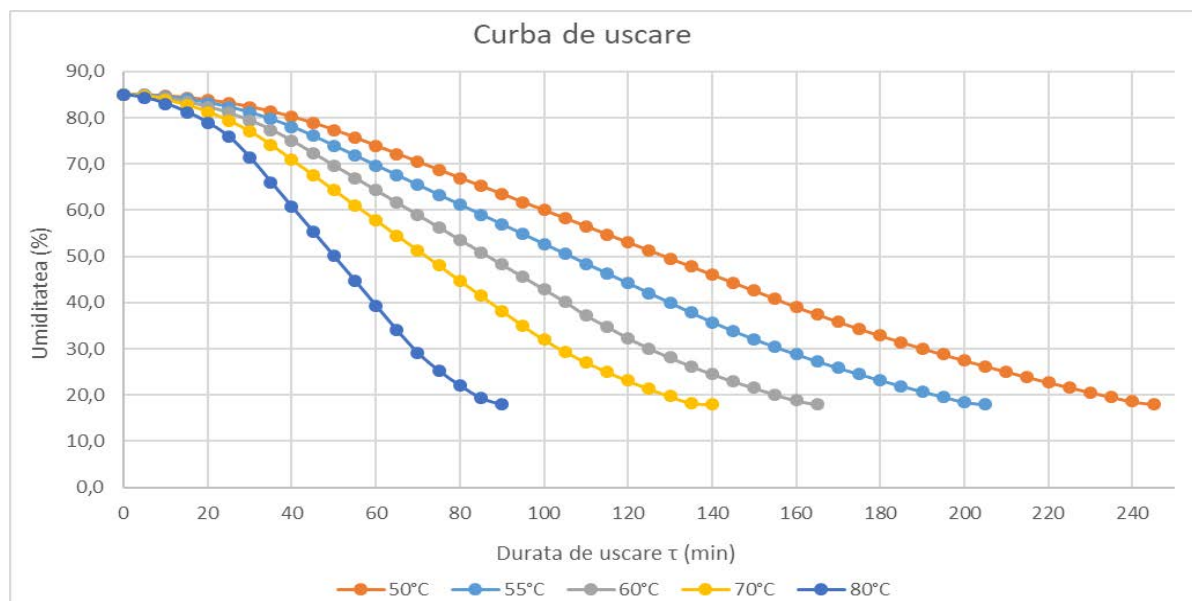


Figura 23. Curba de uscare a merelor Idared prin convecție

Forma clasică al geometriei curbelor vitezei de uscare este identică atât pentru uscarea cu aplicarea microundelor cât și pentru uscarea prin convecție, în acest caz pentru valoarea temperaturii de 50°C ($du/d\tau$) este egal cu 0,33, pentru 55°C – 0,42 pentru 60°C - 0,53, pentru valoarea temperaturii de 70°C - 0,65, și pentru valoarea temperaturii de 80°C valoarea raportului ($du/d\tau$) este egal cu 0,79, concludem că curbele și vitezele de uscare cu aplicarea convecției ca sursă internă de căldură au un caracter mai uniform în comparație cu cinetica în cazul aplicării microundelor. Figura 24

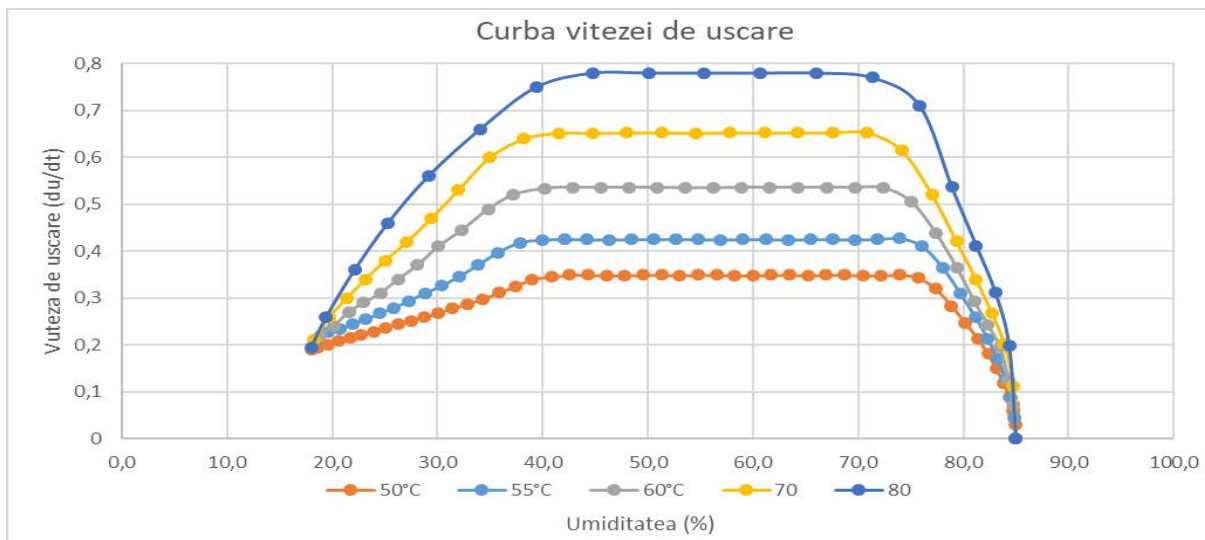


Figura 24. Curba vitezei de uscare a merelor Idared prin convecție

Cercetarea cineticii procesului de uscare a merelor cu aplicarea microundelor și convecției

În urma cercetării cineticii procesului de uscare a merelor cu aplicarea diferitor surse de energie sa ajuns la concluzia de a combina microundele cu convecție și aer în vederea reducerii duratei de uscare respectiv a consumului de energie. Rezultatele obținute sunt următoarele pentru parametrul combinat de **180W+50°C** sa obținut durata de uscare de **160-140 min.**, pentru **180W+55°C** sa obținut **140-120 min.**, pentru **180W+60°C** sa obținut **120-100 min.**, pentru **180W+70°C** sa obținut **100-80 min.**, și pentru **180W+80°C** sa obținut **80-60 min.** Figura 25

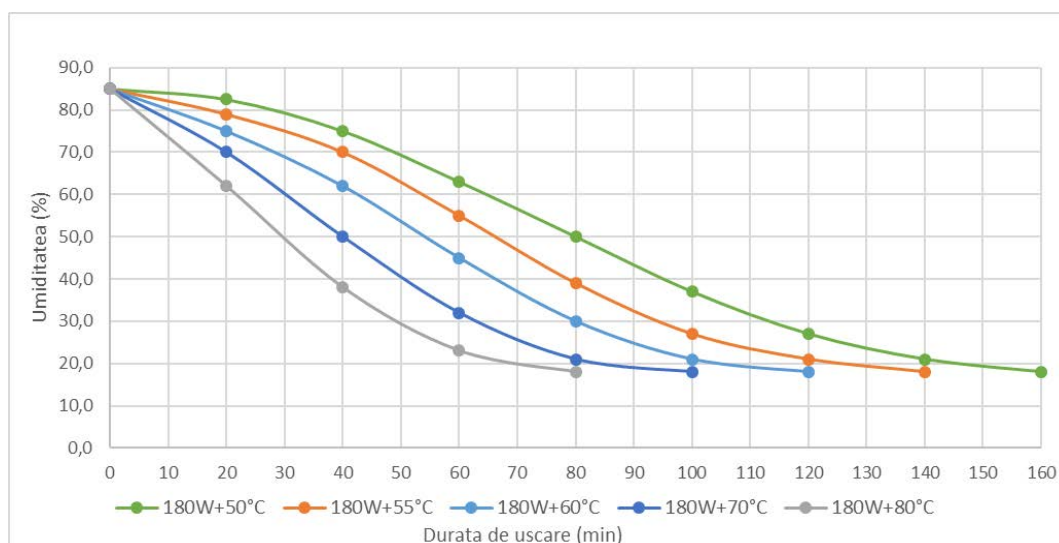


Figura 25. Curba de uscare a merelor Idared cu aplicarea microundelor și convecției

Respectiv și curba vitezei de uscare se modifică crescând **180W+50°C** sa obținut **0,60.**, pentru **180W+55°C** sa obținut **0,70.**, pentru **180W+60°C** sa obținut **0,80.**, pentru **180W+70°C** sa obținut **1,00.**, și pentru **180W+80°C** sa obținut **1,20.**, datorită metodei combinate viteza de uscare crește ceea ce duce la reducerea duratei de uscare și a consumului de energie. Figura 26

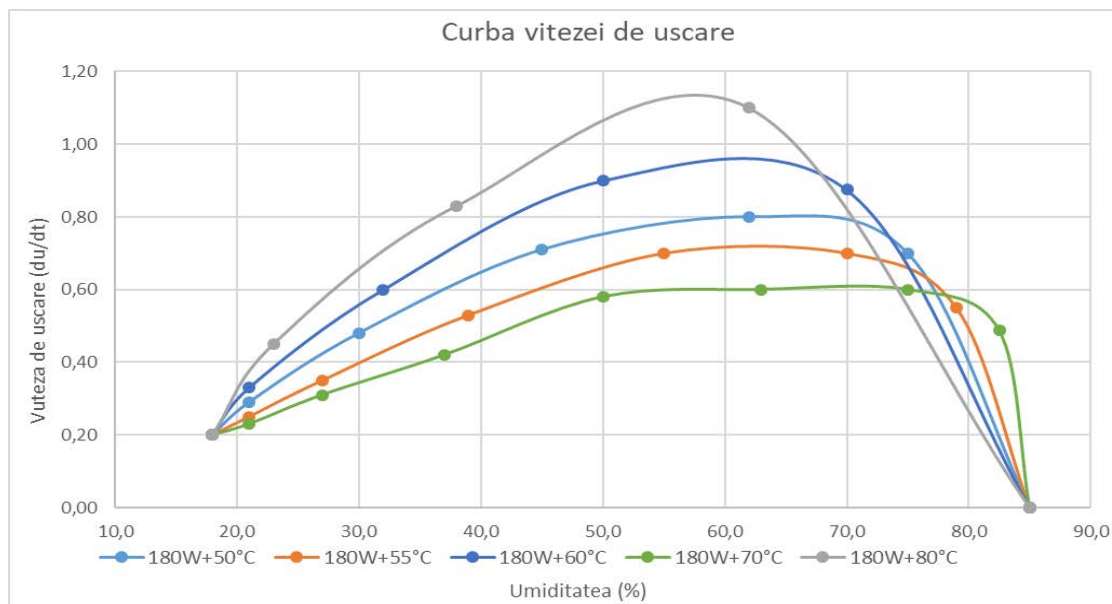


Figura 26. Curba vitezei de uscare a merelor Idared cu aplicarea microundelor și convecției

Conform scopului propus este de a identifica metodele de deshidratare cu obținerea produsului finit cu un efect redus de brunificare.. Polifenolii reprezintă compuși biologic activi care manifestă caracter antioxidant prin inhibarea radicalilor liberi și respectiv încetinirea proceselor oxidative și de alterare a produselor alimentare.



Figura 27. Pregătirea probelor

Principiul metodei: Determinarea conținutului de polifenoli prin măsurarea densității optice a unui extract primar care prin complexare a reactivului Folin-Ciocalteu absoarbe în domeniul VS la lungimea de undă la $\lambda=765$ nm.

Reactivi și materiale: reactiv Folin-Ciocalteu, Carbonat de Sodiu (10%), Acid Galic, apă distilată, balon cotat (10 ml), cuvă de cuarț (10 mm).

Mod de lucru: Pentru determinarea conținutului total de polifenoli a fost folosită reacția cu reactivul Folin Ciocalteu. Pentru analiză într-un balon cotat de 10 ml se dozează 5 ml apă bidistilată, 1 ml probă analizată și 0,5 ml reactiv Folin-Ciocalteu și se agită. După 3 minute se adaugă 1,5 ml Carbonat de Sodiu (10%) și se aduce până la cotă cu apă bidistilată. Soluția obținută se plasează pe baia de apă la temperatura de 50°C pentru 16 min, după care se răcește până la temperatura camerei. În continuare se va citi absorbanta la spectrofotometrul "LLG uniSPEC -2" la $\lambda=765$ nm cu o cuvță de cuarț de 10 mm în comparație cu apă bidistilată. Rezultatele conținutului total de polifenoli, exprimate în mg AG/100 g au fost obținute cu ajutorul curbei de calibrare a acidului galic ($y=1,4x+0,0037$, $R^2=0,999$)



Figura 28. Mostrele cu mere uscate la diferite temperaturi și diferite regimuri

În urma cercetării probelor de mere deshidratate în laboratorul de cercetare din cadrul UTM sau obținut următoarele rezultate:

Tabelul 9. Conținutul de polifenoli în mere proaspete

	Abs.	Abs. finală	Conc.mg/ml	conc finală	Continutul de polifenoli mg AG/g	Continutul de polifenoli mg AG/100g
Mere proaspete	0,52	0,12	0,06	0,89	3,54	354,00

Este observabil că o dată cu uscarea produsului are loc creșterea conținutului de polifenoli, conform tabelului de mai jos uscarea cu aplicarea microundelor la regimul de 180W este optim pentru a obține un efect redus de brunificare.

Tabelul 10. Conținutul de polifenoli la uscarea merelor prin metoda cu microunde

SHF	Abs.	Abs. finală	Conc.mg/ml	conc finală	Continutul de polifenoli mg AG/g	Continutul de polifenoli mg AG/100g
210W	1,98	1,98	1,39	20,85	60,42	6041,71
180W	2,03	1,3933	0,97	14,53	67,13	6712,71
150W	2,11	1,4734	1,03	15,39	51,56	5156,00

La uscarea merelor prin metoda clasică – convecție se cunoaște conform literaturii de specialitate că temperatura optimă de uscare este cuprinsă între 55 - 65°C acest lucru este valabil și validat conform tabelului de mai jos se observă că a temperatura de 60°C persistă conținutul maxim de polifenoli ceea ce semnifică reducerea fenomenului de brunificare.

Tabelul 11. Conținutul de polifenoli la uscarea merelor prin metoda convecției

Convecție	Abs.	Abs. finală	Conc.mg/ml	conc finală	Continutul de polifenoli mg AG/g	Continutul de polifenoli mg AG/100g
50 ⁰	2,03	1,39	0,97	14,55	55,19	5719,14
55 ⁰	2,04	1,3964	0,97	14,57	48,26	6226,00
60⁰	1,99	1,99	0,94	14,04	50,16	6516,43
70 ⁰	2,14	1,50	1,04	15,66	42,64	5563,57
80 ⁰	2,00	1,36	0,94	14,15	30,59	5059,29

Merele uscate prin aplicarea microundelor la 180W și convecției la 60°C prezintă proba cu un rezultat al conținutului de polifenoli înalt, 65,26 și cu cea mai scurtă durată de uscare 120 minute.

Tabelul 12. Conținutul de polifenoli la uscarea merelor prin aplicarea microundelor și convecției

Microunde + Convecție	Abs.	Abs. finală	Conc.mg/ml	conc finală	Continutul de polifenoli mg AG/g	Continutul de polifenoli mg AG/100g
50°+180W	1,547	1,42	0,71	12,85	58,14	5814,52
60°+180W	1,951	1,9	0,92	14,32	65,26	6526,26
70°+180W	1,352	1,0	0,75	11,21	40,52	6052,61

Concluzii: În urma cercetării cineticii procesului de uscare a merelor cu aplicarea diferitor surse de energie ca microunde, convecție, combinată, sa conclus că utilizarea metodei combinate duce la o accelerare a procesului de uscare respectiv reduce durata și consumul de energie, dar și posedă un conținut înalt de polifenoli.

2.3. SIMULAREA COMPUTERIZATĂ AL FENOMENULUI DE CURGERE A FLUIDULUI ÎN TIMPUL USCĂRII PRODUSELOR VEGETALE

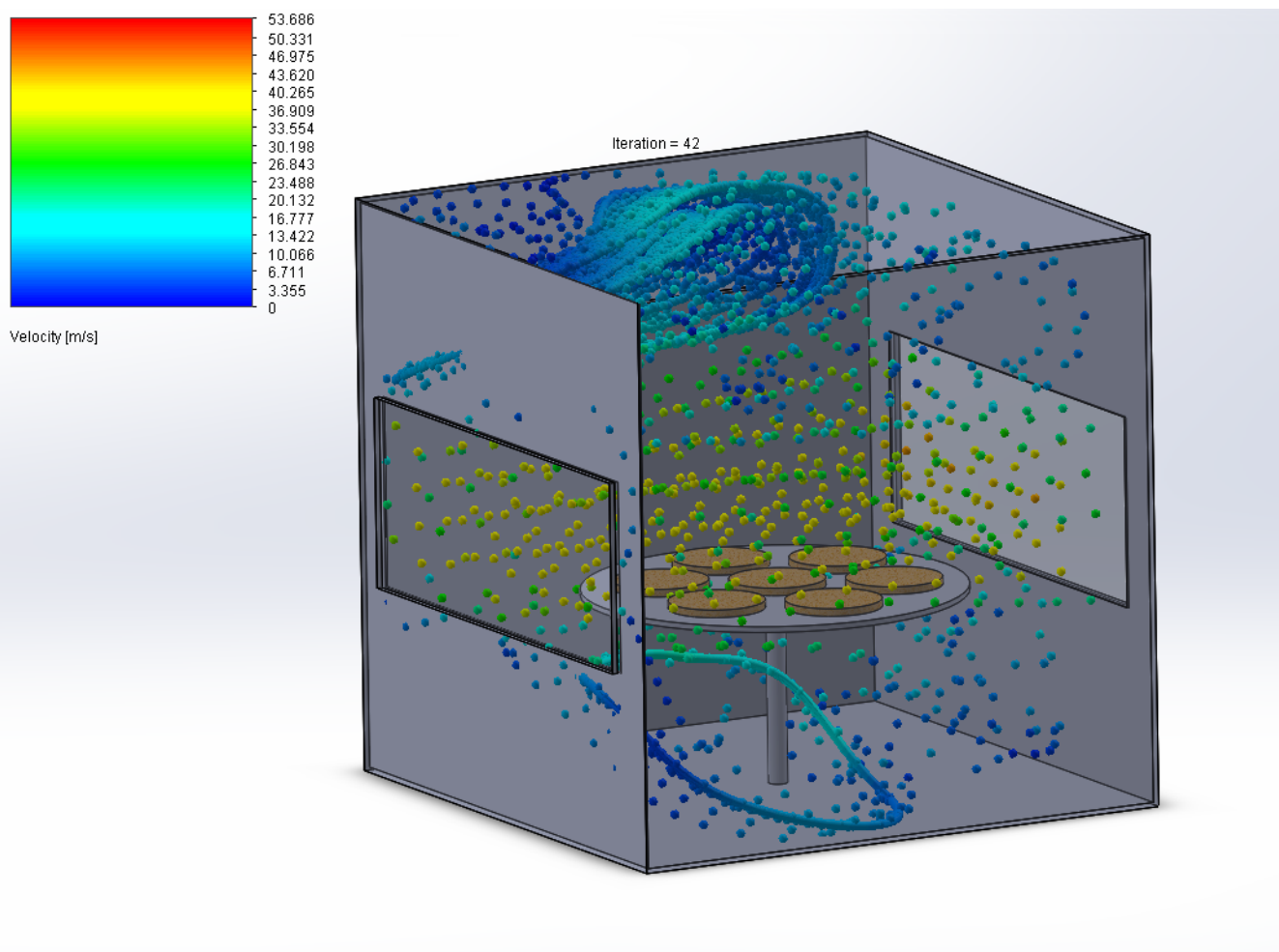


Figura 29. Distribuția vitezei fluxului de aer în camera de uscare

2.4. STUDIEREA SEMINTELOR DE STRUGURI CA MATERIE PRIMĂ PENTRU DESHIDRATARE

La moment în Republica Moldova viticultura nu și-a pierdut relevanța, iar strugurii se bucură în continuare de popularitate sporită. Totodată, s-a constatat că beneficii unice în domeniul nutriției, cosmeticii și tratării multiplelor maladii posedă și sâmburii de struguri, adesea neglijați. Semințele de struguri sunt bogate în antioxidanți puternici (ca proantoțianidina) și compuși naturali biologici activi ca calciu și potasiu, conțin cantități mari de vitamina E. Proprietățile sporite antioxidante ale semințelor din struguri ajută la distrugerea radicalilor liberi din organism, care, la rândul său, ajută să evite îmbătrânirea prematură. Tocoferolul (vitamina E) joacă un rol important în procesele vitale, care au loc permanent în corpul uman.

Luând în considerație că în struguri se conțin până la 7% semințe, în urma procesării acestora, în Republica Moldova se obțin anual cca. 18-20 mii tone semințe de struguri. Prelucrarea industrială a semințelor de strugure reflectă o serie de operații tehnologice specifice inclusiv și uscarea. Una din metodele de intensificare a procesului de uscare a semințelor de struguri este uscare în strat suspendat cu aplicarea surselor interne de căldură – microundelor. Această metodă presupune sporirea calității produsului uscat și reducerea consumului de energie, întrucât fiecare sămânță de produs este uscată în parte.

Pentru proiectarea instalației de uscare descrisă mai jos a fost folosit soft-ul de proiectări **3D SolidWord**. În calitate de sursă de energie termică s-a acceptat un magnetron de 900 W de tip **Panasonic 2M210-M1**. Pentru studiul cineticii procesul de uscare a produselor granulare în strat suspendat, s-a elaborat o instalație de uscare (fig 1). În calitate de sursă de energie termică sa folosit energia câmpurilor electromagnetice de frecvență supraînaltă, care permite încălzirea numai a produsului, excluzând astfel pierderile de căldură eliminate din camera de lucru cu agentul de uscare (aerul) și reducându-le la minim pe cele de la pereți în mediul înconjurător. Totodată metoda dată de aplicare a energiei termice permite localizarea procesului de încălzire (uscarea) numai în zona de formare a câmpului electromagnetic, care coincide cu cea de suspendare (plutire) a granulelor umede, asigurând astfel o bună autoselecție a particulelor uscate.

Instalația de uscare este alcătuită din carcasa 1 (figura 30) pe care sunt montate elementele constructive, și anume: blocul de alimentare cu produs alcătuit din ecluza 5 acționată de motorul electric 12; sistemul de alimentare cu agent de uscare (aer), alcătuit din ventilatorul 4 acționat de motorul electric 13 și filtrul de aer 11; tubul aerodinamic 6 cu secțiune de formă conică pe care este montată camera der uscare 8 înzestrată cu magnetronul 7; sistemul de evacuare alcătuit din țeava de evacuare 9 și ciclonul 10.

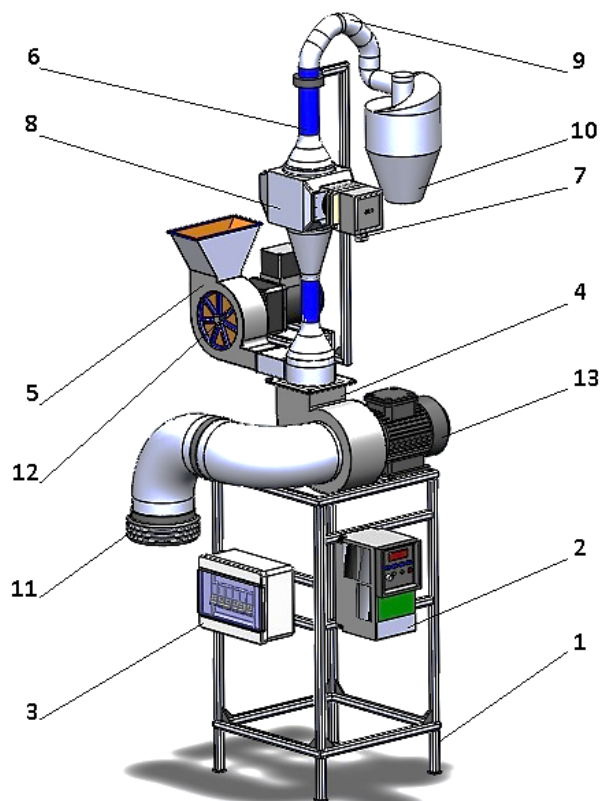


Figura 30. Vederea generală a instalației de uscare în strat suspendat:

1 - carcasă; 2 – convertor de frecvență; 3 – panou de comandă; 4 - ventilator; 5 - ecluză; 6 – tub aerodinamic; 7 – magnetron; 8 – camera de uscare; 9 – țeavă de evacuare; 10 - ciclon; 11 - filtru; 12 – motor electric; 13 – motor electric;

La instalație au fost anexați senzori de temperatură și umiditate a aerului montați la intrarea și la ieșirea din tubul aerodinamic 6. Viteza aerului se reglează prin modificarea turației ventilatorului 13 cu ajutorul convertorului de frecvență 2. Temperatura produsului în zona de încălzire cu microunde se măsoară cu **termovizorul tip EC060V**, eroarea de măsurare $\pm 0,99^{\circ}\text{C}$. Scăderea de masă a produsului se determină prin extragerea periodică a probelor din zona de uscare și cântărirea ulterioară a acestora pe **cântarul electronic tip JJ2000B**, eroarea de măsurare $\pm 0,01\text{g}$.

Considerînd o particulă independentă, pentru antrenarea ei pe verticală este necesar ca viteza curentului de aer să fie mai mare decît viteza de plutire. În acest caz viteza cu care particulele se ridică este egală cu viteza curentului de aer minus viteza de plutire a particulei. Există deci o viteză relativă între curentul de aer și material. Deoarece în practica industrială particulele transportate au diferite forme și dimensiuni, prin alunecare relativă se înțelege alunecarea medie a acestora. În cazul limită, când viteza aerului este egală cu viteza de plutire a materialului ($v_a = v_p$), viteza relativă $v_r = v_a$ și $S=1$, nu există transport de material pe conducta verticală. În cazul în care $v_a > v_p$, factorul de alunecare este $S < 1$, făcându-se astfel transportarea materialului pe conductă. Pentru ca materialul solid, cu care se alimentează conducta verticală, să nu producă o creștere excesivă a concentrației amestecului, este necesar ca factorul de alunecare să ajungă la valori mai mici de 0,5 pentru granule mari și 0,2 pentru praf. Pentru fiecare caz în parte, există un regim energetic optim, cînd consumul de energie pentru

transportul unității de material este optim. În cazul transportului pe verticală se deosebesc numai două domenii, care depind de concentrația amestecului și de condițiile inițiale de fluidizare a materialului.

Domeniul **I** la transportul pneumatic pe verticală se caracterizează prin concentrații inițiale ale amestecului care nu depășesc 400 N de material / 10 N de aer. În acest domeniu particulele de material sunt antrenate de curentul de aer, fiind vorba de particule solide aflate în suspensie în curentul de aer.

Domeniul **II** la transportul pneumatic pe verticală se caracterizează prin faptul că, materialul se aduce în stare de fluidizare înainte de a pătrunde în conductă, iar amestecul fluidizat, cu proprietăți aflate aproape de cele ale unui lichid, este împins pe conducta verticală de suprapresiunea formată la capul de alimentare. Concentrația amestecului, în domeniul II de funcționare pe verticală, variază între 1000 și 5000 N de material / 10 N de aer. În *domeniul I*, transportul pneumatic pe verticală poate funcționa cu diverse granulații, iar în *domeniul II* numai cu materiale măcinate fin.

Forțele care acționează asupra particulelor solide aflate într-un curent de aer

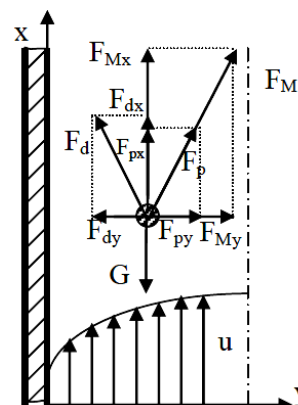
Conform literaturii de specialitate asupra unei particule solide aflate într-un curent de aer vertical ascendent acționează o serie de forțe. O parte din acestea sunt prezentate în figura 31. Din analiza acestor forțe, care acționează asupra particulei solide într-un curent de aer, se observă că avem:

- forțe masice care sunt proporționale cu masa particulei;
- forțe de suprafață al căror modul este proporțional cu mărimea suprafeței particulei.

Principalele forțe masice sunt:

- forța de greutate G ;
- forța Arhimedică A ;
- forța de inerție Fi .

Figura 31. Distribuția forțelor care acționează asupra particulei solide aflate într-un curent turbulent vertical.



Forțele de suprafață sunt:

- forța de presiune dinamică frontală Fd ;
- forța de rezistență la înaintare FR ;
- forța portantă Fp ;
- forța Magnus FM .

Comportamentul unei particule într-un curent de aer vertical.

Principalele forțe care acționează asupra unei particule solide aflate într-un curent de aer ascendent sunt prezentate în figura 31

În funcție de raportul dintre cele două forțe (forța gravitațională G și forța portantă Fp), o particulă se poate situa în următoarele situații:

- particula *plutește* în curentul de aer ascendent când $G = F_p$;
- particula *sedimentează* sub acțiunea curentului de aer vertical ascendent pentru $G > F_p$;
- particula *este antrenată* de curentul de aer ascendent în cazul $G < F_p$.

Plutirea particulei solide în curentul de aer

Ecuția de mișcare a particulei solide aflate într-un curent de aer vertical ascendent, conform figura 32

este:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = G - F_R - A$$

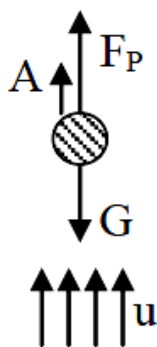


Figura 32. Forțele care acționează asupra unei particule aflate într-un curent de aer ascendent.

unde: $m \cdot \frac{dv}{dt}$ - Forța de inerție;

G – greutatea proprie a particulei, N;

FR – forța rezistentă opusă de curentul de aer, N;

A – forța lui Arhimede, egală cu masa volumului dislocuit de particulă, N.

Admitem că:

ρ - densitatea produsului kg/m^3

$$\rho = 844.444 \text{ m}^{-3} \cdot \text{kg} \quad (\text{pentru semințe înainte de uscare});$$

$$\rho_m := 702 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (\text{pentru semințe cu umiditate de 26.7\%});$$

$$\rho_f := 502 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (\text{pentru semințe uscate});$$

ρ - densitatea aerului kg/m^3

$$\rho_{\text{aer}} := 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad g = 9.807 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

d - diametrul particulei, m

$$d := 0.0037 \text{ m}$$

Calculul criteriului Reynolds:

Pentru $R_e > 500$ coeficientul de rezistență a particulei ψ , cu diametrul ($d_p = 3 - 6 \text{ mm}$) este egal cu $\psi = 0,44$.

v - viteza aerului în conductă, m/s

$$v := 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

d_c - diametrul conductei, m

$$d_c := 0.02 \text{ m}$$

ν - viscozitatea cinematică a aerului m^2/s

$$\nu := 1.51 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\text{Ren} := \frac{v \cdot d_c}{\nu} = 3.974 \times 10^3$$

Determinăm vitezele de plutire a semințelor umede, cu umiditatea de 26.7% și a semințelor uscate:

ψ - coeficient de rezistență frontală a particulei

$$v_{\text{part}} := \sqrt{\frac{4 \cdot \rho \cdot g \cdot d}{3 \cdot \rho_{\text{aer}} \cdot \psi}} = 8.474 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ viteza de plutire a semințelor umede, m/s}$$

$$v_{\text{part}} := \sqrt{\frac{4 \cdot \rho_m \cdot g \cdot d}{3 \cdot \rho_{\text{aer}} \cdot \psi}} = 7.726 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ viteza de plutire a semințelor cu umiditatea de 26,7\%, m/s}$$

$$v_{\text{part}} := \sqrt{\frac{4 \cdot \rho_f \cdot g \cdot d}{3 \cdot \rho_{\text{aer}} \cdot \psi}} = 6.534 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ viteza de plutire a semințelor uscate, m/s}$$

Simularea la calculator a dinamicii parcurgerii agentului de uscare împreună cu semințele de struguri pentru diverse forme ale camerei de lucru sa realizat cu ajutorul soft-ului ANSYS folosindu-se de legile metodelor numerice.

În graficul de mai jos sunt reprezentate variația vitezelor de plutire a zece semințe umede. Deci se observă că viteza medie de plutire a semințelor umede este mai mare decât viteza medie de plutire a semințelor cu umiditatea de 26,7%, și a semințelor uscate.

Tabelul 13. Variația vitezelor de plutire a zece semințe umede

V_{pt} , m/s	V_{pe} , m/s	W , %
6,5	6,745	3
7,7	7,81	26,7
8,5	9,07	43,5

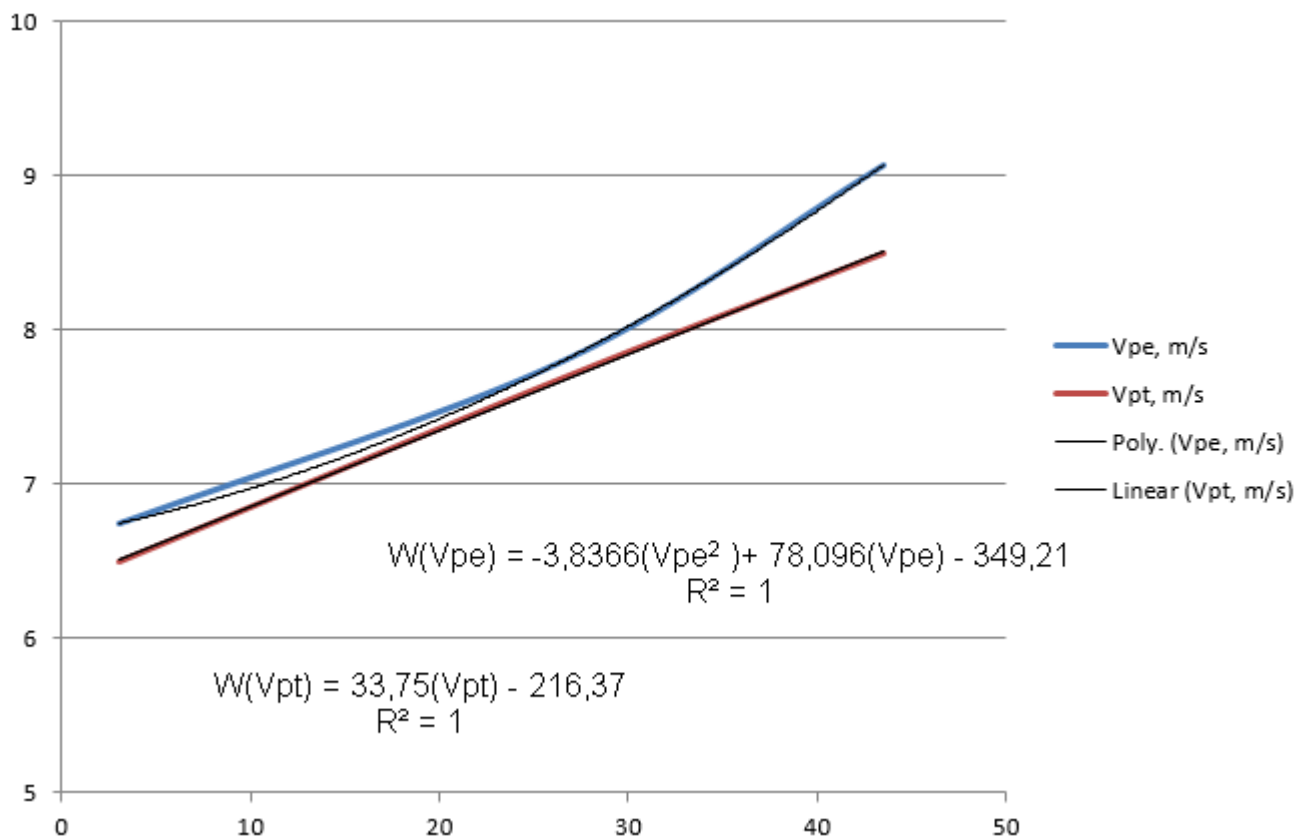


Figura 33. Graficul dependenței vitezelor de plutire a semințelor, de umiditatea produsului

unde:

V_{pt} - viteza teoretică de plutire a particulei, m/s

V_{pe} - viteza experimentală de plutire a particulei, m/s

W – umiditatea produsului, %

Forma geometrică a tubului aerodinamic 6 a fost elaborată în urma simulării la calculator a dinamicii curgerii amestecului de aer-semințe prin acesta (fig. 34) din considerentele obținerii în zona de uscare a unui strat stabil de semințe în stare suspendată. Astfel, în zonele B și C viteza amestecului este maximală (cca. 15 m/s), deci particulele le parcurg fără de a se reține, iar în zona B (alcătuită dintr-un difuzor și confuzor suprapuse), datorită lărgirii lente a diametrului difuzorului, viteza aerului scade până la valoarea celei de plutire a semințelor umede (8,5 m/s).

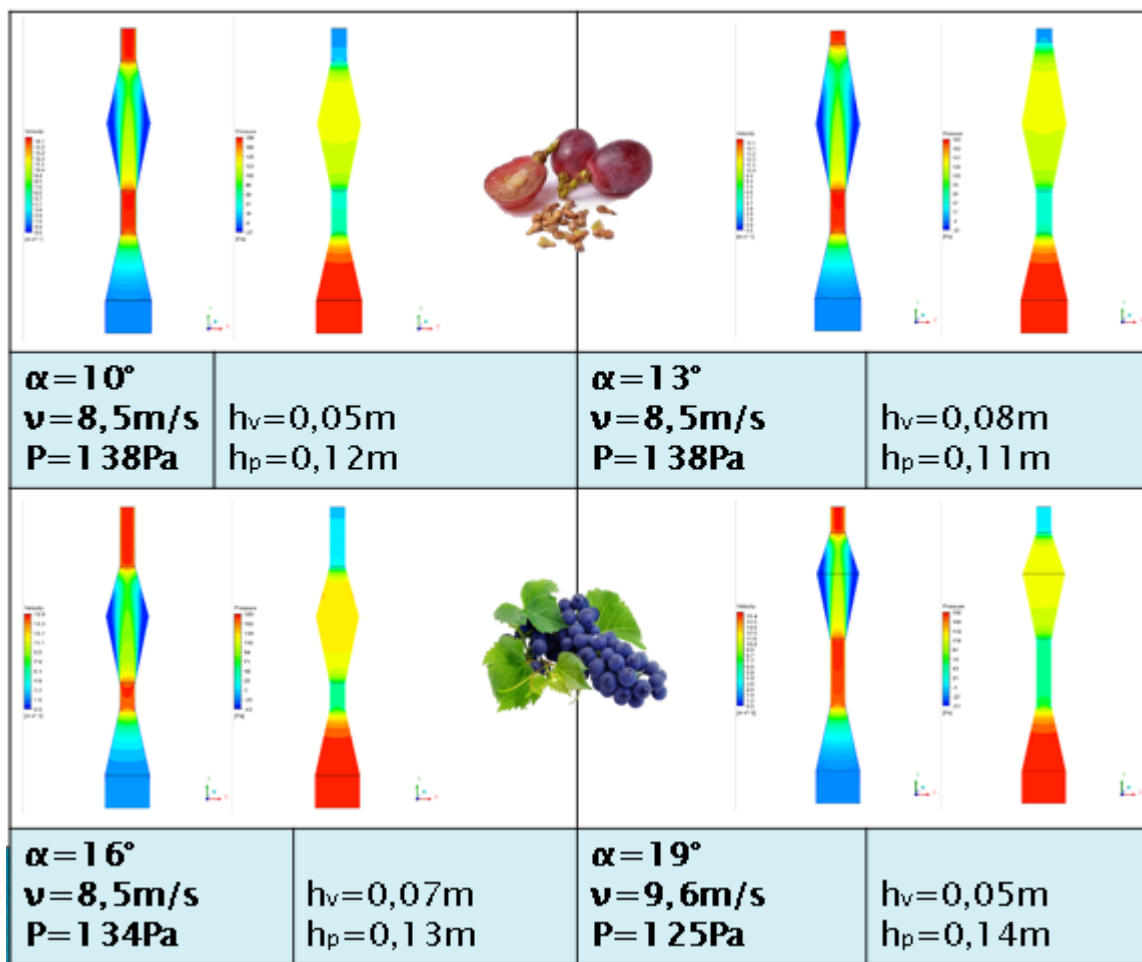


Figura 34. Simularea comportării debitului de aer în tubul aerodinamic

Datorită forțelor de inerție, zona în care se stabilește viteza aerului egală cu cea de plitire a semințelor umede sa obținut în cea de a doua jumătate a confuzorului. Anume aici și are loc încălzirea produsului în câmp de microunde. Odată cu uscarea (scăderea de masă) a particulelor, viteza de plutire scade și ea, astfel, încâ particulele deja uscate sunt antrenate de către fluxul de aer și deplasate din zona de încălzire. Datorită îngustării în continuare a confuzorului, viteza aerului crește, ceea ce asigură o mai bună antrenare a granulelor uscate, care în continuare se elimină din tubul aerodinamic datorită vitezei sporite a amestecului în zona A. Procesul de uscare este operația prin care apa din materialele solide sau lichide este îndepartată cu ajutorul aerului, care are rol dublu: de a aduce căldura necesară vaporizării apei și de a evacua vaporii de apă rezultați prin încălzire. Motivul principal al uscării alimentelor este extinderea duratei de păstrare a acestora. De asemenea, se reduce corespunzător și activitatea enzimatică și viteza de producere a unor reacții nedorite.

În decursul efectuării experiențelor au fost uscate semințe de struguri de poamă. Procesul de uscare a acestor semințe sa efectuat prin uscarea în câmp SHF. Uscarea în câmp SHF a avut loc la diferite regimuri de lucru a magnetronului și anume la punctul 2, punctul 3, punctul 4 și punctul 5. Notăția acestor puncte este reprezentată în tabelul 14. Respectiv au fost calculate umiditățile pentru fiecare mostră la fiecare regim de lucru a magnetronului, după formula (1).

$$\text{Determinarea umidității: } w_f = \frac{m_{in} - (m_{in} - w_{in})}{m_{fin}} \cdot 100\% \quad (1)$$

unde: w_f – umiditatea finală, %;

w_{in} – umiditatea inițială, %

m_{in} – masa inițială, kg;

m_{fin} – masa finală, kg;

Rezultatele obținute au fost introduse în tabelul 2.4 de mai jos.

Tabelul 14. Notația punctelor (poziției)

Nr. punctului	Puterea, W	Timp de lucru, s	Timp mers în gol, s
<i>Punctul 2</i>	150	7,5	22,5
<i>Punctul 3</i>	230	11,5	18,5
<i>Punctul 4</i>	306	15,3	14,7
<i>Punctul 5</i>	370	18,5	11,5

Tabelul 15. Uscarea semințelor de struguri prin SHF

<i>Timpul, min.</i>	<i>Punctul 2</i>	<i>Punctul 3</i>	<i>Punctul 4</i>	<i>Punctul 5</i>
0	43,6	43,6	43,6	43,6
10	42	41,5	41	40
20	40	38	36	32
30	35	32	27	18
40	25	21	15	10
50	18	14,2	10	6
60	13,9	10,5	6,8	5,2
70	10	7,3	5,5	
80	7,3	5,5		
90	5,9			
100				

Deasemenea a fost stabilită dependența vitezei de uscare, de umiditatea produsului pentru fiecare regim de lucru al magnetronului. Datele obținute sunt reprezentate în tabelul 16

Tabelul 16. Viteza procesului de uscare în câmp SHF

U, %	Punctul 2	Punctul 3	Punctul 4	Punctul 5
	du/dt	du/dt	du/dt	du/dt
5,2	0,005	0,005	0,005	0,005
5,5	0,008	0,0085	0,0095	0,01
5,9	0,01	0,011	0,012	0,014
6	0,012	0,013	0,0145	0,017
6,8	0,013	0,015	0,0165	0,02
7,3	0,014	0,017	0,019	0,023
10	0,015	0,018	0,021	0,026
10,5	0,016	0,019	0,0225	0,028
13,9	0,0165	0,02	0,0235	0,029
14,2	0,0165	0,02	0,024	0,03
15	0,0165	0,02	0,024	0,03
18	0,0165	0,02	0,024	0,03
21	0,0165	0,02	0,024	0,03
25	0,0165	0,02	0,024	0,03
32	0,0165	0,02	0,024	0,03
35	0,0163	0,02	0,024	0,03
36	0,0159	0,0195	0,023	0,029
38	0,014	0,0185	0,021	0,0275
40	0,013	0,0165	0,019	0,025
41	0,012	0,014	0,016	0,021
41,5	0,01	0,011	0,013	0,017
42	0,007	0,008	0,0085	0,012
43,6	0,004	0,004	0,004	0,004

Uscarea prin convecție a avut loc la diferite regimuri de temperaturi și anume la 40°C, 50°C, 60°C și 70°C. Respectiv au fost calculate umiditățile pentru fiecare mostră la fiecare regim de temperatură. Rezultatele obținute au fost reprezentate grafic în (figura 34).

Cinetica procesului de uscare a semințelor de struguri în câmp SHF

Uscarea în câmp SHF a avut loc la diferite regimuri de lucru a magnetronului și anume la punctul 2, punctul 3, punctul 4 și punctul 5. Notația acestor puncte este reprezentată în tabelul 14. Respectiv au fost calculate umiditățile pentru fiecare mostră la fiecare regim de lucru a magnetronului, după formula (1). Rezultatele obținute au fost reprezentate sub formă de grafic în figura de mai jos. Figura 35

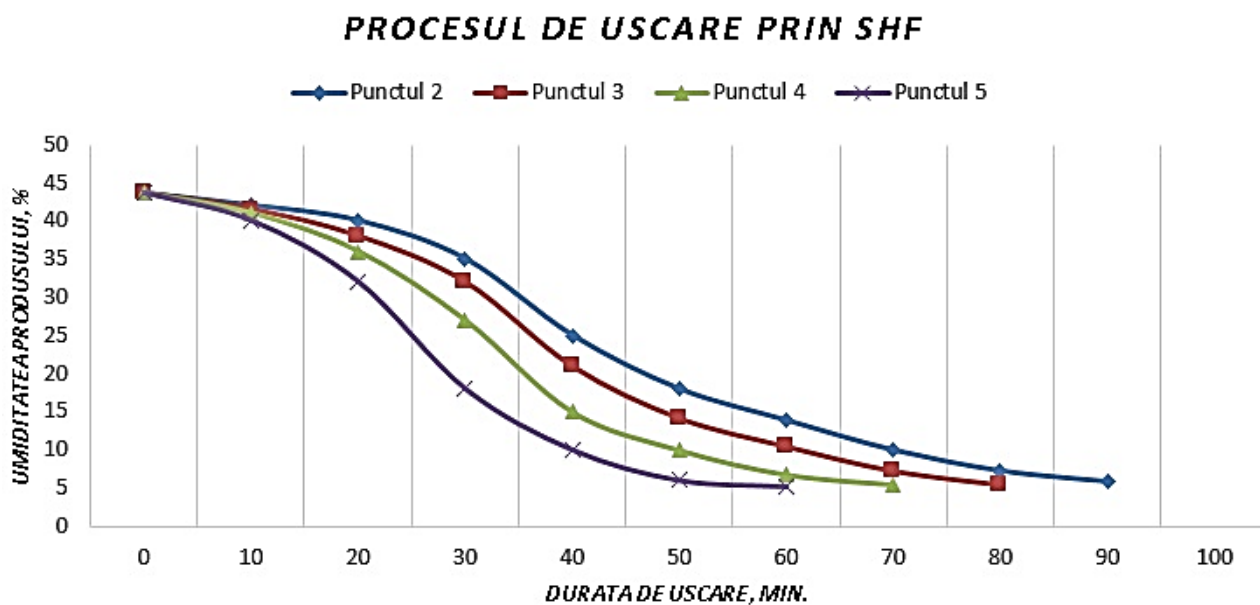


Figura 35. Graficul uscării în câmp SHF.

Deasemenea a fost stabilită dependența vitezei de uscare, de umiditatea produsului pentru fiecare regim de lucru al magnetronului și anume pentru punctele: 2, 3, 4, 5. Datele obținute sunt reprezentate grafic în figura 36.

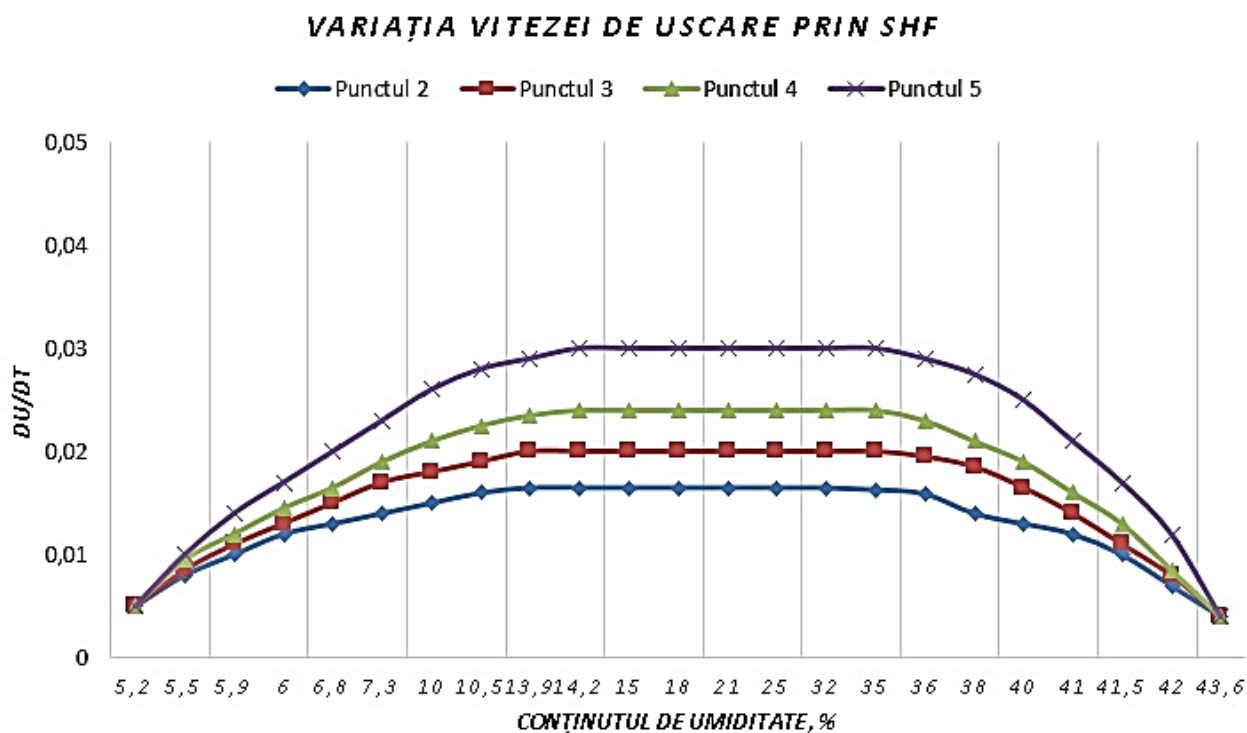


Figura 36. Graficul vitezei de uscare în câmp SHF.

2.5. ELABORAREA MODELULUI MATEMATIC PENTRU USCAREA PRODUSELOR VEGETALE UMEDE

Fructele proaspete pentru uscare sunt tăiate în rondele, în calitate de obiect al uscării, se pot prezenta ca plăci. În așa mod, vom soluționa problema pentru plăci la uscarea convectivă în prezența sursei interne de căldură. Placa nelimitată are grosimea $2H$. Ecuațiile diferențiale pentru transferul de masă și căldură pentru placa nelimitată în cazul procesului de uscare convectivă vor avea forma:

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = a_q \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\varepsilon r' c_T'}{c_q} \cdot \frac{\partial \Theta(x, \tau)}{\partial \tau} + \frac{Q}{c_q \rho} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \Theta(x, \tau)}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 \Theta(x, \tau)}{\partial x^2} + a_m \delta \cdot \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (2)$$

Condițiile de limită:

$$\lambda_q \frac{\partial t(H, \tau)}{\partial \tau} + \alpha [t_c - t(H, \tau)] - (1 - \varepsilon) r' \beta (\Theta(H, s) - \Theta_p) = 0 \quad (3)$$

$$\lambda_q \frac{\partial \Theta(H, \tau)}{\partial x} + \lambda_m \delta \frac{\partial t(H, \tau)}{\partial x} + \beta (\Theta(H, s) - \Theta_p) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial z(0, \tau)}{\partial x} = \frac{\partial \Theta(0, \tau)}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

Condițiile inițiale:

$$t(x, 0) = t_0$$

$$\Theta(x, 0) = \Theta_0$$

Rezolvare.

Introducem însemnările:

$$L[t(x, \tau)] = t_L(x, s)$$

$$L[\Theta(x, \tau)] = \Theta_L(x, s)$$

Aplicăm transformările lui Laplace la ecuațiile (4.1) și (4.2), primim:

$$s t_L(x, s) - t_0 = a_q t_L''(x, s) + \frac{\varepsilon \rho c_T'}{c_q} \tilde{S} \Theta_L(x, s) - \frac{\varepsilon \rho c_T'}{c_q} \Theta_0 + \frac{Q}{s c_q \rho} = 0 \quad (6)$$

$$s \Theta_L(x, s) - \Theta_0 = a_m \Theta_L''(x, s) + a_m \delta t_L''(x, s) \quad (7)$$

Ecuatia diferențială pentru temperatură $t_L(x,s)$ o găsim în felul următor. Din ecuația (6) determinăm $\Theta_L(x,s)$ și derivata a doua $\Theta''_L(x,s)$, le substituim în ecuația (4.7).

$$\Theta_L(x,s) = \left(st_L(x,s) - t_0 - a_q t'_L(x,s) + \frac{\varepsilon' c'_T}{c_q} \Theta_0 - \frac{Q}{\varepsilon c_q \rho} \right) \frac{c_q}{s r' c'_T s} \quad (8)$$

Prima derivată $\Theta'_L(x,s)$ va fi:

$$\Theta'_L(x,s) = (st'_L(x,s) - a_q t''_L(x,s)) \frac{c_q}{\varepsilon' c'_T s}$$

A doua derivată $\Theta''_L(x,s)$ va fi:

$$\Theta''_L(x,s) = (\ddot{st}_L(x,s) - a_q t^{IV}_L(x,s)) \frac{c_q}{\varepsilon' c'_T s} \quad (9)$$

Înlocuim (3) și (6) în ecuație:

$$\begin{aligned} & \left(st_L(x,s) - t_0 - a_q t''_L(x,s) + \frac{\varepsilon' c'_T}{c_q} \Theta_0 - \frac{Q}{s c_q \rho} \right) \frac{c_q}{\varepsilon' c'_T s} - \Theta_0 = \\ & = a_m \ddot{\alpha}_L(x,s) + a_m (\ddot{\tilde{st}}_L(x,s) - a_q t^{IV}_L(x,s)) \frac{c_q}{\varepsilon' c'_T s} \end{aligned}$$

Deschidem parantezele și simplificăm expresia dată:

$$\begin{aligned} & t_L(x,s) \frac{s c_q}{\varepsilon' c'_T} - \frac{t_0 c_q}{\varepsilon' c'_T} - t''_L(x,s) \frac{c_q a_q}{\varepsilon' c'_T} + \Theta_0 - \frac{Q c_q}{s r' \varepsilon \rho c'_T} - \Theta_0 - t''_L(x,s) a_m \delta - \\ & - \frac{t''_L(x,s) a_m c_q}{\varepsilon' c'_T} + t^{IV}_L(x,s) \frac{c_q a_q a_m}{\varepsilon' c'_T s} = 0 \\ & t^{IV}_L(x,s) \frac{c_q a_q a_m}{\varepsilon' c'_T s} - t''_L(x,s) \left(\frac{c_q a_q}{\varepsilon' c'_T} + a_m \delta + \frac{c_q a_m}{\varepsilon' c'_T} \right) + t_L(x,s) \frac{s c_q}{\varepsilon' c'_T} - \frac{t_0 c_q}{\varepsilon' c'_T} - \frac{Q}{s \rho \varepsilon' c'_T} = 0 \\ & t^{IV}_L(x,s) - t''_L(x,s) \left(\frac{s}{a_m} + \frac{\varepsilon' c'_T s}{c_q a_q} + \frac{s}{a_q} \right) + \frac{s^2}{a_q a_m} t_L(x,s) - \frac{s t_0}{a_q a_m} - \frac{Q}{\rho a_q c_q a_m} = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Pentru a găsi soluția ecuației (4.10), o scriem în felul următor:

$$t^{IV}_L(x,s) - t''_L(x,s) \left(\frac{s}{a_q} + \frac{\varepsilon \rho \delta c'_T s}{c_q a_q} + \frac{s}{a_m} \right) + \frac{s^2}{a_q a_m} t_L(x,s) - \frac{t_0}{s} - \frac{Q}{\rho s^2 c_q} = 0 \quad (11)$$

Integrala comună diferită a ecuației diferențiale obișnuite va fi următoarea:

$$t_L(x, s) = \frac{t_0}{s} + \frac{Q}{\rho s^2 c_q} + C_1 e^{\sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x} + C_2 e^{\sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x} + C_3 e^{\sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x} + C_4 e^{\sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x} \quad (12)$$

unde:

$C_k (k=1 \dots 4)$ - constante arbitrare

$$v_j^2 = \frac{1}{2} \left[\left(1 + Fe + \frac{1}{L_4} \right) + (-1)^j \sqrt{\left(1 + Fe + \frac{1}{L_4} \right)^2 + \frac{4}{L_4}} \right] \quad (13)$$

$j=1,2$

unde:

$$\text{Fe-criteriul Fedorov, } Fe = \frac{\sigma' \beta c_T'}{c_q}$$

$$L_4 = \frac{a_m}{a_q} - \text{criteriul de inerție}$$

Condițiile de simetrie imaginar se pot scrie în felul următor:

$$t_L'(0, s) = \Theta_L'(0, s) = 0$$

Din această expresie rezultă $C_1 = C_2$ și $C_3 = C_4$.

Soluția pentru prezentarea temperaturii (12) se va scrie în felul următor:

$$t_L(x, s) = \frac{t_0}{s} + \frac{Q}{\rho s^2 c_q} + B_1 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x + B_2 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x \quad (4.14) \quad (14)$$

Aici B_1, B_2 – constante noi referitor la x .

Soluția comună pentru prezentarea transferului de masă potențial $\Theta_L(x, s)$ o primim prin înlocuirea $t_L(x, s)$ primită din ecuația (4.11), și $t_L(x, s)$ în (4.6).

Din ecuația (4.14) găsim $t_L'(x, s)$ și $t_L''(x, s)$.

$$t_L'(x, s) = B_1 \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x + B_2 \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x \quad (15)$$

$$t_L''(x, s) = B_1 \frac{s}{a_q} v_1^2 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x + B_2 \frac{s}{a_q} v_2^2 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x$$

Înlocuim (4.11) și (4.12) în ecuație:

$$t_0 + \frac{Q}{\rho c_q s} + s B_1 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x + \check{s} B_2 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x - a_q B_1 \frac{s}{a_q} v_1^2 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x - \\ - a_q B_2 \frac{s}{a_q} v_2^2 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x - \frac{\varepsilon' c_T' s}{c_q} \Theta_L(x, s) + \frac{\varepsilon' c_T'}{c_q} \Theta_0 - \frac{Q}{s c_q \rho} = 0$$

de unde: (16)

$$\Theta_L(x, s) = \frac{\Theta_0}{S} + \frac{2Q}{s^2 c_q \rho} + \frac{c_q}{\varepsilon' c_T'} B_1 (1 - v_1^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x + \frac{c_q}{\varepsilon' c_T'} B_2 (1 - v_2^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x$$

B_1 și B_1 le determinăm din condițiile de limită (4.3) și (4.4), care după folosirea transformărilor lui Laplace vor fi următoarele:

$$-\lambda_q t_L'(H, s) + \alpha \left[\frac{t_c}{s} - t_L(H, s) \right] - (1 - \varepsilon) r' \beta \left(\Theta(H, s) - \frac{\Theta_p}{s} \right) = 0 \quad (17)$$

$$\lambda_m \Theta_L'(H, s) + \lambda_m \check{\Theta}_L'(H, s) + \beta \left(\Theta_L(H, s) - \frac{\Theta_p}{s} \right) = 0 \quad (18)$$

Găsim din ecuațiile (4.14) și (4.16).

$t_L(H, s)$; $t_L'(H, s)$; $\Theta_L(H, s)$; $\Theta_L'(H, s)$:

$$t_L(H, s) = \frac{t_0}{s} + \frac{Q}{\rho s^2 c_q} + B_1 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + B_2 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H \quad (19)$$

$$t_L(H, s) = B_1 \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + B_2 \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H \quad (20)$$

$$\Theta_L(H, s) = \frac{\Theta_0}{S} + \frac{2Q}{s^2 c_q \rho} + \frac{c_q}{\varepsilon' c_T'} B_1 (1 - v_1^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + \frac{c_q}{\varepsilon' c_T'} B_2 (1 - v_2^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H$$

$$\Theta_L(H, s) = \frac{c_q}{\varepsilon' c_T'} B_1 (1 - v_1^2) \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + \frac{c_q}{\varepsilon' c_T'} B_2 (1 - v_2^2) \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H \quad (21)$$

Înlocuim (4.19), (4.20) și (4.21) în ecuația (4.17).

$$\begin{aligned}
& -B_1 \lambda_q \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H - B_2 \lambda_q \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H + \frac{\alpha t_c}{s} - \frac{\alpha t_0}{s} - B_1 \alpha sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + \\
& + B_2 \alpha sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H - (1-\varepsilon) \frac{\beta r' \Theta_0}{s} - \alpha (1-\varepsilon) \frac{\beta r' \Theta_0}{s^2 c_q \rho} - \frac{(1-\varepsilon) \beta c_q}{\varepsilon r' c_T} B_1 (1-v_1^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H - \\
& - \frac{(1-\varepsilon) \beta c_q}{\varepsilon r' c_T} B_2 (1-v_2^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H + \frac{(1-\varepsilon) \beta \Theta_0}{s} = 0
\end{aligned}$$

Simplificăm expresia dată:

$$\begin{aligned}
& B_1 \left\{ \lambda_q \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + \left[\alpha \frac{(1-\varepsilon) \beta c_q}{\varepsilon r' c_T} (1-v_1^2) \right] ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H \right\} - \\
& + B_2 \left\{ \lambda_q \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H + \left[\alpha \frac{(1-\varepsilon) \beta c_q}{\varepsilon r' c_T} (1-v_2^2) \right] ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H \right\} + \\
& + \frac{\alpha(t_c - t_0)}{s} - \frac{(1-\varepsilon) r' \beta (\Theta_0 - \Theta_p)}{s} + \frac{(\alpha + 2(1-\varepsilon) r' \beta) Q}{s^2 c_q \rho} = 0
\end{aligned} \tag{22}$$

Înlocuim (4.17), (4.18), (4.13) în ecuația (4.6).

$$\begin{aligned}
& \frac{\lambda_m c_q}{\varepsilon \rho c_T} B_1 (1-v_1^2) \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + \frac{\lambda_m c_q}{\varepsilon r' c_T} \beta_2 (1-v_2^2) \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H + \lambda_m \delta B_1 \times \\
& \times \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + \lambda_m \delta \beta_2 \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H + \frac{\beta \Theta_0}{s} + \frac{2\beta \Theta}{s^2 c_q \rho} + \frac{c_q \beta B_1}{\varepsilon r' c_T} (1-v_1^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + \\
& \frac{c_q \beta B_2}{\varepsilon r' c_T} (1-v_2^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H - \frac{\beta \Theta_p}{s} = 0
\end{aligned}$$

Simplificăm expresia dată:

$$\begin{aligned}
& B_1 \left\{ \left[\frac{\lambda_m c_q}{\varepsilon r' c_T} (1-v_1^2) + \lambda_m \delta \right] \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + \frac{c_q \beta}{\varepsilon r' c_T} (1-v_1^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H \right\} + \\
& + B_2 \left\{ \left[\frac{\lambda_m c_q}{\varepsilon r' c_T} (1-v_2^2) + \lambda_m \delta \right] \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H + \frac{c_q \beta}{\varepsilon r' c_T} (1-v_2^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H \right\} + \\
& + \frac{\beta (\Theta_0 - \Theta_p)}{s} + \frac{2\beta \Theta}{s^2 c_q \rho} = 0
\end{aligned} \tag{23}$$

După simplificarea elementelor comune (4.22) și (4.15) și prelucrarea lor după criteriile asemănătoare pentru determinarea B_1 și B_1 și primim un sistem de ecuații algebrice.

$$\left. \begin{aligned} B_1 T_1 + B_2 T_2 - \frac{t_c - t_0}{s} + (1 - \varepsilon) \frac{\Theta_0 - \Theta_p}{s} + \frac{(\alpha + \alpha(1 - \varepsilon)r' \beta)Q}{\alpha s^2 c_q \rho} \\ B_1 P_1 + B_2 P_2 + \frac{Fe}{\delta} \frac{\Theta_0 - \Theta_p}{s} + \frac{2\varepsilon' c_T' Q}{s^2 c_q^2 \rho} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

$$\text{Fe-criteriul Fedorov, } Fe = \frac{\varepsilon' c_T'}{c_q}$$

$$\begin{aligned} T_j &= \left[1 + (1 - \nu_j^2) K_1 \right] ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} \nu_j H + \frac{1}{\beta_{iq}} \sqrt{\frac{s}{a_q}} \nu_j H \cdot sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} \nu_j H \\ P_j &= (1 - \nu_j^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} \nu_j H + \left[(1 - \nu_j^2) Fe \right] \frac{1}{\beta_{im}} \sqrt{\frac{s}{a_q}} \nu_j H \cdot sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} \nu_j H \end{aligned} \quad (25)$$

$$K_1 = \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{c_q}{c_T'} \cdot \frac{\beta}{\alpha} - \text{criteriu complex}$$

$$\beta_{iq} = \frac{\alpha}{\lambda_q} H - \text{criteriul bio-transfer de căldură}$$

$$\beta_{im} = \frac{\beta}{\lambda_q} H - \text{criteriul bio-transfer de masă}$$

Soluționăm sistema de ecuații (26). Din prima ecuație găsim B_2 :

$$B_2 = -\frac{B_1 T_1}{T_2} + \frac{t_c - t_0}{s T_2} - \frac{(1 - \varepsilon)r' \beta}{\alpha T_2} \frac{\Theta_0 - \Theta_p}{s} - \frac{(\alpha + 2(1 - \varepsilon)r' \beta)Q}{2s^2 c_q \rho T_2} \quad (26)$$

Înlocuim această expresie în ecuația a doua:

$$\begin{aligned}
& B_1 P_1 - \frac{B_1 T_1}{T_2} P_2 + \frac{t_c - t_0}{s T_2} P_2 - \frac{(1-\varepsilon)r'\beta}{\alpha T_2} \cdot \frac{\Theta_0 - \Theta_p}{s} P_2 - \frac{(\alpha + 2(1-\varepsilon)r'\beta)Q}{2s^2 c_q \rho T_2} P_2 + \\
& + \frac{Fe}{\delta} \cdot \frac{\Theta_0 - \Theta_p}{s} + \frac{2\varepsilon' c_T' Q}{s^2 c_q^2 \rho} = 0 \\
& - B_1 \frac{T_2 P_1 - T_1 P_2}{T_2} + \frac{t_c - t_0}{s T_2} P_2 + \frac{\Theta_0 - \Theta_p}{s} \left(\frac{Fe}{\delta} - \frac{(1-\varepsilon)r'\beta}{\alpha T_2} \cdot P_2 \right) + \\
& + \frac{Q}{s^2 c_q \rho} \cdot \left(\frac{2\varepsilon' c_T'}{c_q} - \frac{(\alpha + 2(1-\varepsilon)r'\beta)}{2T_2} \right) = 0 \\
& B_1 = \frac{(t_c - t_0) - (\Theta_0 - \Theta_p) \left(\frac{-(1-\varepsilon)\rho r'\beta}{\alpha T_2} P_2 + \frac{Fe}{\delta} T_2 \right)}{s(T_2 P_1 - T_1 P_2)} + \\
& + \frac{\frac{Q}{s c_q \rho} (2FeT_2 - (\alpha + (1-\varepsilon)r'\beta))}{s(T_2 P_1 - T_1 P_2)}
\end{aligned} \tag{27}$$

După transformare B_1 va avea forma:

$$\begin{aligned}
& (t_c - t_0)P_2 + (\Theta_0 - \Theta_p) + \frac{\varepsilon' c_T'}{c_q} (T_2 - K_1 P_2) \\
& B_1 = \frac{}{s(T_2 P_1 - T_1 P_2)} + \\
& + \frac{\frac{Q}{s c_q \rho} \left(2FeT_2 - \frac{(\alpha c_q + 2\varepsilon' c_T' K_1)}{2c_q} \right)}{s(T_2 P_1 - T_1 P_2)}
\end{aligned} \tag{28}$$

$$\begin{aligned}
& (t_c - t_0)P_1 + (\Theta_0 - \Theta_p) + \frac{\varepsilon' c_T'}{c_q} (T_1 - K_1 P_1) \\
& B_2 = \frac{}{s(T_2 P_1 - T_1 P_2)} + \\
& + \frac{\frac{Q}{s c_q \rho} \left(2FeT_1 - \frac{(\alpha c_q + 2\varepsilon' c_T' K_1)}{2c_q} \right)}{s(T_2 P_1 - T_1 P_2)}
\end{aligned} \tag{29} \text{ rezultă:}$$

$$\begin{aligned}
t_L(x, s) - \frac{t_0}{s} - \frac{Q}{\rho s^2 c_q} &= (t_c - t_0) \left\{ \frac{P_1 + \varepsilon c_T' Ko(T_1 - K_1 P_1) + \frac{Q}{sc_q \rho} \left(2FeT_2 - \frac{(\alpha c_q + 2\varepsilon \rho c_T' K_1)}{2c_q} \right)}{S(T_2 P_1 - T_1 P_2)} \times \right. \\
&\times ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x - \frac{P_2 + \varepsilon c_T' Ko(T_2 - K_1 P_2) + \frac{Q}{sc_q \rho} \left(2FeT_2 - \frac{(\alpha c_q + 2\varepsilon c_T' K_1)}{2c_q} \right)}{S(T_2 P_1 - T_1 P_2)} ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x \left. \right\} = \\
&= (t_c - t_0) \frac{\Phi_{01}(s)}{\Psi_{01}(s)}
\end{aligned}
\tag{30}$$

$$Ko - \text{criteriul Kosovici, } Ko = \frac{r'(\theta_0 - \theta_p)}{c_q(t_c - t_0)}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\Theta_0}{s} - \Theta_L(x, s) + \frac{2Q}{s^2 c_q \rho} &= (\Theta_0 - \Theta_p) \left\{ \left(\frac{T_2 + \frac{1}{\varepsilon Ko} P_2 - K_1 P_2}{\tilde{S}(T_2 P_1 - T_1 P_2)} + \frac{\frac{Q}{sc_q \rho} \left(2T_2 - \frac{\alpha}{2Fe} + K_1 \right)}{\tilde{S}(T_2 P_1 - T_1 P_2)} \right) \times \right. \\
&\times (1 - v_1^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x - \left(\frac{T_1 + \frac{1}{\varepsilon Ko} P_1 - K_1 P_1}{\tilde{S}(T_2 P_1 - T_1 P_2)} + \frac{\frac{Q}{sc_q \rho} \left(2T_1 - \frac{\alpha}{2Fe} + K_1 \right)}{\tilde{S}(T_2 P_1 - T_1 P_2)} \right) (1 - v_2^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x \left. \right\} = \\
&= (\Theta_0 - \Theta_p) \frac{\Phi_{02}(s)}{\Psi_{01}(s)}
\end{aligned}
\tag{31}$$

Noi am găsit soluția comună a sistemului de ecuații diferențiale a transferului de masă și căldură în reprezentare. Pentru primirea soluției originale se poate folosi teorema generală de descompunere. Teorema descompunerii este justă pentru reprezentare, care se poate prezenta ca raportul a două polinoame generale $\frac{\Phi_0(s)}{\Psi_0(s)}$

În cazul nostru fiecare din ecuațiile primite se pot prezenta sub forma:

$$\frac{1}{t_c - t_0} \left[t_L(x, s) - \frac{t_0}{s} - \frac{Q}{\rho s^2 c_q} \right] = \frac{\Phi_{01}(s)}{\Psi_0(s)}
\tag{32}$$

$$\frac{1}{\Theta_0 - \Theta_p} \left[\frac{\Theta_0}{s} + \frac{2Q}{\rho s^2 c_q} - \Theta_L(x, s) \right] = \frac{\Phi_{02}(s)}{\Psi_0(s)} \quad (33)$$

Numitorul $\Psi_0(s) = s(T_2 P_1 - T_1 P_2)$ în ecuațiile (4.30) și (4.31) este identic, iar polinoamele la numărător, corespunzător, sunt egale:

$$\Phi_{01}(s) = \left(P_1 + \varepsilon_T' Ko(T_1 - K_1 P_1) + \frac{Q}{sc_q \rho} \left(2FeT_2 - \frac{\alpha c_q + 2\varepsilon' c_T' K_1}{2c_q} \right) \right) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} \nu_2 x -$$

$$- \left(P_2 + \varepsilon_T' Ko(T_2 - K_1 P_2) + \frac{Q}{sc_q \rho} \left(2FeT_2 - \frac{\alpha c_q + 2\varepsilon' c_T' K_1}{2c_q} \right) \right) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} \nu_1 x$$

$$\Phi_{02}(s) = \left(T_2 + \frac{1}{\varepsilon Ko} P_2 - K_1 P_2 + \left(2T_2 - \frac{\alpha}{2Fe} - K_1 \right) \right) (1 - \nu_1^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} \nu_1 x -$$

$$\left(T_1 + \frac{1}{\varepsilon Ko} P_1 - K_1 P_1 + \left(2T_1 - \frac{\alpha}{2Fe} - K_1 \right) \right) (1 - \nu_2^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} \nu_2 x$$

Numitorul și numărătorul ecuației (4.32) și (4.33) sunt polinoame generale referitor la S, de aceea, după cum arată analizele, trecerea de la reprezentare la original se poate de efectuat după teorema obișnuită de descompunere.

$$L^{-1} \left[\frac{\Phi_{01}(s)}{\Psi_0(s)} \right] = \frac{\Phi_{01}(0)}{\Psi_0(0)} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\Phi_{01}(s_k)}{\Psi_0(s_k)} \exp(s_k \tau) \quad (34)$$

$$L^{-1} \left[\frac{\Phi_{02}(s)}{\Psi_0(s)} \right] = \frac{\Phi_{02}(0)}{\Psi_0(0)} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\Phi_{02}(s_n)}{\Psi_0(s_n)} \exp(s_k \tau) \quad (35)$$

Găsim rădăcina $\Psi_0(s)$, pentru care stabilim:

$$\Psi_0(s) = s(T_2 P_1 - T_1 P_2) = 0$$

Primim:

$$1. \quad s = s_n = 0 \text{ (rădăcină nulă)}$$

$$2. \quad s = s_n$$

unde: s_n satisface ecuația $T_2 P_1 - T_1 P_2 = 0$

Să precizăm valoarea s_n , pentru care înlocuim termenii sinus și cosinus hiperbolic în expresia (25) și (26) conform formulelor:

$$\text{sh } z = -i \sin(iz)$$

$$\text{ch } z = \cos(iz)$$

$$\text{Obținem: } S_n = -\frac{a_q \mu_k^2}{H^2},$$

unde:

μ_k –rădăcina ecuației caracteristice

$$T_2 P_1 - T_1 P_2 = 0 \quad (36)$$

$$T_{kj} = \left[1 + (1 - \nu_j^2) K_1 \right] \cos \nu_j \mu_k \frac{-\nu_j \mu_k}{B_{jq}} \sin \nu_j \mu_k \quad (37)$$

$$P_{kj} = (1 - \nu_j^2) \cos \nu_j \mu_k - \left[(1 - \nu_j^2) \cos \nu_j \mu - \left[(1 - \nu_j^2) + Fe \right] \frac{\nu_j \mu_k}{B_{jm}} \sin \nu_j \mu_k \right] \quad (38)$$

Pentru obținerea reprezentărilor generale (4.36), (4.37) determinăm mărimile ce fac parte din ele $\Psi'_0(0)$, $\Psi'_0(s_n)$, $\Phi_{01}(0)$, $\Phi_{02}(0)$, $\Phi_{01}(s_k)$, $\Phi_{01}(s_k)$.

$$\Psi'_0 = \nu_2^2 - \nu_1^2$$

$$\Phi_{01}(0) = \Phi_{01}(0) = \nu_2^2 - \nu_1^2$$

$$\begin{aligned} \Phi_{01}(s_k) = & - \left\{ [P_{k2} + \varepsilon c'_T Ko(T_{k2} - K_1 P_{k2}) + \frac{Q}{c_q \rho} \left(2Fe T_{k2} - \frac{\alpha c_q + 2\varepsilon' c'_T K_1}{2c_q} \right)] \cos \nu_1 \mu_k \frac{x}{H} - \right. \\ & \left. - [P_{k1} + \varepsilon c'_T Ko(T_{k1} - K_1 P_{k2}) + \frac{Q}{c_q \rho} \left(2Fe T_{k1} - \frac{\alpha c_q + 2\varepsilon' c'_T K_1}{2c_q} \right)] \cos \nu_2 \mu_k \frac{x}{H} \right\} \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{02}(s_k) = & \left\{ \left[T_{k2} + \frac{1}{\varepsilon Ko} P_{k1} - K_1 P_{k1} + \frac{Q}{c_q \rho} \left(2T_{k1} - \frac{\alpha}{2Fe} - K_1 \right) \right] (1 - \nu_2^2) \cos \nu_1 \mu_k \frac{x}{H} - \right. \\ & \left. - \left[T_{k2} + \frac{1}{\varepsilon Ko} P_{k2} - K_1 P_{k2} + \frac{Q}{c_q \rho} \left(2T_{k2} - \frac{\alpha}{2Fe} - K_1 \right) \right] (1 - \nu_1^2) \cos \nu_1 \mu_k \frac{x}{H} \right\} \end{aligned} \quad (40)$$

$$\Psi'_0(s_k) = \frac{1}{2} \mu_k \psi_k$$

$$\psi_k = \nu_1 A_{k1} P_{k2} + \nu_2 B_{k2} T_{k1} - \nu_2 A_{k2} P_{k1} - \nu_1 B_{k1} Q_{k2}$$

$$A_{nj} = \left[1 + \frac{1}{B_{jq}} + (1 - \nu_j^2) K_1 \right] \sin \nu_j \mu_k + \frac{\nu_j \mu_k}{B_{jq}} \cos \nu_j \mu_k \quad (41)$$

$$B_{nj} = (1 - \nu_j^2) \sin \nu_j \mu_k + \frac{(1 - \nu_j^2) + Fe}{B_{jm}} (\sin \nu_j \mu_k + \nu_j \mu_k \cos \nu_j \mu_k) \quad (42)$$

Înlocuind mărimile anterior găsite în ecuațiile (4.34) și (4.35), ca rezultat pentru câmpurile de potențial variabile transferul de masă și căldură a substanțelor vom avea:

$$\begin{aligned}
\frac{t(x, \tau) - t_0}{t_c - t_0} = & 1 - \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \left[\frac{P_{k2} + \varepsilon c'_T Ko(T_{k2} - K_1 P_{k1})}{\mu_k \psi_k} + \frac{Q}{c_q \rho \mu_k \psi_k} \left(2FeT_{k2} - \frac{\alpha c_q + 2\varepsilon' c'_T K_1}{2c_q} \right) \right] \times \right. \\
& \times \cos \nu_1 \mu_k \frac{x}{H} - \left[\frac{P_{k1} + \varepsilon c'_T Ko(T_{k1} - K_1 P_{k2})}{\mu_k \psi_k} + \frac{Q}{c_q \rho \mu_k \psi_k} \left(2FeT_{k1} - \frac{\alpha c_q + 2\varepsilon' c'_T K_1}{2c_q} \right) \right] \cos \nu_2 \mu_k \frac{x}{H} \Big\} \times \\
& \times \exp(-\mu_k^2 F'_0)
\end{aligned} \tag{43}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\Theta_0 - \Theta(x, \tau)}{\Theta_0 - \Theta_p} = & \frac{U_0 c'_T - U(x, \tau) c'_T}{U_0 c'_T - U_p c'_T} = \frac{U_0 - U(x, \tau)}{U_0 - U_p} = \\
= & 1 - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \left[\frac{T_{k1} + \frac{1}{\varepsilon Ko} P_{k2} - K_1 P_{k2}}{\mu_k \psi_k} + \frac{Q}{c_q \rho \mu_k \psi_k} \left(2T_{k1} - \frac{\alpha}{2Fe} - K_1 \right) \right] (1 - \nu_2^2) \cos \nu_2 \mu_k \frac{x}{H} - \right. \\
& \left[\frac{T_{k2} + \frac{1}{\varepsilon Ko} P_{k2} - K_1 P_{k2}}{\mu_k \psi_k} + \frac{Q}{c_q \rho \mu_k \psi_k} \left(2T_{k2} - \frac{\alpha}{2Fe} - K_1 \right) \right] (1 - \nu_1^2) \cos \nu_1 \mu_k \frac{x}{H} \Big\} \exp(-\mu_k^2 F'_0)
\end{aligned} \tag{44}$$

unde:

$$F'_0 = \frac{a_q}{H^2} - \text{criteriul Furie}$$

În scopul folosirii comode a soluției primite o vom scrie încă o dată.

$$T = \frac{t(x, \tau) - t_0}{t_c - t_0} = 1 - \sum_{k=1}^{\infty} \left(C_{k2} \cos \nu_1 \mu_k \frac{x}{H} - C_{k1} \cos \nu_2 \mu_k \frac{x}{H} \right) \exp(-\mu_k^2 F'_0) \tag{45}$$

$$U = \frac{U_0 - U(x, \tau)}{U_0 - U_p} = 1 - \sum_{k=1}^{\infty} \left[C_{k1}^* (1 - \nu_2^2) \cos \nu_2 \mu_k \frac{x}{H} - C_{k2}^* (1 - \nu_1^2) \cos \nu_1 \mu_k \frac{x}{H} \right] \exp(-\mu_k^2 F'_0) \tag{46}$$

$$\text{aici } \nu_j^2 = \frac{1}{2} \left[\left(1 + Fe + \frac{1}{Ln} \right) + (-1)^j \sqrt{\left(1 + Fe + \frac{1}{Ln} \right)^2 - \frac{4}{Ln}} \right]$$

C_{kj}, C_{kj}^* – se determină din relațiile:

$$C_{kj} = \frac{P_{kj} + \varepsilon Ko(T_{kj} - K_1 P_{kj})}{\mu_k \psi_k} + \frac{Q}{c_q \rho \mu_k \psi_k} \left(2FeT_{kj} - \frac{\alpha c_q + 2\varepsilon' c'_T K_1}{2c_q} \right) \tag{47}$$

$$C_{kj}^{\bullet} = \frac{T_{kj} + \frac{1}{\varepsilon K_0} P_{kj} - K_1 P_{kj}}{\mu_k \psi_k} + \frac{Q}{c_q \rho \mu_k \psi_k} \left(2T_{kj} - \frac{\alpha}{2Fe} - K_1 \right) \quad (48)$$

$$\psi_k = \nu_1 A_{k1} P_{k2} + \nu_2 B_{k2} T_{k1} - \nu_2 A_{k2} P_{k1} - \nu_1 B_{k1} T_{k2}$$

$$A_{nj} = \left[1 + \frac{1}{B_{jq}} + (1 - \nu_j^2) K_1 \right] \sin \nu_j \mu_k + \frac{\nu_j \mu_k}{B_{jq}} \cos \nu_j \mu_k$$

$$P_{nj} = (1 - \nu_j^2) \sin \nu_j \mu_k - \left[(1 - \nu_j^2) + Fe \right] \frac{\nu_j \mu_k}{B_{jm}} \sin \nu_j \mu_k$$

$$T_{nj} = \left[1 + (1 - \nu_j^2) K_1 \right] \cos \nu_j \mu_k - \frac{\nu_j \mu_k}{B_{jm}} \sin \nu_j \mu_k$$

$$\mu_k\text{-respectiv r\^ad\^acina ecua\^ției caracteristice } T_{k2} P_{k1} = T_{k1} P_{k2}$$

3. CELE MAI RELEVANTE REALIZĂRI OBȚINUTE ÎN CADRUL PROIECTULUI

- A fost studiat fenomenul de brunificare în procesul de deshidratare a produselor vegetale;
 - A fost elaborată cinetica procesului de deshidratare a piersicilor și merelor prin convecție, cu aplicarea microundelor și prin metoda combinată;
 - Au fost determinați parametri tehnologici optimi de tratare termică prin convecție, microunde și metoda combinată;
 - A fost determinat conținutul de polifenoli la tratarea termică prin diferite metode cu deferiți parametri tehnologici;
 - A fost elaborat modelul matematic al procesului de uscare al produselor vegetale;
 - A fost efectuată simularea computerizată al fenomenului de curgere a fluidului în timpul uscării produselor vegetale.
4. Participarea în programe și proiecte internaționale (ORIZONT 2020, COST...), inclusiv propunerile înaintate/proiecte câștigate în cadrul concursurilor naționale/internaționale cu tangența la tematica proiectului.
- nu au fost
5. Colaborări științifice internaționale/naționale.
- nu au fost
6. Vizite ale cercetătorilor științifici din străinătate.
- nu au fost
7. Teze de doctorat/postdoctorat susținute pe parcursul realizării proiectului.
- nu au fost
8. Manifestări științifice organizate la nivel național/internațional.
- nu au fost

9. APRECIEREA ACTIVITĂȚII ȘTIINȚIFICE PROMOVATE LA EXECUTAREA PROIECTULUI (PREMII, MEDALII, DIPLOME ETC.).

1. *Medalia de aur, Simposiumul Internațional "EuroInvent – 2019,, European Exhibition of Creativity and Innovation – Iași, Romania*
2. *Premiul special WIIPA și medalie de aur (World Invention Intellectual property Associations), Simposiumul Internațional "EuroInvent – 2019,, European Exhibition of Creativity and Innovation – Iași, Romania*
3. *Medalie de aur, Diplomă de excelență, „Carol Davila University of Medicine and Pharmacy Bucharest, Simposiumul Internațional "EuroInvent-2019, European Exhibition of Creativity and Innovation,, – Iași, Romania*
4. *Medalia de argint, Simposiumul Internațional "Inovation and Creative Education Fair for Youth ICE - USV - IIIrd Edition,, – Suceava 2019.*
5. *Medalia de aur, Simposiumul Internațional "Inventica – 2019,, European Exhibition of Creativity and Innovation – Iași, Romania*

6. *Medalia de aur*, „Carol Davila University of Medicine and Pharmascy Bucharest,, Simposiumul Internațional „The 23rd International Exhibition Of Inventics,,– Inventica 2019, Iași, Romania
7. *Certificate of Atendance*, Simposiumul Internațional ”EuroAliment – 2019,,– Galați, Romania
8. *Medalia de aur și trofeul UGAL INVENT*, Salonul Inovării și Cercetării UGAL INVENT-2019, Galați Romania
9. *Diplomă de excelență*, Centru Regional Pentru Promovarea Proprietății Industriale, Salonul Inovării și Cercetării „UGAL INVENT-2019,, Galați Romania
10. *Diplomă de excelență*, Asociația „Justin Capră,, „UGAL INVENT-2019,, Galați Romania
11. *Diplomă de participare*, Salonul Inovării și Cercetării „UGAL INVENT-2019,, Galați Romania
12. *Certificat of participant, international scientific and practical conference «FOOD QUALITY AND SAFETY» NUFT-2019 Kyiv*
13. *Диплом за найкращу стендову доповідь на IV-ій міжнародній науково-практичній конференції „ЯКІСТЬ І БЕЗПЕКА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ,, NUFT-2019 Kyiv*
14. *Medalia de aur*, National Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics, Expoziția internațională, InfoInvent – 2019, Chișinău, Republica Moldova
15. *Medalia de aur*, EIS, Expoziția internațională, InfoInvent – 2019, Chișinău, Republica Moldova
16. *Medalia de argint*, EIS și Premiul „Cel mai bun proiect de cercetare realizat de tineri” al Agenției Naționale pentru Cercetare și Dezvoltare, InfoInvent – 2019, Chișinău, Republica Moldova

10. REZUMATUL RAPORTULUI CU EVIDENȚIEREA REZULTATULUI, IMPACTULUI, IMPLEMENTĂRILOR, RECOMANDĂRILOR

Pentru țara noastră o importanță deosebită o are organizarea procesării materiei prime vegetale autohtone în produse alimentare. Procesele tehnologice din acest domeniu în marea majoritate necesită tratări termice ale produselor, ceea ce ca regulă este însoțit de un consum sporit de energie și de o diminuare esențială a calității produsului finit. Atenție deosebită în acest context se acordă proceselor și instalațiilor de uscare ca unele din cele mai mari consumatoare de energie din industria alimentară. Tot mai larg se folosesc metodele netradiționale de aplicare a energiei, cum sunt câmpurile electromagnetice de diverse frecvențe, inclusiv și microundele. Totodată, la moment persistă multiple curențe în ceea ce privește calitatea produsului final, cum ar fi diminuarea proprietăților organoleptice și a cantității și proprietăților compușilor biologic activi. Rezolvarea problemelor menționate poate fi realizată prin simularea matematică computerizată a procesului de uscare în scopul determinării parametrilor optimi ai acestuia ca funcție de calitatea procesului și consumul de energie. Aplicarea modelului matematic a procesului de uscare a produselor cu conținut sporit de polifenoli va permite reducerea esențială a brunificării fără folosirea substanțelor speciale adăugătoare, obținându-se un produs finit de culoare, miros și gust natural, competitiv pe piața mondială. Aplicarea modelului matematic al procesului de uscare a produselor granulare în strat suspendat va permite optimizarea duratei de uscare pentru fiecare particule în parte, ceea ce va crește esențial calitatea produsului finit, în special a semințelor oleaginoase, păstrându-le la maxim proprietățile nutritive și curative.

11. CONCLUZII

În baza cercetărilor efectuate pe parcursul desfășurării acestui proiect în mare parte au fost realizate obiectivele înaintate. În cadrul proiectului au fost abordate aspecte privind deshidratarea produselor vegetale umede pe două direcții: 1- uscarea fructelor (piersicii, merele, perele) și 2-uscarea semințelor (cu conținut de ulei). Rezultatele obținute sunt prezentate în continuare:

- A fost studiat fenomenul de brunificare în procesul de deshidratare a produselor vegetale;
- A fost elaborată cinetica procesului de deshidratare a piersicilor, merelor și semințelor de struguri prin convecție, cu aplicarea microundelor și prin metoda combinată;
- Au fost determinați parametri tehnologici optimi de tratare termică prin convecție, microunde și metoda combinată;
- A fost determinat conținutul de polifenoli la tratarea termică prin diferite metode cu deferiți parametri tehnologici;
- A fost elaborat modelul matematic al procesului de uscare al produselor vegetale;
- A fost efectuată simularea computerizată al fenomenului de curgere a fluidului în timpul uscării produselor vegetale.

12.Bugetul proiectului, lista executorilor, lista tinerilor cercetători, doctoranzilor(conform anexei nr.1)

13.Lista publicațiilor științifice ce țin de rezultatele obținute în cadrul proiectului(conform anexei nr.2)

14. Participări la manifestări științifice naționale/internaționale (conform anexei nr.3)

Conducătorul proiectului _____
(nume, prenume, grad, titlu științific) (semnătura)

12. Bugetul proiectului, lista executorilor, lista tinerilor cercetători, doctoranzilor**Volumul total al finanțării (mii lei) (pe ani)**

Anul	Planificat	Executat	Cofinanțare
2019	130	130	30

Lista executorilor (funcția în cadrul proiectului, titlul științific, semnătura)

Nr d/o	Numele/Prenumele	Anul nașterii	Titlul științific	Funcția în cadrul proiectului	Semnătura
1	Guțu Marin	1985	Dr.	Cercet. șt.,	
2	Vișanu Vitali	1989	-	Cercet. șt. stag.,	
3	Melenciuc Mihail	1986	-	Cercet. șt.,	
4	Balan Mihail	1990	-	Cercet. șt. stag.	
5	Vișanu Ion	1996	-	Inginer	

Lista tinerilor cercetători

Nr d/o	Numele/Prenumele	Anul nașterii	Titlul științific	Funcția în cadrul proiectului
1	Guțu Marin	1985	Dr., conf. univ	Cercet. șt.,
2	Vișanu Vitali	1989	-	Cercet. șt. stag.,
3	Melenciuc Mihail	1986	-	Cercet. șt.,
4	Balan Mihail	1990	-	Cercet. șt. stag.
5	Vișanu Ion	1996	-	Inginer

Lista doctoranzilor

Nr d/o	Numele/Prenumele	Anul nașterii	Titlul științific	Funcția în cadrul proiectului
1	Vișanu Vitali	1989	-	cercet. șt. stag., c.14
2	Melenciuc Mihail	1986	-	cercet. șt., c.16
3	Balan Mihail	1990	-	cercet. șt. stag., c.13

Conducătorul proiectului _____
 (nume, prenume, grad, titlu științific) (semnătura)

LISTA
lucrărilor publicate

• **materiale ale conferințelor (naționale / internaționale).**

Teze la conferința internațională

1. Guțu Marin, Melenciuc Mihail, Vișanu Vitali, Balan Mihail, *Researches in the drying field of peaches*. Simposionul Internațional "Euroaliment – 2019,, 5-6 septembrie, 2019 Galați,
2. Guțu Marin, Melenciuc Mihail, Vișanu Vitali, Balan Mihail, *Drying instalation for granular products in the suspension layer*. Conferința IV Internațională "Food quality and safety, 20-21 noiembrie, 2019, Kiev.
3. Guțu Marin, Melenciuc Mihail, Vișanu Vitali, Balan Mihail, *Drying plant for fruit and vegetables* Conferința IV Internațională "Food quality and safety, 20-21 noiembrie, 2019, Kiev,

• **Brevete de invenții:**

- Bernic M., Țislinscaia N., Balan M., Vișanu V., Melenciuc M. "Instalație de uscare a produselor granulare în strat de suspensie". MD 1278 din 2019.03.31.

Conducătorul proiectului _____
(nume, prenume, grad, titlu științific) (semnătura)

Participări la manifestări științifice naționale/internaționale

1. Guțu Marin, Melenciuc Mihail, Vișanu Vitali, Balan Mihail, participare la Simposiumul Internațional ”EuroInvent – 2019,,16-18 mai, 2019 Iași, *Drying plant for fruit and vegetables*;
2. Guțu Marin, Melenciuc Mihail, Vișanu Vitali, Balan Mihail, participare la Simposiumul Internațional ”Inventica – 2019,, 26-28 iunie, 2019 Iași, *Drying instalation for granular products in the suspension layer*
3. Guțu Marin, Melenciuc Mihail, Vișanu Vitali, Balan Mihail, participare la Simposiumul Internațional”Euroaliment – 2019,, 5-6 septembrie, 2019 Galați, *Researches in the drying field of peaches*;
4. Guțu Marin, Melenciuc Mihail, Vișanu Vitali, Balan Mihail, participare la Simposiumul Internațional”UGAL Invent – 2019,, 16-18 octombrie, 2019 Galați, *Instalație de uscare a fructelor și legimelor*;
5. Guțu Marin, Melenciuc Mihail, Vișanu Vitali, Balan Mihail, Participare la conferința IV Internațională ”Food quality and safety, 20-21 noiembrie, 2019, Kiev, *Drying instalation for granular products in the suspension layer; Drying plant for fruit and vegetables*

Conducătorul proiectului _____
(nume, prenume, grad, titlu științific) (semnătura)