

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlul de manuscris

C.Z.U.: 66.047.41-911.3:634.13(043)

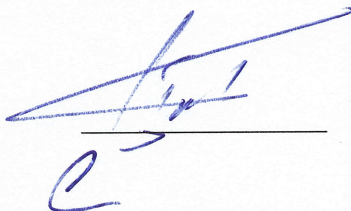
MELENCIUC MIHAIL

USCAREA PERELOR ÎN ATMOSFERĂ MODIFICATĂ DE CO₂

253.05 PROCESSE ȘI APARATE ÎN INDUSTRIA ALIMENTARĂ

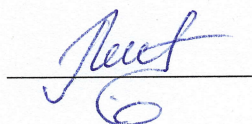
Teză de doctor în științe inginerești

Conducător științific:



ȚISLINSKAIA Natalia
dr., conf. univ.

Autor:



MELENCIUC Mihail

CHIȘINĂU, 2023

© Melenciuc Mihail, 2023

CUPRINS

ADNOTARE	5
АННОТАЦИЯ.....	6
ANNOTATION.....	7
LISTA TABELELOR	8
LISTA FIGURILOR	9
LISTA ABREVIERILOR	11
INTRODUCERE.....	12
1. STADIUL CERCETĂRILOR ACTUALE PRIVIND USCAREA PRODUSELOR ALIMENTARE.....	20
1.1. Proprietățile higroscopice și efectul modificării lor asupra proprietăților produselor supuse uscării.....	20
1.1.1. Acțiunea efectelor higrotermice asupra proprietăților chimice și biochimice.....	20
1.1.2. Acțiunea efectelor higrotermice asupra proprietăților fizice.....	24
1.1.3. Parametrii de calitate și modificările lor	28
1.2. Tendințe noi în domeniul uscării și deshidratării produselor alimentare vegetale.....	33
1.2.1. Uscarea în mediu modificat.....	41
1.2.2. Eficiența energetică la uscare și metode de reducere a consumului de energie	46
1.3. Consumul fructelor în stare proaspătă și deshidratată.....	47
1.4. Utilizarea bioxidului de carbon în industria alimentară	49
1.4.1. Proprietățile hidrodinamice și termice ale mediului modificat	55
1.5. Concluzii la capitolul 1.....	57
2. MATERIALE ȘI METODE UTILIZATE ÎN CERCETARE	59
2.1. Perele „Conferința” ca obiect al uscării.....	59
2.1.1. Perele de soi „Conferința”	59
2.1.2. Proprietăți nutritive ale perelor.....	60
2.2. Bioxidul de carbon ca agent de uscare	62
2.3. Pregătirea instalației de uscare	64
2.4. Reactivi și metode de încercări.....	65
2.4.1. Determinarea conținutului total de polifenoli	65
2.4.2. Determinarea conținutului de acid L-ascorbic	65
2.5. Prelucrarea statistică a rezultatelor.....	65

2.6.	Caracteristica metodelor de modelare matematică aplicată. Proprietățile transformatei Laplace	68
2.7.	Diagrama I-d a stării aerului umed.....	70
2.8.	Concluzii la capitolul 2.....	71
3.	ANALIZA PARAMETRIILOR HIGROTERMICI LA USCARE ÎN BIOXID DE CARBON, MODELAREA MATEMATICĂ A PROCESELOR ȘI ELABORAREA INSTALAȚIEI DE USCARE A FRUCTELOR.....	72
3.1.	Argumentarea energiei cinetice sporite a CO ₂ față de aer.....	72
3.2.	Modelarea matematică a fenomenelor de transfer în procesul de uscare a produselor vegetale în mediu modificat cu CO ₂	73
3.3.	Diagrama de stare (I-d) a dioxidului de carbon.....	92
3.4.	Modelul matematic al vitezei agentului de uscare la transferul de masă dintre produs și mediu.....	98
3.5.	Elaborarea instalației experimentale de laborator pentru uscarea produselor alimentare de natură vegetală	103
3.6.	Sistemul de reciclare a dioxidului de carbon.....	107
3.7.	Concluzii la capitolul 3.....	109
4.	STUDIUL CINETICII PROCESULUI DE USCARE ȘI CALITĂȚII PRODUSULUI.....	110
4.1.	Analiza cineticii procesului de uscare a perelor prin convecție cu aer.....	110
4.2.	Analiza cineticii procesului de uscare a perelor prin convecție în mediu modificat de CO ₂	112
4.3.	Consumul de energie la uscarea perelor prin diferite metode	116
4.4.	Analiza valorii biologice și calității senzoriale ale perelor uscate la diferite regimuri și în diferite medii	118
4.4.1.	Determinarea conținutului total de polifenoli în perele uscate prin metoda convectivă în aer și mediu modificat de CO ₂	118
4.4.2.	Analiza conținutului de substanțe biologice active în perele uscate prin metoda convectivă în aer și mediu modificat de CO ₂	120
4.5.	Concluzii la capitolul 4.....	124
	CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI	125
	BIBLIOGRAFIE	128
	ANEXE.....	140

ADNOTARE

Melenciuc Mihail: Uscarea perelor în atmosferă modificată de CO₂, teză de doctor în științe inginerești, Chișinău, 2023.

Structura tezei: constă din introducere, 4 capitole, concluzii și recomandări, bibliografie cu 193 titluri, 4 anexe. Textul de bază conține 116 pagini, inclusiv 37 de figuri și 7 tabele.

Cuvinte-cheie: uscare, dioxid de carbon, pere, acid L-ascorbic, polifenoli, antioxidant.

Scopul lucrării: elaborarea tehnologiei și a instalației pentru uscarea fructelor de pere în atmosferă controlată de dioxid de carbon.

Obiectivele lucrării: cercetarea procesului de uscare a perelor în atmosferă controlată de CO₂; optimizarea procesului de uscare a perelor în atmosferă modificată de CO₂, prin modelarea matematică; studiul parametrilor higrotermici pentru procesul de uscare a perelor în atmosferă modificată de CO₂; elaborarea instalației experimentale de uscare a perelor în atmosferă modificată de CO₂; analiza parametrilor de calitate a fructelor de pere uscate în atmosferă controlată de CO₂ în vederea elaborării recomandărilor.

Noutatea și originalitatea științifică: în premieră au fost uscate perele în mediu modificat de CO₂ și determinat conținutul de acid L-ascorbic și conținutul de polifenoli pentru perele uscate în mediu modificat de CO₂; a fost întocmită diagrama stării dioxidului de carbon pentru procesul de uscare în mediu modificat de CO₂; a fost creat un model matematic pentru procesul de uscare a perelor în mediu modificat de CO₂.

Rezultatele principale: s-a determinat efectul uscării în atmosferă modificată de CO₂ asupra fructelor de pere și păstrării indicilor de calitate ale acestora; a fost determinată metodologia de uscare a perelor în mediu modificat de CO₂; a fost elaborată instalația experimentală de uscare a fructelor și legumelor în mediu modificat de CO₂.

Semnificația teoretică: pentru prima dată a fost elaborată diagrama de stare a dioxidului de carbon; pentru prima dată a fost întocmit modelul matematic pentru calculul procesului de uscare a perelor în mediu modificat de CO₂; au fost determinate concentrația de acid L-ascorbic și conținutul de polifenoli pentru fructele de pere uscate în mediu modificat de CO₂.

Valoarea aplicativă: a fost propusă metodologia de uscare a fructelor de pere în mediu modificat de CO₂; a fost construită diagrama stării dioxidului de carbon pentru procesul de uscare în mediu modificat de CO₂; a fost elaborată instalația de uscare prototip pentru uscarea fructelor și legumelor în mediu modificat de CO₂.

Implementarea rezultatelor științifice: este realizată în proiectarea instalației experimentale de laborator de uscare a fructelor și legumelor și metodologiei de uscare a perelor prin metoda convecției în mediu modificat de CO₂, fapt confirmat prin elaborarea brevetului de invenție MD 1295 Z din 31.12.2018 cu titlul „Instalație de uscare a fructelor și legumelor”.

АННОТАЦИЯ

Меленчук Михаил: Сушка груш в атмосфере, модифицированной CO₂, кандидатская диссертация по техническим наукам, Кишинев, 2023.

Структура диссертации: состоит из введения, 4 глав, выводов и рекомендаций, библиографии из 193 названий, 4 приложений. Основной текст содержит 116 страниц, в том числе 37 рисунков и 7 таблиц.

Ключевые слова: сушка, углекислый газ, груши, аскорбиновая кислота, полифенолы, антиоксидант.

Цель статьи: разработка технологии и установки для сушки плодов груши в атмосфере с контролируемым содержанием углекислого газа.

Задачи работы: исследование процесса сушки груш в атмосфере с контролируемым содержанием CO₂; оптимизация процесса сушки груш в атмосфере, модифицированной CO₂, путем математического моделирования; исследование гигротермических параметров процесса сушки груш в атмосфере, модифицированной CO₂; разработка экспериментальной установки для сушки груш в атмосфере, модифицированной CO₂; анализ показателей качества сушеных плодов груши в атмосфере с контролируемым содержанием CO₂ с целью разработки рекомендаций.

Научная новизна и оригинальность: впервые груши были высушены в среде, модифицированной CO₂, и определены содержание полифенолов и аскорбиновой кислоты для сушеных груш в среде, модифицированной CO₂; была подготовлена диаграмма состояния углекислого газа для процесса сушки, модифицированного CO₂; впервые создана математическая модель процесса сушки в атмосфере, модифицированной CO₂.

Основные результаты: определено влияние сушки в атмосфере, модифицированной CO₂ на плоды груши и сохранение их качественных показателей; определена методика сушки груш в модифицированной среде CO₂; построена экспериментальная установка для сушки фруктов и овощей в среде, модифицированной CO₂.

Теоретическая значимость: впервые разработана диаграмма состояния углекислого газа; впервые составлена математическая модель для расчета процесса сушки груш в модифицированной среде CO₂; определены содержание полифенолов и аскорбиновой кислоты в плодах груши сушеных в среде, модифицированной CO₂.

Практическое значение: предложена методика сушки груш в среде, модифицированной CO₂; построена диаграмма состояния диоксида углерода для процесса сушки, в атмосфере, модифицированной CO₂; изготовлен прототип сушильной установки для сушки фруктов и овощей в среде, модифицированной CO₂.

Внедрение научных результатов: осуществлено в конструкции экспериментальной лабораторной установки для сушки овощей и фруктов и методике сушки груш методом конвекции в модифицированной среде CO₂, что подтверждено разработкой патента №. MD 1295 Z от 31.12.2018 с названием «Сушильная установка для овощей и фруктов».

ANNOTATION

Melenciuc Mihail: CO₂-modified atmosphere pears drying, PhD thesis in engineering sciences, Chisinau, 2023.

Thesis structure: consists of introduction, 4 chapters, conclusions and recommendations, bibliography with 193 titles, 4 annexes. The basic text contains 116 pages, including 37 figures and 7 tables.

Keywords: drying, carbon dioxide, pears, L-ascorbic acid, polyphenols, antioxidant.

Purpose of the paper: Development of technology and installation for drying pear fruits in a carbon dioxide controlled atmosphere.

Objectives of the paper: Research on the process of drying pears in a CO₂-controlled atmosphere; optimizing the process of drying pears in CO₂-modified atmosphere, by mathematical modeling; study of hygrothermal parameters for the process of drying pears in CO₂-modified atmosphere; elaboration of the experimental installation for drying pears in a CO₂-modified atmosphere; analysis of the quality parameters of dried pear fruits in a CO₂ controlled atmosphere in order to develop recommendations.

Scientific novelty and originality: For the first time, pears were dried in a CO₂-modified medium and the polyphenol and L-ascorbic acid content for dried pears in a CO₂-modified medium were determined; a diagram of carbon dioxide state for the CO₂-modified drying process has been prepared; for the first time, the mathematical model for the CO₂-modified drying process was created.

Main results: The effect of CO₂-modified drying on pear fruit and keeping its quality indices was determined; the methodology for drying pears in a modified CO₂ environment was determined; the experimental installation for drying fruits and vegetables in a CO₂-modified environment was built.

Theoretical significance: For the first time, the carbon dioxide state diagram was developed; for the first time the mathematical model for the calculation of the process of drying pears in a modified CO₂ environment was drawn up; polyphenol and L-ascorbic acid content content for dried pear fruit in CO₂-modified medium were determined.

Applicative value: The methodology for drying pears in a CO₂-modified environment has been proposed; the carbon dioxide state diagram for the CO₂-modified drying process was constructed; the prototype drying installation for drying fruits and vegetables in a CO₂-modified environment was made.

Implementation of scientific results: it is carried out in the design of the experimental laboratory installation for drying fruits and vegetables and the methodology of drying pears by the method of convection in a modified environment of CO₂, fact confirmed by the elaboration of the patent no. MD 1295 Z of 31.12.2018 with the title “Drying installation for fruits and vegetables”.

LISTA TABELELOR

Tabel 1.1 Activitatea apei (a_w) și microorganismele în produse alimentare*	23
Tabel 1.2 Limitele activității apei pentru reacțiile enzimaticice cu exemple de substraturi și produse alimentare*	24
Tabel 2.1 Compoziția chimică și valoarea energetică a perelor	61
Tabel 2.2 Specificațiile Comisiei Europene pentru CO ₂ (E 290 Dioxid de carbon) ca aditiv alimentar (CE, 2012)*	63
Tabel 3.1 Abaterea dintre temperatura de uscare: date experimentale (T) și ecuația de regresie (T).....	91
Tabel 3.2 Abaterea dintre umiditatea produsului: date experimentale (U) și ecuația de regresie (U)	92
Tabel 4.1 Analiza organoleptică a perelor de soi „Conferința”: proaspete și uscate prin convecție în aer și atmosferă controlată, CO ₂	123

LISTA FIGURILOR

Figura 1.1 Variația difuzivității umidității în funcție de conținutul de umiditate (Karathanos et al., 1990).....	25
Figura 1.2 Schema uscătorului cu pompă de căldură (Hawlder et al., 2006a)	42
Figura 1.3 Instalația experimentală de uscare în atmosferă modificată cu ciclu închis (Cam et al., 2018)	44
Figura 1.4 Schema uscătorului cu atmosferă modificată (Liu et al., 2014).....	45
Figura 2.1 Perele „Conferința” feliate cu grosimea $\delta = 3 \text{ mm}$ pentru procesul de uscare:	64
Figura 2.2 Schema procesului de uscare a perelor de soi „Conferința” în instalația experimentală de uscare:	64
Figura 2.3 Diagrama I-d a stării aerului umed (Dziubenko et al., 2018; Павлов et al., 1961)	70
Figura 3.1 Variația energiei cinetice proprii la creșterea temperaturii agentului de uscare: aer și CO ₂	73
Figura 3.2 Dependența coeficientului conductivității termice de temperatură, pentru $\lambda = f(T)$...76	
Figura 3.3 Variația coeficientului parțial al transferului de căldură în funcție de temperatură....77	
Figura 3.4 Dependența vitezei moleculelor a CO ₂ de temperatură: $v = f(T)$	79
Figura 3.5 Variația coeficientului de difuzie în funcție de temperatură : $D = f(T)$	80
Figura 3.6 Interdependența temperaturii și conținutului de umiditate relativă în mediul de CO ₂ , pentru diferite umidități relative (ψ).....	94
Figura 3.7 Dependența entalpiei de conținutul de umiditate, pentru $\psi = \text{const.}$; pentru $d = 0 \div 0,01 \text{ kg/kg}$	95
Figura 3.8 Dependența entalpiei de temperatură, pentru $\psi = \text{const}$	96
Figura 3.9 Liniile constante ale adiabatelor pentru diferite valori ale entalpiei.....	96
Figura 3.10 Presiunea parțială a vaporilor de apă în mediul de CO ₂	97
Figura 3.11 Instalația experimentală de uscare pentru fructe și legume: vederea generală a instalației (a) și din spate (b), în 3D și cea reală (c).	104
Figura 3.12 Capacul camerei de uscare a instalației experimentale de uscare pentru fructe și legume.	105
Figura 3.13 Vizualizarea la calculator a parametrilor mășurați.	106
Figura 3.14 Instalația frigorifică (a) și condensatorul (b) ale instalației experimentale de uscare pentru fructe și legume.	107
Figura 3.15 Sistemul de reciclare a gazului al instalației experimentale de uscare pentru fructe și legume: vederea din față (a) și schema generală de funcționare (b).	108

Figura 4.1 Curbele de uscare a perelor prin convecție, $U=f(\tau)$, agent de uscare – aerul.....	110
Figura 4.2 Dependența duratei de uscare de temperatura agentului de uscare – aerul.....	111
Figura 4.3 Curbele vitezei de uscare prin convecție a perelor, $dU/d\tau=f(U)$, agent de uscare – aerul.....	111
Figura 4.4 Dependența vitezei de uscare de durata de uscare – aerul	112
Figura 4.5 Curbele de uscare prin convecție ale perelor, $U=f(\tau)$, agent de uscare – bioxid de carbon ($C_{CO_2} = 80\%$)	113
Figura 4.6 Dependența duratei de uscare de temperatura agentului de uscare – CO_2	114
Figura 4.7 Curbele vitezei de uscare prin convecție ale perelor, $dU/d\tau=f(U)$, agent de uscare – bioxid de carbon ($C_{CO_2} = 80\%$)	114
Figura 4.8 Dependența vitezei de uscare de durata de uscare – CO_2 , 80 %.....	115
Figura 4.9 Dependența consumului de energie de temperatura agentului de uscare: aer și mediu modificat de CO_2 . Viteza agentului de uscare $1,5\pm 0,13$ m/s.....	116
Figura 4.10 Variația căldurii specifice la creșterea temperaturii agentului de uscare: aer și CO_2	117
Figura 4.11 Perele „Conferința” uscate prin metoda convectivă cu utilizarea agentului de uscare ($v = 1,5\pm 0,13$ m/s): a) aer; b) atmosfera modificată de CO_2	118
Figura 4.12 Conținutul total de polifenoli în funcție de temperatura de uscare: Pere „Conferința”; convecție – aer (60, 70, 80 °C) ; CO_2 (60, 70, 80 °C / 30 60 și 80 % CO_2)	119
Figura 4.13 Conținutul total de polifenoli, în dependență de concentrația dioxidului de carbon: Pere „Conferința”; convecție – 60, 70, 80 °C / 30 60 și 80 % CO_2)	120
Figura 4.14 Conținutul de acid L-ascorbic în perele de soi „Conferința”: convecție – 70 °C aer și 70 °C, 80 % CO_2	121
Figura 4.15 Conținutul de Vitamină C în perele de soi „Conferința”: Vitamina $C=f(\tau)$; convecție – 70 °C aer și 70 °C, 80 % CO_2	122
Figura 4.16 Reprezentarea grafică a rezultatelor analizei organoleptice pentru perele de soi „Conferința”.....	123

LISTA ABREVIERILOR

- $^{\circ}M$ – gradul conținutului de umiditate, *kg/kg material uscat*;
- μ – viscozitatea dinamică, în *Pa·s*;
- a_w – activitatea apei
- bar_g – bar gauge (unitate de măsură a suprapresiunii);
- c'_T, c_q – capacitatea specifică masică, *kg/kg· $^{\circ}M$* și termică specifică, *J/kg·K*;
- c_{CO_2} – căldura specifică a CO₂ uscat, *J/kg·grd*;
- CFC – clorofluorocarbura;
- d – conținutul de umiditate, *kg/kg*;
- Fe – criteriul de similitudine Fedorov;
- Fr – criteriul de similitudine Froud;
- Gu – criteriul de similitudine Guhman;
- I.F. – Indicele de formă;
- IQF – congelare individuală rapidă;
- L-CO₂ – dioxid de carbon în starea lichidă;
- LIN, LN₂ – azot lichid;
- MAP/CAP – ambalarea în atmosferă modificată/controlată;
- Nu – criteriul de similitudine Nusselt;
- Pr – criteriul de similitudine Prandtl;
- r' – căldura latentă de vaporizare, *kJ/kg*;
- Re – criteriul de similitudine Reynolds;
- SC-CO₂ – pasteurizare cu dioxid de carbon supercritic;
- SFE – extracție cu lichide supercritice;
- α – coeficienții transferului de căldură, *W/m²·K*;
- β – coeficienții transferului de masă, *kg/m²·s· $^{\circ}M$* ;
- α_q – coeficienții de difuzie (difuzivitatea) de temperatură *m²/s*;
- α_m – coeficienții de difuzie (difuzivitatea) de potențial, *m²/s*;
- δ – coeficientul Sore pentru corpul umed, *K⁻¹*;
- ε – criteriul transformării de fază;
- θ – potențialul transferului de materie (umiditate), *$^{\circ}M$. un. de potențial*
- λ_q – conductivitatea termică, *W/m·K*;
- λ_m – conductivitatea masică, *kg/m·s· $^{\circ}M$* ;

INTRODUCERE

Actualitatea și importanța temei abordate

Una din cele mai actuale și acute probleme în prezent este aprovizionarea populației globului cu suficiente produse alimentare pentru a combate foamea. Conform datelor raportate de către Organizația pentru Alimentație și Agricultură (OAA), numărul de oameni afectați de foame, către anul 2021 a fost de 828 mln., ceea ce indică o creștere de 46 mln., comparativ cu anul 2020 și 150 mln. cu anul 2019. În acest context pierderile de produse alimentare are o importanță majoră, deoarece reducerea cantității produselor alimentare risipite ar putea fi utilizate pentru a aproviziona cu hrană în jur de 1,26 mlrd. de oameni în fiecare an (Gustavsson, 2011).

Prevenirea pierderilor de alimente, la fiecare etapă de producere ale acestora, începând cu recoltarea materiei prime și finisând cu comercializarea produsului finit, are mai multe efecte benefice pentru întreaga economie, mai ales în cazul țărilor în dezvoltare. Acest efect poate fi explicat prin faptul că la pierderile fizice ale alimentelor sunt incluse și cheltuielile de întreținere și îngrijire a terenurilor de pământ, pentru apă, energie electrică. Mai mult ca atât, la efectul economic negativ, producerea alimentelor neconsumate duce la sporirea nivelului de emisii de CO₂, la fel ca și creșterea nivelului de deșeuri în general. Astfel risipa de alimente are un efect negativ considerabil atât pentru venitul producătorilor de produse cât și pentru consumatori (FAO, 2019).

Cantități importante de produse sunt pierdute la etapele inițiale ale lanțului alimentar. Astfel conform aceleași Organizații pentru Alimentație și Agricultură, volumul de producție de fructe și legume în Europa, în mediu, este de 200 mln. tone., dintre care Republicii Moldova, conform Biroului Național de Statistică, îi revin aproximativ 3 mln. tone. Din această cantitate, pierderile de produse alimentare per cap de locuitor (al Europei), atât la etapa de consum cât și pre-consum, este de aproximativ 300 kg/an. Pierderile de fructe și legume, constituie 43-45 % din cantitatea inițială de fructe și legume produse în sectorul european. Cea mai mare pondere din acestea o constituie pierderile din etapa inițială a lanțului de producere, cea agricolă – 20 %, apoi cea finală, de consum – 12 %, celorlalte etape le revine un procent mai scăzut: distribuire – 8 %, după recoltare – 3 % și procesare – 2 % (Gustavsson, 2011).

Risipa alimentelor este practic identică atât pentru țările dezvoltate, cât și pentru cele în curs de dezvoltare, cu deosebirea, că pentru țările dezvoltate 40 % de pierderi sunt concentrate mai mult la etapa de consum și distribuire, când la cele în stare de dezvoltare, aceleași 40 % revin etapelor de după recoltare și cele de procesare (FAO, 2019).

Pentru consumatori, mai ales acei cu venit scăzut, lipsa posibilității de a procura produse alimentare de calitate este mai mult o problemă a puterii lor de cumpărare, decât una a aprovizionării cu produse, sau lipsa lor în vânzare, astfel cum în prețul final sunt deseori introduse și pierderile suferite de producători la toate etapele de producere, procurarea lor poate deveni o problemă pentru consumatori. Reorganizarea lanțurilor alimentare, prin diminuarea risipei alimentelor, ar avea ca rezultat diminuarea prețurilor alimentelor astfel devenind mai accesibile unei game mai largi de consumatori (Gustavsson, 2011), (FAO, 2019).

Fructele și legumele sunt surse importante de nutrimente esențiale cum ar fi vitaminele, mineralele și fibrele alimentare. Deoarece conținutul de umiditate a fructelor și legumelor proaspete depășește 80 %, ele sunt clasificate ca produse ușor perisabile (Orsat, Valerie et al., 2006). Cea mai bună metodă de a păstra valorile nutritive ale produsului este de a-l menține în stare proaspătă, însă majoritatea metodelor de păstrare necesită utilizarea unor temperaturi joase ceea ce este dificil de asigurat de-a lungul lanțului de distribuție, mai ales pentru țările în dezvoltare, unde este dificil de a crea condiții necesare pentru instalarea sistemelor de răcire și congelare și aprovizionarea și menținerea unui debit de energie electrică, necesar pentru funcționarea instalațiilor.

Uscarea reprezintă o alternativă potrivită pentru aspectele organizatorice și de control a recoltei, mai ales în țările unde nu există sisteme de distribuire și menținere a producției la temperaturi joase. Cercetătorii au determinat că cca. 20 % din recolta perisabilă globală este supusă uscării pentru a mări perioada de păstrare și a promova securitatea alimentară (Chakraverty et al., 2003). Fructele, legumele și sub-produsele lor sunt uscate pentru a mări stabilitatea lor în timpul păstrării, a minimaliza necesitățile în spațiu la depozitare și pentru a reduce masa produsului în timpul transportării. Cu toate acestea o mare parte a produselor vegetale perisabile nu sunt supuse proceselor de deshidratare și uscare ceea ce duce la pierderi mari atât în produse cât și în bani.

Fructele și legumele sunt supuse procesului de uscare pentru a mări stabilitatea lor pe parcursul păstrării, a minimiza necesitățile în spațiu la depozitare și pentru a reduce greutatea produsului în timpul transportării. Consumul de energie și calitatea produselor vegetale uscate sunt parametri critici în selectarea metodei de uscare corespunzătoare. Sistemele de uscare optime pentru primirea unui produs deshidratat calitativ sunt rentabile deoarece micșorează timpul de uscare, iar impactul asupra calității produsului este minim.

Uscarea prezintă un proces costisitor datorită consumului excesiv de energie necesar la transformările de fază ale apei și evaporarea ei din produs.

Anume uscătoarele convenționale (convecția cu aer) necesită cantități mari de energie pentru procesarea alimentelor și ca rezultat mai avem și cantități mari de aer fierbinte, care este aruncat în

atmosferă, ceea ce reprezintă atât pierderi importante de energie, cât și efect nociv asupra mediului. Pentru a reduce cantitățile de energie utilizate și costurile de producere savanții și inginerii din domeniul proceselor de uscare au venit cu idei noi în tehnologiile de uscare (Sagar et al., 2010).

De aceea, alegerea metodei potrivite de uscare depinde de o mulțime de factori cum sunt tipul de produs, disponibilitatea utilajului necesar, costurile aplicate pentru menținerea procesului și calitatea produsului supus uscării. Utilizarea energiei electrice în locul combustibililor fosili a devenit o sursă alternativă de energie pentru procesele de uscare mai ales când electricitatea este primită din surse regenerabile de energie cum sunt hidrocentralele sau centralele eoliene (Raghavan et al., 2005).

Printre aceste tehnologii sunt deshidratarea osmotică, uscarea în vid, uscarea prin sublimare, uscarea cu vapor supraîncălzit, uscarea cu pompe de căldură și uscare prin pulverizare, care au permis atingerea unor scopuri noi în producerea alimentelor și pulberilor uscate calitative (Sagar et al., 2010), (Raghavan et al., 2005). O aplicabilitate mai mare au metodele de uscare cum ar fi:

- uscarea prin sublimare;
- uscarea în vacuum;
- uscarea osmotică;
- uscarea în tunel;
- uscarea în strat fluidizat;
- uscarea în strat suspendat;
- uscarea Ohmică;
- uscarea cu microunde;
- uscarea combinată (combinarea a două sau mai multe metode de uscare) (George et al., 2004).

În afară de uscare prin sublimare, mecanismele de bază de care participă la procesul de evaporare a apei din produs sunt aplicarea căldurii prin convecție, conducție și radiație. În majoritatea cazurilor ca agent termic și de eliminare a umidității este utilizat aerul. O cantitate mare de produse alimentare și biomateriale sunt deshidratate printr-o mare varietate de metode și condiții de uscare.

Totuși, calitatea proastă a alimentelor uscate și contaminarea lor în timpul procesului au dus la dezvoltarea tehnologiilor de uscare alternative (Bazyma et al., 2005). Fructele și legumele conțin apă, carbohidrați, proteine și fracții de lipide care sunt ușor afectate și modificate de temperaturi înalte ducând la degradarea calității produselor uscate. Prezența oxigenului pe

perioada uscării convenționale cu aer cald, este una din cauzele de bază care duce la degradarea calității produselor uscate, cum este schimbarea culorii, brunificarea, alterarea aromei și pierderea componentelor nutritive (Cam et al., 2018). Pentru a combate efectele cauzate de prezența oxigenului în camera de uscare, producătorii intervin cu adăugarea și pretratarea materiei prime cu aditivi, conservanți, sau alți agenți chimici.

La etapa actuală, consumatorii sunt tot mai mult cointeresați în a consuma alimente care conțin cantități minime, sau chiar sunt lipsite de aditivi alimentari și conservanți. Astfel, prestarea pe piață a produselor care și le doresc consumatorii, creează provocări atât pentru întreaga industrie alimentară, cât și în particular pentru producătorii de instalații de uscare și savanții din domeniu, prin elaborarea noilor tehnologii și metode de uscare, care ar permite procesarea materialelor sensibile la expunerea și acțiunea îndelungată la temperatură, sau la prezența oxigenului în camera de lucru, cu scopul obținerii unor produse de calitate înaltă.

În acest context, o metodă nouă de uscare a fructelor și legumelor, cu un potențial sporit de implementare, este utilizarea atmosferei modificate. Cu toate că această metoda de uscare este relativ nouă, primele studii fiind datate cu anul 2006 (Hawlder et al., 2006b), totuși rezultatele cercetărilor efectuate au dat dovadă de un potențial mare cu privire la păstrarea calității produselor finite uscate (Cam et al., 2018), (Hawlder et al., 2006b), (Jangam et al., 2010).

Utilizarea unui gaz inert ca substituent al agentului convențional de uscare, are beneficii importante pentru păstrarea calității produsului inițial supus uscării și pentru sporirea calității produsului uscat, comparativ altor metode.

Scopul lucrării constă în elaborarea instalației și a tehnologiei de uscare a perelor în mediu modificat de dioxid de carbon.

Obiectivele cercetării au fost stabilite în felul următor:

Obiectivul 1: Cercetarea procesului de uscare a produselor vegetale în atmosferă modificată de CO₂.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 1:

- studiul parametrilor higrtermici pentru procesul de uscare a perelor în atmosferă modificată de CO₂;
- studierea metodelor de uscare produselor vegetale;
- studiul efectului procesului de uscare asupra parametrilor de calitate a produselor vegetale;
- studierea proprietăților mediului modificat.

Obiectivul 2: Analiza perelor „Conferința” ca obiect al uscării și a bioxidului de carbon ca agent de uscare.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 2:

- studierea parametrilor de calitate a perelor „Conferința”
- studierea componenței nutriționale a perelor „Conferința;”
- studiul indicilor de calitate a bioxidului de carbon.

Obiectivul 3: Elaborarea instalației experimentale de uscare a perelor în atmosferă modificată de CO₂.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 3:

- elaborarea instalației de uscare în mediu modificat de CO₂ pentru produse vegetale;
- proiectarea sistemului de reciclare a bioxidului de carbon.

Obiectivul 4: Optimizarea procesului de uscare a perelor în atmosferă modificată de CO₂ prin modelarea matematică.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 4:

- elaborarea modelului matematic pentru determinarea temperaturii și umidității produsului în orice moment al procesului de uscare;
- elaborarea modelului matematic pentru determinarea vitezei optime a agenului de uscare.

Obiectivul 5: Elaborarea diagramei I-d de stare a bioxidului de carbon, pentru uscarea în mediu modificat.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 5:

- stabilirea interdependenței temperaturii și conținutului de umiditate în mediu de CO₂;
- stabilirea dependenței entalpiei de conținutul de umiditate în mediu de CO₂;
- stabilirea dependenței entalpiei de temperatură în mediu de CO₂.

Obiectivul 6: Studiarea cineticii procesului de uscare a perelor în mediu modificat de CO₂.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 6:

- studierea cineticii procesului de uscare a perelor „Conferința” în aer (metoda convențională);
- studierea cineticii procesului de uscare a perelor „Conferința” în mediu modificat de CO₂;
- Analiza parametrilor de calitate a fructelor de pere uscate în atmosferă controlată de CO₂ în vederea elaborării recomandărilor.

Noutatea și originalitatea științifică: În premieră au fost uscate perele în mediu modificat de CO₂ și determinat conținutul de acid L-ascorbic și conținutul de polifenoli pentru perele

uscate în mediu modificat de CO₂; a fost întocmită diagrama stării dioxidului de carbon pentru procesul de uscare în mediu modificat de CO₂; a fost creat un model matematic pentru procesul de uscare a perelor în mediu modificat de CO₂.

Ipoteza de cercetare reiese din analiza stării din domeniul de cercetare și constă în a găsi metode de tratare și de prelungire a perioadei de păstrare a materiei prime perisabile și a subproduselor acesteia, fără necesități în utilaje avansate și costisitoare, spații mari de lucru și depozitare a produselor. Uscarea în mediu modificat de CO₂ conduce la sporirea duratei de păstrare a produselor vegetale ușor perisabile prin limitarea contactului dintre produs și oxigen, care în cele mai dese cazuri provoacă dezintegrarea substanțelor biologic active, iar proiectarea utilajului necesar pentru uscarea cu atmosferă modificat, datorită sistemelor de reciclare a CO₂, nu este costisitoare.

Metodologia de cercetare cuprinde o analiză profundă a metodelor de uscare existente cu evidențierea punctelor forte; analiza dioxidului de carbon în calitate de agent de uscare; modelarea matematică și optimizarea tehnologiei; proiectarea și elaborarea instalației de uscare; stabilirea regimurilor optime de uscare în mediu modificat de CO₂; determinarea indicilor de calitate a produselor.

Problema științifică soluționată constă în elaborarea unei tehnologii noi de uscare a perelor, care permite de a obține un produs uscat de calitate superioară.

Semnificația teoretică. Pentru prima dată a fost stabilită diagrama de stare a dioxidului de carbon în procesul de uscare. Diagrama permite determinarea parametrilor de bază, ce influențează proprietățile gazului pe parcursul procesului de uscare; elaborarea modelelor matematice ale transferului de masă și căldură și ale vitezei agentului de uscare conform cărora pot fi calculate temperatura și umiditatea produsului pe parcursul procesului de uscare.

Valoarea aplicativă a lucrării. A fost propusă metodologia de uscare a fructelor de pere în mediu modificat de CO₂; a fost construită diagrama stării dioxidului de carbon pentru procesul de uscare în mediu modificat de CO₂; a fost elaborată instalația de uscare prototip pentru uscarea fructelor și legumelor în mediu modificat de CO₂.

Implementarea rezultatelor științifice. Rezultatele cercetărilor au fost publicate în culegeri științifice, conferințe naționale și internaționale și au fost prezentate la conferințe și expoziții. Au fost obținute brevete de invenție nr. MD 1295 Z din 31.12.2018 cu titlul „Instalație de uscare a fructelor și legumelor”.

Aprobarea rezultatelor. Rezultatele științifice din teză au fost discutate la diverse simpozioane, expoziții și conferințe, printre ele: Conferința internațională „Conferința Națională cu Participare Internațională a Universității Alma Mater din Sibiu”, Sibiu (2013); „Modern

Technologies in the Food Industry”, Chişinău (MTFI 2014, 2016, 2018); ”Biotechnologies, present and perspectives”, Suceava (2018); Simposiumul Internaţional „EuroAliment – 2017”, Galaţi (2017); Simposiumul Internaţional European Exhibition of Creativity and Innovation „EuroInvent”, Iaşi (2018, 2019); Salonul Internaţional al Cercetării Ştiinţifice, Inovării şi Inventicii „Pro-Invent”, Cluj-Napoca (2018); Târgul Internaţional de Inventică şi Educaţie Creativă pentru Tineret, ediţia a II-a, Suceava (2018); Simposiumul Internaţional „Innovation and Creative Education Fair for Youth” ICE – USV, Suceava (2019); Simposiumul Internaţional „European Exhibition of Creativity and Innovation” „Inventica”, Iaşi (2019); Simposiumul Internaţional „UGAL Invent – 2019”, Galaţi (2019); Simposiumul Internaţional „INFOINVENT”, Chişinău (2019).

La tematica tezei au fost publicate:

- Articole în reviste ştiinţifice – 6.
- Articole în lucrările conferinţelor şi altor manifestări ştiinţifice – 14.
- Brevete de invenţie şi alte obiecte de proprietate intelectuală (OPI) – 8.

Cercetările au fost realizate cu suportul Proiectului Instituţional 15.817.05.04F „*Sporirea eficacităţii proceselor de deshidratare a produselor vegetale cu utilizarea metodelor netradiţionale ale aportului de energie*”; a Proiectului din cadrul Programelor de Stat, 20.80009.5107.09 *Ameliorarea calităţii şi siguranţei alimentelor prin biotehnologie şi inginerie alimentară* şi a Proiectului transfrontalier Ro-MD “2SOFT/1.2./83 *Intelligent Valorisation of Agro-food Industrial Wastes*”, finanţat de Uniunea Europeană.

Sumarul tezei. Lucrarea cuprinde patru capitole de bază: 1. Studiul cercetărilor actuale privind uscarea produselor alimentare; 2. Materiale şi metode utilizate la cercetare; 3. Analiza parametrilor higrotermici la uscare cu bioxid de carbon, modelarea matematică a proceselor şi elaborarea instalaţiei de uscare a fructelor; 4. Studiul cineticii procesului de uscare şi calităţii produsului.

Introducere. Cuprinde scopul şi obiectivele lucrării, argumentarea metodologiei de cercetare, problema ştiinţifică soluţionată şi sumarul tezei.

Studiul cercetărilor actuale privind uscarea produselor alimentare – conţine analiza tendinţelor în domeniul uscării produselor alimentare şi analiza proprietăţilor higrotermice şi efectul lor asupra proprietăţilor fizice şi chimice ale produselor supuse uscării şi/sau deshidratării. Informaţia prezentată permite formularea problemei actuale în domeniul uscării produselor alimentare şi metode propuse de cercetători pentru a limita acţiunea nocivă a diverselor reacţii de

deteriorare, care pot interveni pe parcursul procesului de uscare, sau în perioada de depozitare a produselor finite uscate.

Materiale și metode utilizate la cercetare – cuprinde informație despre materialele și metodologia utilizate pentru a atinge scopul lucrării și obiectivele stipulate. În capitolul dat sunt prezentate informații despre dioxidul de carbon și posibilitatea utilizării acestuia în calitate de gaz substituent pentru gazul convențional utilizat în procesele de uscare în industria alimentară – aerul. Este prezentată informația despre pere, care prezintă obiectul uscării.

Analiza parametrilor higrotermici la uscare cu bioxid de carbon, modelarea matematică a proceselor și elaborarea instalației de uscare a fructelor – conține informație desfășurată despre calculul și construirea diagramelor de stare ale mediului de CO₂ și modelele matematice ale procesului de uscare în mediu modificat de CO₂.

Studiul cineticii procesului de uscare și calității produsului – capitolul dat prezintă informații despre rezultate experimentelor efectuate asupra perelor uscate cu aplicarea metodelor de uscare prin convecție cu aer și CO₂, la diferite temperaturi ale agenților termici de uscare și diferite concentrații ale dioxidului de carbon în camera de uscare.

Cuvinte-cheie: uscare, dioxid de carbon, pere, deshidratare, polifenoli, antioxidant.

1. STADIUL CERCETĂRILOR ACTUALE PRIVIND USCAREA PRODUSELOR ALIMENTARE

1.1. Proprietățile higroscopice și efectul modificării lor asupra proprietăților produselor supuse uscării

Modificările higrotermice ale proprietăților materialelor pot apărea din cauza absorbției umidității și variației temperaturii, ca rezultat, având un impact mare asupra procesării termice a produselor alimentare (Jangam et al., 2010).

Temperatura, conținutul de umiditate și activitatea apei sunt factori fizici importanți în ceea ce privește influențarea proprietăților chimice și biochimice ale produselor alimentare în timpul procesării termice (uscarea) și a depozitării ulterioare.

1.1.1. Acțiunea efectelor higrotermice asupra proprietăților chimice și biochimice

Apa este un mediu important de transmitere și stocare a căldurii, la fel participă în diverse reacții biochimice din produsele alimentare. O moleculă de apă prestează protoni, ioni de hidroxid, atomi de hidrogen și oxigen și radicali. Ca rezultat, în interiorul matricei alimentare, apa poate avea rol de solvent, reactant sau agent de dispersie (Jangam et al., 2010; Hui, 2006). Astfel, prezența apei și starea în care ea se află în componența produselor alimentare deshidratate este foarte importantă, deoarece aceasta afectează diverse reacții de deteriorare, care pot avea loc în alimente, cum ar fi brunificarea neenzimatică, oxidarea lipidelor, degradarea vitaminelor, activitatea enzimatică, activitatea microbiană și stabilitatea pigmentilor (Jangam et al., 2010; Osuna-Garcia et al., 1998), iar speciile dizolvate, odată cu eliminarea apei din produs pe parcursul uscării, se concentrează în matricea produsului alimentar. În general, viteza reacției crește odată cu temperatura și concentrația reactantului. Așadar, în timpul procesului de uscare, concentrarea solutului dizolvat cu creșterea simultană a temperaturii, pot duce la accelerarea reacțiilor dintre specii astfel mărind viteza de distrugere a valorilor nutritive (Jangam et al., 2010; Labuza et al., 1972).

Reacții de brunificare. Culoarea este un indiciu important de calitate pentru produsele alimentare uscate. Deși culoarea este de obicei asociată cu aparența fizică a produsului, totuși modificarea culorii de fapt rezultă din diverse reacții chimice și biochimice. Brunificarea, fie dorită sau nedorită, reprezintă un fenomen important, care are loc în produsele alimentare în timpul tratării și depozitării acestora. În linii generale, majoritatea reacțiilor ce duc la apariția efectului de brunificare pot fi grupate în oxidarea enzimatică a fenolilor și brunificarea neenzimatică. Brunificarea enzimatică este des catalizată de enzima polifenoloxidaza (PFO/PPO), unde

componenta fenolică, în urma reacțiilor enzimaticе, este oxidată până la chinone și apoi polimerizată până la melanoidine (pigment brun) care deține o masă moleculară mare. Pe de altă parte reacțiile neenzimaticе se referă la reacții cum ar fi Maillard (reacția dintre compușii carbonil și amino), caramelizare, brunificarea acidului ascorbic, brunificarea lipidelor și distrugerea pigmentilor (Hui, 2006; Perera, 2005; Prachayawarakorn et al., 2004). Vitezele de deteriorare a brunificării neenzimaticе sunt strâns legate de temperatură și activitatea apei. În majoritatea cazurilor, rata decolorării crește odată cu activitatea apei și temperatura procesului (Labuza et al., 1972; Goula et al., 2006; Maskan et al., 2002; McMinn et al., 1997; Rapusas et al., 1995; Topuz, 2008).

În general, viteza degradării poate fi descrisă de ecuațiile cineticii de ordinele zero sau întâi, în timp ce dependența constantei ratei de degradare de temperatură poate fi descrisă printr-o ecuație de tip Arrhenius. Totuși, rata brunificării scade la valori ridicate ale activității apei din cauza efectului de diluare a concentrației reactanților, totodată același fenomen poate fi observat și la valori mici ale activității apei, deoarece scade mobilitatea solutului sub monostrat. Reacțiile de brunificare sunt maximale atunci când activitatea apei se află între valorile de 0,5 și 0,8 pentru produsele alimentare uscate și parțial uscate (Hui, 2006; Rockland et al., 2020). În plus, a fost arătat că energia de activare a efectului de brunificare poate fi dependentă de conținutul de umiditate și activitatea apei (Labuza et al., 1972).

Proteinele (cunoscute și ca polipeptide) în principiu reprezintă polimeri ai aminoacizilor. Exemple ai aminoacizilor importanți care sunt esențiali pentru om pot fi fenilalanina, valina, treonina, triptofanul, izoleucina, metionina, leucina, lizina, cisteina, tirozina, histidina și arginina (Reeds, 2000; Young, 1994). Încălzirea produselor alimentare poate cauza pierderi ale valorii nutritive, din cauza unor reacții care au loc în prezența căldurii și apei, cum ar fi distrugerea aminoacizilor, denaturarea proteinelor și reacțiile Maillard. A fost demonstrat că tratarea termică nu afectează semnificativ compoziția aminoacidică a proteinelor (cu excepția unor aminoacizi reactivi cum sunt tirozina, histidina, lizina și prolina), dar pot schimba digestibilitatea acestora prin unele modificări conformaționale în structura proteinelor (Desrosiers et al., 1987a). Ca rezultat, în timpul încălzirii poate fi modificată diferit digestibilitatea unor aminoacizi individuali din structura proteinelor. De exemplu digestibilitatea majorității aminoacizilor din zer, poate fi sporită prin încălzire la 75 sau 100 °C, în timp ce digestibilitatea cisteinei, vanilinei, metioninei și fenilalaninei rămâne aceeași (Desrosiers et al., 1987a; 1987b). Sporirea digestibilității aminoacizilor poate rezulta din desfășurarea lanțului proteic sub efectul unei încălziri ușoare (de la 60 la 100 °C), care favorizează formarea complexului enzimă-substrat astfel permite o scindare rapidă a legăturilor peptidice. Mai mult ca atât, starea fizică a apei din alimente și ea afectează

sensibilitatea proteinelor la denaturarea termică (Russell, 1987). Cu cât cantitatea de apă absorbită de proteină este mai mică ($a_w < 0,5$), cu atât proteina devine mai rezistentă la denaturare datorită interacțiunilor electrostatice care o stabilizează. Contrar acestui fenomen, denaturarea severă și ireversibilă are loc când proteina este încălzită, la o activitate a apei cuprinsă între 0,5 – 0,97, din cauza apariției în prezența apei ca solvent a legăturilor încrucișate dintre grupurile funcționale ale lanțurilor laterale de aminoacizi.

Vitaminele. Uscarea include combinarea proceselor de transfer de căldură și masă, ceea ce poate avea efecte distructive asupra ambelor tipuri de vitamine atât solubile în apă cât și celor solubile în grăsime. Vitamina C (acid L-ascorbic) este cea mai instabilă componentă dintre toate vitaminele care se conțin în produsele alimentare. Fiind solubilă în apă, pierderile acesteia pot avea loc prin scurgere prin suprafețele lezate sau învinețite ale alimentelor și participă la fel în reacții chimice cum ar fi brunificarea neenzimatică (Russell, 1987). Acidul ascorbic este destul de repede distrus sub acțiunea căldurii aflându-se într-un diapazon anumit al pH-ului sau prin procese oxidative. A fost arătat, că rata de degradare a acidului ascorbic în diverse sisteme alimentare este dependentă și crește odată cu activitatea apei și temperaturii (Hui, 2006). Pierderile de vitamină C se măresc la valori sporite ale activității apei, însă nu devine o legitate pentru toate produsele alimentare la valori ale activității apei identice. Răspunsul pentru acest fenomen ar fi prezența altor componente și interacțiunea lor cu acidul ascorbic, la fel ca și limitările de difuzie în diverse sisteme alimentare. Savanții au accentuat, că viteza reacțiilor de denaturare pentru vitaminele A, B₁ și B₂ la fel crește odată cu creșterea activității apei ($a_w = 0,24-0,65$), însă vitaminele B sunt mai stabile decât A și C la diverse valori ale activității apei (Rockland et al., 2020). Vitaminele solubile în grăsime (liposolubile) cum ar fi β -carotenul (provitamina A) arată cea mai mare stabilitate la valori intermediare ale activității apei (Haralampu et al., 1983; Chou, H.-E. et al., 1972). Pierderi sensibile ale vitaminelor liposolubile în timpul procesului de uscare sunt probabil cauzate de interacțiunile peroxizilor și radicalilor liberi cu vitaminele, unde peroxizii și radicalii sunt produși în oxidarea lipidelor (Hui, 2006). Astfel cantități importante de vitamină A și tocoferol pot fi păstrate prin micșorarea proceselor oxidative ale lipidelor. Cu cât procesul de încălzire este mai moderat, cu atât este mai eficientă retenția vitaminelor liposolubile. Pe lângă aceasta, rata degradării carotenoizilor poate fi redusă prin mărirea conținutului de umiditate, același rezultat poate fi atins și pentru oxidarea lipidelor, însă crește rata de degradare a unor vitamine (Hui, 2006; Beuchat, 1981).

Activitatea apei. Reacțiile enzimatice pot avea loc în produse alimentare cu conținut diminuat de umiditate, dacă enzimele nu au fost inactivate prin tratament termic. Prin urmare reducerea activității apei în produsul finit este un principiu important pentru asigurarea stabilității

alimentelor uscate. În general, produsele uscate cu o activitate a apei suficient de joasă sunt protejate de deteriorarea enzimatică datorită faptului că apa activă nu este disponibilă pentru dezvoltarea microorganismelor (Hui, 2006). În Tabel 1.1 sunt prezentate valorile și limitele activității apei pentru dezvoltarea unor microorganisme, cu exemple de produse alimentare în care acestea din urmă pot arăta activitate.

Tabel 1.1 Activitatea apei (a_w) și microorganismele în produse alimentare*

Activitatea apei (a_w)	Microorganismele	Produse alimentare
0,95	Pseudomonas, Escherichia, Proteus, Shigella, Klebsiella, Bacillus, Clostridium perfringens	Fructe, legume, carne și pește proaspete.
0,91	Salmonella, Vibrio parahaemolyticus, C. botulinum, Serratia, Lactobacillus, Pediococcus	Cașcaval, jambon, concentrate de suc de fructe.
0,87	Majoritatea drojdiilor	Mezeluri fermentate, patiserie, cașcaval uscat, margarină.
0,80	Majoritatea mucegaiurilor	Concentrate de suc de fructe, lapte condensat, siropuri, făină, orez.
0,75	Bacterii halofile	Gem, marmeladă, fructe glazurate, marțipan, bezele.
0,65	Mucegaiuri xerofile	Fulgi de ovăz cu 10 % umiditate, jeleuri, melasa, nuci, fructe uscate.
0,60	Drojii osmofile	Fructe uscate cu 15-20 % umiditate, caramele, miere.
0,50	Fără proliferare microbiană	Paste făinoase 12 % umiditate, condimente cu 10 % umiditate.
0,40	Fără proliferare microbiană	Praf de ouă integral cu 5 % umiditate.
0,30	Fără proliferare microbiană	Biscuiți, crackere și pesmeți cu 3-5 % umiditate.
0,20	Fără proliferare microbiană	Lapte praf integral cu 2-3 % umiditate, legume uscate cu 5 % umiditate, fulgi de porumb cu 5 % umiditate.

*conform (Beuchat, 1981).

S-a observat că în linii generale, dezvoltarea majorității microorganismelor patogene (periculoase pentru sănătatea omului) este inhibată la valori ale activității apei mai joase de 0,6 sau un conținut de umiditate mai mic de 10 %. Pe de altă parte, conținutul de apă și valorile activității apei au o influență directă asupra activității enzimatică care în mod natural este prezentă în sistemul alimentar. În Tabel 1.2 sunt prezentate valorile minime ale activității apei pentru diverse reacții enzimatică, care pot avea loc în diferite alimente și substraturi (Multon et al.).

Tabel 1.2 Limitele activității apei pentru reacțiile enzimatiche cu exemple de substraturi și produse alimentare*

Produs /substrat	Enzime	Temperatura (°C)	Limita activității apei
Cereale	Fitaze	23	0,90
Germene de grâu	Glicozid-hidrolazele	20	0,20
Făină de secară	Amilaze	30	0,75
Paste făinoase	Fosfolipaze	25-30	0,45
Aluat de făină de grâu	Proteaze	35	0,96
Pâine	Amilaze	30	0,36
Cazeină	Tripsina	30	0,50
Amidon	Amilaze	37	0,40/0,75
Galactoza	Galactozidaza	30	0,40-0,60
Ulei de măsline	Lipaze	5-40	0,025
Trioleina, trilaurina	Fosfolipaze	30	0,45
Glucoză	Glucozoxidaza	30	0,40
Acid linoleic	Lipoxigenaza	25	0,50/0,70

*conform (Multon et al.).

Activitatea enzimatică, în cele mai dese cazuri, crește odată cu activitatea apei ceea ce presupune o mobilitate a substratului. Limitele activității apei pentru activitatea diverselor enzime variază în funcție de structura substratului și compoziția produsului alimentar. Substraturile cu masa moleculară mare, cum ar fi amidonul și proteinele, prezintă o mobilitate scăzută față de substraturile cu masa moleculară mică, cum ar fi glucoza, astfel având o limită a activității apei mai înaltă (Rockland et al., 2020). Activitatea enzimatică poate fi observată chiar și la valori foarte joase ale activității apei în special pentru substraturi neapoase, așa cum sunt lipazele în uleiul de măsline, deoarece nu au nevoie de un mediu apos pentru mobilitatea acestor substraturi uleioase lichide.

1.1.2. Acțiunea efectelor higrotermice asupra proprietăților fizice

Difuzivitatea eficientă a umidității. Transferul umidității în timpul uscării este un proces complex care include unul sau mai multe mecanisme de transfer cum ar fi difuzia lichidă, difuzia de vapori, difuzia Knudsen, difuzia superficială și diferența presiunii hidrostatice (Mujumdar, A. S., 2008). Termenul difuzivitate eficientă este introdus pentru a descrie rata deplasării umidității, pentru orice mecanism implicat în proces. Din legea a doua de difuzivitate a lui Fick urmează:

$$\frac{\partial d}{\partial \tau} = \nabla \cdot (D_{ef} \nabla d) \quad (1.1)$$

Unde: d – conținut de umiditate, kg apă/ kg prod. uscat.;

t – timpul de uscare, s ;

D_{ef} – difuzivitatea eficientă, m^2/s .

Soluția generală a ecuației (1.1) poate fi determinată pentru diverse forme geometrice standard (plan, cilindru și sferă), utilizând condițiile la limită potrivită (Crank, 1975). În multe cazuri difuzivitatea eficientă este estimată prin utilizarea primului termen a soluției generale (Zogzas et al., 1996). Însă, această metodă presupune existența unui coeficient de difuzie constant pe tot parcursul procesului de uscare și poate fi legată cu temperatura produsului prin ecuația lui Arrhenius. În realitate, coeficientul de difuzivitate este rareori constant și variază cu conținutul de umiditate, temperatură și coordonatele spațiale (Puyate et al., 2006). Savanții au prezentat o metodă detaliată de determinare a difuzivității eficiente a materialelor. În cele mai dese cazuri difuzivitatea totală prezintă suma difuzivităților fazelor de vapori și a celei lichide după cum este arătat în Figura 1.1 (Karathanos et al., 1990).

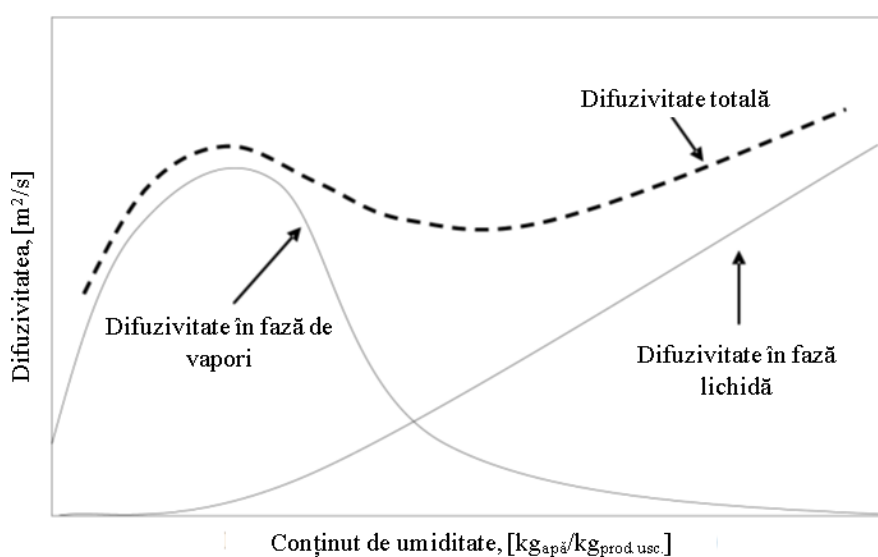


Figura 1.1 Variația difuzivității umidității în funcție de conținutul de umiditate (Karathanos et al., 1990)

Din Figura 1.1 se observă, că la valori ridicate a conținutului de umiditate, ca mecanism de transport predomină difuzivitatea lichidă, pentru valori joase ale conținutului de umiditate observăm că predomină difuzivitatea în faza de vapori (De Vries, 1958). În general, valorile difuzivității sunt cuprinse între valorile 10^{-13} până la 10^{-6} m²/s, iar majoritatea (în jur de 92 %) între 10^{-12} până la 10^{-8} m²/s (Zogzas et al., 1996). O varietate de modele empirice indică, că difuzivitatea eficientă este dependentă de temperatură și conținutul de umiditate. În mod general toate studiile indică, că difuzivitatea eficientă crește odată cu temperatura, însă rezultatele acțiunii conținutului de umiditate asupra difuzivității sunt controversate. Aceste rezultate pot fi explicate prin faptul, că la temperaturi înalte legătura moleculelor de apă cu matricea alimentului este slăbită, ceea ce necesită cantități mai mici de energie pentru a o elimina în comparație cu temperaturile joase (Xiong et al., 1992). În același timp, dependența difuzivității de conținutul de umiditate este mult

afectată de structura produsului alimentar și de porozitatea acestuia. S-a raportat, că pentru materialele cu porozitate scăzută, valoarea difuzivității eficiente se apropie de cea lichidă în timp ce pentru produsele granulare și materialele poroase umiditatea este transportată prin mecanismul difuzivității de vapori prin intermediul porilor (Karathanos et al., 1990).

Proprietățile termice ale produselor alimentare, includ capacitate termică specifică și conductivitate termică și sunt proprietăți intrinseci ale materialelor reprezentând abilitatea materialelor de a acumula și transporta căldura (Lewicki et al., 2004). Aceste proprietăți reprezintă parametrii importanți în modelarea și evaluarea operațiunilor de procesare a alimentelor care include transferul de căldură, utilizarea energiei și păstrarea calității produsului alimentar finit. În general, caracteristicile transferului de căldură pentru un produs alimentar în timpul procesului de uscare pot fi descrise utilizând modelul conductivității termice a lui Fourier (Ecuția (1.2)).

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \nabla \cdot \left(\frac{\lambda}{\rho c_p} \nabla T \right) \quad (1.2)$$

unde: λ – coeficientul conductivității termice a produsului, $W/m \cdot K$;

ρ – densitatea produsului, kg/m^3 ;

c_p – capacitatea termică specifică a produsului, $J/kg \cdot K$.

Terminul de difuzivitate termică (Ecuția (1.3)) de obicei este definit pentru ecuația de mai sus (Ecuția (1.2)) și are aceleași unități de măsură ca și difuzivitatea umidității – m^2/s .

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p} \quad (1.3)$$

Proprietățile termice a produselor alimentare depind de temperatură și structura componentelor ce formează matricea alimentului. În general, structura alimentelor este reprezentată de apă, proteine, lipide, carbohidrați și cenușă. Cunoșcând compoziția acestor constituenți au fost determinate empiric proprietățile termice ale produsului alimentar. Literatura de specialitate demonstrează o varietate de ecuații empirice care arată corelația dintre proprietățile termice ale constituenților sus-numiți și temperatură. Rezultatele primite pentru fiecare constituent în parte, pot fi sumate pentru a primi valoarea totală a proprietății termice. Totuși, utilizând metoda dată pot fi obținute doar niște valori preliminare aproximative, deoarece rezistența termică a fiecărei materii alimentare, într-o măsură mai mare sau mai mică, va depinde de aranjarea structurală a constituenților în produs. Astfel, pentru o precizie mai mare sunt necesare verificări experimentale. În cazul produselor alimentare poroase urmează a include în calcul coeficienții porozității și a

fracției de volum a aerului în pori. Aerul are o valoare joasă a conductivității termice, rezultând în general într-o conductanță termică scăzută a alimentelor cu structură poroasă (Jangam et al., 2010).

În cele mai dese cazuri, conductivitatea termică și capacitatea termică a alimentelor crește odată cu conținutul de umiditate, când temperatura este mai mare decât cea de îngheț. Acest fenomen se datorează faptului, că apa deține o conductivitate termică și o capacitate termică mai mare decât ceilalți constituenți majori ai produselor alimentare cum ar fi proteinele, lipidele și carbohidrații (Rao et al., 2014). Astfel conținutul de umiditate poate influența în mare măsură proprietățile termice ale produselor alimentare. În unele cazuri, temperatura poate cauza schimbării în proprietățile fizice și compoziția produselor alimentare astfel modificând și proprietățile termice ale acestora (Rao et al., 2014; Kouchakzadeh, 2009; Rahman, M.S. et al., 1997).

Zbârcirea și modificarea volumului

Zbârcirea produselor alimentare în timpul uscării este un proces de neevitat, deoarece încălzirea și înlăturarea apei din matricea alimentului cauzează o stare de contracție în structura celulară, ceea ce duce la un colaps a structurii alimentului, modificarea formei inițiale și contractarea capilarelor (Mayor et al., 2004). În caz ideal poate fi considerat că nivelul de zbârcire a alimentelor este egal cu volumul de apă eliminată. În așa mod poate fi obținută o corelație dintre parametrii volumului de zbârcire și conținutul de umiditate din material.

Temperatura de uscare, ca variabilă ce provoacă apariția efectului de zbârcire, nu are cea mai semnificativă influență, mai ales când materialul supus uscării deține un nivel înalt de conținut de umiditate și se află într-o stare elastică. Cercetările au arătat, că la valori mari ale conținutului de umiditate, influența temperaturii poate fi neglijată (Talla et al., 2004). Totodată la valori joase ale conținutului de umiditate crește temperatura de tranziție la structura sticloasă, ceea ce cauzează trecerea produsului supus uscării de la starea elastică la cea sticloasă. Ca rezultat, datorită rigidității materialului se reduce semnificativ nivelul de zbârcire. În afară de aceasta temperatura afectează rata eliminării umidității, influențând astfel asupra ratei de zbârcire în timpul procesului de uscare. Difuzivitatea eficientă a materialului este afectată datorită micșorării distanței pe care umiditatea trebuie să o parcurgă înainte de a fi eliminată din produs. Mai multe rezultate a diverselor cercetări au indicat o estimare mai bună a valorilor difuzivității atunci, când a fost luat în calcul nivelul de zbârcire, pe parcursul procesului de uscare (Mayor et al., 2004; Talla et al., 2004; Katekawa et al., 2006; Koç et al., 2008; Yan et al., 2008).

În general, nivelul de zbârcire a produselor alimentare crește odată cu cantitatea de apă care a fost eliminată din material, deci cu cât mai multă apă a fost eliminată cu atât crește nivelul de contracție a materialului. Acest fapt a fost demonstrat de studii experimentale, care au confirmat

creșterea nivelului de zbârcire odată cu scăderea conținutului de umiditate (Talla et al., 2004; Kingsly et al., 2007; Niamny et al., 2008). Totuși efectul de zbârcire variază în funcție de produsul supus uscării și metoda de uscare, ceea ce se poate datora structurii biopolimerice unice fiecărui produs agroalimentar și combinației efectelor condițiilor procesului de uscare.

1.1.3. Parametrii de calitate și modificările lor

În timpul procesului de uscare și de depozitare a produselor finite uscate, pot avea loc diverse modificări a unor parametri calitativi. Nivelul modificărilor depinde de diverși factori, începând cu pregătirea preventivă, înainte ca materialul să fie supus tratării termice și controlului produsului în timpul procesului. O stabilitate și calitate majoră, poate fi atinsă la menținerea condițiilor optime a produsului crud (Perera, 2005). Majoritatea parametrilor calitativi care sunt asociați cu produsele alimentare uscate includ culoarea, aspectul vizual, forma produsului, aroma, sarcina microbiană, păstrarea substanțelor nutritive, porozitatea, densitatea în vrac, textura, proprietățile de rehidratare, activitatea apei, prezența paraziților, utilizarea conservanților și prezența aromelor străine (Cristina Ratti, 2005). Starea produsului este la fel importantă – sticloasă (vitroasă), cristalină sau elastică. Toți parametrii calitativi, importanți în caracterizarea produselor uscate, pot fi împărțite în patru categorii mari: 1. fizici; 2. chimici; 3. microbiologici; 4. nutriționali.

Calitatea fizică. Modificările fizice, cum sunt structura produsului, nivelul de întărire, formarea/blocarea porilor, crăparea, rehidratarea, coacerea și lipiciozitatea, pot modifica calitatea finală a produsului uscat. Pentru păstrarea acestor aspecte ale calității este important de a determina scopul tratamentului termic și de a alege metoda de uscare potrivită. Uscarea cu aer cald, de obicei, distruge structura celulară a produsului și prin urmare procesul de rehidratare va fi mai îndelungat, într-aceleși timp, la uscarea prin sublimare, caracterul solid al apei, menține structura primară a produsului, lăsând structura celulară, practic intactă, în rezultat primind un produs cu porozitate sporită, ceea ce sporește rehidratarea lui (Saguy et al., 2005). Pentru a păstra porozitatea produsului și prin urmare a spori transferul de masă, este util de a folosi metode de tratare preventivă procesului de uscare propriu zis, și necesar de a stabili condiții optime de uscare. Menținerea gradientului de umiditate la un nivel potrivit, care direct depinde de rata uscării, poate reduce extinderea procesului de formare a crustei; cu cât este mai rapid procesul de uscare, cu atât este mai subțire stratul de crustă. Formarea crustei și a porilor poate fi un proces atât util cât și negativ, în funcție de destinația finală a produsului (Achant et al., 1996). Formarea/distrugerea porilor în timpul procesării termice a produselor alimentare este direct dependentă de temperatură iar teoria tranziției de sticlă (tranziția vitroasă) este propusă ca una potrivită pentru explicarea procesului de zbârcire și colaps în timpul uscării (Rahman, M. Shafiur, 2001). În conformitate cu conceptul dat,

colapsul porilor produsului poate fi neglijat, când materialul este procesat la temperaturi mai joase decât cea de tranziție vitroasă, ca rezultat cu cât temperatura procesului o depășește pe cea de tranziție sticloasă, cu atât este mai mare și colapsul structural. Efectul acestei teorii poate fi analizat în baza a două metode de uscare – prin sublimare și cea cu aer cald. Așa cum temperatura în timpul uscării prin sublimare este mai joasă de temperatura de tranziție, materialul rămâne în stare sticloasă, astfel efectul de zbârcire este neglijabil. În rezultat se obține un produs cu porozitate sporită și ușor rehidratibil. În același timp pentru cazul uscării cu aer, așa cum temperatura este egală cu cea de tranziție, sau chiar mai înaltă, materialul trece în starea elastică, caracterizată printr-un nivel înalt de zbârcire și colaps al porilor. Acest studiu explică motivul din care produsele alimentare uscate cu aer, prin convecție, sunt zbârcite și cu o densitate sporită în vrac (Sablani et al., 2002).

Unele studii experimentale au arătat, că conceptul tranziției vitroase nu este întotdeauna potrivit pentru uscarea prin sublimare a unor materiale biologice. Rezultatele au arătat că conceptul dat trebuie completat cu alte concepte, cum este tensiunea superficială, structura, presiunea mediului înconjurător și mecanismele de transport a umidității (Sablani et al., 2002; Meda et al., 2005). Una din ipoteze afirmă, că pentru a preveni colapsul porilor din structura materialului și a efectului de zbârcire, este nevoie de a utiliza o forță, care va echilibra efectul forței capilare, responsabilă de colaps (Rahman, M. Shafiur, 2001). Această echilibrare poate fi atinsă prin crearea unei presiuni interne, modificării mecanismului de transfer al umidității, sau a presiunii mediului înconjurător produsului.

Rehidratarea reprezintă procesul de umectare a produsului uscat. În general, pentru a rehidrata produsul uscat, acesta este înmuiat în apă, înainte de a fi consumat sau preparat, astfel capacitatea de rehidratare a materialelor uscate, a devenit un parametru de calitate important. În practică, majoritatea proceselor ce apar în timpul uscării sunt ireversibile și de aceea rehidratarea nu poate fi privită ca un proces reversibil uscării (Lewicki, 1998). În timpul rehidratării, absorbția apei are loc rapid la începutul procesului, ceea ce se datorează absorbției capilare și de suprafață. Lewicki, 1998; Rahman, S., 2020 au analizat factorii care afectează procesul de rehidratare. Printre acestea sunt – porozitatea, prezența capilarilor și cavităților aproape de suprafața produsului, temperatura, prezența aerului captat în interiorul matricei produsului, starea amorfă-cristalină, prezența substanțelor solide solubile, anionii și pH apei absorbite. Porozitatea și prezența capilarilor și cavităților la suprafața produsului, sunt factori care intensifică procesul de rehidratare, în timp ce prezența aerului în structura produsului prezintă un obstacol pentru progresarea fluidului. Odată ce cavitățile materialului sunt umplute cu aer, apa este nevoită să progreseze prin faza solidă a produsului. În faza inițială de rehidratare, temperatura este un factor

de intensificare a procesului. Prezența structurii cristaline în material prezintă un obstacol pentru procesul de rehidratare, cauzând apariția unor zone de umflare, unde apa poate fi stopată, în timp ce regiunile amorfe rehidratează ușor. Prezența anionilor în apă afectează creșterea în volum a produsului, în timpul rehidratării (Shyam S Sablani, 2006).

Textura produselor uscate este influențată de conținutul de umiditate a lor, de compoziție, pH și maturitatea produsului. Modificările texturii de natură chimică, ale produsului vegetale, cuprind cristalizarea celulozei, degradarea pectinei și gelatinizarea amidonului. În produsele din carne, modificările cum sunt denaturarea sau agregarea proteinelor și capacitatea de retenție a apei pot duce la întărirea țesuturilor musculare. Textura produsului alimentar poate fi influențată de metoda și condițiile de uscare. Lewicki, 1998; Rahman, S., 2020 au studiat calitatea merelor, bananelor, cartofilor și morcovilor, uscate prin diferite metode de uscare cum ar fi – convecția cu aer, vid, microunde, sublimare și osmoză. În urma analizei rezultatelor a fost determinat că uscarea prin convecție, microunde și vid a avut ca rezultat un efect amplu de brunificare a produselor uscate, în timp ce metoda de uscare prin sublimare a permis păstrarea culorii materiilor vegetale.

Calitatea chimică. În timpul procesului de uscare și depozitare, pot avea loc brunificarea, oxidarea lipidelor, pierderea de culoare și modificarea aromei produselor alimentare. Reacțiile de brunificare pot fi enzimatice și neenzimatice. Brunificarea enzimatică a produselor alimentare este una nedorită, deoarece duce la modificări neplăcute ale culorii și la apariția aromelor străine în produs. Efectul dat poate fi controlat prin utilizarea temperaturilor înalte, dioxidului de sulf și a acizilor, însă dezavantajele care apar cu aceste tratamente duc la distrugerea substanțelor nutritive din produs și a vitaminelor. Utilizarea acizilor cum sunt citric, malic și ascorbic, pentru micșorarea pH produsului supus uscării, la fel duce la diminuarea efectului brunificării enzimatice. Scufundarea materialelor vegetale în soluții osmotice, are în rezultat două efecte – inhibarea brunificării enzimatice și deshidratarea preventivă a produsului, pentru a intensifica procesul de uscare. Există trei categorii generale ale reacțiilor neenzimatice:

- reacțiile Maillard;
- reacțiile de caramelizare;
- oxidarea acidului ascorbic.

Factorii care pot influența desfășurarea reacțiilor de brunificare neenzimatică sunt:

- activitatea apei;
- temperatura;
- pH-ul;
- compoziția chimică a produsului alimentar.

Brunificarea are tendința de a se desfășura în mijlocul perioadei de uscare. Acest efect poate fi explicat prin migrarea constituenților solubili spre centrul produsului. Brunificarea este și mai intensă spre sfârșitul uscării, din cauza scăderii conținutului de umiditate.

Uscarea rapidă, cu eliminarea a 15-20 % de umiditate, poate duce la intensificarea reacțiilor Maillard. În produsele alimentare, bogate în carbohidrați, brunificarea poate fi controlată prin eliminarea aminelor, și viceversa, în produsele bogate în proteine, prin eliminarea zaharurilor reductoare. Tratarea cu sulf poate preveni reacția de condensare inițială prin formarea derivaților hidrosulfonați, nonreactivi, ai zaharurilor. În cazul caramelizării, încălzirea zaharurilor, produce hidroximetilfurfural, care ușor polimerizează. Această reacție poate fi încetinită prin adăugarea sulfitului, care intră în reacție cu zaharurile, ceea ce duce la reducerea formei aldehidice. Decolorarea acidului ascorbic, care se conține în produsele alimentare de natură vegetală, poate avea loc din cauza formării din acesta a acidului dehidroascorbic și dicetogluconic, în ultimele etape de uscare. Tratarea cu sulf, poate preveni brunificarea, datorită reactivității bisulfitului față de grupurile carbonil, prezente în produsele de degradare (Kadam et al., 2008).

Alimentele bogate în grăsimi sunt supuse procesului de râncezire la valori joase ale conținutului de umiditate. Responsabilă pentru procesele de râncezire este oxidarea lipidelor, ce se manifestă prin apariția aromelor neplăcute și pierderi considerabile în vitamine liposolubile și pigmenți, mai ales în produsele deshidratate. Factorii care pot influența rata de desfășurare a procesului de oxidare includ conținutul de umiditate, tipul substanței prezente (acizi grași), durata reacției, conținutul de oxigen, temperatura, prezența metalelor sau a antioxidanților naturali, activitatea enzimatică, razele ultraviolete, conținutul de proteine și conținutul de aminoacizi liberi. Pentru procesele de uscare, dintre indicii numiți, conținutul de umiditate, joacă un rol specific în oxidarea lipidelor, astfel a fost evidențiat faptul, că produsele alimentare uscate cu aer sunt mai puțin predispuse la oxidarea lipidelor, față de produsele uscate prin sublimare, ceea ce poate fi explicat prin reducerea porozității produsului (Sablani, 2006).

Calitate microbiologică. Produsele uscate sunt considerate ca fiind sigure în ceea ce privește calitatea microbiologică. Există o activitate critică a apei, mai jos de valoarea căreia nu poate crește nici un microorganism. Pentru bacteriile patogene aceasta este valoarea de 0,85-0,86, iar pentru drojdii și mucegaiuri cu aproximație poate fi considerată valoarea de 0,80. De obicei, activitatea microorganismelor încetinește la depășirea valorii activității apei de 0,62 (Sablani, 2006). Reducerea activității apei inhibă creșterea microorganismelor, însă nu rezultă în crearea unui produs absolut steril. La fel un rol pozitiv în calitatea microbiologică o joacă și temperatura, care permite reducerea numărului total de microorganisme, totuși supraviețuirea microorganismelor patogene poate aduce la deteriorarea produselor uscate în timpul procesului de

deshidratare. Tipul de microorganisme prezente pe și în produs depinde de mai multe aspecte cum sunt pH-ul, compoziția, tratarea preventivă a produsului și metoda de uscare. O metodă convențională de pretratare a unor produse alimentare înainte de uscare, este tratarea cu sare, care în combinație cu uscarea duce la reducerea activității microbiene în timpul uscării și în produsul uscat. Un factor important în prevenirea dezvoltării ulterioare a microorganismelor în produsul finit uscat, este păstrarea acestuia în condiții corespunzătoare, pentru a-l proteja de a contaminare prin praf, insecte sau paraziți (Rahman, M. Shafiur et al., 2000).

Calitatea nutritivă. Fructele, legumele și produsele lor derivate, în formă uscată, reprezintă o sursă importantă de energie, vitamine și minerale. Totuși, în timpul procesului de uscare pot apărea schimbări în calitatea nutritivă ale acestora (Sablani, 2006). Un număr mare de vitamine, cum sunt vitaminele A, C și tiamina, sunt sensibile la acțiunea temperaturii și degradarea oxidativă. Tratarea cu sulf poate distruge tiamina și riboflavina, în timp ce pretratarea cum este blanșarea și scufundarea în soluții de sulfiți reduc pierderile de vitamine în timpul procesului de uscare. A fost depistată o pierdere de până la 80 % de caroten în unele produse vegetale, care au fost supuse procesului de uscare, fără a inactiva enzimele. Totodată produsele supuse blanșării au arătat o reducere a pierderilor în caroten de doar 5 %. Blanșarea corectă a produselor alimentare, la fel este un factor important, astfel, pe exemplul spanacului, blanșarea cu abur permite de a reține o cantitate mai mare de vitamină C decât blanșarea cu apă fierbinte (Ramesh et al., 2001). Uscarea în strat fluidizat, cu aplicarea aburului supraîncălzit, a permis inactivarea factorilor antinutriționali, cum sunt inhibitorul tripsinei și ureaza, în boabele de soia (Piotrowski et al., 2004).

Păstrarea Vitaminei C în produsele uscate prin sublimare este la un nivel semnificativ mai mare, decât prin cele cu expunere la aer (convecție, la soare, etc.). Uscarea combinată, cu aplicarea microundelor în vid, la fel permite de a reține cantități importante de acid ascorbic în produsele uscate, datorită limitării accesului oxigenului. Metoda de uscare la umbră (la întuneric), la fel permite păstrarea la un nivel mai înalt a substanțelor nutritive, prin limitarea acțiunii luminii (Jayaraman et al., 1992).

Proprietățile senzoriale a produselor uscate prezintă și ele un element important în determinarea calității. Acestea includ culoarea, aroma, textura și gustul. Un aspect comun de deteriorare a calității produselor uscate este modificarea aromei, din cauza pierderii compușilor volatili organici. Pentru produsele care au o valoare economică înaltă, cum sunt aromatizatorii, condimentele, etc, se utilizează regimuri specifice de uscare cu aplicarea temperaturilor joase (Singh et al., 2006; Awogbemi et al., 2009). Temperaturile joase sunt importante pentru uscarea produsele sensibile. Singh et al., 2006, au determinat că temperatura înaltă de uscare, este unul din factorii de bază care poate afecta calitatea produselor în timpul uscării, iar scăderea acesteia, pe

exemplul unor plante frunzoase, reduce efectele negative și permite păstrarea substanțelor nutritive la un nivel mai înalt. Din acest punct de vedere uscarea cu microunde reduce durata procesului de uscare și ca rezultat expunerea la acțiunea temperaturii (Beaudry et al., 2003).

Influența depozitării asupra calității. În timpul depozitării produselor alimentare uscate pot apărea pierderi importante de substanțe nutritive. Aceste pierderi depind de diverși factori – temperatura de păstrare, pH-ul, expunerea la oxigen, porozitatea, lumina și prezența acizilor organici (Sablani, 2006).

În unele situații pierderea substanțelor nutritive este dirijată și de metoda prin care a fost uscat produsul depozitat. De exemplu a fost observată degradarea rapidă a carotenoidelor în produsele uscate prin sublimare. Din punct de vedere a păstrării carotenului, metoda de uscare cu aer are un efect mai pozitiv, permițând păstrarea carotenului în cantități mai mari, în timpul păstrării la temperatura ambiantă. Acest lucru poate fi explicat prin faptul că produsele uscate prin sublimare sunt mai poroase, ceea ce facilitează penetrarea oxigenului în interiorul produsului și oxidarea carotenului (Sablani, 2006).

1.2. Tendințe noi în domeniul uscării și deshidratării produselor alimentare vegetale

Uscare fructelor și legumelor în general este efectuată prin metoda uscării convective (Nijhuis et al., 1998). Numeroase studii au analizat problemele care apar pe parcursul procesului de uscare prin convecție convențională. Aceste constau în schimbarea unor proprietăți fizice importante ale produselor supuse uscării cum sunt pierderea culorii (Chua et al., 2000), modificarea texturii, schimbări chimice care afectează în rezultat aroma produsului, conținutul și calitatea substanțelor nutritive și provoacă efectul de zbârcire (Mayor et al., 2004). Temperatura înaltă a procesului de uscare reprezintă și ea o cauză majoră de pierdere a calității produsului finit uscat. Micșorarea temperaturii procesului reprezintă un potențial pentru mărirea calității produsului. Totuși în așa condiții, timpul de procesare și costurile asociate devin prea mari. Pentru a reduce costurile de producere au fost dezvoltate diverse metode de tratament preventiv și metode noi de uscare la temperaturi joase și cu cheltuieli de energie scăzute (Nindo et al., 2003; Beaudry et al., 2004).

Deshidratarea osmotică. Osmoză reprezintă un proces de deshidratare parțială. Cu toate că prin această metodă nu se elimină o cantitate destulă de umiditate pentru a fi considerată ca metodă de uscare, totuși ea are avantajul de a utiliza puțină energie. De aceea procesul dat reprezintă o metodă potrivită de deshidratare preventivă, un proces de uscare mai complex. Aplicabilitatea deshidratării a primit o atenție deosebită în ultimii ani pentru producerea unor

produse vegetale cu conținut mediu de umiditate și ca metodă de pre-tratament înainte de a supune produsul unei metode de uscare (Jayaraman et al., 1992).

Unele aspecte ale produselor deshidratate prin osmoză au fost expuse în diverse lucrări în care au fost analizați diverși agenți și concentrațiile lor, temperaturi, mărimi și forme ale obiectelor deshidratării, agenți osmotici, tipuri de materiale, metode de deshidratare și modificări fizico-chimice (Fito et al., 2001; Sagar et al., 2007; Kumar, P. S. et al., 2006; Rastogi et al., 2004). Principalele avantaje ale metodei date constau în cantitățile reduse de energie, cu cca. 20-30 % și reducerea influenței negative a temperaturii asupra produsului uscat prin micșorarea acesteia. De către savanți a mai fost menționat faptul că, concentrațiile mărite de zaharuri (60°Brix) și temperatură (60 °C) măresc pierderile de apă din produs (Prachayawarakorn et al., 2004).

Forța motrice a procesului de difuzivitate a apei din țesut în soluție este datorată presiunii osmotice mărite a soluției hipertonică. Rata transferului de masă la deshidratarea osmotică este relativ joasă, de aceea pentru sporirea procesului se utilizează metode combinate cu vid (Maskan et al., 2002), presiune hidrostatică ultra-mărită (Rastogi et al., 1998), impulsuri de câmp electric de intensitate mare (Rastogi et al., 1999), dioxid de carbon supercritic (Knorr, 2003).

Utilizarea vidului. Reducerea presiunii duce la expansiunea și eliberarea gazului care se află în pori. Când presiunea este restabilită, porii pot fi ocupați de o soluție osmotică, măbind considerabil suprafața transferului de masă. Efectul pozitiv al utilizării vidului în combinație cu deshidratarea osmotică, poate fi explicat pe baza parametrilor transferului osmotice, coeficienților de transfer de masă și zonei interfazice (Rastogi et al., 2004). Presiunea optimă a vidului, pentru micșorarea timpului procesului de transfer este de 50-100 mbari.

Utilizarea presiunii hidrostatice sporită. Literatura de specialitate a demonstrat că aplicarea unei presiuni hidrostatice mărite poate distruge structura pereților celulari, ceea ce duce la schimbări esențiale în structura țesuturilor, făcând celulele mai permeabile pentru deshidratarea osmotică (Rastogi et al., 1998).

Utilizarea câmpului electric pulsatoriu. Cercetările efectuate cu implicarea procesării cu câmp electric pulsatoriu al plantelor, a arătat sporirea permeabilității celulelor vegetale. Tratarea cu impulsuri electromagnetice, are ca rezultat afectarea celulelor, ceea ce duce la înmuierea țesuturilor, din care rezultă o scădere a presiunii hidrostatice. Cercetările experimentale pe cartofi și morcovi, au demonstrat sporirea transferului de masă în timpul deshidratării osmotice, în urma tratării lor cu impulsuri electromagnetice (Rastogi et al., 1999). Coeficientul de difuzie eficientă a apei și solutului crește exponențial cu puterea câmpului electromagnetic. Mărirea coeficientului de difuzie eficientă, poate la fel fi legată cu creșterea permeabilității pereților celulari, ceea ce facilitează transportarea apei și a solutului. Cercetările efectuate pe feliile de măr au demonstrat

că utilizarea tratamentului cu impulsuri electromagnetice a mărit pierderile de umiditate din produs, ceea ce este presupus legat de mărirea permeabilității membranei celulare (Taiwo et al., 2002). Ade-Omowaye et al., 2003 au comparat proprietățile calitative ale ardeiului dulce roșu pre-tratat cu impulsuri electromagnetice și apoi supus deshidratării osmotice cu cel direct tratate osmotice la temperaturi înalte. Rezultatele au arătat un nivel mai ridicat de retenție a acidului ascorbic și carotenoizilor la ardeiul tratat preventiv cu impulsuri electromagnetice. Taiwo et al., 2003 au studiat influența impulsurilor electromagnetice de intensitate înaltă asupra capacităților de rehidratare a feliilor de mere, la diferite temperaturi. Rata de rehidratare a crescut odată cu temperatura, însă valorile maxime au fost depistate la temperaturi joase (20-45 °C).

Utilizarea CO₂ supercritic. Metoda dată prezintă un interes sporit pentru procesarea produselor alimentare și a materialelor biologice. Punctul critic al bioxidului de carbon este la temperatura de 31,17 °C și presiunea de 7,38 MPa (Knorr, 2003). Combinația presiunii și temperaturii într-un anumit diapazon, permite modificarea parametrilor solventului, fără a-i schimba compoziția.

Utilizarea ultrasunetului. Fluxul acustic poate afecta grosimea stratului limită care se stabilește între fazele lichidă și solidă. Sub acțiunea câmpului ultrasonic, în interiorul produsului se poate produce cavitația, care poate genera fluctuații locale de presiune. Prin urmare crește intensitatea transferului de masă la tratarea osmotică ulterioară. Rata transferului depinde de presiune și frecvența undelor produse de câmpul ultrasonic (Raghavan et al., 2005).

Utilizarea încălzirii cu microunde. Tehnologia microundelor utilizează unde electromagnetice, care trec prin material și cauzează oscilația moleculelor și generează căldură. Încălzirea cu microunde generează căldura în interiorul materialului și-i încălzește întreg volumul cu aproximativ aceeași rată. Tehnologia microundelor, poate fi cu ușurință combinată cu metodele convenționale de uscarea și întreg sistemul poate fi ușor automatizat. Song et al., 2007 au ajuns la concluzia, că rata de eliminare a umidității din produs este mai mare la deshidratarea osmotică asistată de microunde, decât la cea neasistată.

Uscarea cu pompe de căldură. Utilizarea pompelor de căldură pentru uscarea a fost studiată ceva timp în urmă, însă ideea nu a fost primită din cauza nerentabilității economice legată de prețurile joase pe combustibil în perioada dată. Odată cu creșterea prețurilor pe combustibil în anii 1970, interesul pentru utilizarea pompelor de căldură pentru procesele de uscarea a fost revăzut, datorită posibilității economiei resurselor energetice. Pentru încălzirea aerului, uscătoarele convenționale consumă resurse energetice de calitate înaltă și elimină la ieșire un torent de aer umed, cald, care prezintă o cantitate importantă de energie termică, care este pierdută în mediul înconjurător. Pentru a reduce aceste pierderi, au fost introduse pompele de căldură, cu scopul de a

recupera căldura latentă de evaporare a apei, care părăsește uscătorul. Plasând evaporatorul pompei de căldură în fluxul de ieșire al uscătorului, prin intermediul refrigeratorului, are loc răcirea și dezumidificarea aerului care părăsește instalația. Astfel căldura adăugată la refrigerent este transmisă condensatorului pompei de căldură și apoi introdusă în fluxul de aer care intră în uscător, astfel măbind temperatura fluxului. Când aerul care părăsește uscătorul este recirculat, la potențialul total de uscare se adaugă și efectul de dezumidificarea.

Hogan et al., 1983 au studiat aplicabilitatea pompei de căldură pentru uscarea grâului și au ajuns la concluzia că sistemul dat este mai convenabil decât sistemele încălzite cu electricitate datorită consumului scăzut energie. Inițial, pompele de căldură erau utilizate pentru a reduce consumul de energie al uscătoarelor. În prezent a fost confirmat că instalațiile de uscare asistate de pompele de căldură într-adevăr au un consum de energie micșorat (Queiroz et al., 2004; Fernández-Golfín Seco et al., 2004). Unul din cele mai mari avantaje ale metodei de uscare cu pompe de căldură este păstrarea calității și aplicabilitatea pentru uscarea materialelor valoroase, care sunt sensibile la acțiunea căldurii.

Într-un studiu, în care feliile de mango și mere au fost uscate într-un sistem cu pompă de căldură, au fost comparate consumurile de energie la uscarea cu pompă de căldură, cu un uscător ipotetic cu încălzire electrică. În rezultat a fost raportat că uscătorul dotat cu pompă de căldură arată un avantaj cu reducerea cu cca. 20-40 % a consumului de energie (Kohayakawa et al., 2004; Gabas et al., 2004). Un alt grup de savanți au uscat mere, guava și cartofi într-o instalație de uscare cu pompă de căldură, utilizarea azotului și dioxidului de carbon ca agent termic de uscare. În final a fost observat că efectul total al metodei a permis reducerea brunificării și păstrarea culorii produsului finit uscat. În plus, porozitatea proprietățile de rehidratare materialului uscat, au fost superioare celor uscate în vid (Hawlander et al., 2006b). Au fost efectuate studii și asupra proceselor de uscare combinate cu utilizarea pompelor de căldură și a microundelor. Rezultatele au sugerat că aplicarea microundelor poate fi combinată cu uscarea cu pompă de căldură, pentru a primi rezultate mai bune, cum ar fi timp de uscare mai scurt, nivel scăzut de zbârcire, un aspect exterior mai plăcut și scăderea consumului de energie pentru exercitarea și menținerea procesului.

Uscarea cu microunde utilizează energia electrică cu o frecvență cuprinsă între 300 MHz și 300 GHz, cu cea mai des utilizată frecvență de 2450 MHz. Microundele sunt generate în interiorul unui cuptor, prin intensificarea curentului alternativ din rețeaua electrică cu valorile frecvenței cuprinse între 60 Hz și 2450 MHz. Cu acest scop este utilizat un dispozitiv numit magnetron (Orsat, V. et al., 2017). Utilizarea microundelor pentru uscare a arătat un consum relativ scăzut de energie. Încălzirea uniformă pe întreg volumul produsului și timpul redus de procesare transformă microundele într-o sursă atractivă de energie termică, atât pentru savanți cât și pentru

ingineri. Pentru a îmbunătăți eficiența procesului, este recomandată utilizarea unor altor metode în combinație cu microundele, cum sunt convecția sau vidul (Chou, S. K. et al., 2001).

Atunci, când energia microundelor vine în contact cu produsul, în interiorul produsului se generează căldură, prin excitarea moleculară. Pasul următor este critic și constă în a elimina imediat vaporii de apă. O metodă simplă și eficientă de a face, este de a trece un torent de aer deasupra suprafeței materialului, astfel combinând procesele și primind uscarea combinată convecție cu microunde. Temperatura aerului poate fi în continuare modificată, pentru a reduce timpul de uscare. Pentru a controla temperatura produsului și ca rezultat desfășurarea corectă a procesului de uscare, trebuie monitorizat ciclul de lucru al magnetronului (Changrue et al., 2004). Utilitatea microundelor este vizibilă mai ales în perioada a doua de uscare, unde viteza procesului scade. Pe parcurs ce produsul absoarbe energia microundelor, se formează un gradient de temperatură, care forțează umiditatea să migreze din interior spre suprafața materialului (Erle, 2005). Pentru uscarea în microunde sunt importanți diverși factori cum este factorul pierderilor dielectrice, care reprezintă capacitatea materialului de a disipa energia electrică. Este important de știut că proprietățile dielectrice depind de permeabilitatea materialului și de frecvența curentului. Proprietățile dielectrice se modifică în funcție de temperatură și umiditate, astfel uniformitatea celor din urmă va dirija și uniformitatea procesului de uscare (Venkatesh et al., 2004).

Diverse studii efectuate de către Osepchuk, 2002; Wang et al., 2005 au confirmat, că utilizarea microundelor în uscare permite reducerea timpului de uscare și intensifică metodele convenționale de uscare, mai ales în perioada a doua de uscare, accelerând evaporarea umidității reziduale din produs, arătând rezultate pozitive și din punct de vedere al calității. Cercetările au arătat că variind ciclul de lucru poate fi păstrate: aspectul calitativ al produsului cum ar fi culoarea, nivelul de zbârcire și proprietățile de rehidratare.

Uscarea cu abur supraîncălzit. Metoda dată, constă în uscarea produsului într-o atmosferă compusă totalmente din aburi, în absența aerului. Capacitatea aburului supraîncălzit de a usca produsele alimentare, se datorează adăugării căldurii sensibile pentru a ridica temperatura vaporilor mai sus de temperatura de saturație la o presiune specifică. În timpul procesului nu este nevoie de a elimina umiditatea din camera de lucru, până ce nu este atinsă o limită de presiune stabilită. După ce limita a fost atinsă, vaporii suplimentari sunt eliminați din cameră. Cel mai mare avantaj al metodei reprezintă faptul, că metoda dată de uscare este ciclică, prin simpla adăugare a unei cantități de căldură sensibilă. Un alt avantaj al metodei constă în posibilitatea adaptării uscătoarelor convenționale (convective și conductive) la utilizarea aburului supraîncălzit (Tatemoto et al., 2007). Unele tipuri de uscătoare deja lucrează cu utilizarea aburului supraîncălzit, cum sunt uscătoarele în strat fix, în strat fluidizat, pneumatice și cu pulverizare.

Utilizarea aburului supraîncălzit în uscătoarele în strat fluidizat. Încercările savanților au arătat, că uscarea cu abur supraîncălzit poate fi eficient utilizată pentru multe produse cum ar fi amidonul de porumb, amidonul de cartof sau alte subproduse alimentare. Totuși, metoda nu poate fi numită universală așa cum nu permite tratarea în strat fluidizat a particulelor prea mari sau prea mici. Pentru întocmirea modelului dat Tatemoto et al., 2007 s-au bazat pe teoria difuzivității și o serie ipoteze. Printre ele sunt:

- condensarea vaporilor de apă pe suprafața materialului probă, are loc sub punctul de fierbere a apei;
- când temperatura produsului se egalează cu punctul de fierbere al apei, toată căldura transmisă suprafeței lui este folosită pentru procesul de evaporare;
- punctul de fierbere al apei, modifică local presiunea produsului;
- coeficientul total de transfer termic, include și căldura transmisă prin iradiere în mediul de uscare;
- procesul de uscare este finisat, atunci când temperatura produsului depășește punctul de fierbere al apei.

Utilizarea aburului supraîncălzit în convecție. Pentru producerea chips-urilor de cartofi, pizza sau biscuiților, poate fi utilizată convecția cu aer cald. Leeratanarak et al., 2006 au utilizat aburul supraîncălzit în loc de aer pentru prepararea chips-urilor de cartofi și au determinat că în produsul final a fost reținută mai multă vitamină C și avea o structură mai bună decât cele uscate în aer. S-a observat că transferul de masă a avut loc conform legii lui Fick, iar cel de căldură descris de legea de conducție a lui Fourier. Efectul cel mai notabil al utilizării aburului supraîncălzit este asupra calității produsului și anume limitarea nivelului de zbârcire, crocanța și microstructura.

Utilizarea aburului supraîncălzit pentru uscare rapidă. Produsele alimentare, care sunt sensibile la acțiunea temperaturii trebuie să fie supuse unei uscări rapide, pentru care și servește metoda cu utilizarea aburului supraîncălzit și vid. Uscarea pneumatică, sau rapidă, reprezintă un proces în care gazul transportat trece în stare de abur supraîncălzit. Această metodă este utilizată pentru uscarea componentelor organice (Heldman et al., 2018).

Uscarea prin sublimare a materialelor biologice este una din cele mai avansate metode de eliminare a apei și rezultă într-o calitate a produsului finit superioară celorlalte metode de deshidratare și uscare. Această metode de uscare constă în sublimarea fracției de gheață când apa trece din starea solidă în cea gazoasă. Datorită temperaturii joase de tratare, se reduc toate activitățile chimice și microbiologice de deteriorare a materialului, ceea ce are un impact pozitiv asupra produsului finit. Noile tendințe în alimentație au adus la ceea, că piața de produse organice

este în creștere. Astfel, fructele și legumele uscate prin sublimare nu doar cresc în volum, dar și cunosc o diversitate (Dziki, 2020). Metoda dată de uscare a dat dovadă de a fi mai eficientă decât uscarea prin convecție în curent de aer în uscătorul cu tobă. În afară de aceasta, pentru unele produse, mai sensibile la acțiunea temperaturilor înalte, uscarea prin sublimare a devenită cea mai potrivită metodă de uscare (Hsu et al., 2003). Astfel, cercetările au arătat, că unele fructe de dimensiuni mici, cum ar fi pomușoarele (căpșuna, zmeura, etc), uscate prin sublimare au dat dovadă de îmbunătățire a structurii, calităților senzoriale, păstrării porilor și scăderii nivelului de zbârcire în comparație cu alte metode de uscare, care necesită temperaturi mult mai înalte de tratare.

Uscarea prin pulverizare este o tehnologie industrială bine-cunoscută și utilizată pe scară largă pentru uscarea și transformarea în pulbere a lichidelor alimentare, termosensibile. Scopul de bază al metodei date de uscare, este de a elimina rapid apa din produs, cu cheltuieli minime energetice și cu impact negativ nesemnificativ asupra produsului și mediului înconjurător (Hall, 1996). Utilizarea scării prin pulverizare permite de a transforma o suspensie fluidă diluată, într-o pulbere de înaltă calitate. Procesul constă din patru etape de bază:

- atomizarea;
- stabilirea contactului dintre picăturile de fluid și gazul fierbinte;
- evaporarea apei;
- separarea sistemului gaz-pulbere (Mujumdar, Arun S., 2015).

Uniformitatea și omogenitatea dimensiunilor picăturilor în procesul de pulverizare, prezintă un parametru important pentru proiectarea instalațiilor de uscare și mai ales a ajutorajelor de pulverizare (duze), astfel pentru diverse scopuri și materii prime, sunt utilizate diverse duze, cum sunt cele pneumatice, cu două fluide, de presiune, sau conice. Uscarea prin pulverizare poate avea loc într-o singură etapă, în două, sau trei etape. La utilizarea duzelor pneumatice, uscarea de obicei are loc într-o singură etapă. Atunci când uscarea are loc în două etape, după uscarea propriu zisă prin pulverizare are loc a doua etapă, în strat vibro-fluidizat. Uscarea în trei etape permite în final de a ameliora calitățile pulberii obținute prin controlul aglomerării particulelor (Masters, 2004).

Uscarea în vid reprezintă un proces important de tratare a materialelor sensibile la modificările de temperatură. Procesul de uscare în vid, poate fi utilizat, în funcție de condițiile fizice, pentru a aduce energie termică spre produsul supus uscării și pentru a elimina vaporii de apă. Metoda permite utilizarea temperaturilor joase pentru anumite situații, pentru a limita

probabilitatea decolorării sau descompunerii, care poate avea loc în cazul acțiunii temperaturilor înalte (Khin et al., 2005).

Uscarea combinată. Utilizarea combinațiilor metodelor de uscare devine tot mai des utilizată, deoarece permite de a folosi beneficiile fiecărei dintre metodele individuale de uscare care participă la proces. Există o mulțime de combinații posibile și odată cu apariția noilor metode de uscare și deshidratare, numărul lor va crește. De exemplu, adăugarea unei sisteme de uscare/deshidratare cu microunde, la un sistem de uscare în strat fluidizat, aduce și combină beneficiile ambelor metode. Acțiunea microundelor, reduce timpul de uscare, în timp ce efectul de fluidizare îmbunătățește uniformitatea uscării, astfel micșorând probabilitatea ardeii produsului (Feng et al., 1999). O metodă interesantă de tratare a produselor alimentare vegetale a fost descoperită de savanți, constând în combinarea uscării cu aer cald și uscarea prin sublimare, care a dat ca rezultat sporirea calității produselor vegetale și micșorarea consumului de energie pentru întreținerea procesului. Pe exemplul morcovilor și semințelor de dovleac, Chou, S. K. et al., 2001; Kumar, H. S. P. et al., 2001 au determinat, că calitatea produselor uscate era similară celor uscate prin sublimare, iar timpul de uscare și consumul de energie de două ori mai mic.

Uscarea cu microunde are anumite dezavantaje, care nu permit a numi metoda dată de uscare ca fiind una universală – pierderea aromei, degradarea texturii produsului, costuri inițiale sporite. Combinarea unei metode de uscare convențională cu aplicarea microundelor, mai ales în etapa a doua de uscare, a demonstrat a fi o metodă potrivită pentru a reduce timpul de uscare în timp ce permite păstrarea calității produsului finit uscat, într-aceiași timp minimizând necesitățile energetice ale procesului (Erle, 2005; Soysal et al., 2006).

Uscarea combinată microunde-convecție și microunde-vid. Astfel cum punctul de fierbere a apei este atins la temperaturi mai joase în vid, aplicarea acestuia în combinație cu microundele duce la sporirea calității produsului. Au fost efectuate multe studii a posibilității aplicării vidului în timpul uscării cu microunde. Drouzas et al., 1996 și alți savanți, experimentând cu diferite produse alimentare vegetale au ajuns la concluzii asemănătoare. Astfel la uscarea combinată microunde-vid, a feliilor de banane, a fost observat că calitatea produsului, în ceea ce privește gustul, aroma și proprietățile de rehidratare sunt excelente. Lin et al., 1998; Regier et al., 2005 au comparat trei metode de uscare – aer (convecție), sublimare și combinația vid-microunde, pentru feliile de morcovi. Rezultatele au arătat, că probele uscate prin metoda combinată vid-microunde au un potențial sporit de rehidratare și un conținut ridicat de β -caroten și acid L-ascorbic decât la cele uscate prin combinația aer-sublimare.

O altă posibilă combinație este utilizarea microundelor în una din etapele de uscare a unui proces de uscare cu aer (convectiv), utilizabilă pentru producerea fructelor și legumelor uscate de

calitate înaltă. Un studiu experimental a fost realizat pe exemplul usturoiului uscat (Beaudry et al., 2003). Cea mai bună calitate a produsului finit a fost obținută la utilizarea metodelor de uscare prin sublimare și combinația vid-microunde. Cea mai redusă calitate a usturoiului uscat a fost primită la utilizarea metodei de uscare cu aer, prin convecție (Cui et al., 2003). Sharma et al., 2006 care au efectuat uscări experimentale ale usturoiului cu utilizarea aerului cald și combinației vid-microunde, au constatat că metoda combinată de uscare a permis reducerea timpului total de uscare cu cca. 80 % și cu o calitate a produsului finit, superioară usturoiului uscat prin metoda convențional convectivă.

Deshidratarea combinată microunde-osmoză. În timpul proceselor de deshidratare pot apărea diverse complicații, cum sunt cele cauzate de faptul că membranele exterioare ale unor produse alimentare creează piedici procesului de evaporare a apei din interiorul produsului. În aceste cazuri sunt binevenite procesele de tratare preventivă. Pentru a reduce timpul de deshidratare osmotică, a fost folosită metoda de deshidratare cu microunde ca proces de tratare preventivă pentru afine. În rezultat a fost determinat, că calitatea produsului uscat finit, cu privire la caracteristicile de rehidratare și calitățile senzoriale, a fost aproape de calitatea afinelor uscate prin sublimare, dar cu cantități de energie reduse (Beaudry et al., 2004; Sunjka et al., 2004; Piotrowski et al., 2004; Venkatachalapathy et al., 1999).

1.2.1. Uscarea în mediu modificat

Metodele convenționale de uscare utilizează ca agent de uscare aerul. În uscarea convectivă cu aer produsele suferă reacții de degradare, care duc la diminuarea calității, cauzate de diverse modificări nedorite de natură fizică, chimică, care au loc în timpul procesului de uscare. Cele mai des întâlnite reacții duc la apariția efectelor de brunificare și zbârcire (Mujumdar, Arun S., 2006). Brunificarea poate fi cauzată de reacțiile enzimatică sau neenzimatică, care pot avea loc în produs. Enzima, cel mai des întâlnită în fructe și legume, care cauzează apariția acestor efecte, este polifenoloxidaza. O acțiune nedorită asupra produselor supuse uscării, o are și prezența oxigenului.

Pentru a evita oxidarea materialului supus uscării și distrugerea ingredientelor sale bioactive, aerul, utilizat ca agent termic uscare fierbinte, care conține 21 % oxigen, poate fi înlocuit cu azot sau dioxid de carbon. Prin eliminarea oxigenului, se evită astfel oxidarea și unele reacții nedorite care necesită oxigen. La rândul său, aceasta reduce brunificarea produselor și îmbunătățește păstrarea substanțelor bioactive. În plus, uscarea în atmosferă modificată mărește difuzivitatea eficientă a unor produse alimentare. O'Neill et al., 1998, au studiat aplicarea uscării în atmosferă modificată pentru unele produse alimentare, cu utilizarea pompei de căldură. O serie de studii experimentale au fost efectuate cu privire la uscarea în atmosferă modificată, cu utilizarea

pompei de căldură, pentru diferite tipuri de produse alimentare și au demonstrat o îmbunătățire deosebită a calității produsului finit uscat (Denniff et al., 1976; Hawlader et al., 2006a; Hawlader et al., 2006b).

Obiectivul unuia dintre studii a fost de a compara pierderea de gingerol în timpul uscării ghimbirului prin intermediul uscării convenționale cu aer, uscării cu pompă de căldură în atmosferă modificată, uscării prin sublimare și uscării în vid (Hawlader et al., 2006a).

Picanteria este un important indiciu de calitate a ghimbirului. Rizomul a fost apreciat pentru această calitate încă din antichitate (Denniff et al., 1976). Cheesman, 1973 a remarcat, că principalele componente înțepătoare ale rizomului de ghimbir sunt omologii de gingerol și produsele lor deshidratate – omologii de shogaol, care pot rezulta din procese termice sau depozitare pe termen lung. Un alt grup de cercetători au constatat sporirea concentrației principalelor componente înțepătoare (gingerolul și shogaolul) la extragerea din rizomii de ghimbir uscați la soare, nedistilați și distilați cu abur, dar calitatea oleozinei a scăzut deoarece unii gingeroli au deshidratat și au produs shogaoli (Balladin et al., 1996; 1998).

Pentru procesul de uscare a fost utilizată o instalație de uscare cu pompă de căldură cu atmosferă modificată, care este prezentată în Figura 1.2. Instalația este dotată cu două condensatoare pentru a controla temperatura de uscare solicitată. Ventilatorul dirijează debitul de aer / gaz inert, permițându-i să condenseze vaporii de apă în evaporator și respectiv să-i încălzească în condensatorul intern. În interiorul camerei de uscare este plasată o tavă rotativă cu două nivele, ceea ce permite o încălzire uniformă. Deoarece sistemul este închis, pe lângă aerul atmosferic, ca medii de uscare, au fost utilizate de asemenea azotul și dioxidul de carbon (Hawlader et al., 2006a).

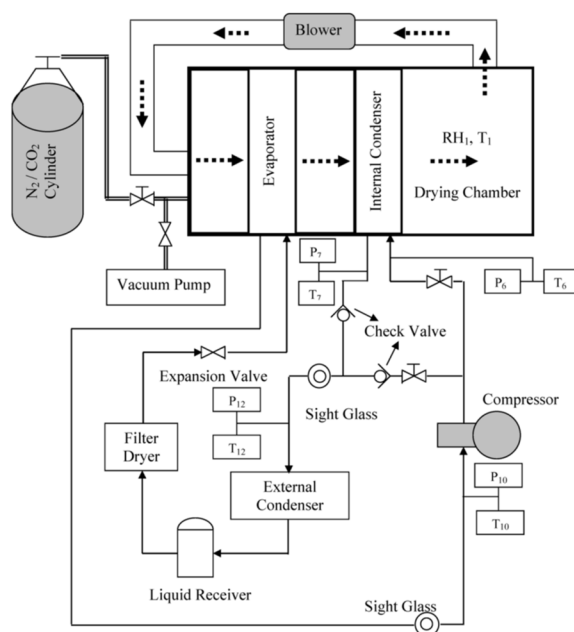


Figura 1.2 Schema uscătorului cu pompă de căldură (Hawlader et al., 2006a)

Din analiza rezultatelor prezentate de către (Hawlder et al., 2006a) s-a determinat, că cantitatea de 6-gingerol, folosită ca indice de retenție a substanțelor volatile în ghimbirul uscat prin diferite metode de uscare, păstrat în probele uscate a crescut în următoarea ordine: aer – 6,5 mg/g produs uscat, sublimare – 8,7 mg/g produs uscat, azot – 9,7 mg/g produs uscat, dioxid de carbon – 9,9 mg/g produs uscat și în vid – 11,3 mg/g produs uscat. Cu toate acestea, diferența dintre uscarea în atmosferă modificată cu azot și uscarea în atmosferă modificată cu dioxid de carbon nu a fost semnificativă la $p < 0,05$ (Hawlder et al., 2006a).

Astfel cum toate condițiile de uscare au fost menținute la fel, pentru uscarea cu pompă de căldură, este clar că atmosferele inerte (azot și dioxid de carbon) au contribuit la o reținere mai mare a 6-gingerolului, de 1,5 ori, comparativ cu uscarea convenșională în aer. Acest lucru se poate datora naturii amestecului complex de compuși fenolici relativ instabili din ghimbir, care suferă oxidare în aer (Denniff et al., 1981). În aerul normal, concentrația oxigenului este de aproximativ 20 % în volum. Mediul modificat a scăzut nivelul de oxigen în perioadele de uscare, ceea ce a redus posibila distrugere a gingerolului.

Studiu efectuat de către Cam et al., 2018 a avut ca scop de a determina un sistem de uscare în atmosferă modificată cu ciclu închis, ca o tehnică alternativă de uscare pentru a facilita procesele de uscare a materiei prime agricole, în special pentru regiunile foarte umede și însorite. Ca parametru de calitate de bază, a fost luat conținutul total de acid L-ascorbic, care a fost determinat atât pentru căpșunile proaspete cât și pentru cele uscate prin diferite metode (Klopotek et al., 2005).

Pentru uscarea căpșunilor a fost utilizată instalația experimentală de uscare în atmosferă modificată cu ciclu închis (Figura 1.3). Instalația este constituită din opt conducte de intrare și de evacuare a aerului, amplasate pe ambele părți ale camerei de uscare. Camera de uscare este echipată cu opt tăvi perforate, amplasate într-un suport de tăvi. Suportul pentru tăvi are un motor rotativ cu o viteză reglabilă, pentru a evita variația umidității în mediul de uscare de la un capăt la celălalt capăt al tăvilor. Un cântar electronic este plasat sub camera de uscare pentru a cântări suportul cu tăvi la o anumită perioadă de timp. Există cinci senzori în camera de uscare, dintre care trei sunt amplasați la intrarea aerului, în timp ce ceilalți sunt plasați la ieșirea aerului. Unitățile de încălzire sunt situate în spatele camerei de uscare pentru a încălzi gazul (aerul, dioxidul de carbon, etc) până la temperatura de referință și un ventilator pentru a menține o viteză reglabilă a gazului (Cam et al., 2018).

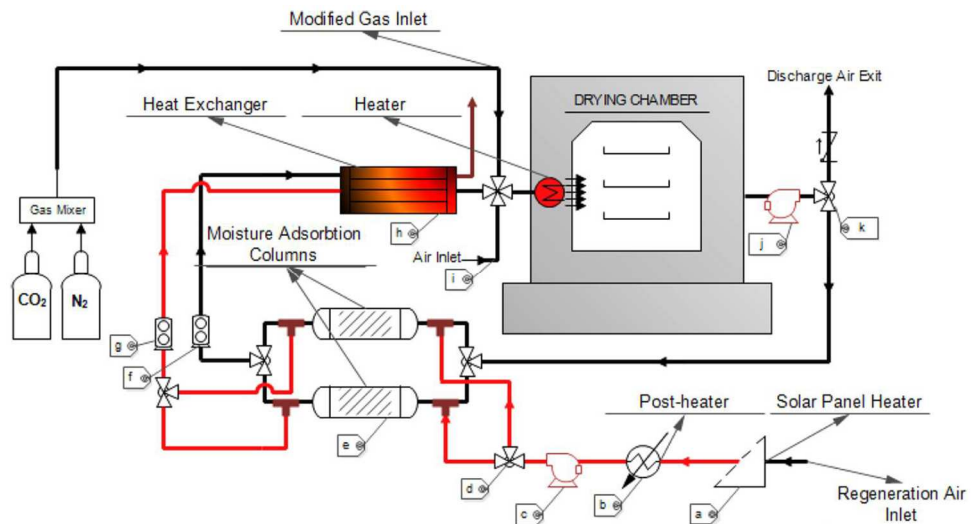


Figura 1.3 Instalația experimentală de uscare în atmosferă modificată cu ciclu închis (Cam et al., 2018)

Acidul L-ascorbic este un compus natural prezent în multe alimente și esențial în dieta umană. În general, acest compus este supus degradării în prezența oxigenului din cauza mai multor factori, precum temperatura și lumina (Burdurlu et al., 2006; Marfil et al., 2008). Pierderea procentuală de acid L-ascorbic a fost calculată pentru fiecare metodă de uscare, rezultatele fiind comparate statistic. Conform rezultatelor obținute, conținutul inițial de acid L-ascorbic a fost de 51,8 mg/ 100 g substanță uscată. În ceea ce privește pierderea acidului ascorbic, metodele de uscare s-au dovedit a fi semnificativ diferite ($p < 0,05$) unele în raport cu altele (Cam et al., 2018).

După compararea metodelor de uscare au fost primite următoarele rezultate – cea mai mică pierdere de acid L-ascorbic (1,5 mg/100 g sau 2,9 %) a fost determinată pentru uscarea prin sublimare în condiții anaerobe, cele mai apropiate rezultate, de 3,57 mg/100 g, sau 6,9 %, au fost obținute în timpul uscării în mediu modificat cu ciclu închis. Cea mai mare pierdere de acid L-ascorbic (14,09 mg/100 g sau 27,2 %) a fost obținută în timpul uscării cu aer cald. Astfel pierderile de acid L-ascorbic pentru uscarea cu aer au fost de aproape 4 ori mai mari comparativ cu metoda de uscare în atmosferă modificată. O posibilă explicație pentru aceste pierderi este oxidarea acidului ascorbic în timpul tratamentelor termice convenționale. Timpul de uscare relativ lung asociat cu uscarea cu aer contribuie la pierderea severă a acidului L-ascorbic (Megías-Pérez et al., 2014). S-a specificat de mulți cercetători că prezența oxigenului în atmosferă în timpul uscării sporește degradarea acidului ascorbic și că acest efect poate fi redus folosind amestecuri de gaze inerte (Goula et al., 2006; Marfil et al., 2008; Erenturk et al., 2005).

O altă cercetare a avut ca scop determinarea influenței uscării în atmosferă modificată asupra caracteristicilor și calității feliilor de morcovi prin utilizarea unui uscător experimental cu

atmosferă modificată. Azotul (N_2) a fost ales ca gaz inert pentru a înlocui o parte din aer și a controla conținutul de O_2 din mediul de uscare în timpul procesului de uscare. Au fost analizate efectele temperaturii și ale conținutului de O_2 asupra caracteristicilor de uscare și parametrilor de calitate, cum ar fi conținutul de carotenoizi, conținutul de acid L-ascorbic, schimbarea culorii și capacitatea de rehidratare (Liu et al., 2014).

Oxidarea ingredientelor alimentare, cum ar fi vitaminele și pigmenții, este una dintre cele mai importante cauze ale pierderii calității în timpul procesării alimentelor (Andersson et al., 1997). Acidul ascorbic și carotenoizii sunt principalele vitamine și respectiv pigment din morcovi. Aceste substanțe se oxidează ușor în timpul uscării în atmosferă normală (Leong et al., 2012). Astfel, uscarea morcovilor într-un mediu cu un conținut scăzut de O_2 este o modalitate importantă de a reduce efectele oxidative (Liu et al., 2014).

Schema uscătorului cu atmosferă modificată dotat cu pompă de căldură și sistem de uscare cu recirculare a aerului este prezentată în Figura 1.4. În sistemul pompei de căldură, este inclus un compresor cu piston, un evaporator și două condensatoare intern și extern. Sistemul de uscare cu recirculare a aerului constă din camera de uscare, un ventilator de aer principal și unul auxiliar, un încălzitor electric auxiliar, un cilindru cu gaz inert și un cărucior pentru materia primă. Azotul (N_2) este aerat pentru a înlocui aerul din cameră dintr-un recipient cu gaz. Concentrația de O_2 este detectată de doi senzori de oxigen din interiorul camerei și este controlat de supapa din fața cilindrului de azot (Liu et al., 2014).

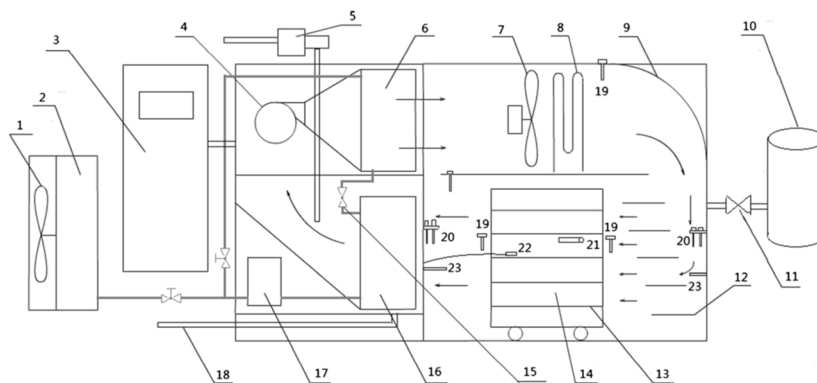


Figura 1.4 Schema uscătorului cu atmosferă modificată (Liu et al., 2014)

În cercetarea efectuată de către Liu et al., 2014 a fost amplu analizată influența temperaturii și a conținutului de O_2 în procesul de uscare în atmosferă modificată asupra conținutului de carotenoizi și acid L-ascorbic. Valoarea conținutului de carotenoizi a crescut aparent odată cu scăderea conținutului de O_2 și a temperaturii de uscare. În comparație cu morcovul proaspăt (46,02 mg/100g), conținutul de carotenoizi în probele uscate la 40 °C și concentrația O_2 de 5 %, a scăzut doar de 1,2 ori (37,18 mg/100g), iar la 70 °C și 5 % O_2 , de 1,87 ori (24,7 mg/100g), însă

odată cu creșterea concentrației de O₂, s-au mărit și pierderile de carotenoizi, astfel la temperatura de 40 °C și concentrația O₂ de 20,9 %, a scăzut de 1,87 ori (27,93 mg/100g), iar la 70 °C și 20,9 % O₂, de 3,08 ori (15,02 mg/100g).

Conținutul de carotenoizi este un indicator important în determinarea calității finale a produselor din morcovi uscat. Calitatea carotenoizilor în țesutul intact al plantei este stabilă, însă, atunci când se efectuează uscarea, carotenoizii din interiorul materialelor sunt izolați și vulnerabili la efectele condițiilor de procesare, cum ar fi căldura și concentrația ridicată a oxigenului, în principal din cauza oxidării și distrugerii dublelor legături conjugate din moleculele de carotenoizi (Klieber et al., 1999). Uscarea în atmosferă modificată cu conținut scăzut de oxigen poate reduce probabilitatea de contact dintre O₂ și carotenoizi, prevenind astfel oxidarea acestora și reduce pierderea lor. Prin urmare, reducerea conținutului de oxigen în timpul uscării este utilă pentru a atinge o retenție ridicată de carotenoizi.

În ceea ce privește influența temperaturii de uscare și a conținutului de oxigen asupra ratei de retenție a acidului L-ascorbic la uscarea în atmosferă modificată s-a depistat aceeași tendință de scădere a ratei de reținere, odată cu creșterea temperaturii și concentrației de oxigen (Liu et al., 2014). În probele uscate la 5 % oxigen, la creșterea temperaturii de la 40 °C la 70 °C s-au reținut 74 % și respectiv 61 % de acid L-ascorbic, arătând o scădere în concentrația acestuia de 1,2 ori. Creșterea concentrației de O₂ a avut și ea un efect de diminuare a ratei de retenție: la 40 °C – 61% și la 70 °C – 35 % de acid L-ascorbic reținut; o scădere de aproximativ 1,47 ori față de uscarea cu 5 % oxigen.

Raportul de retenție a acidului ascorbic a crescut prin reducerea conținutului de O₂ și scăderea temperaturii de uscare. Ca material sensibil la căldură și la prezența oxigenului, acidul ascorbic este ușor distrus în condiții de temperatură de uscare ridicată și conținut ridicat de O₂ (Davey et al., 2000).

1.2.2. Eficiența energetică la uscare și metode de reducere a consumului de energie

Uscarea este adesea utilizată pentru a preveni deteriorarea fructelor și legumelor în perioada ce urmează recoltarea (Baker, 2005). În cele mai dese cazuri, pentru aceste scopuri sunt utilizate metodele de uscare convective în contracurent, echicurent sau curent mixt. O caracteristică comună a acestor instalații de uscare este consumul sporit de energie. Din cauza situației care s-a stabilit cu privire la încălzirea globală, o atenție sporită este atrasă acumulării gazelor de ardere, care se formează la arderea combustibililor fosili, atât utilizate direct la punerea în funcțiune a instalațiilor de uscare, cât și necesare pentru a crea energia electrică. Din acest motiv există o tendință de a reduce consumurile de energie, mai ales în țările care fac parte din protocolul Kyoto.

Sursele arată că cca. 34 % din producerea globală, necesită uscare artificială pentru produsele vegetale recoltate (Raghavan et al., 2005).

O procedură valoroasă de a reduce consumul de energie în timpul procesului de uscare, reprezintă metoda de uscare combinate (Raghavan et al., 2005). Un alt pas important în reducerea consumului de energie, este utilizarea metodelor de modelare matematică (Achariyaviriya et al., 2002). Uscarea intermitentă (Chua et al., 2003) și uscarea cu impulsuri electrice (Raghavan et al., 2005), la fel reduc consumul de curent electric. Uscarea cu utilizarea microundelor, a fost determinată de a avea un impact mare nu doar asupra timpului de uscare dar și a consumului de energie. La fel pot fi folosite și alte metode combinate de uscare, care utilizând beneficiile fiecărei metode de uscare luate în parte, permit păstrarea calității produsului, dar și reducerea timpului de uscare și a consumului de energie, necesar procesului.

1.3. Consumul fructelor în stare proaspătă și deshidratată

Pe parcursul evoluției omului, fructele au constituit baza hrănilor acestuia, probabil fiind și primul aliment pe care omul l-a consumat. Fructele, alături de unele legume, pot fi considerate ca produse finite naturale, care pot fi consumate odată ce sunt găsite, fără a interveni cu procedee consumatoare de energie. Fructele reprezintă complexe alimentare, cu combinații bine stabilite ale componentelor fizico-chimice, pregătite de natură pentru consumul proaspăt.

În stare proaspătă, fructele reprezintă organisme vii, pentru care este specifică desfășurarea diverselor procese metabolice, iar sub acțiunea enzimelor proprii fructelor, unele din aceste procese au loc și după recoltare. Implicarea diferitelor metode de conservare au scopul de a minimaliza intensitatea a astfel de procese și mai ales a celor de transpirație, respirație și descompunere, generată de acțiunea diverselor microorganisme patogene.

Pentru o alimentație corectă și conștientă, omul trebuie neapărat să consume fructe în stare proaspătă. Valoarea nutritivă sporită a fructelor proaspete, se datorează substanțelor chimice, aflate în componența acestora, iar aspectul atractiv și calitățile lor gustative, le transformă într-un aliment dorit de orice consumator. Compoziția chimică complexă a fructelor, inclusiv și perele, le fac indispensabile pentru nutriția omului, astfel consumul zilnic de fructe trebuie să constituie cca. 15 % din totalul de alimente.

Compoziția chimică a fructelor proaspete este reprezentată de apă, conținutul căreia variază în funcție de masa fructului (pere: 81,6 – 85,1 g; piersici: 87,0 – 90,0 g; căpșuni: 88,1 – 92,6 g) (FoodData Central f.a.) și substanțe uscate (substanțe organice și minerale), din care cea mai mare pondere este constituită din zaharuri (monozaharide – glucoza, fructoza, dizaharidele – zaharoza și polizaharidele (celuloza, amidonul și pectina). Zaharurile simple, dar și alte zaharuri prezente în

fructele proaspete, sunt ușor asimilate de organismul uman și transportate prin intermediul sistemului sangvin, fără implicarea reacțiilor de transformare, care ar consuma energie. Celuloza prezentă în cantități diferite în fructe, joacă un rol important în lucrul sistemului digestiv, ușurând mult eliminarea deșeurilor din organism.

Fructele proaspete, inclusiv perele, cuprind cantități variabile de compuși ai metalelor, cum sunt sodiul, potasiul, calciul, fierul, etc, sau săruri ai acizilor carbonici (fosforic, carbonic, etc.). Cantitativ, sărurile minerale pot varia în funcție de diverși factori – specia pomicolă, soiul, condițiile climaterice, etc. În cantități mici, aduse de fructe, acestea joacă un rol important în secreția diverselor glande, dar și pentru metabolism, servind drept substanțe tampon.

Componența fructelor în acizi organici, este direct dependentă de caracteristicile soiului și speciei fructelor, dar și de nivelul de maturare. Datorită prezenței acizilor în componența fructelor, în timpul mestecării, se simte gustul acru, care variază în funcție de concentrația lor în produs, iar raportul dintre acizi și zaharuri, stabilesc specificul gustativ al fructelor. Marea parte a speciilor de fructe cultivate (mere, pere, caise, căpșuni, coacăză, etc) conțin predominant acid citric, totuși aciditatea unor specii și soiuri de fructe este reprezentată de astfel de acizi cum sunt acidul malic, tartaric, succinic, etc (Gherghi et al., 2001).

Perele uscate au un conținut ridicat de fibre și vitamină C, susținând sistemele digestive și imunitar. Produsele alimentare, pe bază de pere rehidratate conțin cantități importante de taninuri, care acționează benefic asupra intestinului și calmează tulburările acestuia, inclusiv tratează constipațiile. Din compoziția perelor uscate fac parte și pectinele care ajută la reglarea concentrației de colesterol în organismul uman. Pe lângă cele expuse, perele uscate posedă proprietăți diuretice, antimicrobiene, calmante, sunt prescrise la tratarea reumatismului, artritei și pentru întărirea organismului.

Perele uscate conțin bor, care acționează benefic asupra funcționării creierului prin stimularea celulelor acestuia, sporind puterea de concentrare. Elementul dat, este esențial pentru menținerea sănătății oaselor, deoarece stimulează transportul de calciu în organism, astfel perele uscate sunt prescrise persoanelor care suferă de osteoporoză. Perele conțin la fel natriu și potasiu, care reglează funcționarea sistemului nervos, contracțiile musculare și metabolismul proteinelor. Unul din cele mai mari beneficii ale perelor este că ele sunt considerate ca fiind unele din cele mai puțin alergice fructe și pot fi consumate de marea parte a persoanelor (Informații nutriționale despre pere f.a.).

1.4. Utilizarea bioxidului de carbon în industria alimentară

Pentru CO₂ au fost găsite numeroase aplicații industriale. Element cheie, pentru o dezvoltare durabilă a direcției de utilizare a CO₂ în diverse industrii, este posibilitatea de a aproviziona aceste domenii de producere cu cantități garantate de dioxid de carbon de calitate. Dioxidul de carbon poate fi utilizat sub diferite stări de agregare: lichid, gaz sau gheață uscată. Aplicabilitatea poate fi divizată în două categorii: prima fiind industriile, ce utilizează CO₂ ca materie temporară (bule de gaz, răcire, etc.) fără a-l transforma în alte elemente chimice și a doua categorie, care cuprinde industriile care preiau CO₂-ul din atmosferă și-l transformă în alte produse (controlul pH-lui apelor uzate) (Aresta et al., 2019).

La moment utilizarea CO₂-lui la nivel de piață (≈ 220 mln. t/an), reprezintă mai puțin de 0,6 % din cantitatea totală de CO₂ aruncată în atmosferă (≈ 37000 mln. t/an). Aceste cifre arată că pentru ca utilizarea industrială să devină sursă importantă de diminuare a concentrației CO₂-lui în atmosferă este necesar de a spori utilizarea acestuia cel puțin de zece ori. Totuși, chiar dacă aceste valori nu vor fi atinse în cel mai scurt timp, beneficiile pentru mediul înconjurător sunt obținute prin implementarea atât a tehnologiilor existente cât și a celor noi. Acest principiu necesită o evoluție meticuloasă, deoarece potențialul de utilizare a CO₂-lui poate fi ușor subestimat. Un exemplu reușit ar fi Germania, a cărei industrie de utilizare a dioxidului de carbon a început în 1885 cu doar 122 t de CO₂, în 1899 erau deja 15000 t de CO₂ utilizat și în 1918, cantitatea de CO₂ utilizat în industrie a depășit 33000 t, iar în prezent, Germania consumă în jur de 1 mln. t de CO₂. În 2012 consumul total de CO₂ în Europa, inclusiv partea de est, a atins cifra de 4 mln. t/an. Cantitatea curentă de CO₂ consumat în Europa este estimată a fi mai mult de 6 mln. t/an.

Cu excepția utilizării CO₂-lui pentru faza de extracție terțiară a petrolului (extracție îmbunătățită a petrolului), piața comercianților din SUA, estimează să depășească o cantitate de 10 mln. t/an de CO₂ (ceea ce reprezintă o valoare de 1,5 mlrd. de \$ USA), iar piața globală poate atinge o valoare de 30 mln. t/an. Reprezentanții pieței comercianților din SUA (Reprezentanții companiilor care comercializează gaze industriale la fel ca și echipamente pentru producerea și recuperarea CO₂-lui) înregistrează în ultimii ani o mulțime de consolidări (Aresta et al., 2019), (N Kalijan et al., 2007).

Bioxidul de carbon găsește aplicație practic în fiecare sector industrial de activități și posedă o mulțime de proprietăți valoroase (efervescent, inert, chimic, acid, presiune, lichid de răcire, densitate ridicată, ne conductor electric, solvent, bacteriostatic, fotosinteză, pesticid care nu lasă reziduuri, sublimare (nu se topește)) care-l fac important pentru aplicarea industrială (Aresta et al., 2019).

Procesarea produselor alimentare. Dioxidul de carbon este utilizat în întreaga industrie alimentară începând cu paralizarea animalelor înainte de procesul de sacrificare și până la livrarea produselor spre comercializare sau la domiciliu. CO₂-ul este potrivit de a fi utilizat aproape pentru orice categorie de produse alimentare și materii prime inclusiv carne roșie, păsări de curte, alimente și fructe de mare, legume proaspete și brutărie. Pe piața de comercializare a CO₂-lui, există șase direcții de bază, care în SUA constituie cca 52 % din totalul de CO₂ realizat (cu excepția CO₂-lui utilizat pentru producerea fertilizatorilor pe bază de uree, sau reinjectarea în fântânelor de petrol) și anume:

- Refrigerarea: Răcirea produselor alimentare în timpul transportării
- Ambalarea sub atmosferă modificată (*Modified Atmosphere Packaging* (MAP/CAP))
- Congelarea: Răcirea produselor alimentare în timpul procesării
- Extracția de fluide în stare supercritică
- Decontaminarea alimentelor

Siguranța alimentelor este un domeniu de importanță crescândă pentru consumatorii de CO₂ lichid (L-CO₂). Producătorii de produse alimentare din întreaga lume au implementat proceduri pentru analiza riscurilor punctelor critice de control (HACCP), pentru a identifica și corecta etapele din procesul de producere, unde alimentele pot fi alterate și nu corespund cerințelor de calitate specificate sau standardizate. Tehnologiile inovative de răcire, pe bază de CO₂, ajută la eliminarea riscurilor de pe aceste puncte. După aplicabilitate, în domeniile de refrigerare, congelare și ambalare, CO₂-iul concurează cu azotul. Ambele gaze nu lasă reziduuri pe/în produs, deci decizia de a alege unul dintre ele este bazată doar pe preț și accesibilitate (Aresta et al., 2019), (N Kaliyan et al., 2007).

Menținerea „Lanțului frigorific” pentru produsele alimentare în timpul transportării. Dioxidul de carbon lichid este utilizat pentru refrigerarea alimentelor atât la etapa de pregătire spre transportare, cât și în timpul transportării. Acesta este utilizat uneori pentru a răci preventiv remorcile, care sunt dotate cu sisteme de răcire convenționale. CO₂-ul este de asemenea utilizat în sistemele de refrigerare portabile complete. Acestea pot fi alimentate cu gheață uscată, sau pot acumula fulgi de CO₂, din dioxidul de carbon lichid, injectat din rezervoare. Fiind injectat direct, CO₂-ul lichid este acumulat pe suprafața produselor alimentare sub formă de un strat de zăpadă, sau în containere de plastic deasupra acestora. Astfel de zăpadă, sublimează treptat în timpul transportării și furnizează o răcire adăugătoare. Însă, cauzele principale ale popularității CO₂-lui, ca agent de refrigerare sunt costul moderat al echipamentului frigorific pe bază de dioxid de carbon și efectul sporit de răcire.

YARA-Thermoking (CryoTech f.a.) utilizează evaporarea CO₂-lui pentru refrigerarea alimentelor în camioane și remorci în locul arderii unei cantități sporite de combustibil. Cu toate că dioxidul de carbon se mai utilizează în tandem cu sistemele de refrigerare convenționale, totuși sistemele de refrigerare complet bazate pe CO₂ preiau o bună parte a pieței care aparținea sistemelor de refrigerare mecanice, fapt care se datorează atât avantajelor din punct de vedere a păstrării mediului înconjurător, cât și celor economice legate de costul avantajos al echipamentului pe bază de CO₂. Sistemele pe bază de dioxid de carbon nu utilizează clorofluorocarbura (CFC), care din considerente ecologice, este treptat eliminată din domeniul refrigerării și spre deosebire de sistemele de refrigerare mecanice nu afectează mediul înconjurător cu emisii în urma arderii combustibilului.

În plus, sistemele cu CO₂ nu produc zgomot și necesită puțină mentenanță, ele ating temperatura necesară mai rapid și o mențin un timp mai îndelungat. Din nefericire, tendința de aplicare a acestor sisteme, practic nu a progresat din 2013. Principalul motiv al acestei stagnări este lipsa disponibilității stațiilor de reumplere pentru dioxidul de carbon lichid.

Ambalarea în atmosferă modificată/controlată (MAP/CAP). În domeniul ambalării alimentelor, CO₂-ul gazos, generat din cel lichid, este utilizat ca mediu inert pentru a preveni pierderi de aromă, deteriorarea produselor din cauza oxidării și înmulțirea microorganismelor. Dioxidul de carbon este utilizat pentru ambalarea cafelei și ca mediu inert în procesarea și transportarea fructelor, legumelor și cerealelor. CO₂-ul este non-toxic și nu lasă reziduu pe produse.

În acest domeniu CO₂-ul concurează cu azotul și alegerea gazului se face doar din considerente de cost și disponibilitatea acestui în regiunea dată. Metoda de ambalare sub atmosferă modificată/controlată (MAP/CAP) este totalmente focusată pe controlul absolut asupra condițiilor de procesare și ambalare și folosește pelicule flexibile și respirabile, în combinație cu utilizarea gazelor (dioxid de carbon sau azot, sau combinarea lor) pentru a prelungi termenul de valabilitate al alimentelor ambalate. Această metodă duce la reducerea cantității de aditivi și conservanți, extinde raza și distanța de distribuție a producătorilor și cultivatorilor și satisface cerințele consumatorilor pentru alimente proaspete, de calitate înaltă și procesate la minim. Cu toate acestea se reducea cantitatea de deșeuri. Tehnologia dată este la etapă de dezvoltare, dar a fost deja aplicată la produsele de patiserie, carne și alimente preparate și semipreparate (lasagna, paste proaspete, etc. (Modified atmosphere packaging - Strategic application technology f.a.; A dedicated website), cu scopul prelungirii perioadei de păstrare (Modified Atmosphere Packaging (MAP) f.a.). Chiar dacă pentru cele mai simple aplicații inerte CO₂-ul poate fi înlocuit cu azot, totuși există aplicații

avansate în care dioxidul de carbon (sau amestecul de CO₂ și alte gaze) asigură proprietăți specifice alimentelor, care nu pot fi atinse prin simpla substituție a CO₂-lui cu azot.

Congelarea: răcirea alimentelor în timpul procesării. Dioxidul de carbon poate fi utilizat pentru controlul temperaturii produselor în timpul amestecării, prin injectarea directă a dioxidului de carbon lichid, sau în formă de gheață uscată, utilizând generatoare de zăpadă de tip „corn de zăpadă”. Astfel cum CO₂-ul nu este reținut în amestec, acesta poate fi utilizat pentru controlul procesului mult mai eficient, decât apa, sau gheață de apă. În funcție de necesitățile procesului, există o mulțime de perspective de utilizare a CO₂-lui în domeniul congelării și refrigerării. Produsele pot fi răcite înainte de a fi ambalate, înghețate pentru păstrare sau utilizată metoda de „crust-freezing” pentru un control bun al operațiunilor de tăiere. Mecanismul de refrigerare de bază, este injectarea CO₂-lui lichid, sub presiune, care se dilată la presiune atmosferică transformându-se în dioxid de carbon solid cu -78 °C, care în urmărire sublimază și răcește sistemul (Dohmeyer | Cryogenic Tunnel Freezer | Cryogenic – Freezing – Precision f.a.).

Mișcarea forțată a gazului rece furnizează o energie de răcire adăugătoare. Echipamentul, care utilizează CO₂ lichid ca agent criogenic, este disponibil atât pentru procesele continue cât și discontinue. Există echipamente, care permit ca produsul să fie plasat pe cărucioare, de asemenea sunt disponibile diverse variante de dispozitive de tip tunel, în care zona de refrigerare/congelare poate fi dotată cu transportoare simple sau cu mai multe trepte, sau chiar transportoare spiralate care permit lungimi mari de benzi transportatoare să fie plasate într-un spațiu limitat. Sistemele de congelare criogenice, necesită mai puțin spațiu, în interiorul zonei de producere astfel cum nu necesită dotare cu unități frigorifice (Dohmeyer | Cryogenic Tunnel Freezer | Cryogenic – Freezing – Precision f.a.).

Congelare individuală rapidă (IQF). Un alt domeniu de congelare a alimentelor, unde dioxidul de carbon se află la locul său potrivit, este congelarea rapidă individuală (*Individual Quick Frozen IQF*): bucățile mici de produs, care sunt predispuse să se lipească între ele, sunt menținute în continuă mișcare într-un echipament rotativ, în timp ce CO₂-ul injectat se amestecă cu produsul. Datorită procesului de sublimare a CO₂-lui solid se produce o scădere a temperaturii, iar gazul rece format se amestecă cu produsul, înghețându-l, dar menținându-l în liberă mișcare. Acest proces lucrează la fel de bine și cu produsele alimentare glazurate. Mai multe tehnici de utilizare a dioxidului de carbon pot trece de la starea de testare la implementare în practica de producere, odată ce guvernele vor vota măsuri decisive pentru a evita dezvoltarea E. coli și a altor bacterii în alimente. În toate aceste mecanici de congelare și refrigerare, CO₂-ul (fie lichid sau solid) concurează atât cu congelarea mecanică cât și cu utilizarea azotului lichid (LIN). Dioxidul de carbon, poate fi, de asemenea, utilizat pentru a controla temperatura, păstrând produsul în zona

termică ideală pentru absorbția de proteine, în timpul mășării pentru adăugarea saramurii utilizate pentru îmbunătățirea aromelor și conservarea (About SFT, Inc. f.a.).

O substanță asemănătoare dioxidului de carbon, se află în stare supercritică, atunci când temperatura și presiunea acesteia este mai mare decât valoarea „punctului critic”. În această stare, dioxidul de carbon, nu este ca atare nici lichid, nici gaz, dar mai degrabă posedă ceva calități ale ambelor stări. Acest produs supercritic deține proprietăți unice de solvent, care permite dizolvarea substanțelor ca un solvent lichid, însă procesul decurge mult mai rapid, datorită calităților sale de gaz. Spre deosebire de lichide (care sunt necompresibile), CO₂-ul supercritic devine tot mai dens, odată cu creșterea presiunii. Cu toate că și alte produse chimice pot fi utilizate ca agenți pentru extragerea în fluide supercritice (Supercritical Fluid Extraction (SFE)), totuși dioxidul de carbon este ideal pentru această metodă, deoarece este non-toxic, non-inflamabil, necostisitor și ușor disponibil. Mai mult ca atât, dioxidul de carbon atinge starea supercritică la temperatura de 31 °C. Metoda de extragere în fluide supercritice poate fi utilizată pentru procesul de decafeinizare a cafelei și producerea aromelor, coloranților naturali și uleiurilor esențiali. Această metodă, des se utilizează pentru decafeinizare a cafelei deoarece CO₂-ul este non-toxic, nu implică utilizarea a astfel de solvenți ca clorura de metilen și nu lasă urme în produsul finit. Extragerea prin metoda SFE, cu utilizarea dioxidului de carbon devine tot mai populară, datorită utilizării acesteia pentru extragerea unor produse alimentare, naturale, specifice cum ar fi aroma de hamei (About SFT, Inc. f.a.).

Decontaminarea produselor alimentare. În procesul numit PoroCritSM, alimentele și medicamentele lichide sunt sterilizate și conservate la contact cu CO₂-ul comprimat, la temperatura camerei. Această metodă de procesare, care utilizează tehnologia membranelor, ca fiind cea mai eficientă metodă de a aduce CO₂-ul în contact cu lichidele ce urmează a fi sterilizate, a fost din nefericire abandonată, după decesul inventatorului. Metoda de pasteurizare SC-CO₂ (*Supercritical carbon dioxide pasteurization*), este la fel acceptabilă pentru procesarea sucurilor, cum ar fi cel de morcov, de mere sau de portocale (Aresta et al., 2019).

Băuturi carbogazoase. Domeniul dominant de utilizare al CO₂-lui, în industria alimentară, este producerea băuturilor carbogazoase nealcoolice, dar și a unor categorii de băuturi alcoolice, cum ar fi vinurile spumante și altele. Creșterea cantitativă a volumelor de CO₂, este adesea rezultat al creșterii consumului și producerii anume a băuturilor carbogazoase nealcoolice (băuturi dulci sau sucuri naturale carbogazoase) și a celor alcoolice (vinuri spumante, etc.) (Fabroni et al., 2010; Di Giacomo et al., 2016).

Băuturile sunt supuse procesului de carbonatare prin utilizarea saturatoarelor. Gazul comprimat, cu care este aprovizionată mașina de saturare este evaporat din CO₂-ul lichid. Apa

răcită până la temperatura de 5 °C, este pompată cu gaz în partea superioară a saturatorului, curge peste defletoare sub presiune, unde este saturată cu dioxid de carbon. Doar după parcurgerea acestor etape apa carbogazoasă este gata de a fi amestecată cu diverși aditivi și îmbuteliată (Fabroni et al., 2010; Di Giacomo et al., 2016).

Necesitatea în dioxid de carbon pentru băuturile carbogazoase nealcoolice variază între 2,5 % vol. până la 4,5 % vol. de gaz per volum total de lichid, pentru băuturile puternic carbogazoase astfel precum berea de ghimbir și ape tonice. Totuși volumul total de bioxid de carbon consumat de această industrie este mai mare decât cifrele indicate din cauza pierderilor care apar în timpul îmbutelierii, utilizării dioxidului de carbon pentru operații non-carbonatate astfel ca tratarea și curățarea apei (controlul pH-lui). În afară de acestea CO₂-ul este utilizat de industria dată ca propulsor pentru golirea rezervoarelor și în calitatea de gaz protector pentru păstrarea calității băuturilor.

Producerea berii și a altor băuturi fermentative, nu necesită injectări de CO₂ din exterior, deoarece la fabricile de bere, mai ales cele mari, procesul de fermentare generează cantități adecvate de bioxid de carbon, care este prin urmare captat și purificat pentru a fi utilizat în incinta fabricii.

Dioxidul de carbon lichid, utilizat în băuturi trebuie să fie fără inodor și cât de posibil de pur, astfel cum impuritățile pot afecta gustul și aroma băuturilor. Licențiatorii de băuturi carbogazoase încearcă să mențină o uniformitate a gustului și aromei la nivel mondial, iar multe licențe pentru băuturi carbogazoase conțin o clauză care afirmă că „licența poate fi revocată fără recurs de către licențiat dacă nu se menține un gust satisfăcător pentru licențiator”. Astfel, aprovizionarea cu dioxid de carbon de înaltă calitate a producătorilor de băuturi carbogazoase este de importanță majoră (Fabroni et al., 2010; Di Giacomo et al., 2016).

În ultima perioadă au loc multe dezbateri legate de definițiile „CO₂ Natural” și „CO₂ Sintetic”. Problema pusă fiind dacă fântânelor subterane (rezultante ale proceselor fermentative ce au avut loc mulți ani în urmă) generează mai mult CO₂ natural decât procesele fermentative curente cum ar fi cele de producere a metanolului sau bio-metanului, sau acestea trebuie să fie închise, deoarece ele emană cantități importante de CO₂ în atmosferă, care până la deschiderea lor era sigilat sub pământ.

O metodă de utilizare a CO₂-lui lichid este în creștere continuă găsind aplicație în piața băuturilor și anume – livrarea de CO₂ lichid în așa-numitele sisteme mini-vrac. Astfel aceste sisteme fixe sunt plasate în incinta barurilor, restaurantelor și altor localuri și sunt direct umplute din rezervoarele criogenice (Fabroni et al., 2010; Di Giacomo et al., 2016).

1.4.1. Proprietățile hidrodinamice și termice ale mediului modificat

Dioxidul de carbon (formula chimică CO_2) reprezintă un compus natural din atmosfera Pământului, cu o pondere de aproximativ 0,04 %. El este format printr-o legătură chimică covalentă, liniară a două elemente – carbonul și oxigenul. Fiind asimilat de plante, în timpul fotosintezei, participă la producerea oxigenului și ca rezultat la menținerea vieții pe pământ. Ca și alte gaze, dioxidul de carbon este dependent de modificările temperaturii și presiunii și în funcție de aceasta poate avea toate trei stări de agregare – gaz, lichid și solid. În diverse surse bibliografice, dioxidul de carbon poate găsit și sub alte denumiri, cum sunt bioxid de carbon, anhidridă carbonică, oxid carbonic, etc.

Proprietăți fizice. La temperatura de 15 °C și presiunea atmosferică, dioxidul de carbon se află în stare gazoasă, cu densitatea de cca. 1,87 kg/m³ și greutatea de cca. 1,5 ori mai mare decât a aerului. Bioxidul de carbon gazos este incolor și inodor, concentrându-se în zone mai joase (Aresta et al., 2019).

Fiind clasificat ca non-toxic și neinflamabil, totuși dioxidul de carbon gazos, poate afecta respirația atunci, când se acumulează în concentrații > 1% și odată cu creșterea acesteia poate avea efecte grave asupra sănătății omului.

Pentru a se afla în stare lichidă, dioxidul de carbon trebuie să aibă o temperatură mai joasă de cea critică, 31 °C sau să fie peste punctul critic (temperatura -56,6 °C și presiunea de 4,18 barg). Transportarea, stocarea și manipularea bioxidului de carbon se efectuează în stare lichidă, sau la temperatura mediului înconjurător (în recipiente de depozitare neizolate la presiunea cuprinsă între 45 și 65 barg) sau răcit (în recipiente de depozitare izolate la presiunea cuprinsă între 12 și 25 barg și o temperatură care poate varia între -35 °C și -15 °C). Mai jos de punctul triplu (presiune 4,18 barg și temperatura de -56 °C) se poate afla doar sub formă de gaz sau gheață, respectiv bioxidul de carbon nu poate fi găsit în formă lichidă la presiune atmosferică. Fiind depresurizat de la presiunea punctului triplu până la cea atmosferică, CO_2 -ul lichid se transformă în gheață uscată și gaz, producând o ceață albă, constituită din particule solide și vapori de bioxid de carbon (Ce Este CO_2 ? – CO_2 Alimentar f.a.).

Pentru a trece dioxidul de carbon în starea solidă, este utilizată capacitatea CO_2 -lui lichid de a se dilata la presiune atmosferică prin ulterioara formare a fulgilor de zăpadă (zăpadă carbonică), cu o temperatură de -78,5 °C. Însăși gheața uscată este dobândită prin presarea zăpezii carbonice în blocuri de diverse dimensiuni. Gheața carbonică este stocată în containere închise neermetice (Ce Este CO_2 ? – CO_2 Alimentar f.a.).

Instrucțiuni privind siguranța. Bioxidul de carbon, prin eliminarea oxigenului, poate provoca asfizia și chiar decesul. Pericolul de asfizie este acutizat din motiv că bioxidul de carbon,

fiind mai greu decât aerul, poate să se acumuleze în sectoare aflate la nivelul solului, departe de sursa de scurgere a gazului, făcând imposibil de a prezice apariția acestuia într-un loc anume. Totuși riscul poate fi ușor prevenit, datorită specificului dioxidului de carbon, aflat în concentrații dăunătoare, de a crea senzație de sufocare care este un indiciu de alertă.

Toxicitatea. În funcție de localitate, concentrația bioxidului de carbon în atmosferă (luată de la nivelul mării și cca. 30 km înălțime) poate să fluctueze între 0,036 % și 0,039 %. Fiind expus o perioadă îndelungată la concentrații medii de CO₂, în organismul omului pot avea loc diverse reacții precum mărirea acidității sângelui (acidoza) sau tulburări ale metabolismului. Bioxidul de carbon are efecte negative și asupra lucrului inimii și anume duce la reducerea capacității de contracție. Efectele nocive ale acțiunii CO₂-ului, sunt direct legate de creșterea concentrației gazului în aer și pot fi:

- expunerea la o concentrație de 1 % duce la apariția senzației de somnolență;
- o concentrație de 2 % are efect amețitor, duce la mărirea tensiunii arteriale și căderea auzului;
- la o concentrație de cca. 5 % provoacă amețeli, confuzie, dificultăți în respirație și dureri de cap. La aceleași concentrații pot apărea atacuri de panică;
- la cca. 8 % pot apărea dureri de cap, transpirație, diminuări ale vederii și la o expunere îndelungată – pierderi de cunoștință.

Pentru reducerea pericolului asupra sănătății, legat de expunerea de lungă durată la acțiunea dioxidului de carbon, Institutul Național pentru Securitate și Sănătate în Muncă al SUA (NIOSH), a declarat, că concentrația accesibilă de bioxid de carbon, pur în aer, timp de opt ore, pentru o persoană adultă sănătoasă, nu trebuie să depășească 0,5 %. În spațiile închise, în care se află oameni, valorile concentrației de bioxid de carbon vor fi mai mari decât în aer liber, iar concentrația admisibilă pentru persoanele, care suferă de boli cardio-pulmonare, copii și bătrâni este mult mai mică. Astfel, la concentrații care depășesc 0,1 % va apărea o senzație de disconfort la mai mult de 20 % dintre oameni, la o concentrație de 0,2 %, persoanele vor simți un grad mare de inconfort cu simptome de grețuri și dureri de cap. Luând ca bază aceste valori de concentrații și simptomele specifice, a fost format un indicator de calitate a aerului din încăperi, cuprins în 0,03 % și 0,25 % (de la 300 ppm și 2500 ppm) (Ce Este CO₂? – CO₂ Alimentar f.a.).

Influența asupra organismului uman. Bioxidul de carbon este un factor important care permite autoreglarea în alimentarea cu sânge. Creșterea concentrației de CO₂, duce la relaxarea capilarelor, astfel transmitând un flux mai mare de sânge spre țesuturi. Intensitatea respirației omului, este determinată de concentrația dioxidului de carbon în sânge. În așa mod, respirând prea lent persoana poate demonstra simptome de acidoză, în timp ce o respirație rapidă poate duce la alcaloza. Procesul de respirație este activat de un nivel sporit de bioxid de carbon și nu de un nivel micșorat de oxigen. Ca rezultat al concentrației sporite de dioxid de carbon, sunt stimulate centrele de respirație cu scopul de a menține presiunea arterială la un nivel de 44 mmHg (Ce Este CO₂? – CO₂ Alimentar f.a.).

Influența asupra mediului înconjurător. Schimbarea anotimpurilor este unul dintre factorii care modifică concentrația de CO₂ în atmosferă și anume prin intensitatea de creștere a plantelor, astfel nivelul de bioxid de carbon crește pe perioada de toamnă-iarnă, când plantele degradează și scade pe perioada de primăvară-vară, când plantele intensiv consumă gaz. În prezența apei și luminii solare, în timpul fotosintezei, prin absorbirea bioxidului de carbon, plantele produc energie și elimină oxigen ca reziduu. Contrar plantelor, oamenii și alte organisme vii consumă oxigenul și elimină în schimb bioxid de carbon (CO₂ Alimentar – CO₂ Alimentar f.a.).

Bioxid de carbon alimentar. Bioxidul de carbon, în industria alimentară este recunoscut sub codul E 290 și utilizat în toate cele trei stări – gaz, lichid și gheață. CO₂-ul alimentar reprezintă o stare extrem de purificată a bioxidului de carbon, cu o puritate de un minimum de 99,9 %. Un astfel de nivel de puritate poate fi obținut prin anumite procese și metode tehnologice, la fel ca și un control strict la fiecare etapă de procesare.

Cea mai înaltă puritate a CO₂-ului alimentar este probabil dobândită prin extragerea acestuia din surse naturale. Datorită purității înalte, doza zilnică acceptabilă de consum în CO₂ este nelimitată (CO₂ Alimentar – CO₂ Alimentar f.a.).

1.5. Concluzii la capitolul 1

- Rezultatul procesului de uscare este influențat în cea mai mare parte de proprietățile higroscopice ale produsului supus uscării și de modificările higrtermice ce au loc în interiorul acestuia, prin urmare afectând și indicii de calitate ai produsului finit uscat, deci cunoașterea acestora preventiv procesării este importanță majoră.
- Domeniul uscării se află în dezvoltare continuă și propune metode noi de rezolvare a problemelor, care apar pe parcursul procesului cum sunt, pierderea culorii, modificarea texturii, ș.a. prin implementarea a noi metode de uscare – utilizarea vidului, CO₂ supercritic, ultrasunetului, atmosferei modificate, etc.

- Studiul bibliografic confirmă eficacitatea utilizării atmosferei modificate pentru procesul de uscare, arătând sporirea păstrării diverselor substanțe chimice în componența produsului uscat. La fel au fost analizate și prezentate diverse soluții constructive pentru instalațiile de uscare în mediu modificat.
- Dioxidul de carbon se utilizează în diverse ramuri ale industriei alimentare și nu a dat dovadă de influență negativă asupra produselor alimentare tratate cu sau în prezența gazului.

2. MATERIALE ȘI METODE UTILIZATE ÎN CERCETARE

2.1. Perele „Conferința” ca obiect al uscării

Cerințele pentru fructele proaspete de pere sunt stipulate în (HOTĂRÎRE Nr. 929, 2009), Capitolul XI, Secțiunea a 2-a și Anexa 4. În conformitate cu aceste cerințe perele de soi „Conferința”, utilizate ca obiect de studiu fac parte din fructele de „Categorie I” pentru care este specific:

- Pere de calitate bună, cu forma alungită, calibrul (50 mm) și colorația caracteristice soiului respectiv.
- Pulpa perfect sănătoasă, iar epiderma să nu prezinte înroșiri și înăspriri.
- Sânt permise următoarele defecte, cu condiția ca acestea să nu afecteze aspectul general al produsului, calitatea, calitatea de păstrare și prezentarea în ambalaj:
 - un defect ușor de formă – nu a fost depistat;
 - un defect ușor de dezvoltare – depistat la 30 % din perele cercetate;
 - un defect ușor de colorație – nu a fost depistat;
 - defecte ușoare la nivelul epidermei, ce nu pot depăși:
 - lungimea de 2 cm, în cazul defectelor de formă alungită – nu a fost depistat;
- Pedunculul poate fi ușor deteriorat – depistat la 10 % din perele cercetate.
- Perele nu trebuie să fie pietroase – nu a fost depistat.

Pentru pregătirea perelor de soi „Conferința” către procesul de uscare și determinarea calităților organoleptice a fructelor uscate, a fost analizată (HOTĂRÎRE Nr. 1523, 2007), Anexa 1 – 5. În conformitate cu Hotărîrea dată, perele selectate au fost tăiate în runde (HOTĂRÎRE Nr. 1523, 2007), care pentru facilitarea procesului de uscare și ambalare, au fost secționare perpendicular în două jumătăți, la fel conform sursei (HOTĂRÎRE Nr. 1523, 2007), a fost stabilită umiditatea finală a perelor uscate de 20 % (umiditatea curentă, 22 % maximum).

2.1.1. *Perele de soi „Conferința”*

Crescut de pepinieristul T. Francis Rivers la Sawbridgeworth, Herts, răsadul fiind polenizat de către Léon Leclerc de Laval, fiind expus pentru prima dată în 1885 la Conferința Națională a Perelor din Londra (London National Pear Conference), de unde și-a luat și numele său. Varietate distribuită pe scară largă. Privită la nivel internațional ca pară definitivă engleză. Formă de pară convențională, piriformă, lungă și aproape acoperită în pete fine roșcat-cafenii. Textură untoasă,

fină, cu pulpă succulentă, palidă cremoasă, adesea de culoare roză-somon în centru, atunci când este perfect coaptă; dulceață intensă de pară, bogată, cu note de parfum (Morgan et al., 2015).

Recolta perelor de soi conferința este abundentă și regulată, precum și de înaltă calitate. Aceste beneficii au permis de a propune perele date cultivatorilor din anii 1890: prima livadă comercială de pere Conferința a fost plantată în 1895 de către Talbot Edmonds la Allington, Kent, care a rămas până în 1970. Perele Conferința reprezintă cea mai importantă varietate de pere de pe piață engleză fiind cultivate comercial în Marea Britanie, la fel ca și principala varietate din Belgia, Olanda, nordul Franței și nordul Spaniei. Aceste pere sunt plantate pe scară largă în grădini, unde capacitatea sa de a cultiva fără polenizator reprezintă un beneficiu (Morgan et al., 2015).

Perele Conferința aparțin familiei Rosaceae, genul *Pyrus*, specie *Communis* (Chagné et al., 2014).

Fructul perelor de soi Conferința:

Dimensiune: medie/mare (75-119 mm înălțime x 53-62 mm lățime).

Forma: lungă piriformă; fructele partenocarpice (nefertilizate) sunt lungi, în formă de cârnați, adesea agățat la capătul tulpinii.

Culoare: verde devenind galben cu o nuanță ocazională ușor portocalie; mult/aproape total acoperită în pete fine roșcat-cafenii.

Cultivare regulată septembrie/octombrie – noiembrie/decembrie.

Stocate pentru comercializare până în mai.

2.1.2. Proprietăți nutritive ale perelor

Bogate în apă (84 % în medie), perele (Tabel 2.1) reprezintă un fruct excelent pentru a potoli setea. Perele conțin carbohidrați, care asigură marea parte a energiei: 50 kcal/100 g în mediu (sau 209 kJ/100g). Conținutul de zaharuri în fructe variază în funcție de soiuri, condițiile climaterice, de gradul de maturitate, poate varia între 10 și 14 g/100 g (variind de la 45 la 60 kcal/100 g) (Gherghi et al., 2001; Morgan et al., 2015; Chagné et al., 2014).

Majoritatea acestor carbohidrați sunt alcătuiți din fructoză și cantități mai mici de glucoză și zaharoză. Mai persistă și hexoze și pentoze, precum și sorbitolul caracteristic fructelor, al cărui conținut în pere variază între 2 g și 2,6 g la 100 g.

Tabel 2.1 Compoziția chimică și valoarea energetică a perelor

Componente	g/100g pere	Componente	g/100g pere
Glucide	12,0	Apă	84,0
Proteine	0,30	Fibre alimentare	2,30
Lipide	0,10		
Minerale	mg/100 g pere	Minerale	mg/100 g pere
Fosfor	13,00	Cupru	0,07
Calciu	10,00	Zinc	0,120
Magneziu	7,00	Mangan	0,050
Sodiu	2,00	Nichel	0,020
Clor	2,00	Cobalt	0,010
Bor	0,20	Fluor	0,010
Fier	0,20		
Vitamine	mg/100 g pere	Vitamine	mg/100 g pere
Vitamina C (ac. ascorbic)	5,000	Vitamina B5 (ac. pantotenic)	0,060
Provitamina A (caroten)	0,060	Vitamina B6 (piridoxina)	0,020
Vitamina B1 (tiamina)	0,030	Vitamina B9 (ac. folic)	0,010
Vitamina B2 (riboflavină)	0,030	Vitamina E (tocoferol)	0,500
Vitamina B3 sau PP (nicotinamida)	0,200		
Aport de energie, kcal/100 g.	50,00		

*Conform (Gherghi et al., 2001; Morgan et al., 2015; Chagné et al., 2014)

Acizii organici sunt prezenți la o rată de 0,3 g la 100 g și conferă pereii gustul său ușor acidulat. Acestea sunt în mare parte formate din acid malic și acid citric. Conținutul lor tinde să scadă odată cu creșterea gradului de maturare (Morgan et al., 2015).

La fel ca și toate fructele proaspete, para conține doar o cantitate mică de proteine (0,3 g per 100 g în medie) și lipide (0.1 g per 100 g). Din punct de vedere nutrițional, aceste substanțe au o importanță minoră, dar joacă un rol important în viața fructului. Proteinele formează baza enzimelor (esențiale pentru diverse procese și maturarea fructelor). Iar acizii grași nesaturați (în special acidul linoleic și acidul linolenic, care domină lipidele din pere), prezenți sub formă esterificată în fosfolipidele celulelor vegetale, sunt constituenți ai membranelor vegetale (Chagné et al., 2014).

Pe lângă carbohidrați, para are multe alte elemente utile din punct de vedere nutrițional. În primul rând, minerale și oligoelemente, ale căror conținut global depășește 300 mg la 100 g și care sunt deosebit de numeroase. Potasiul iese în evidență (cu o contribuție de 125 mg la 100 g,

reprezintă aproape jumătate din minerale). În cantități mai moderate sunt prezenți, de asemenea, fosfor (13 mg), calciu (10 mg), magneziu (7 mg), fier (0,2 mg), zinc (0,12 mg), cupru (0,07 mg), precum și (urme de) cobalt, aluminiu, bor, nichel, seleniu, fluor etc. Sunt prezentate diferite vitamine solubile în apă, în special vitamina C (a cărei rată variază între 3 și 10 mg la 100 g, cu o medie de 5 mg), vitaminele din grupul B și provitamina A (de la 0,01 mg la 0,06 mg, dacă este un soi mai mult sau mai puțin colorat). În cele din urmă, există cantități mici de vitamina E (0,5 mg la 100 g) (Лактионов, 2017).

Fibrele din pere, în medie 2,3 g per 100 g, pot fi mai mult sau mai puțin abundente în funcție de soi (2 g la 3,3 g per 100 g). Acestea sunt în principal fibre insolubile: celulozele, hemicelulozele și urme de lignină. Pectinele, fibrele solubile, nu depășesc 0,5 până la 0,6 g la 100 g de pere.

2.2. Bioxidul de carbon ca agent de uscare

Dioxidul de carbon, utilizat în industria alimentară, este cunoscut ca aditiv alimentar sub codul E 290. Conform (HOTĂRÎRE Nr. 229, 2013), Anexa 1, dioxidul de carbon este un aditiv alimentar, care face parte din categoria „Aditivi alimentari, alții decât coloranții și îndulcitorii”, iar după „Definițiile grupurilor de aditivi”, este inclus în Grupa I. În conformitate cu Partea E, a Anexei 1 (HOTĂRÎRE Nr. 229, 2013) „Aditivi alimentari autorizați și condițiile de utilizare a acestora în categoriile de produse alimentare”, dioxidul de carbon este inclus în categoria de „Aditivii alimentari autorizați în toate categoriile de produse alimentare”. În Anexa 2, (HOTĂRÎRE Nr. 229, 2013), dioxidul de carbon (E 290) este inclus în Partea 3 „Aditivii alimentari, inclusiv substanțele suport în enzimele alimentare” și Partea 5 „Aditivi alimentari în nutrienți”. Specific dioxidului de carbon (E 290) este faptul că „Nivelul maxim” de utilizare în fiecare dintre categorii este stipulat ca „quantum satis”, sau „nu există un nivel maxim specificat; aditivul va fi folosit după nevoie, în acord cu bunele practici de producție, fără a se depăși nivelul necesar atingerii efectului dorit și fără a induce în eroare consumatorii” (Zugravu, f.a.).

Dioxidul de carbon la fel este menționat în (HOTĂRÎRE Nr. 671, 2020), Anexa 1, fiind inclus în categoria „Solvenții de extracție care trebuie folosiți în conformitate cu bunele practici de fabricație pentru toate utilizările”.

Conform unui studiu organizat de Comisia Europeană (Brownsort, 2019; COMMISSION REGULATION (EU) No 231/2012, 2012), aceasta din urmă a introdus următoarele specificații (Tabel 2.2) pentru dioxidul de carbon ca aditiv alimentar:

Tabel 2.2 Specificațiile Comisiei Europene pentru CO₂ (E 290 Dioxid de carbon) ca aditiv alimentar (CE, 2012)*

Sinonime	Gaz de acid carbonic; Gheață carbonică (forma solidă); Anhidridă carbonică
Definiție	
Numărul conform UE	204-696-9
Denumirea chimică	Dioxid de carbon
Formula chimică	CO ₂
Proba	Conținut nu mai puțin de 99 % v/v pe bază gazoasă
Descriere	Un gaz incolor în condiții normale de mediu, cu un miros ușor înțepător. Dioxidul de carbon comercial este transportat și manipulat în formă lichidă în butelii sub presiune, sisteme de depozitare în vrac, sau în blocuri solide comprimate de „gheață carbonică”. Formele solide (gheață carbonică) conțin de obicei substanțe adăugate, cum ar fi propilenglicolul sau uleiul mineral, ca lianți
Identificare	
Formarea de precipitat	Când un flux de probă este trecut printr-o soluție de hidroxid de bariu, se produce un precipitat alb care se dizolvă cu efervescentă în acid acetic diluat
Puritate	
Aciditate	915 mL de gaz barbotat prin 50 mL de apă proaspăt fiartă nu trebuie să mărească aciditatea acesteia din urmă la metiloranj decât 50 mL de apă proaspăt fiartă la care s-a adăugat 1 mL de acid clorhidric (0,01 N)
Substanțe reducătoare, hidrogen fosfat și sulfură	915 mL de gaz barbotat prin 25 mL de soluție amoniacală de azotat de argint la care s-au adăugat 3 mL de amoniac nu trebuie să provoace tulburări sau înnegrirea acestei soluții
Monoxid de carbon	≤10 μL·l ⁻¹
Conținut de ulei	Nu mai mult de 5 mg·kg ⁻¹

% v/v – mL de solut/100 mL de soluție

*Conform (Brownsort, 2019; COMMISSION REGULATION (EU) No 231/2012, 2012)

Pentru aplicațiile din industria alimentară, dioxidul de carbon trebuie adus la un nivel de puritate cuprins între valorile 99,8 % și 99,9 % (Brownsort, 2019; COMMISSION REGULATION (EU) No 231/2012, 2012; GOCT 8050-85, 2006).

În Republica Moldova dioxidul de carbon alimentar este standardizat conform GOST 8050-85. Dioxidul de carbon utilizat pentru cercetările experimentale a fost procurat de la ÎM „ZERNOFF” SRL, care a trecut analiza calității gazului conform normelor din GOST 8050-85 (GOCT 8050-85, 2006). Rezultatele testării sunt prezentate în Anexa 1-4.

2.3. Pregătirea instalației de uscare

Pentru a efectua uscarea perelor, produsul a fost spălat, cu scopul eliminării impurităților de pe suprafață și apoi uscat, pentru a reduce probabilitatea dezvoltării microorganismelor și a nu mări umiditatea totală. În continuare, perele au fost tăiate în rondele, cu o ulterioară secționare perpendiculară, cu grosimea de 3 mm, cu o masă inițială medie a probei supuse uscării de $100 \pm 0,87\text{g}$ (Figura 2.1), după care produsul a fost supus fiecărei metode de uscare cu aplicarea a mai multor regimuri.



Figura 2.1 Perele „Conferința” feliate cu grosimea $\delta = 3\text{ mm}$ pentru procesul de uscare:

Pentru procesul de uscare au fost selectate perele de soiul „Conferința”, cu umiditatea inițială a produsului de $84,0 \pm 0,75\%$. Ca agent de uscare a fost utilizat aerul din mediul ambiant. Uscarea s-a realizat la diferite temperaturi ale agentului de uscare, și anume: 60, 70, 80, 90 și 100 °C. Viteza agentului de uscare în toate experiențele a fost constantă, de $1,5 \pm 0,13\text{ m/s}$.

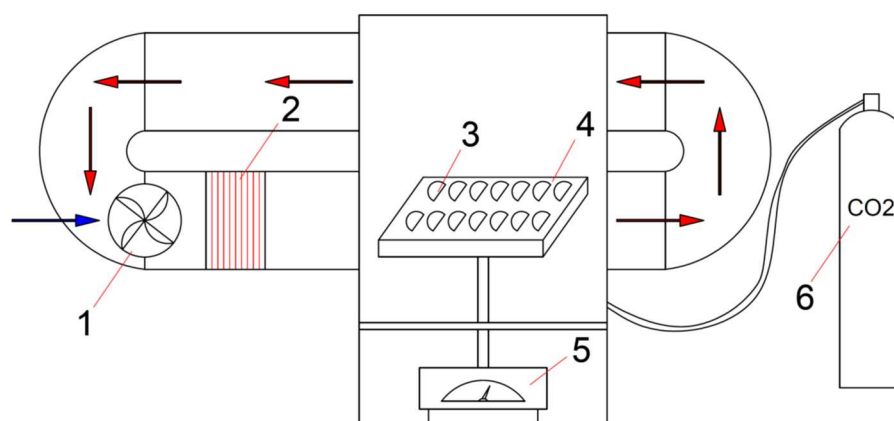


Figura 2.2 Schema procesului de uscare a perelor de soi „Conferința” în instalația experimentală de uscare:

- 1 – ventilator; 2 – generator de căldură; 3 – pere „Conferința” feliate semirondele; 4 – tavă;
5 – cântar electric; 6 – rezervor cu CO₂.

Perele proaspăt feliate (Figura 2.2) 3, sunt aranjate pe tavă 4 din interiorul camerei de uscare. Tava 4 este instalată pe un suport conectat la cântarul electric 5, care permite citirea masei produsului în timpul procesului de uscare și fiind conectat la calculator, permite înregistrarea în timp a scăderii acesteia. Cu ajutorul variatorului elementului de încălzire 2, instalăm temperatura agentului de uscare (aer, CO₂). Agentul de uscare este introdus în camera de lucru prin intermediul ventilatorului 1, a cărui viteză poate fi reglată cu ajutorul unui invertor. Pentru uscarea perelor „Conferința” cu bioxid de carbon, este conectat sistemul de reciclare și camera de lucru este umplută cu gaz. Uscarea are loc până la umiditatea finală de 20% (HOTĂRÎRE Nr. 1523, 2007).

2.4. Reactivi și metode de încercări

2.4.1. Determinarea conținutului total de polifenoli

Pentru determinarea conținutului total de polifenoli a fost folosit reagentul 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 a fost introdusă în baia de apă la temperatura de 50 °C pentru 16 min, după care a fost răcită până la temperatura camerei. Citirea absorbției s-a realizat la spectrofotometru la $\lambda=765$ nm. Rezultatele conținutului total de polifenoli au fost exprimate în mg acid galic echivalenți GAE/100 g (Kupina et al., 2018)

2.4.2. Determinarea conținutului de acid L-ascorbic

Probele de pere proaspete și uscate prin convecție (aer și CO₂) (10 g fiecare) au fost mărunțite în mojar în prezența acidului oxalic de 1 %. Apoi, cantitativ au fost transferate într-un balon cotat de 100 cm³, s-a adus până la cotă cu acid oxalic și s-a agitat. Apoi conținutul balonului s-a filtrat și s-a adăugat 6 cm³ 2,6-diclorfenolindofenol. S-a determinat extincția D1: fotocolorimetria s-a realizat la lungimea de undă $\lambda = 540$ nm. La determinarea extincției D2: în cuva cu soluție analizată s-au adăugat câteva cristale de acid L-ascorbic (Tarrago-Trani et al., 2012).

2.5. Prelucrarea statistică a rezultatelor

Indicatorii absoluți și medii de variație și metode de calcul ale acestora

Pentru a caracteriza populațiile și mărimile calculate, este important să știm ce variație a caracteristicii studiate se ascunde în spatele mediei. Pentru a caracteriza variabilitatea unei

caracteristici pot fi utilizați o serie de indicatori. Cel mai simplu dintre acestea este gama de variație, care a fost aplicată pentru prelucrarea statistică a rezultatelor (Калинин, 2015).

Gama de variație (2.1) este diferența dintre valoarea cea mai mare (x_{max}) și cea mai mică (x_{min}) ale opțiunilor.

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (2.1)$$

Avantajul acestui indicator este simplitatea calculului, arătând mai exact variația unei caracteristici și anume indicatorul bazat care ia în considerare toate valorile caracteristicii. Astfel de indicatori sunt abaterea medie liniară, varianța și abaterea standard, care reprezintă media aritmetică a abaterilor valorilor individuale ale caracteristicii de la media aritmetică (Калинин, 2015).

Pentru a oferi o descriere generalizată a distribuției abaterilor, se calculează abaterea medie liniară d , care ia în considerare diferența tuturor unităților mulțimii studiate.

Abaterea medie liniară (2.2) este determinată ca medie aritmetică a abaterilor valorilor individuale de la medie, fără a ține cont de semnul acestor abateri:

$$d = \frac{\sum |x - \bar{x}|}{n} = \frac{|x_1 - \bar{x}| + |x_2 - \bar{x}| + \dots + |x_n - \bar{x}|}{n} \quad (2.2)$$

Dacă datele analizate sunt prezentate sub forma unei serii discrete de distribuție cu frecvențe, abaterea liniară medie este calculată folosind formula mediei aritmetice ponderate (2.3):

$$d = \frac{\sum |x - \bar{x}| n_i}{\sum n_i} = \frac{|x_1 - \bar{x}| n_1 + |x_2 - \bar{x}| n_2 + \dots + |x_n - \bar{x}| n_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_n} \quad (2.3)$$

Calculul varianței și a abaterii standard după datele individuale și seriile de distribuție

Principalii indicatori generalizatori ai variației în statistici sunt varianța și abaterea standard (Калинин, 2015).

Varianța este media aritmetică a pătratelor abaterilor fiecărei valori caracteristice de la media generală. Varianța este denumită în mod obișnuit media pătratelor abaterilor și este notată S^2 . În funcție de datele inițiale, varianța poate fi calculată utilizând media aritmetică simplă (2.4) sau ponderată (2.5) (Калинин, 2015):

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{\sum n} \quad - \text{varianță neponderată (simplă);} \quad (2.4)$$

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 n_i}{\sum n_i} \quad - \text{varianță ponderată.} \quad (2.5)$$

Abaterea standard (2.6), (2.7) reprezintă rădăcina pătrată a varianței și se notează prin S :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{\sum n}} \quad - \text{abaterea standard neponderată (simplă);} \quad (2.6)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 n_i}{\sum n_i}} \quad - \text{abaterea standard ponderată.} \quad (2.7)$$

Abaterea standard este o caracteristică generalizantă a dimensiunilor absolute ale variației unei caracteristici în populație. Se exprimă în aceleași unități de măsură ca și atributul (în metri, tone, procente, hectare etc.) (КАЛИНИН, 2015).

Abaterea standard este o măsură a fiabilității mediei. Cu cât abaterea standard este mai mică, cu atât media aritmetică reflectă mai bine întreaga populație reprezentată (КАЛИНИН, 2015).

Calculul abaterii standard este precedat de calculul varianței.

Calculul varianței în baza datelor individuale și în serii de distribuție

Tehnica de calcul a varianței este complicată, iar la valori mari ale varianțelor și frecvențelor (ponderilor) poate fi și mai dificilă. Calculele pot fi simplificate folosind proprietățile varianței (КАЛИНИН, 2015).

Proprietățile varianței

Scăderea sau creșterea, de un anumit număr de ori, a ponderilor (frecvențelor) caracteristicii variabile nu modifică varianța (КАЛИНИН, 2015).

Scăderea sau creșterea fiecărei valori a unei caracteristici, cu aceeași valoare constantă A , nu modifică varianța.

Scăderea sau creșterea fiecărei valori a unei caracteristici de un anumit număr de ori k , respectiv, micșorează sau mărește varianța de k^2 ori și abaterea standard de k ori (КАЛИНИН, 2015).

Varianța unei caracteristici în raport cu o valoare arbitrară este întotdeauna mai mare decât varianța raportată cu media aritmetică pe pătratul diferenței dintre medie și o valoare arbitrară: $S^2 = S_A^2 - (\bar{x} - A)^2$. Dacă A este egal cu zero, atunci: $S^2 = \overline{x^2} - \bar{x}^2$, adică varianța caracteristicii este egală cu diferența dintre pătratul mediu al valorilor caracteristicii și pătratul mediei (КАЛИНИН, 2015).

Fiecare proprietate din calculul varianței poate fi aplicată independent sau în combinație cu alte proprietăți.

2.6. Caracteristica metodelor de modelare matematică aplicată. Proprietățile transformatei Laplace

O funcție original este orice funcție complexă $f(t)$ a unui argument real (t) care îndeplinește condițiile:

- $f(t)$ este integrabil pe orice interval finit al axei t ;
- pentru toate t negative: $f(t) = 0$.

În aplicarea practică a transformatei Laplace, calculele sunt efectuate nu asupra funcțiilor date, ci asupra imaginilor acestora. Întregul proces de utilizare a transformatei Laplace poate fi imaginat ca o traducere dintr-o limbă în alta. La o astfel de traducere, fiecărui cuvânt dintr-o limbă îi corespunde un anumit cuvânt dintr-o altă limbă. În același mod, în transformarea Laplace, fiecărei funcție din spațiului original îi corespunde o anumită funcție în spațiul imaginii. Rolul dicționarului, în transformarea Laplace, necesar pentru traducerea dintr-o limbă în alta este atribuit unui tabel de corespondențe dintre originale și imagini. Pentru a traduce o propoziție întreagă dintr-o limbă în alta, nu este suficient de a cunoaște traducerea unor cuvinte individuale, ceea ce aplicat transformării Laplace, înseamnă următoarele: dacă o operație este efectuată asupra unei funcții în spațiul originalelor, de exemplu, diferențierea sau integrarea, atunci în spațiul imaginii, acestei operații trebuie să-i corespundă o altă operație bine definită. În mod similar, dacă în spațiul originalelor mai multe funcții sunt combinate între ele, de exemplu, ele sunt înmulțite, atunci în spațiul imaginilor unei astfel de combinații trebuie să-i corespundă o altă combinație bine definită (Крайнов et al., 2007).

Astfel, este necesar să se cunoască nu numai reprezentarea (sau traducerea) funcțiilor individuale, dar și regulile de afișare ale operațiilor. În acest sens trebuie înțelese „regulile gramaticale” ale transformării Laplace (Крайнов et al., 2007).

Proprietatea de liniaritate. Pentru orice constante complexe α și β există (2.8):

$$\alpha f(t) + \beta g(t) = \alpha F(p) + \beta G(p) \quad (2.8)$$

unde: $f(t) = F(p)$, $g(t) = G(p)$.

Teorema similitudinii. Pentru orice constantă $\alpha > 0$, $f(\alpha t) = \frac{1}{\alpha} F\left(\frac{p}{\alpha}\right)$.

Diferențierea originalului. Dacă funcțiile $f(t)$, $f'(t)$, ..., $f^{(n)}(t)$ sunt funcții original și $f(t) = F(p)$, atunci (2.9):

$$f'(t) = pF(p) - f(0)$$

$$f''(t) = p^2F(p) - pf(0) - f'(0) \quad (2.9)$$

$$f^{(n)}(t) = p^nF(p) - p^{n-1}f(0) - p^{n-2}f'(0) - \dots - f^{(n-1)}(0)$$

unde: $f^{(k)}(0), k = 1, 2, \dots, n - 1$

este determinat ca:

$$\lim_{t \rightarrow 0} f^{(k)}(t) \quad (2.10)$$

Diferențierea imaginii. Diferențierea imaginii corespunde înmulțirii originalului cu $(-t)$. Dacă $f(t) = F(p)$ atunci (2.11):

$$\begin{aligned} F'(p) &= -tf(t) \\ F^{(n)}(p) &= (-t)^n f(t) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Integrarea originalului. Integrarea originalului corespunde împărțirii imaginii la p . Dacă $f(t) = F(p)$ atunci (2.12):

$$\int_0^t f(\tau) d\tau = \frac{F(p)}{p} \quad (2.12)$$

Integrarea imaginii. Dacă integrala $\int_p^\infty F(p) dp$ este convergentă, atunci ea servește ca imagine a funcției $f(t)/t$ (2.13):

$$\frac{f(t)}{t} = \int_p^\infty F(p) dp \quad (2.13)$$

Determinarea originalului dintr-o imagine dată. Determinarea funcției original dintr-o anumită imagine este o sarcină complexă. Pentru a o rezolva, este necesar să fie aplicate teoreme care indică proprietățile transformării Laplace (Крайнов et al., 2007).

Prima teoremă de descompunere. Dacă $F(p)$ este o funcție analitică din vecinătatea unui punct infinit de îndepărtat și este egală cu zero și dacă expansiunea Laurent a funcției $F(p)$ din vecinătatea punctului infinit de îndepărtat are forma (2.14) (Крайнов et al., 2007):

$$F(p) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c_k}{p^k} \quad (2.14)$$

atunci originalul pentru $F(p)$ este funcția (2.15):

$$f(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c_k}{(k-1)!} t^{k-1} \quad (2.15)$$

și această serie este convergentă pentru orice t .

Aici, în conformitate cu proprietățile liniarității, pentru fiecare termen al seriei Laurent $\frac{c_k}{p^k}$ găsim originalul $\sum_{k=1}^{\infty} \frac{c_k}{(k-1)!} t^{k-1}$ (Крайнов et al., 2007).

2.7. Diagrama I-d a stării aerului umed

Diagrama I-d, sau diagrama stării aerului umed, este utilizată la determinarea parametrilor aerului când se stabilește un transfer de masă și căldură în mediu și permite de determina rapid și cu ușurință toți parametrii aerului umed cunoscând oricare doi dintre aceștea.

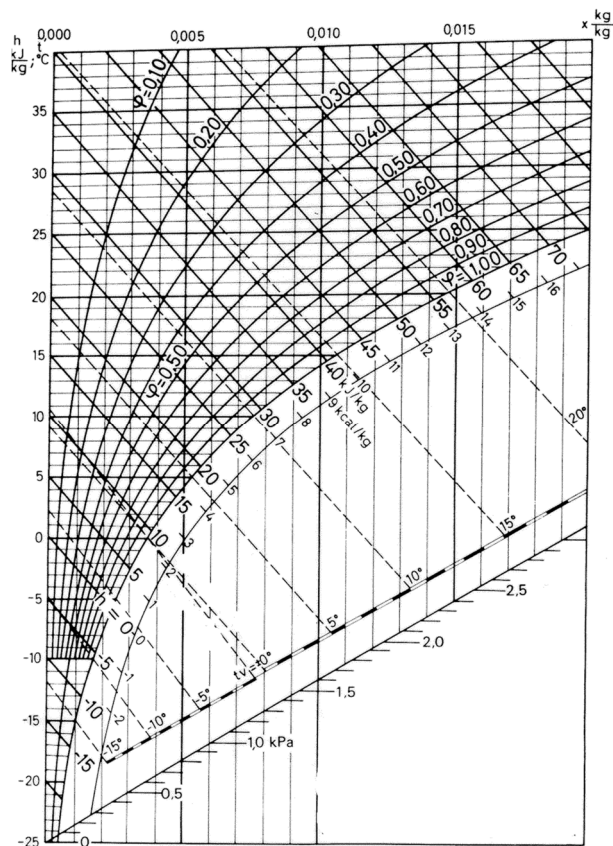


Figura 2.3 Diagrama I-d a stării aerului umed (Dziubenko et al., 2018; Павлов et al., 1961)

Ținând cont de faptul, că aerul este cel mai des întâlnit agent de uscare pentru procesul de uscare convențional, cunoașterea și găsirea rapidă a parametrilor lui pe parcursul procesului este de importanță strictă, atât pentru desfășurarea corectă a acestui, cât și pentru a primi un produs calitativ (Dziubenko et al., 2018; Павлов et al., 1961).

Diagrama din figura 2.3 evidențiază cei șase parametri ai aerului umed, cunoașterea cărora este premordială pentru derularea procesului de uscare: d – conținutul de umiditate, kg umiditate/ kg aer uscat; φ – umiditatea relativă a aerului, %; I – entalpia, kJ/kg ; P_{par} – presiunea parțială, $mm Hg$; t_{um} – temperatura aerului umed, $^{\circ}C$; t – temperatura aerului uscat, $^{\circ}C$.

Prin intermediul diagramei savanții și inginerii pot determina, la intersecția a doi parametri inițial cunoscuți, ceilalți patru, ceea ce permite de a construi diagramele procesului de uscare și determina parametrii critici ai aerului pe durata procesului.

2.8. Concluzii la capitolul 2

- A fost analizată și stabilită metodologia din Standardele Europene și HG ale RM, care determină normele de utilizare a dioxidului de carbon în diverse aplicații alimentare și descriu principalele proprietăți ale CO₂.
- A fost analizată și stabilită metodologia din HG ale RM cu privire la fructele de pere proaspete și uscate cu scopul determinării calității probelor atât de pere proaspete supuse procesului de uscare, cât și a perelor uscate și corespunderii acestora standardelor.
- A fost analizată și stabilită metodologia de determinare a indicilor de calitate aplicabili metodei de uscare în mediu modificat.
- A fost efectuat un studiu amplu asupra metodelor de prelucrare statistică a rezultatelor cercetărilor.
- Au fost selectate metodele de modelare matematică pentru studiul respectiv.

3. ANALIZA PARAMETRILOR HIGROTERMICI LA USCARE ÎN BIOXID DE CARBON, MODELAREA MATEMATICĂ A PROCESELOR ȘI ELABORAREA INSTALAȚIEI DE USCARE A FRUCTELOR

Dioxidul de carbon (CO₂) extras din sursa naturala este probabil cea mai buna soluție pentru a ajunge la un produs final de cea mai înaltă calitate și puritate. Doza zilnică de consum acceptată este nelimitată, neavând efecte secundare sau restricții dietetice, putând fi consumat de orice persoană (CO₂ Alimentar – CO₂ Alimentar f.a.).

3.1. Argumentarea energiei cinetice sporite a CO₂ față de aer

În urma efectuării uscărilor experimentale, s-a constatat o reducere a duratei de uscare. Pentru argumentarea diferenței dintre durata de uscare prin metoda convențională cu aer și cea cu mediu modificat de CO₂ au fost calculate energiile cinetice medii ale gazelor, ca suma energiei cinetice medii a gazului în parte (ca mișcare liberă) și a energiei cinetice a gazului cărui i se impune o mișcare oarecare, creată de o forță exterioară (ventilator) (NCERT, 2019).

$$\overline{E_c} = \frac{m_0 \cdot \overline{v^2}}{2} = \frac{i}{2} \cdot k \cdot T, \quad (3.1)$$

în care E_c este energia medie cinetică a moleculei de gaz, J ;

m_0 – masa moleculei de gaz, kg ;

v – viteza medie de mișcare a moleculei, m/s ;

$$\overline{v} = \sqrt{\frac{i \cdot k \cdot T}{m}}, \quad (3.2)$$

în care i este gradul de libertate a gazului (pentru cel triatomic și mai mult (aer și CO₂) $i = 6$);

k – constanta lui Boltzmann ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$), J/K ;

T – temperatura gazului, K .

Energiile cinetice ale aerului și ale CO₂ au fost calculate conform formulei (3.2) și rezultatele au fost prezentate în Figura 3.1.

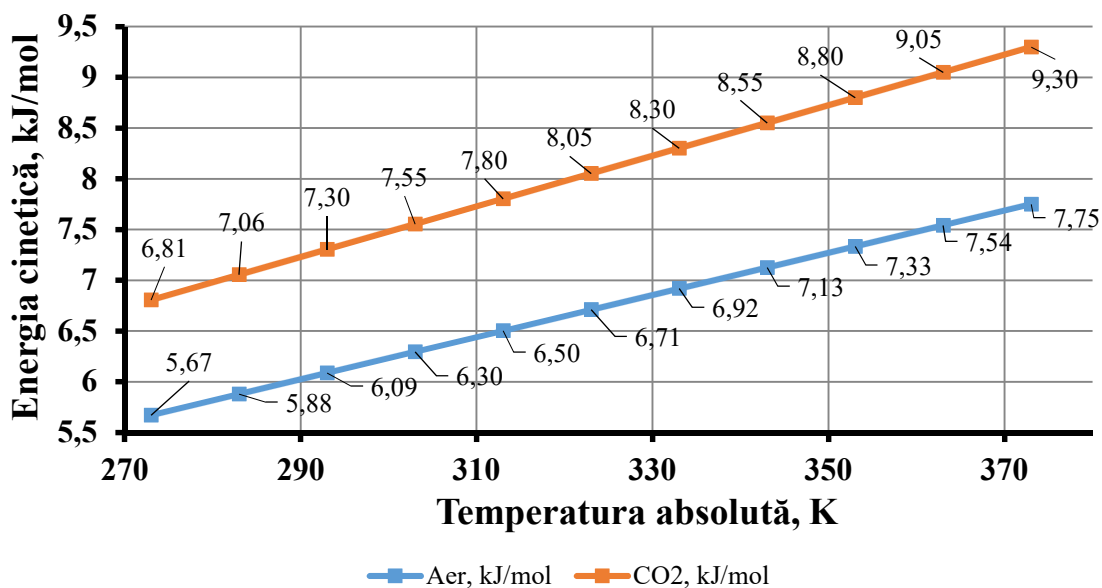


Figura 3.1 Variația energiei cinetice proprii la creșterea temperaturii agentului de uscare: aer și CO₂

Analiza Figura 3.1, permite de a concluziona, că odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare avem o creștere a energiei cinetice a moleculei de gaz, atât pentru aer cât și pentru CO₂. Astfel la temperatura absolută de 273 K, energia cinetică a moleculelor de aer este de 5,67 kJ/mol, și 6,80 kJ/mol, pentru CO₂, iar la temperatura absolută de 373 K – 7,75 kJ/mol, pentru aer și 9,29 kJ/mol, pentru CO₂. Este de evidențiat faptul, că energia cinetică a moleculelor de CO₂ este de cca. 1,2 ori mai mare decât a aerului.

Cele expuse mai sus permit a afirma că utilizarea CO₂ în calitate de agent de uscare, aduce la diminuarea duratei de uscare a perioadei vitezei constante și ca rezultat micșorarea duratei totale de uscare a produsului în mediu modificat de CO₂.

3.2. Modelarea matematică a fenomenelor de transfer în procesul de uscare a produselor vegetale în mediu modificat cu CO₂

Perele tăiate felii, în calitate de obiect al uscării, se pot prezenta ca plăci. În așa mod, a fost soluționată problema uscării convective pentru plăci, în prezența sursei interne de căldură. Placa nelimitată are grosimea 2 H (H – jumătate din grosimea rondelei de pară) (Берник et al., 2015; Melenciuc, 2023).

Ecuțiile diferențiale pentru transferul de căldură și masă pentru placa nelimitată, în cazul procesului de uscare convectivă vor avea forma (А.В. Лыков et al., 1959):

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = a_q \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\varepsilon r' c'_T}{c_q} \cdot \frac{\partial \Theta(x, \tau)}{\partial \tau} \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial \Theta(x, \tau)}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 \Theta(x, \tau)}{\partial x^2} + a_m \delta \cdot \frac{\partial t^2(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (3.4)$$

unde:

a_q , – coeficienții de difuzie de temperatură (difuzivitatea termică) și de potențial, m^2/s ;

a_m – coeficienții de difuzie de potențial, m^2/s ;

ε – criteriul transformării de fază;

r' – căldura latentă de vaporizare, kJ/kg ;

c'_T , – capacitatea termică specifică, $J/(kg \cdot K)$;

c_q – capacitatea specifică masică, $kg/(kg \cdot ^\circ M)$;

ρ – densitatea părții uscate a corpului umed, kg/m^3 ;

δ – coeficientul Sore pentru corpul umed, K^{-1} ;

θ – potențialul transferului de materie (umiditate), $^\circ M$. un. de potențial.

Pentru început au fost stabilite condițiile de limită ale procesului și anume de speța a treia (Fourier), unde se presupune cunoașterea temperaturii și umidității mediului înconjurător (a bioxidului de carbon) și legile în baza cărora au loc transferul de căldură și masă dintre suprafața corpului și mediu. Condițiile de limită sunt prezentate în ecuațiile (3.5) și (3.6) (Țislinscaia et al., f.a.):

$$\lambda_q \frac{\partial t(H, \tau)}{\partial \tau} + \alpha [t_m - t(H, \tau)] - (1 - \varepsilon) r' \beta (\Theta(H, \tau) - \Theta_p) = 0 \quad (3.5)$$

$$\lambda_q \frac{\partial \Theta(H, \tau)}{\partial x} + \lambda_m \delta \frac{\partial t(H, \tau)}{\partial x} + \beta (\Theta(H, \tau) - \Theta_p) = 0 \quad (3.6)$$

unde:

t_m – temperatura mediului de uscare (CO_2);

λ_q , – conductivitatea termică, $W/m \cdot K$;

λ_m – conductivitatea masică, $kg/m \cdot s \cdot ^\circ M$;

α – coeficienții transferului de căldură, $W/(m^2 \cdot K)$;

β – coeficienții transferului de masă, $kg/(m^2 \cdot s \cdot ^\circ M)$.

Au fost stabilite condițiile de simetrie (3.7) în baza curbelor de repartizare a temperaturii și umidității, pentru orice moment al timpului. Astfel temperatura și umiditatea produsului în centrul produsului, în orice moment al timpului este neschimbată.

$$\frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = \frac{\partial \Theta(0, \tau)}{\partial x} = 0 \quad (3.7)$$

A fost acceptat că inițial atât temperatura (t), cât și umiditatea (Θ) plăcii sunt distribuite uniform în tot volumul și posedă oarecare valori inițiale t_0 și Θ_0 :

- $t(x,0) = t_0$
- $\Theta(x,0) = \Theta_0$

Astfel, cum uscarea are loc într-un mediu modificat de CO_2 un interes deosebit prezintă condițiile limită de al treia speță și anume cum are loc interacțiunea dintre produs și mediul înconjurător (atmosferă modificată de CO_2). Parametrii de bază, care ne indică intensitatea transferului de temperatură și masă, pentru procesul dat de uscare sunt: α – coeficienții transferului de căldură, $W/m^2 \cdot K$ și β – coeficienții transferului de masă, $kg/m^2 \cdot s \cdot M$ în CO_2 .

Pentru determinarea coeficienților parțiali de transfer termic a fost utilizată formula de determinare a criteriului de similitudine Nusselt, care ne arată raportul dintre căldura transferată prin convecție și conducție, la limita dintre agenții cald și rece (3.8) (Popa, 1986):

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} \quad (3.8)$$

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}$$

unde:

Nu – criteriul Nusselt;

λ – conductivitatea termică, $W/m \cdot K$;

d – diametrul, = 0,05 m;

Astfel cum intensitatea transferului de căldură este dependentă de regimul de curgere (turbulent sau laminar) a fluidului, pentru determinarea criteriului lui Nusselt, este important mai întâi de a determina criteriul Reynolds (3.9), care ne arată raportul dintre inerție și vâscozitatea fluidului (Popa, 1986):

$$Re = \frac{d \cdot \rho \cdot v}{\mu} \quad (3.9)$$

unde:

d – diametrul, = 0,05 m;

ρ – densitatea, = 1,9767 kg/m³;

v – viteza, = 1,5 m/s;

μ – viscozitatea dinamică, în Pa·s;

$$Re = \frac{0,05 \cdot 1,9767 \cdot 2}{14 \cdot 10^{-6}} = 14120$$

Pentru cazul analizat, valoarea criteriul Reynolds corespunde regimului turbulent ($Re > 10^4$).

Pentru determinarea criteriului Nusselt în condițiile curgerii turbulente, a fost aplicată formula de calcul (3.10) (Баскаков et al., 1991):

$$\overline{Nu}_{f,d} = 0,018 \cdot Re_{f,d}^{0,8} \quad (3.10)$$

$$Nu = 0,018 \cdot Re^{0,8} = 0,018 \cdot 14120^{0,8} = 37,6 \quad (3.11)$$

În continuare a fost calculat coeficientul conductivității termice a mediului de uscare, în dependența de temperatura CO₂ (3.12) (Варгафтик, 1972):

$$\lambda = 0,0008 \cdot t_m + 0,0149 \quad (3.12)$$

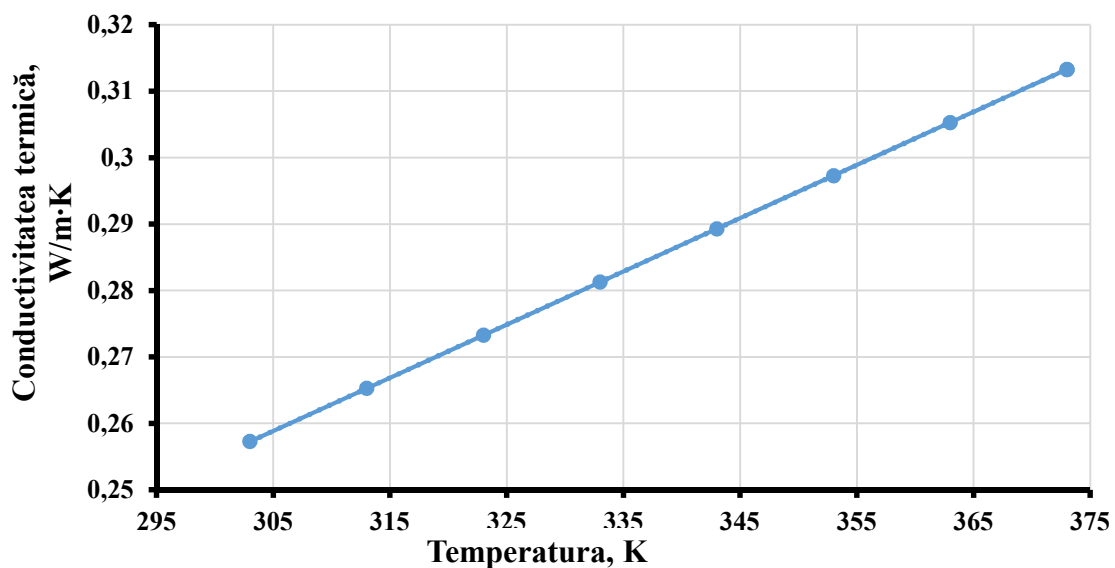


Figura 3.2 Dependența coeficientului conductivității termice de temperatură, pentru $\lambda = f(T)$

Din Figura 3.2 se observă dependența liniară dintre coeficientul conductivității termice și temperatura agentului de uscare. Odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare, se intensifică transferul de impuls dintre moleculele acestuia, ceea ce duce la creșterea vitezei de transmitere a căldurii.

Luând în considerație (3.9), (3.10), (3.11) ecuația (3.8) va avea forma:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot (0,0008 \cdot t_m + 0,0149)}{d} \quad (3.13)$$

Rezultatele determinării coeficientului de transfer termic, pentru uscarea în mediu de CO₂, au fost prezentate în Figura 3.3.

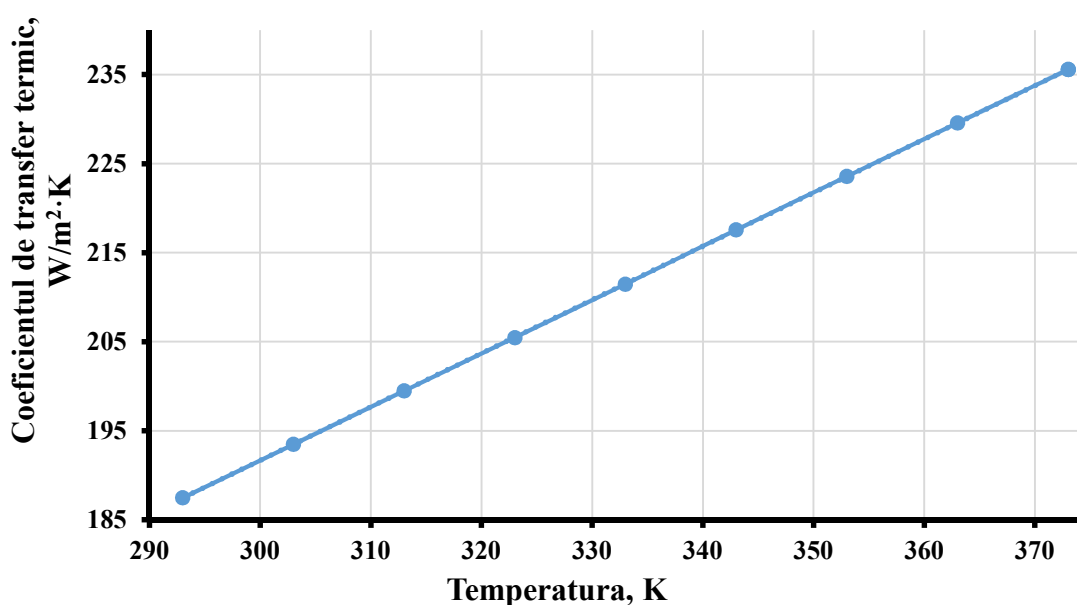


Figura 3.3 Variația coeficientului parțial al transferului de căldură în funcție de temperatură

Figura 3.3, demonstrează o dependență liniară între coeficientul parțial de transfer de căldură și temperatura agentului de uscare. Creșterea temperaturii agentului de uscare, duce la intensificarea procesului de transfer a căldurii și în rezultat se amplifică transferul de căldură de la agent la produsul supus procesului de uscare.

Calculul coeficientului de transfer de masă

Coeficientului de transfer de masă se determină experimental. Pentru calculul dat au fost utilizate ecuațiile criteriale, analoge celor de transfer de căldură.

Pentru un amestec de gaze ecuația criteriului Nusselt are forma (3.14) (Варгафтик, 1972):

$$Nu = 0,167 \cdot Re^{0,74} \cdot Pr^{0,33} \cdot \left[\frac{l}{d} \right]^{-0,47} \quad (3.14)$$

unde:

Re – criteriul Reynolds;

Pr – criteriul Prandtl, care determină raportul dintre difuzivitatea impulsului și difuzivitatea termică.

$$Pr = \frac{v}{a} = \frac{c \cdot \mu}{\lambda}$$

Coeficienții transferului de masă β , poate fi determinat din formula de calcul a criteriului lui Nusselt pentru faza gazoasă (3.15).

$$Nu = \frac{\beta \cdot d}{D \cdot \rho} \quad (3.15)$$

De aici:

$$\beta = 0,167 \cdot \frac{D}{d} \cdot \rho \cdot Re^{0,74} \cdot Pr^{0,33} \cdot \left[\frac{l}{d} \right]^{-0,47} \quad (3.16)$$

unde:

D – coeficientul de difuzie, m^2/s ;

ρ – densitatea gazului, kg/m^3 ;

l, d – parametrii geometrici ai materiei prime, m ;

Coeficientul de difuzie a gazului a fost determinat din formula (3.17) (Кикоин et al., 1976):

$$D = \frac{1}{3} \cdot v_{CO_2} \cdot l_{CO_2} \quad (3.17)$$

unde:

v_{CO_2} – viteza medie a moleculei CO_2 pentru distanță parcursă, m/s ;

l_{CO_2} – distanță medie parcursă a moleculei $CO_2 = 0,39 \text{ nm}$.

Viteza medie a moleculei de CO_2 , pentru distanța parcursă, a fost determinată din formula (3.18):

$$v_{CO_2} = 9,75 \cdot t_m^2 - 10,25 \cdot t_m + 361,25 \quad (3.18)$$

Rezultatele calculului vitezei moleculelor de CO₂, pentru diverse temperaturi ale agentului de uscare au fost prezentate în Figura 3.4.

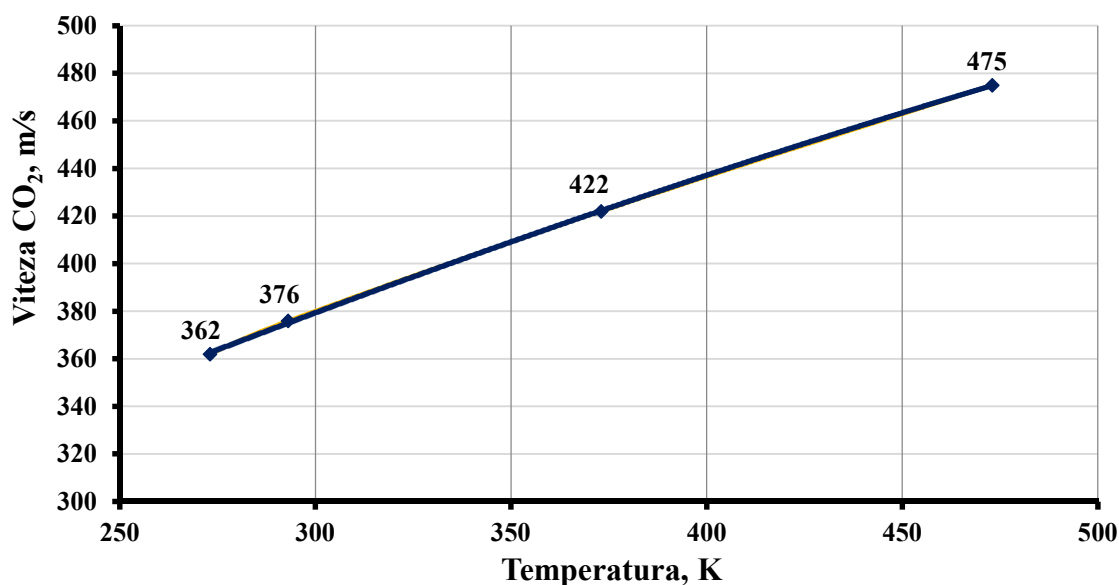


Figura 3.4 Dependența vitezei moleculelor a CO₂ de temperatură: $v = f(T)$

Este cunoscut, că parametrii termofizici ai CO₂-lui, ca și a oricărui gaz sunt dependenți de modificarea temperaturii. Acest fapt a fost demonstrat și în Figura 3.4, unde a fost observată dependența liniară a vitezei dioxidului de carbon de temperatura gazului. Odată cu creșterea temperaturii, se intensifică transferul de impuls între moleculele mediului fluid, ceea ce duce la mărirea vitezei de mișcare.

După ce prin intermediul formulei (3.18), a fost determinată viteza de mișcare a moleculelor de CO₂, valorile găsite au fost introduse în ecuația (3.17) după care am primit formula de calcul, desfășurată (3.19) a coeficientului de difuzie D :

$$D = \frac{1}{3} \cdot v_{CO_2} \cdot l_{CO_2} = \frac{0,39 \cdot 10^{-9}}{3} \cdot (-0,0004 \cdot t_m^2 + 0,8252 \cdot t_m + 163,69) = \quad (3.19)$$

$$= 0,13 \cdot 10^{-9} \cdot (-0,0004 \cdot t_m^2 + 0,8252 \cdot t_m + 163,69)$$

$$D = 0,13 \cdot 10^{-9} \cdot (-0,0004 \cdot t_m^2 + 0,8252 \cdot t_m + 163,69) \quad (3.20)$$

Variația coeficientului de difuzie în funcție de temperatură

Pentru determinarea transferului de masă, care are loc între produs și mediu, este important de a cunoaște coeficientul de difuzie.

În baza rezultatelor calculelor efectuate, utilizând formula (3.20), a fost construită diagrama, care arată variația coeficientului de difuzie în funcție de modificarea temperaturii mediului de uscare (Figura 3.5).

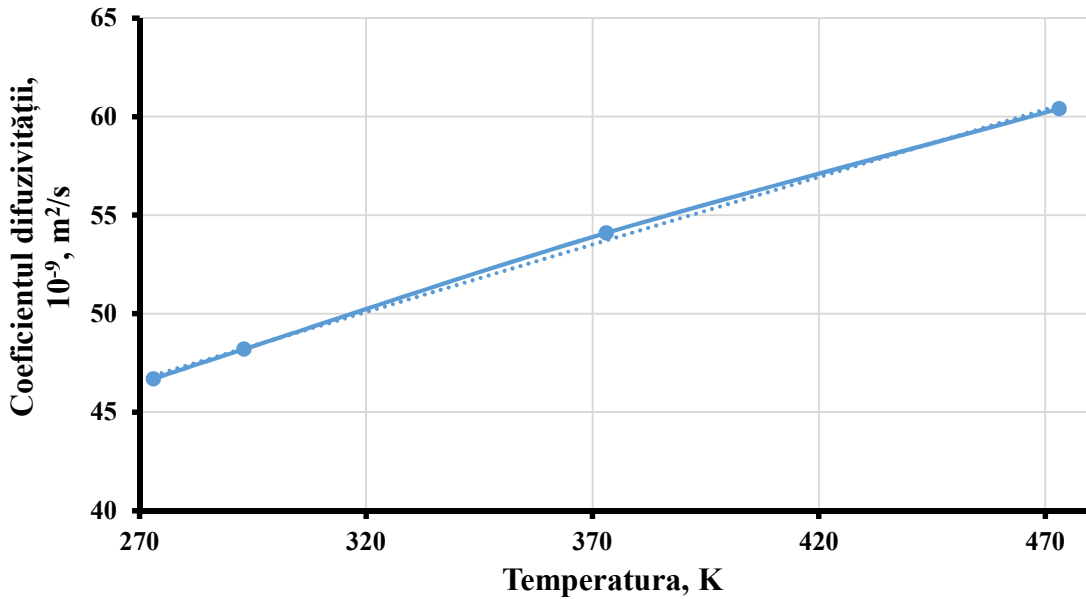


Figura 3.5 Variația coeficientului de difuzie în funcție de temperatură : $D = f(T)$

În Figura 3.5 se observă dependența liniară dintre coeficientul de difuzie a bioxidului de carbon și temperatura acestuia. Creșterea temperaturii duce la mărirea energiei cinetice a gazului, ceea ce duce în rezultat la mărirea vitezei de mișcare a particulelor de gaz și le permite să difuzeze mai repede.

În continuare utilizând ecuația (3.21) a fost determinat criteriul Reynolds:

$$Re = \frac{d \cdot \rho \cdot v}{\mu} = \frac{0,05 \cdot 1,9767 \cdot 2}{14 \cdot 10^{-6}} = 14120 \quad (3.21)$$

$$Pr = 0,75 \quad (3.22)$$

Acceptăm pentru calcul $d = 0,05 \text{ m}$ și $l = 1 \text{ m}$.

Luând în considerație densitatea dioxidului de carbon,

$$\rho_{CO_2} = 1,9767 \text{ kg/m}^3 \quad (3.23)$$

$$\beta \cdot \rho_{CO_2} = \left[\frac{kg}{m^2 s} \right] \quad (3.24)$$

și ecuațiile (3.18), (3.19), (3.20), formula finală pentru β va avea forma:

$$\beta = 0,167 \cdot \frac{0,13 \cdot 10^{-9} \cdot (-0,0004 \cdot t_m^2 + 0,8252 \cdot t_m + 163,69)}{d} \cdot \rho_{CO_2} \cdot Re^{0,74} \cdot Pr^{0,33} \cdot \left[\frac{l}{d} \right]^{-0,47} \quad (3.25)$$

După determinarea formulelor de calcul pentru coeficienții de transfer de căldură (α) (3.11) și transfer de masă (β) (3.25), toate rezultatele au fost introduse în ecuațiile (3.5), (3.6), care prezintă condițiile de limită:

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

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

Astfel în rezultat au fost primite ecuațiile desfășurate care descriu condițiile de limită ale procesului de transfer de căldură (3.26) și transfer de masă (3.27), pentru uscarea prin convecție în mediu modificat de CO₂ (Берник et al., 2015; Melenciuc, 2023).

$$(0,0008 \cdot t_m + 0,0149) \cdot \frac{\partial t(H, \tau)}{\partial \tau} + \left[\frac{Nu \cdot (0,0008 \cdot t_m + 0,0149)}{d} \right] \cdot [t_m - t(H, \tau)] - (1 - \varepsilon) \cdot r' \cdot [0,167 \cdot \frac{0,13 \cdot 10^{-9} \cdot (-0,0004 \cdot t_m^2 + 0,8252 \cdot t_m + 163,69)}{d} \cdot \rho_{CO_2} \cdot Re^{0,74} \cdot Pr^{0,33} \cdot \left[\frac{l}{d} \right]^{-0,47}] (\theta(H, \tau) - \theta_p) = 0 \quad (3.26)$$

$$(0,0008 \cdot t_m + 0,0149) \cdot \frac{\partial \theta(H, \tau)}{\partial x} + \lambda_m \delta \cdot \frac{\partial t(H, \tau)}{\partial x} + [0,167 \cdot \frac{0,13 \cdot 10^{-9} \cdot (-0,0004 \cdot t_m^2 + 0,8252 \cdot t_m + 163,69)}{d} \cdot \rho_{CO_2} \cdot Re^{0,74} \cdot Pr^{0,33} \cdot \left[\frac{l}{d} \right]^{-0,47}] (\theta(H, \tau) - \theta_p) = 0 \quad (3.27)$$

În continuare a fost utilizată transformata Laplace, care a stabilit o legătură între funcțiile originale: $L[t(x,\tau)]$ – temperatura și $L[\Theta(x,\tau)]$ – umiditatea și și imaginile lor: $t_L(x,s)$ – temperatura și $\Theta_L(x,s)$ – umiditatea. Astfel, anumite acțiuni efectuate asupra originalelor corespund anumitor acțiuni efectuate asupra imaginilor, iar operațiunile efectuate asupra imaginilor se dovedesc a fi mai simple decât asupra originalelor. În special, ecuației diferențiale în cazul originalului îi corespunde o ecuația algebrică în imagine. După rezolvarea ecuației algebrică apoi a fost găsit originalul soluției obținute, astfel a fost obținută soluția ecuației diferențiale inițiale.

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

Aplicăm transformata Laplace la ecuațiile (3.3) și (3.4),

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

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

și s-a obținut (ЛЫКОВ, 1967):

$$st_L(x,s) - t_0 = a_q t_L'(x,s) + \frac{\varepsilon \rho c_T'}{c_q} \tilde{S} \Theta_L(x,s) - \frac{\varepsilon \rho c_T'}{c_q} \Theta_0 + \frac{Q}{sc_q \gamma} = 0 \quad (3.28)$$

$$s \Theta_L(x,s) - \Theta_0 = a_m \Theta_L''(x,s) + a_m \delta t_L''(x,s) \quad (3.29)$$

Ecuția diferențială pentru temperatură $t_L(x,s)$ o determinăm în felul următor. Din ecuația (3.28) determinăm $\Theta_L(x,s)$ și derivata a doua $\Theta_L''(x,s)$ și le substituim în ecuația (3.29).

$$\Theta_L(x,s) = \left(st_L(x,s) - t_0 - a_q t_L'(x,s) + \frac{\varepsilon r' c_T'}{c_q} \Theta_0 \right) \frac{c_q}{\varepsilon r' c_T' s} \quad (3.30)$$

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

$$\Theta_L'(x,s) = (st_L'(x,s) - a_q t_L''(x,s)) \frac{c_q}{\varepsilon r' c_T' s}$$

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

$$\Theta''_L(x,s) = (\tilde{S}t''_L(x,s) - a_q t_L^{IV}(x,s)) \frac{c_q}{\varepsilon' c_T S} \quad (3.31)$$

Înlocuim (3.5) și (3.28) în ecuație:

$$\begin{aligned} & \left(st_L(x,s) - t_0 - a_q t_L''(x,s) + \frac{\varepsilon' c_T}{c_q} \Theta_0 \right) \frac{c_q}{\varepsilon' c_T S} - \Theta_0 = \\ & = a_m \delta t_L''(x,s) + a_m (\tilde{S}t''_L(x,s) - a_q t_L^{IV}(x,s)) \frac{c_q}{\varepsilon' c_T S} \end{aligned}$$

Deschidem parantezele și simplificăm expresia:

$$\begin{aligned} & t_L(x,s) \frac{sc_q}{\varepsilon' c_T} - \frac{t_0 c_q}{\varepsilon' c_T} - t_L''(x,s) \frac{c_q a_q}{\varepsilon' c_T} + \Theta_0 - \Theta_0 - t_L''(x,s) a_m \delta - \\ & - \frac{t_L''(x,s) a_m c_q}{\varepsilon' c_T} + t_L^{IV}(x,s) \frac{c_q a_q a_m}{\varepsilon' c_T S} = 0 \end{aligned} \quad (3.32)$$

$$t_L^{IV}(x,s) \frac{c_q a_q a_m}{\varepsilon' c_T S} - t_L''(x,s) \left(\frac{c_q a_q}{\varepsilon' c_T} + a_m \delta + \frac{c_q a_m}{\varepsilon' c_T} \right) + t_L(x,s) \frac{sc_q}{\varepsilon' c_T} - \frac{t_0 c_q}{\varepsilon' c_T} - \frac{Q}{s \rho \varepsilon' c_T} = 0$$

$$t_L^{IV}(x,s) - t_L''(x,s) \left(\frac{s}{a_m} + \frac{\varepsilon' c_T S}{c_q a_q} + \frac{s}{a_q} \right) + \frac{s^2}{a_q a_m} t_L(x,s) - \frac{st_0}{a_q a_m} = 0$$

Pentru a găsi soluția ecuației (3.32), a fost scris în felul următor:

$$t_L^{IV}(x,s) - t_L''(x,s) \left(\frac{s}{a_q} + \frac{\varepsilon \rho \delta c_T S}{c_q a_q} + \frac{s}{a_m} \right) + \frac{s^2}{a_q a_m} t_L(x,s) - \frac{t_0}{s} = 0 \quad (3.33)$$

Integrala comună a ecuației diferențiale obișnuite va fi următoarea:

$$t_L(x,s) = \frac{t_0}{s} + \frac{Q}{\rho s^2 c_q} + C_1 e^{\sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x} + C_2 e^{\sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x} + C_3 e^{\sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x} + C_4 e^{\sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x} \quad (3.34)$$

unde:

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

$$v_j^2 = \frac{1}{2} \left[\left(1 + Fe + \frac{1}{L_4} \right) + (-1)^j \sqrt{\left(1 + Fe + \frac{1}{L_4} \right)^2 + \frac{4}{L_4}} \right] \quad (3.35)$$

unde:

$$Fe - \text{criteriul Fedorov (A.B. ЛЫКОВ et al., 1959), } Fe = \frac{\varepsilon r' \beta c_T'}{c_q}$$

$$L_4 - \text{criteriul de inerție (A.B. ЛЫКОВ et al., 1959), } L_4 = \frac{a_m}{a_q}$$

$$j = 1, 2$$

Condițiile de simetrie imaginară 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 (3.14) se va scrie în felul următor:

$$t_L(x,s) = \frac{t_0}{s} + B_1 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x + B_2 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x \quad (3.36)$$

unde: 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 (3.23), și $t_L(x,s)$ în (3.28).

Din ecuația (3.34) găsim $t'_L(x,s)$ și $t''_L(x,s)$.

$$\begin{aligned} t'_L(x,s) &= B_1 \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x + B_2 \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x \\ t'_L(x,s) &= B_1 \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x + B_2 \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x \end{aligned} \quad (3.37)$$

Înlocuim (3.23) și (3.24) în ecuație:

$$\begin{aligned} t_0 + s B_1 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x + \tilde{S} B_2 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x - a_q B_1 \frac{s}{a_q} v_1^2 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x - \\ - a_q B_2 \frac{s}{a_q} v_2^2 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x - \frac{\varepsilon r' c_T' s}{c_q} \Theta_L(x,s) + \frac{\varepsilon r' c_T'}{c_q} \Theta_0 = 0 \end{aligned}$$

de unde:

$$\Theta_L(x,s) = \frac{\Theta_0}{S} + \frac{c_q}{\varepsilon r' c_T} B_1(1-v_1^2)ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 x + \frac{c_q}{\varepsilon r' c_T} B_2(1-v_2^2)ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 x \quad (3.38)$$

Coeficienții B_1 și B_2 se determină din condițiile de limită (3.5) și (3.6), care după folosirea transformatei Laplace vor fi următoarele:

$$-\lambda_q t'_L(H,s) + \alpha \left[\frac{t_c}{s} - t_L(H,s) \right] - (1-\varepsilon)r' \beta \left(\Theta(H,s) - \frac{\Theta_p}{s} \right) = 0 \quad (3.39)$$

$$\lambda_m \Theta'_L(H,s) + \lambda_m \delta t'_L(H,s) + \beta \left(\Theta_L(H,s) - \frac{\Theta_p}{s} \right) = 0 \quad (3.40)$$

Găsim din ecuațiile (3.36) și (3.38). $t_L(H,s)$; $t'_L(H,s)$; $\Theta_L(H,s)$; $\Theta'_L(H,s)$:

$$t_L(H,s) = \frac{t_0}{s} + \frac{Q}{\rho s^2 c_q} + B_1 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + B_2 ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H \quad (3.41)$$

$$t'_L(H,s) = B_1 \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + B_2 \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H \quad (3.42)$$

$$\Theta_L(H,s) = \frac{\Theta_0}{S} + \frac{2Q}{s^2 c_q \rho} + \frac{c_q}{\varepsilon r' c_T} B_1(1-v_1^2)ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + \frac{c_q}{\varepsilon r' c_T} B_2(1-v_2^2)ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H \quad (3.43)$$

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

Înlocuim (3.41), (3.42) și (3.43) în ecuația (3.39):

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

Simplificăm expresia dată:

$$\begin{aligned}
& B_1 \left\{ \lambda_q \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + \left[\alpha \frac{(1-\varepsilon)\beta c_q}{\varepsilon' c_T} (1-v_1^2) \right] ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H \right\} - \\
& + B_2 \left\{ \lambda_q \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H + \left[\alpha \frac{(1-\varepsilon)\beta c_q}{\varepsilon' c_T} (1-v_2^2) \right] ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_2 H \right\} + \\
& + \frac{\alpha(t_c - t_0)}{s} - \frac{(1-\varepsilon)r'\beta(\Theta_0 - \Theta_p)}{s} + \frac{(\alpha + 2(1-\varepsilon)r'\beta)Q}{s^2 c_q \rho} = 0
\end{aligned} \tag{3.44}$$

Înlocuim (3.39), (3.40), (3.35) în ecuația (3.28).

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

Simplificăm expresia dată:

$$\begin{aligned}
& B_1 \left\{ \left[\frac{\lambda_m c_q}{\varepsilon' c_T} (1-v_1^2) + \lambda_m \delta \right] \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + \frac{c_q \beta}{\varepsilon' c_T} (1-v_1^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H \right\} + \\
& + B_2 \left\{ \left[\frac{\lambda_m c_q}{\varepsilon' c_T} (1-v_1^2) + \lambda_m \delta \right] \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H + \frac{c_q \beta}{\varepsilon' c_T} (1-v_1^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_1 H \right\} + \\
& + \frac{\beta(\Theta_0 - \Theta_p)}{s} + \frac{2\beta \Theta}{s^2 c_q \rho} = 0
\end{aligned} \tag{3.45}$$

După simplificarea elementelor comune (3.44) și (3.37) și prelucrarea lor după criteriile asemănătoare pentru determinarea B_1 și B_2 și se obține un sistem de ecuații algebrice.

$$\left. \begin{aligned}
& B_1 T_1 + B_2 T_2 - \frac{t_m - t_0}{s} + (1-\varepsilon) \frac{\Theta_0 - \Theta_p}{s} \\
& B_1 P_1 + B_2 P_2 + \frac{Fe}{\delta} \frac{\Theta_0 - \Theta_p}{s} = 0
\end{aligned} \right\} \tag{3.46}$$

Aici: Fe – criteriul Fedorov, $Fe = \frac{\varepsilon' c_T}{c_q}$

$$\begin{aligned}
T_j &= \left[1 + (1 - v_j^2)K_1\right] ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_j H + \frac{1}{\beta_{iq}} \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_j H \cdot sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_j H \\
P_j &= (1 - v_j^2) ch \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_j H + [(1 - v_j^2)Fe] \frac{1}{\beta_{im}} \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_j H \cdot sh \sqrt{\frac{s}{a_q}} v_j H
\end{aligned} \tag{3.47}$$

unde:

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

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

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

Soluționăm sistema de ecuații (3.28). Din prima ecuație găsim B_2 :

$$B_2 = -\frac{B_1 T_1}{T_2} + \frac{t_m - t_0}{s T_2} - \frac{(1 - \varepsilon) r' \beta}{\alpha T_2} \cdot \frac{\Theta_0 - \Theta_p}{s} \tag{3.48}$$

Înlocuim această expresie în ecuația a doua:

$$\begin{aligned}
B_1 P_1 - \frac{B_1 T_1}{T_2} P_2 + \frac{t_m - t_0}{s T_2} P_2 - \frac{(1 - \varepsilon) r' \beta}{\alpha T_2} \cdot \frac{\Theta_0 - \Theta_p}{s} P_2 + \frac{Fe}{\delta} \cdot \frac{\Theta_0 - \Theta_p}{s} &= 0 \\
-B_1 \left(\frac{T_2 P_1 - T_1 P_2}{T_2} + \frac{t_m - t_0}{s T_2} P_2 + \frac{\Theta_0 - \Theta_p}{s} \left(\frac{Fe}{\delta} - \frac{(1 - \varepsilon) r' \beta}{\alpha T_2} \cdot P_2 \right) \right) &= 0 \\
B_1 = \frac{(t_m - t_0) - (\Theta_0 - \Theta_p) \cdot \left(\frac{-(1 - \varepsilon) r' \beta}{\alpha T_2} P_2 + \frac{Fe}{\delta} T_2 \right)}{s(T_2 P_1 - T_1 P_2)} & \tag{3.49}
\end{aligned}$$

După transformare B_1 va avea forma:

$$B_1 = \frac{(t_m - t_0) P_2 + (\Theta_0 - \Theta_p) + \frac{\varepsilon r' c_T}{c_q} (T_2 - K_1 P_2)}{s(T_2 P_1 - T_1 P_2)} \tag{3.50}$$

$$B_2 = \frac{(t_c - t_0)P_1 + (\Theta_0 - \Theta_p) + \frac{\varepsilon' c_T}{c_q} (T_1 - K_1 P_1)}{s(T_2 P_1 - T_1 P_2)} \quad (3.51)$$

Rezultă:

$$t_L(x, s) - \frac{t_0}{s} = (t_c - t_0) \frac{\Phi_{01}(s)}{\Psi_{01}(s)} \quad (3.52)$$

unde: Ko – criteriul Kosovici (A.B. Лыков et al., 1959), $Ko = \frac{r'(\theta_0 - \theta_p)}{c_q(t_c - t_0)}$

$$\frac{\Theta_0}{s} - \Theta_L(x, s) = (\Theta_0 - \Theta_p) \frac{\Phi_{02}(s)}{\Psi_{01}(s)} \quad (3.53)$$

A fost obținută 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:

$$\frac{1}{t_c - t_0} \left[t_L(x, s) - \frac{t_0}{s} \right] = \frac{\Phi_{01}(s)}{\Psi_0(s)} \quad (3.54)$$

$$\frac{1}{\Theta_0 - \Theta_p} \left[\frac{\Theta_0}{s} - \Theta_L(x, s) \right] = \frac{\Phi_{02}(s)}{\Psi_0(s)} \quad (3.55)$$

Numitorul $\Psi_0(s) = s(T_2 P_1 - T_1 P_2)$ în ecuațiile (3.52) și (3.53) este identic, iar polinoamele la numărător, corespunzător, sunt egale:

Numitorul și numărătorul ecuației (3.54) și (3.55) sunt polinoame generale referitor la S , de aceea, după cum arată analizele, trecerea de la imagine la original se poate de efectuat după teorema obișnuită de descompunere.

$$L^{-1} \left[\frac{\Phi_{01}(s)}{\Psi_0(s)} \right] = \frac{\Phi_{01}(0)}{\Psi_0(0)} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\Phi_{01}(s_k)}{\Psi_0(s_k)} \exp(s_k \tau) \quad (3.56)$$

$$L^{-1}\left[\frac{\Phi_2(s)}{\Psi_0(s)}\right] = \frac{\Phi_{02}(0)}{\Psi_0(0)} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\Phi_{02}(s_k)}{\Psi_0(s_k)} \exp(s_k \tau) \quad (3.57)$$

Trecerea de la imagine la original a permis de a obține următoarele ecuații, pentru câmpurile nestaționare de potențiale ale temperaturii unei substanțe.

$$\frac{t(x, \tau) - t_0}{t_c - t_0} = 1 - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \left[\frac{P_{k2} + \varepsilon_T K d (T_{k2} - K_1 P_{k1})}{\mu_k \Psi_k} \cos v_1 \mu_k \frac{x}{H} - \right. \right. \quad (3.58)$$

$$\left. \left. - \left[\frac{P_{k1} + \varepsilon_T K d (T_{k1} - K_1 P_{k2})}{\mu_k \Psi_k} \right] \cos v_2 \mu_k \frac{x}{H} \right\} \cdot \exp(-\mu_k^2 F_0')$$

$$\frac{\Theta_0 - \Theta(x, \tau)}{\Theta_0 - \Theta_p} = \frac{U_0 / c_T' - U(x, \tau) / c_T'}{U_0 / c_T' - U_p / c_T'} = \frac{U_0 - U(x, \tau)}{U_0 - U_p} =$$

$$= 1 - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \left[\frac{T_{k1} + \frac{1}{\varepsilon K o} P_{k2} - K_1 P_{k2}}{\mu_k \Psi_k} \right] (1 - v_2^2) \cos v_2 \mu_k \frac{x}{H} - \right. \quad (3.59)$$

$$\left. - \left[\frac{T_{k2} + \frac{1}{\varepsilon K o} P_{k2} - K_1 P_{k2}}{\mu_k \Psi_k} \right] (1 - v_1^2) \cos v_1 \mu_k \frac{x}{H} \right\} \exp(-\mu_k^2 F_0')$$

unde: F_0' – criteriul Furie, $F_0' = \frac{a_q}{H^2}$

În scopul simplificării utilizării soluției primite, ecuațiile (3.58) și (3.59) au fost scrise sub forma (Берник et al., 2015; Melenciuc, 2023):

$$T = \frac{t(x, \tau) - t_0}{t_c - t_0} = 1 - \sum_{k=1}^{\infty} \left(C_{k2} \cos v_1 \mu_k \frac{x}{H} - C_{k1} \cos v_2 \mu_k \frac{x}{H} \right) \exp(-\mu_k^2 F_0') \quad (3.60)$$

$$U = \frac{U_0 - U(x, \tau)}{U_0 - U_p} = 1 - \sum_{k=1}^{\infty} \left[C_{k1}^* (1 - v_2^2) \cos v_2 \mu_k \frac{x}{H} - C_{k2}^* (1 - v_1^2) \cos v_1 \mu_k \frac{x}{H} \right] \exp(-\mu_k^2 F_0') \quad (3.61)$$

Aici

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

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

$$C_{kj} = 2 \frac{P_{kj} + \varepsilon K_o (T_{kj} - K_1 P_{kj})}{\mu_k \psi_k} \quad (3.62)$$

$$C_{kj}^* = \frac{T_{kj} + \frac{1}{\varepsilon K_o} P_{kj} - K_1 P_{kj}}{\mu_k \psi_k} \quad (3.63)$$

$$\psi_k = v_1 A_{k1} P_{k2} + v_2 B_{k2} T_{k1} - v_2 A_{k2} P_{k1} - v_1 B_{k1} T_{k2}$$

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

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

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

unde: μ_k – rădăcina ecuației caracteristice $Tk_2 \cdot Pk_1 = T_{k1} \cdot Pk_2$

Conform modelului matematic obținut (3.60), (3.61), este posibil să se calculeze și să fie prezisă temperatura și umiditatea în orice moment și orice punct din spațiul geometric al produsului în condițiile uscării produselor în mediu modificat de CO₂.

Verificarea modelului matematic la similitudine

Ecuatiile obținute pentru determinarea temperaturii (3.60) și umidității (3.61) în timpul deshidratării perelor în mediul modificat de CO₂ au fost verificate la similitudine cu datele obținute prin calcul cu curbele de uscare și curbele de temperatură obținute experimental.

Pentru a studia procesele de transfer intern de căldură și masă, este necesar de a cunoaște temperatura medie și umiditatea produsului. Aceste valori pot fi obținute pentru o placă nelimitată conform relațiilor.

$$\bar{t}(x, \tau) = \frac{1}{H} \int_0^H t(x, \tau) dx \quad (3.64)$$

$$\bar{U}(x, \tau) = \frac{1}{H} \int_0^H U(x, \tau) dx \quad (3.65)$$

După integrarea ecuațiilor (3.60) și (3.61), conform ecuațiilor mediate propuse (3.64) și (3.65), au fost obținute formulele simplificate pentru calculul temperaturii și umidității.

$$T = C_1 + A_1 e^{B_1 \tau} \quad (3.66)$$

$$U = C_2 + A_2 e^{B_2 \tau} \quad (3.67)$$

Pentru determinarea constantelor din expresiile (3.66) și (3.67) formulele au fost aduse la forma liniară, prin metoda logaritmării:

$$\ln(T - C_1) = \ln A_1 + B_1 \tau \quad (3.68)$$

$$\ln(U - C_2) = \ln A_2 + B_2 \tau \quad (3.69)$$

Pentru a verifica adecvarea, a fost ales modul de uscare a perelor „Conferința” – convecție la 80 °C și mediu modificat de CO₂. Aplicând metoda pătratelor minime, care conține cerințele minimului sumei pătratelor abaterilor parametrului la ieșire a obiectului și modelului (3.70), determinăm C₁, A₁; B₁.

$$\sum_{u=1}^9 (T_u - \hat{T})^2 = \min \quad (3.70)$$

În final ecuația (3.66) va avea forma următoare:

$$\hat{T} = -2 + 2,28 e^{0,0144\tau} \quad (3.71)$$

Abaterile dintre datele reale și ecuația de regresie (Tabel 3.1), au arătat în mediu un rezultat de 5,7 %, ceea ce permite de a face o concluzie despre corectitudinea verificării adecvării metodei alese pentru modelul matematic calculat.

Tabel 3.1 Abaterea dintre temperatura de uscare: date experimentale (T) și ecuația de regresie (\hat{T})

Durata, τ , min	30	40	50	60	70	80	90	100
Temperatura CO ₂ în experimente, T, °C	50	60	60	60	60	60	60	60
Temperatura CO ₂ în ecuația de regresie, \hat{T} , °C	51	53	55	57	59	61	64	66
Abateri dintre datele experimentale și ecuația de regresie, %	3	11	8	5	1	2	6	10

În mod similar au fost calculate C_2 , A_2 și B_2 pentru determinarea umidității produsului (3.72).

$$\hat{U} = 0,1 + 95,871e^{0,005\tau} \quad (3.72)$$

În baza ecuației de regresie (3.72), a fost efectuat calculul comparativ, pentru determinarea umidității și apoi determinată abaterea dintre rezultatele experimentale și cele calculate (Tabel 3.2).

Tabel 3.2 Abaterea dintre umiditatea produsului: date experimentale (U) și ecuația de regresie (\hat{U})

Durata τ , min	30	40	50	60	70	80	90	100
Umiditatea CO ₂ în experimente, U, %	81,4	79	76,2	73,4	70	66,5	62,5	58,2
Umiditatea CO ₂ în ecuația de regresie, \hat{U} , %	82,6	78,6	74,8	71,1	67,7	64,4	61,2	58,2
Abateri dintre datele experimentale și ecuația de regresie, %	1,50	0,52	1,88	3,10	3,34	3,21	2,03	0,08

Abaterile medii de 2 %, indică o precizie ridicată de aproximare a ecuației datelor experimentale pentru determinarea conținutului de umiditate al perelor în timpul uscării.

Modelul matematic prezentat și rezultatele verificării acestuia la abateri, permite utilizarea atât la uscarea perelor în mediu modificat de CO₂, cât și la convecția cu aer, mai mult ca atât, modelul dat, după introducerea unor modificări, ce i-au în considerație proprietățile termofizice, au aplicație și în determinarea temperaturii și umidității pe parcursul duratei de uscare și la alte produse alimentare vegetale cu structură asemănătoare perelor (Берник et al., 2015; Melenciuc, 2023).

3.3. Diagrama de stare (I-d) a dioxidului de carbon

Uscarea este una dintre principalele metode de conservare a alimentelor. Însă, procesul de deshidratare în fluxul de aer cald presupune un contact direct cu oxigenul din aer, care pentru unele produse, cum ar fi merele și perele, este nedorit, deoarece duce la oxidarea produsului și, ca urmare, la reducerea parametrilor de calitate. Una dintre metodele de reducere a contactului cu oxigenul în timpul procesului de deshidratare a materialului din natură vegetală, este utilizarea mediului modificat cu CO₂ (Țislinscaia et al., 2017; Melenciuc, 2023).

Diagrama a fost construită pentru presiunea barometrică $p = 745 \text{ mmHg} = 100 \text{ kPa}$, care poate fi adoptată ca presiune medie anuală a aerului. Practic, diagrama poate fi utilizată pentru orice calcul al uscătorului cu mediu modificat cu CO_2 , deoarece în deviațiile obișnuite ale presiunii aerului valorile i , I (entalpia) și d (conținutul de umiditate) se modifică ușor. I - d -diagrama prezintă o interpretare grafică a ecuației entalpiei aerului umed. Aceasta, afișează relația dintre parametrii principali ai aerului umed. Fiecare punct de pe diagramă, arată orice stare (a aerului umed) cu anumiți parametri. Pentru a afla oricare dintre caracteristicile aerului umed, este suficient să cunoaștem numai doi parametri ai stării sale.

Pe diagramă sunt de asemenea prezentate liniile pentru constanta de temperatură, pentru constanta umidității relative, pentru presiunea parțială a vaporilor de apă și pentru constanta temperaturii umede a termometrului. Conținutul de umiditate care arată cantitatea de vapori într-un mediu absolut de CO_2 uscat, care caracterizează compoziția în greutate a gazului umed, a fost calculată prin formula (A.B. ЛЫКОВ et al., 1959):

$$d = \frac{G_{\text{vapor}}}{G_{\text{CO}_2}} = \frac{M_{\text{vapor}}}{M_{\text{CO}_2}} \cdot \frac{P_{\text{par}}}{P - P_{\text{par}}} \quad (3.73)$$

unde G_{vapor} – masa vaporilor de apă în CO_2 umed, kg ;

G_{CO_2} – masa a CO_2 uscat în același volum, kg ;

P_{par} – presiunea parțială, mm Hg ;

M_{vapor} – masa moleculară a vaporilor de apă, kg/mol .

În același timp, presiunea parțială va fi calculată utilizând formula bine cunoscută:

$$P_{\text{par}} = \varphi P_{\text{sat}} \quad (3.74)$$

Considerând masa moleculară a vaporilor de apă $M_{\text{vapor}} = 18 \text{ g/mol}$ și cea a CO_2 $M_{\text{CO}_2} = 44 \text{ g/mol}$, ecuația (3.73) va deveni (A.B. ЛЫКОВ et al., 1959):

$$d = \frac{18}{44} \cdot \frac{\varphi P_{\text{sat}}}{P - \varphi P_{\text{sat}}} = 0.409 \cdot \frac{\varphi P_{\text{sat}}}{P - \varphi P_{\text{sat}}} \quad (3.75)$$

Astfel cum presiunea saturată poate si aproximată ca un polinom de gradul trei, atunci:

$$P_{\text{sat}} = 0.159 \cdot t^3 - 8.7018 \cdot t^2 + 285.3 \cdot t - 593.27 \quad (3.76)$$

Cunoscând, toate din urmă, forma finală a ecuației a conținutului de umiditate (3.73) va fi:

$$d = 0.409 \cdot \frac{\varphi \cdot (0.159 \cdot t^3 - 8.7018 \cdot t^2 + 285.3 \cdot t - 593.27)}{P - \varphi \cdot (0.159 \cdot t^3 - 8.7018 \cdot t^2 + 285.3 \cdot t - 593.27)} \quad (3.77)$$

(Notă: această formulă este valabilă pentru valorile de temperatură $t > 10$ °C).

Astfel, luând în calcul ecuația (3.77), au fost construite liniile pentru constanta umidității relative $\psi = const$. Au fost calculate și prezentate grafic (Figura 3.6) relațiile funcționale pentru umiditatea relativă $\psi = 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10$ și 5 %.

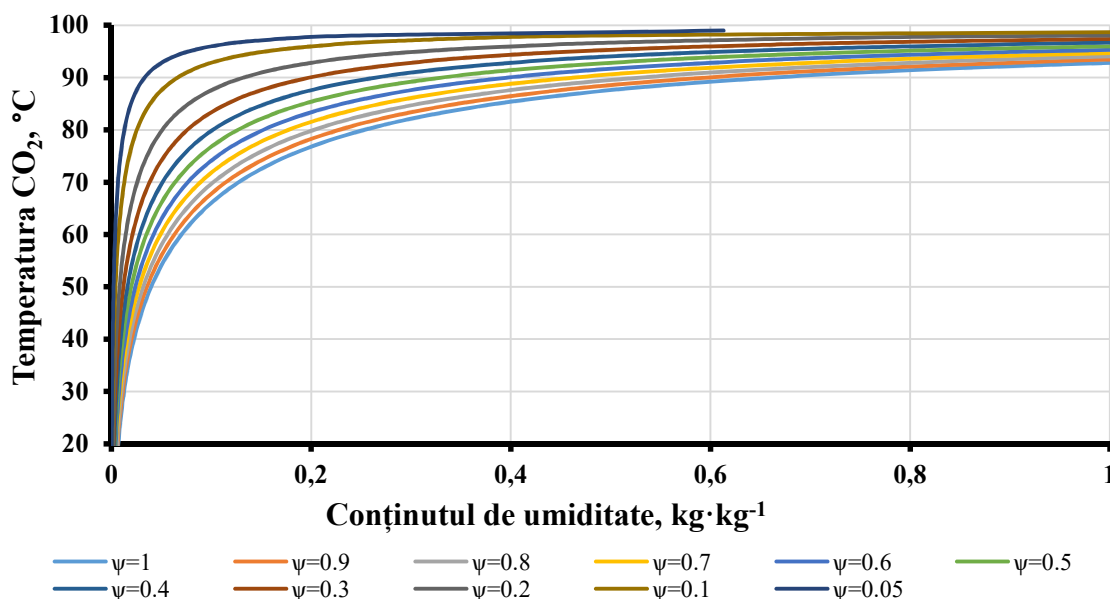


Figura 3.6 Interdependența temperaturii și conținutului de umiditate relativă în mediul de CO₂, pentru diferite umidități relative (ψ)

Bioxidul de carbon umed, ca agent de transfer de căldură, este caracterizat de entalpia I (conținutul de căldură), egală cu suma entalpiilor gazului uscat și vaporilor de apă (3.78):

$$I = c_{CO_2} \cdot t + d \cdot I_{vapor}, \quad (3.78)$$

unde: c_{CO_2} – căldura specifică a CO₂ uscat, $J/kg \cdot grad$.

t – temperatura aerului, °C.

I_{vapor} – entalpia aburului supraîncălzit, în $J \cdot kg^{-1}$.

Entalpia aburului poate fi calculată utilizând formula empirică:

$$I_{vapor} = r_0 + c_{vapor} \cdot t = (2493 + 1.97 \cdot t) \cdot 10^3 \quad (3.79)$$

unde: $r_0 = 2493 \cdot 10^3$ – coeficient constant aproximativ egal cu entalpia aburului la 0 °C.

c_{vapor} – căldura specifică a aburului, în $J/kg \cdot grad$.

Pentru calculul căldurii specifice a CO₂ gaziform, care se află în condiții ideale, s-a propus expresia simplificată, în *J/kg·grad*:

$$c_{CO_2} = 818 + 0.988 \cdot t \quad (3.80)$$

Astfel, entalpia CO₂ a fost calculată prin introducerea formulelor (3.77), (3.79) și (3.80) în ecuația (3.78) și a fost obținută ecuația de calcul a valorilor entalpiei și trasate curbele pe diagrama *I-d*:

$$I = (818 + 0.988 \cdot t) \cdot t + 0.409 \cdot \frac{\varphi \cdot (0.159 \cdot t^3 - 8.7018 \cdot t^2 + 285.3 \cdot t - 593.27)}{P - \varphi \cdot (0.159 \cdot t^3 - 8.7018 \cdot t^2 + 285.3 \cdot t - 593.27)} \cdot (2493 + 1.97 \cdot t) \cdot 10^3 \quad (3.81)$$

Grafic, pentru intervale diferite de *d* (pentru o imagine mai precisă), dependența entalpiei de conținutul de umiditate, atunci când $\psi = const$, poate fi prezentată în felul următor (Figura 3.7):

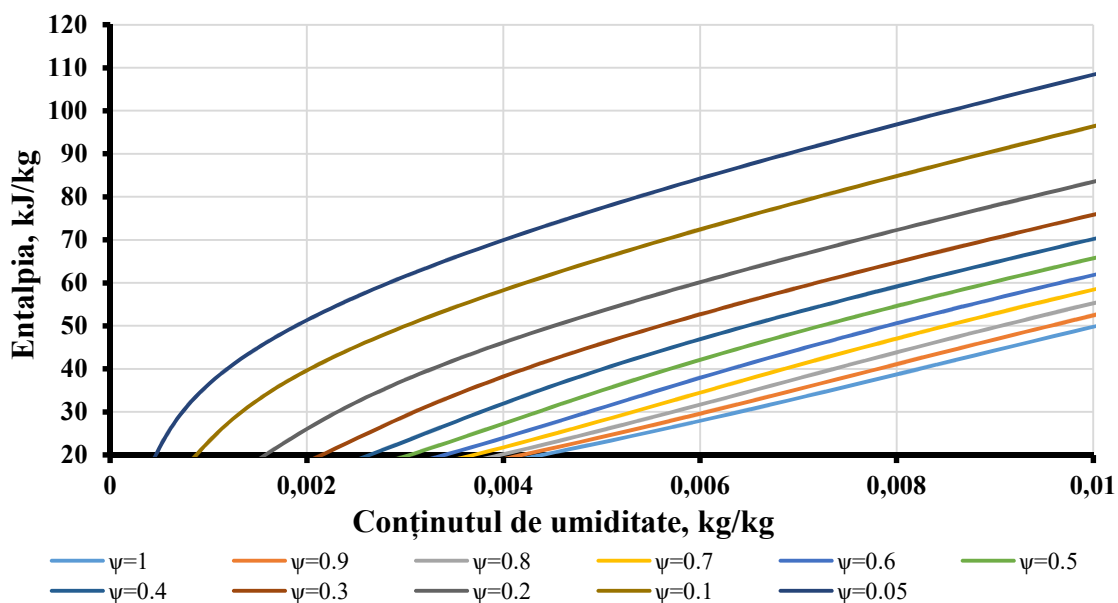


Figura 3.7 Dependența entalpiei de conținutul de umiditate, pentru $\psi = const.$;
pentru $d = 0 \div 0,01$ kg/kg.

Pentru o vizualizare mai clară și o definire mai precisă a entalpiei, graficele au fost împărțite în diferite intervale de conținut de umiditate.

În același timp, a fost calculată și reprezentată dependența entalpiei de temperatură la $\psi = const.$, în graficul următor (Figura 3.8), aici, la fel ca și în exemplul anterior (Figura 3.7), a fost utilizată metoda de divizare a diagramelor intervalelor de entalpie.

Astfel, pentru intervalul $I = 0 \div 500$ kJ/kg, această dependență va avea ca rezultat:

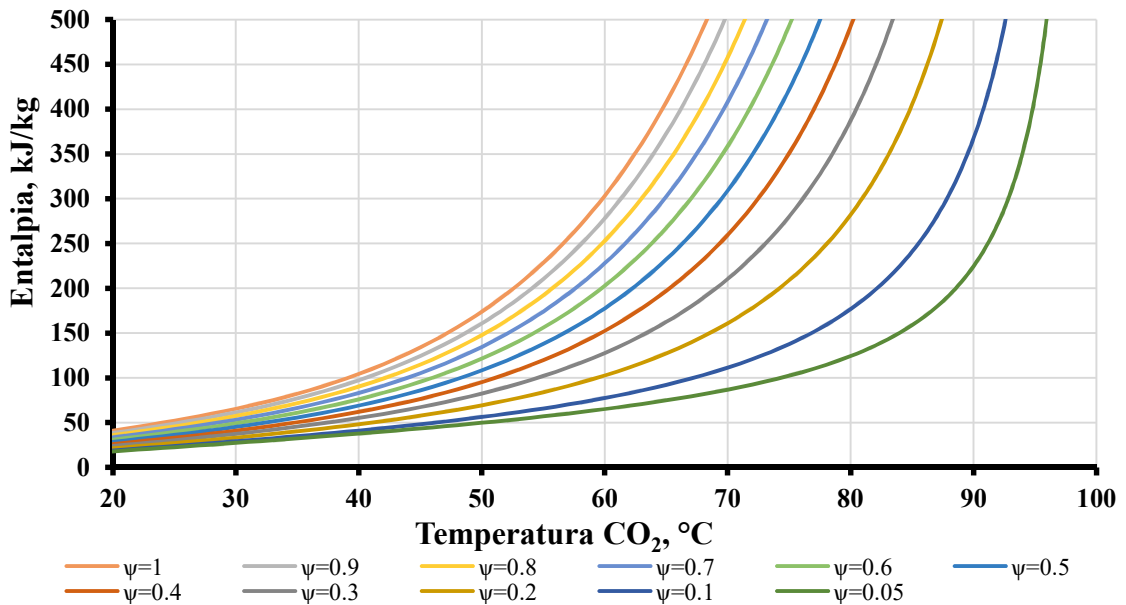


Figura 3.8 Dependenta entalpiei de temperatură, pentru $\psi = \text{const}$

Liniile constantelor de temperatură $t = \text{const.}$ sau izotermele, au fost create folosind ecuația (3.81), calculând I la diferite valori ale lui d , care la $t = \text{const.}$ sunt reprezentate grafic (Figura 3.9) ca o linie dreaptă. Unghiul de înclinare a izotermelor se amplifică odată cu creșterea entalpiei vaporilor.

$$I = (818 + 0.988 \cdot t) \cdot t + d \cdot (2493 + 1.97 \cdot t) \cdot 10^3 \quad (3.82)$$

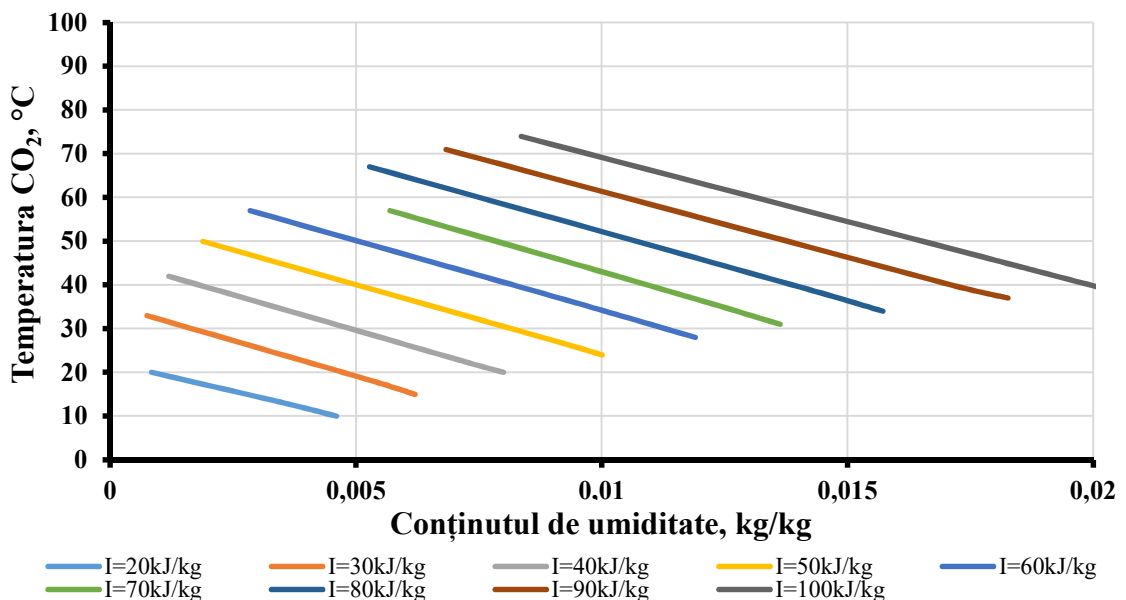


Figura 3.9 Liniile constante ale adiabatelor pentru diferite valori ale entalpiei

Din analiza Figura 3.9 poate fi văzut că pentru valorile constante ale entalpiei, temperatura bioxidului de carbon va fi invers dependentă de conținutul de umiditate a acestuia, astfel scăzând

odată cu creșterea conținutului de umiditate. Creșterea conținutului de umiditate în cazul dat poartă un caracter adiabatic, fiind datorată saturației gazului cu vapori de apă evaporată din produs. Au fost modelate și funcțiile aproximative pentru unele entalpii.

Un interes deosebit prezintă modelul matematic de determinare a conținutului de umiditate, care include cei doi factori, de temperatură, în $^{\circ}C$ și entalpie, în kJ/kg :

$$d = 0.002853 - 0.00025 \cdot t + 0.000245 \cdot I \quad (3.83)$$

Linia de presiune parțială a CO_2 prezentată în diagrama I-d a fost construită pe baza formulei (3.75) pentru diferite valori ale conținutului de umiditate, astfel scara de măsurare P_{par} este prezentată în $mm Hg$ (Figura 3.10).

$$d = \frac{18}{44} \cdot \frac{P_{pa}}{P - P_{par}} = 0.409 \cdot \frac{P_{par}}{P - P_{par}}$$

$$P_{pa} = \frac{d \cdot P}{d + 0.409} \quad (3.84)$$

$$P_{pa} = 1425 \cdot d + 7.4 \quad (3.85)$$

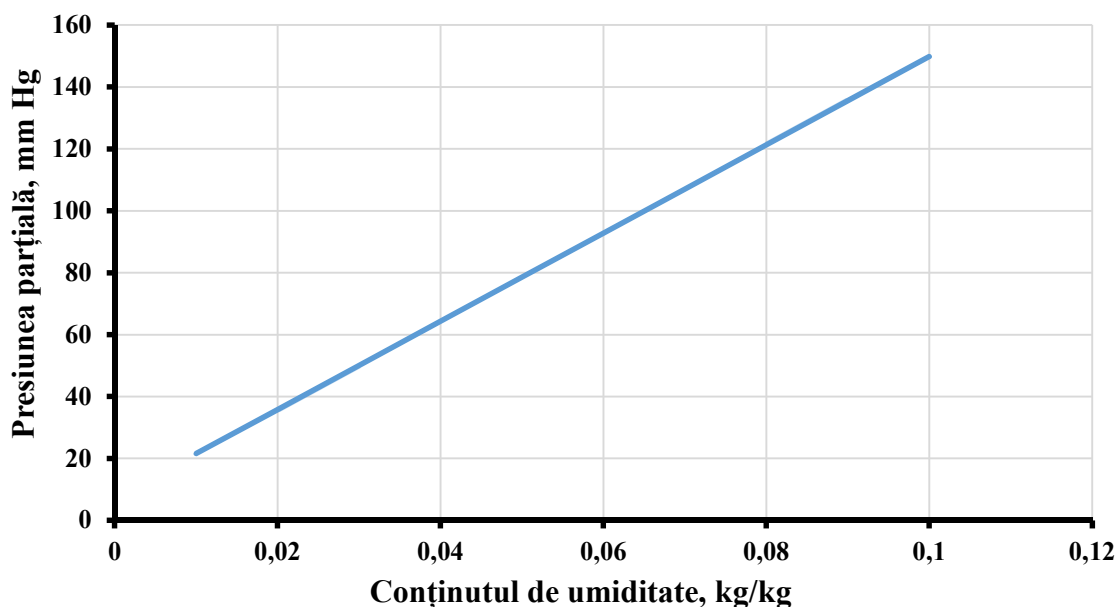


Figura 3.10 Presiunea parțială a vaporilor de apă în mediul de CO_2

Din Figura 3.10, s-a observat dependența liniară dintre conținutul de umiditate și presiunea parțială. Conținutul de umiditate crește odată cu creșterea presiunii parțiale, deoarece pentru ca căldura să fie transferată produsului, presiunea parțială deasupra produsului trebuie să fie egală cu presiunea parțială a vaporilor de apă a agentului de uscare.

Folosind modelarea relațiilor funcționale analitice și grafice, obținută pentru entalpie, conținutul de umiditate și temperatură pentru diferite valori ale umidității relative, pot fi analizate atât procesele de uscare în mediu modificat de CO₂ cât și calculate și proiectate uscătoare cu mediu modificat de CO₂ (Țislinscaia et al., 2017; Melenciuc, 2023).

3.4. Modelul matematic al vitezei agentului de uscare la transferul de masă dintre produs și mediu

Viteza agentului de uscare, care acoperă suprafața produsului supus uscării joacă un rol important în procesul de difuzie a umidității evaporate de pe suprafața produsului în mediul înconjurător. În cazul dat, descrierea matematică a acestui fenomen este strict necesară pentru optimizarea mai eficientă a procesului de uscare. Alegerea corectă a vitezei agentului termic duce la reducerea consumului de energie a ventilatoarelor, care asigură parametrii fluxului dat și a consumului de energie termică în cazul uscării prin convecție (UTM et al., 2019).

Cu o aproximație, s-a presupus că procesul de evaporare a umidității în perioada de viteză constantă de uscare este identic cu procesul de evaporare a lichidului de pe suprafața liberă. Legea lui Dalton pentru viteza de evaporare a unui lichid dintr-o suprafață liberă are următoarea formă (Țislinscaia et al., f.a.):

$$W = G(H - h) \frac{760}{P_b} \quad (3.86)$$

unde: W este cantitatea de apă evaporată, $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$;

G – coeficient de evaporare, $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot mmHg^{-1}$;

$H - P_{sat}$, presiunea aburului saturat, la temperatura de evaporare a apei, $mmHg$

$h - P_{par}$, presiunea parțială a aburului în fluxul de aer sau în mediul înconjurător, $mmHg$

P_b – presiunea barometrică, $mmHg$

Deoarece viteza de uscare în perioada sa constantă depinde de viteza la care aburul difuzează prin pelicula de suprafață al aerului, factorul care afectează grosimea acestui film afectează viteza de uscare în această perioadă. Cel mai important factor de acest tip este viteza aerului deasupra suprafeței materialului.

Potrivit lui Hinchley – Himus, coeficientul de evaporare G depinde de grosimea peliculei de aer, care, conform datelor privind transferul de căldură, variază în puterea de 0,8 din viteza aerului, deci poate fi calculat folosind formula $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot mmHg^{-1}$ (A.B. ЛЫКОВ et al., 1959):

$$G = 0,029(\rho_{aer}v)^{0,8} \quad (3.87)$$

$$G = 0,029(1,29v)^{0,8} = 0,0035v^{0,8}$$

unde: P_{sat} – presiunea aburului saturat la temperatura de evaporare a apei, $mmHg$:

$$P_{sat} = (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075 \quad (3.88)$$

unde: P_{par} – presiunea parțială a aburului în fluxul de aer sau în mediul înconjurător, $mmHg$:

$$P_{par} = \frac{d \cdot P}{d + 0,622} \quad (3.89)$$

unde: d – conținutul de umiditate, kg/kg ;

P – presiunea totală a amestecului de abur-aer, $745 mmHg$.

$$P_{par} = \frac{d \cdot 745}{d + 0,622} \quad (3.90)$$

$$d = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075}{745 - \varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075} \quad (3.91)$$

unde: b – presiunea barometrică, $mmHg$

Viteza de uscare în prima perioadă poate fi controlată cu mare precizie prin reglarea umidității aerului, în timp ce în perioada de uscare constantă viteza de uscare rămâne constantă, atâta timp cât condițiile de uscare sunt constante.

Introducând în ecuațiile (3.86), (3.87), (3.88), (3.90) și (3.91) s-a obținut:

$$W = 0,0035v^{0,8} \left((0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075 - \frac{d \cdot 745}{d + 0,622} \right) \cdot \frac{760}{745} = 0,0035w^{0,8}. \quad (3.92)$$

$$\cdot \left((0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075 \right. \\ \left. - \frac{0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075}{745 - \varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075} \cdot 745}{0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075}{745 - \varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075} + 0,622} \right) \\ \cdot 1,02$$

La rândul său, cantitatea de umiditate evaporată poate fi determinată conform formulei, $kg \cdot s^{-1}$:

$$W = \beta F \Delta d_{med}$$

Sau în $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$:

$$W = \beta \Delta d_{med} \quad (3.93)$$

unde: β – coeficientul de transfer de masă în faza gazoasă, $kg/m^2 \cdot s^{-1} \cdot (kg/kg)$

F – aria suprafeței de evaporare, m^2

Δd_{med} – forța motrice medie, în $kg_{abur} \cdot kg^{-1}_{aer}$

$$\Delta d_{med} = d_{sat} - d_{int} \quad (3.94)$$

$$d_{sat} = 0,622 \cdot \frac{\varphi_{sat} \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075}{745 - \varphi_{sat} \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075} \quad (3.95)$$

$$d_{int} = 0,622 \cdot \frac{\varphi_{int} \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075}{745 - \varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075} \quad (3.96)$$

Coeficientul de transfer de masă β , a fost determinat din ecuația criteriului Nusselt:

$$Nu = A Re^n Pr^{0,33} Gu^{0,135} \quad (3.97)$$

unde: Nu – criteriul Nusselt (A.B. ЛЫКОВ et al., 1959):

$$Nu = \frac{\beta l}{D} \quad (3.98)$$

unde: D – coeficientul de difuzie, $D = 2,8 \cdot 10^{-5} m^2/s$;

l – lungimea suprafeței de evaporare, m ;

Re – criteriul Reynolds (A.B. ЛЫКОВ et al., 1959):

$$Re = \frac{vl}{\nu} \quad (3.99)$$

unde: ν – vâscozitatea cinematică, $\nu = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

Criteriul Reynolds va avea valori apropiate de 6000, ca rezultat coeficientul $A = 0,347$, $n = 0,65$.

Pr – criteriul Prandtl (A.B. ЛЫКОВ et al., 1959):

$$Pr = \frac{\nu}{D} \quad (3.100)$$

$$Pr = 0,71$$

Gu – criteriul Guhman, descrie transferul convectiv de căldură prin evaporare, la presiune constantă (A.B. ЛЫКОВ et al., 1959):

$$Gu = \frac{T_{CO_2} - T_s}{T_{CO_2}} \quad (3.101)$$

T_{CO_2} – temperatura absolută a gazului (CO_2) care contactează cu suprafața produsului, K .

T_s – temperatura absolută a suprafeței produsului (pere), K .

$$Gu = 0,17$$

Din ecuația (3.97) a fost calculată valoarea β :

$$Nu = \frac{\beta l}{D} = A Re^n Pr^{0,33} Gu^{0,135}$$

$$\beta = \frac{D}{l} A Re^n Pr^{0,33} Gu^{0,135}$$

$$\beta = 0,347 Re^{0,65} Pr^{0,33} Gu^{0,135} \frac{D}{l} \quad (3.102)$$

Egalând ecuațiile (3.86) și (3.94):

$$\frac{1}{3600} \cdot 0,0035v^{0,8} \left((0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075 \right. \\ \left. - \frac{0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075}{745 - \varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075} \cdot 745}{0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075}{745 - \varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075} + 0,622} \right) 1,02 \\ = \beta \Delta d_{med} \quad (3.103)$$

A fost obținută expresia din care s-a determinat viteza medie a agentului de uscare, având în vedere (3.95), (3.96) și (3.102):

$$v^{0,8} = 0,347Re^{0,65}Pr^{0,33}Gu^{0,135} \frac{D}{l} \\ \cdot \left[0,622 \cdot \frac{\varphi_{sat} \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075}{745 - \varphi_{sat} \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075} - 0,622 \cdot \frac{\varphi_{int} \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075}{745 - \varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075} \right] \cdot \quad (3.104)$$

$$\left[1,6 \cdot 10^{-6} \cdot ((0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075 \right. \\ \left. - \frac{0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075}{745 - \varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075} \cdot 745}{0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075}{745 - \varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075} + 0,622} \right]^{-2}$$

Pentru simplificarea reprezentării soluției primite, ecuația a fost notată prin K :

$$\begin{aligned}
 & 0,347Re^{0,65}Pr^{0,33}Gu^{0,135}\frac{D}{l} \\
 & \cdot \left[0,622 \cdot \frac{\varphi_{sat} \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075}{745 - \varphi_{sat} \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075} - 0,622 \right. \\
 & \cdot \left. \frac{\varphi_{int} \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075}{745 - \varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075} \right] \\
 & \cdot \left[1,6 \cdot 10^{-6}((0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075 \right. \\
 & \left. - \frac{0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075}{745 - \varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075} \cdot 745}{0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075}{745 - \varphi \cdot (0,159 \cdot t^3 - 8,7018 \cdot t^2 + 285,3 \cdot t - 593,27) \cdot 0,0075} + 0,622} \right)^{-2}
 \end{aligned} \tag{3.105}$$

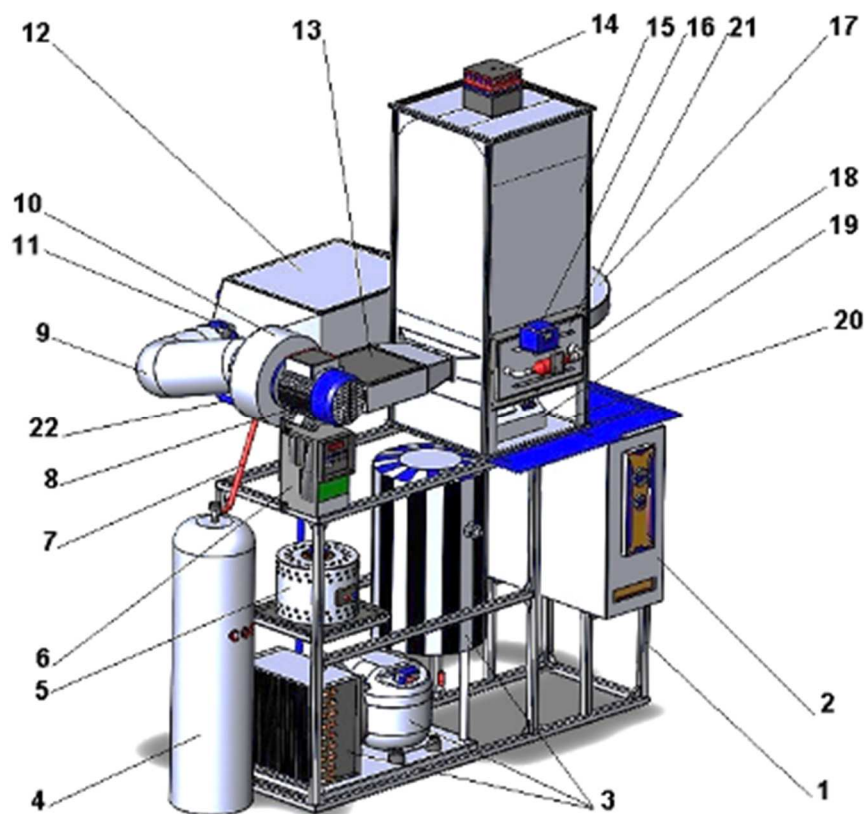
Viteza s-a determinat din relația (3.106):

$$v = \sqrt[0,8]{K} \tag{3.106}$$

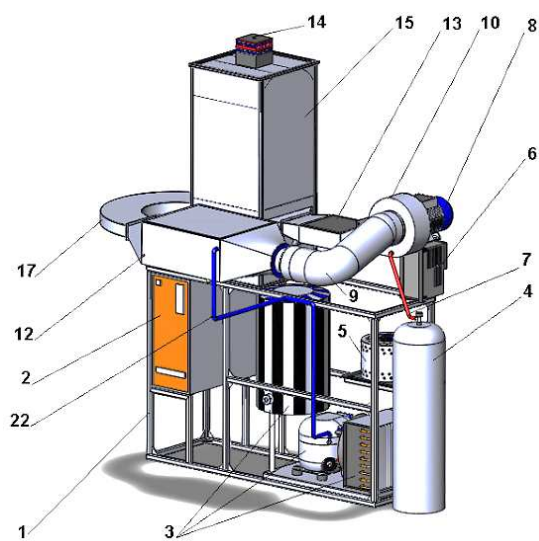
Deci, conform formulei de calcul a vitezei agentului de uscare, aceasta depinde de parametrii vaporilor de apă de la suprafața produsului și de cei ai agentului de uscare, cum ar fi umiditatea relativă, presiunea parțială, regimurile de curgere, etc. În urma calculului efectuat, viteza optimă de uscare pentru mediul modificat de CO₂ este de 1,5±0,13 m/s (UTM et al., 2019).

3.5. Elaborarea instalației experimentale de laborator pentru uscarea produselor alimentare de natură vegetală

Pentru studiul procesului de uscare a perelor a fost elaborată și confecționată o instalație de laborator (Figura 3.11 a, b, c) (Melenciuc, 2023), (UTM et al., 2019). Instalația dată asigură procesul de uscare a fructelor și legumelor, prin aplicarea a trei metode de uscare: uscarea prin convecție; uscarea cu aplicarea microundelor și uscarea în mediu modificat de CO₂. Totodată, este prevăzută posibilitatea de a combina aceste trei metode între ele: microunde și convecția cu aer; microunde și convecția cu mediu de CO₂.



a)



b)



c)

Figura 3.11 Instalația experimentală de uscare pentru fructe și legume: vederea generală a instalației (a) și din spate (b), în 3D și cea reală (c).

1 – carcasa; 2 – procesor; 3 – instalație frigorifică; 4 – rezervor CO₂; 5 – rezistor; 6 – invertor; 7 – furtun; 8 – motor electric; 9 – canal intermediar; 10 – ventilator centrifugal; 11 – ștuț ;
12 – condensator; 13 – generator de căldură; 14 – magnetron; 15 – camera de lucru; 16 – indicatorul concentrației de CO₂; 17 – canal de reciclare; 18 – receptor CO₂; 19 – balanță electronică; 20 – camera intermediară; 21 – capac; 22 – țevă.

Instalația este constituită din: (Figura 3.11 a, b, c) carcasa 1, pe care este instalată camera de lucru 15, conectată la un generator de căldură 13 și un ventilator centrifugal 10, cuplat cu motorul electric 8. La motorul electric este conectat invertorul 6. Tot la camera de uscare 15 este unit un canal de reciclare 17, care este ajustat la un condensator 12, unit cu ventilatorul centrifugal 10 printr-un canal intermediar 9, dotat cu un ștuț 11. Pe partea superioară a camerei de uscare 15 este montat un magnetron 14, care generează microunde, iar în partea inferioară a ei se află camera intermediară 20 în care este amplasată o balanță electronică 19; camera de lucru a instalației de uscare se închide cu capacul 21, pe care este amplasat indicatorul concentrației de CO₂ 16 și receptorul de CO₂ 18 (Figura 3.12).

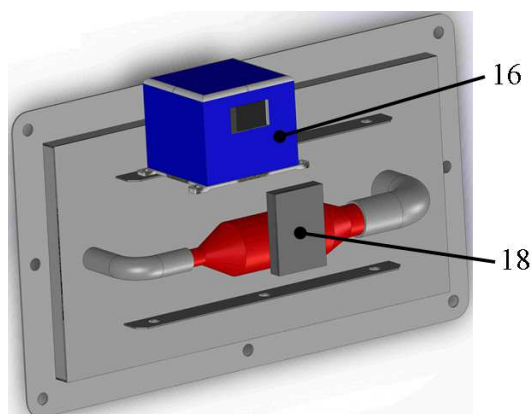


Figura 3.12 Capacul camerei de uscare a instalației experimentale de uscare pentru fructe și legume.

În partea inferioară a instalației, în carcasa 1 este montat un procesor 2 pentru dirijarea generatorului de microunde 14, o instalație frigorifică 3 pentru dirijarea condensatorului 12 prin intermediul unei țevi 22; și un rezistor 5 pentru dirijarea generatorului de căldură 13. Totodată instalația mai este dotată cu un rezervor de CO₂ 4, ce permite alimentarea ei prin intermediul unui furtun 7.

Instalația permite înregistrarea automată a temperaturii și umidității agentului de uscare la intrarea și ieșirea din camera de lucru, scăderea de masă a produsului supus uscării (cântar electronic G&G JJ2000B (G&G: Operation Manual: For models: JJ100B, JJ200B, JJ1500B, JJ2000B, f.a.) – eroarea $\pm 0,01$ g), frecvența pulsațiilor magnetronului și temperatura produsului

(termometru infraroșu IR laser – eroarea $\pm 2,0$ % sau $\pm 2,0$ °C). Periodic a fost măsurată viteza aerului cu anemometrul (AM50 – eroarea ± 3 %) Toți acești parametri sunt înregistrați online la calculator și pot fi vizualizați la ecran cu ajutorul unui soft elaborat special (Figura 3.13).

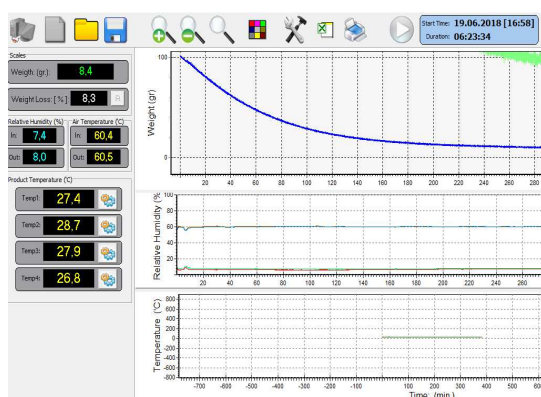


Figura 3.13 Vizualizarea la calculator a parametrilor măsurăți.

Instalația de uscare pentru fructe și legume, funcționează în felul următor (Figura 3.11 a, b, c): produsul destinat procesului de uscare este încărcat în camera de uscare 15, deschizând capacul 21.

Pentru uscarea prin convecție este necesar de conectat cântarul 19, pentru a urmări scăderea umidității din produs pe parcursul uscării; de conectat inverterul 6, care conectează ventilatorul centrifugal 10, prin intermediul motorului electric 8, de conectat generatorul de căldură 13 și rezistorul 5; totodată canalul intermediar 9 este demontat de la ventilatorul centrifugal 10. Astfel, aerul este preluat din exterior de către ventilatorul centrifugal 10, și îndreptat în generatorul de căldură 13, unde este încălzit până la o temperatură anumită, datorită reglării cu rezistorul 5; nimerind în camera de uscare 15, el preia umiditatea din produs, o vehiculează prin canalul de reciclare 17, prin condensatorul 12 și canalul intermediar 9, și o evacuează în exterior.

Pentru uscarea cu aplicarea microundelor este necesar de conectat cântarul 19, pentru a urmări scăderea umidității din produs pe parcursul uscării; de conectat inverterul 6, care conectează ventilatorul centrifugal 10, prin intermediul motorului electric 8, de conectat generatorul de microunde 14 și procesorul 2; totodată canalul intermediar 9 la fel este demontat de la ventilatorul centrifugal 10. Astfel, aerul este preluat din exterior de către ventilatorul centrifugal 10, și prin generatorul de căldură 13, nimereste în camera de uscare 15, unde are loc evacuarea umidității din produs, datorită generatorului de microunde 14, care este dirijat cu procesorul 2; umiditatea este preluată de debitul de aer generat de ventilatorul centrifugal 10, și vehiculată în exterior prin canalul de reciclare 17, prin condensatorul 12 și canalul intermediar 9.

Pentru uscarea în mediu de CO₂ este necesar de conectat cântarul 19, pentru a urmări scăderea umidității din produs pe parcursul uscării; de conectat inverterul 6, care conectează

ventilatorul centrifugal 10, prin intermediul motorului electric 8, de conectat procesorul 2 odată cu generatorul de microunde 14 și/sau de conectat rezistorul 5 odată cu generatorul de căldură 13, de asemenea trebuie montat canalul intermediar 9 la ventilatorul centrifugal 10, astfel formându-se un ciclu închis, ce permite alimentarea instalației cu CO₂, în același timp eliminându-se aerul din sistemă prin intermediul unui ștuț 11. Când concentrația de CO₂ a atins valoarea necesară, ștuțul 11 se închide. Se pornește instalația frigorifică 3 și condensatorul 12, pentru a se condensa gazul cu umiditate ridicată și a putea fi reciclat din nou. Astfel gazul are un circuit închis în mediu de CO₂.

3.6. Sistemul de reciclare a dioxidului de carbon

Pentru a reduce cantitățile de dioxid de carbon emanate în mediul înconjurător în urma procesului de uscare în mediu modificat de CO₂, atât din considerente economice cât și de ecologie, instalația experimentală de laborator de uscare a produselor alimentare de natură vegetală a fost dotată cu un sistem de reciclare a dioxidului de carbon eșapat din camera de lucru, după preluare umidității din produs. Pentru proiectarea sistemului de reciclare a fost important de ținut cont de faptul, că gazul utilizat este concentrat cu umiditatea preluată din produs în timpul uscării, ceea ce nu ar permite de a utiliza direct gazul recent folosit, deoarece acesta nu va mai fi apt să-și exercite funcția directă de agent de uscare. Din acest motiv, instalația de uscare a fost dotată cu un sistem de răcire, care cuprinde instalația frigorifică 3 și condensatorul 12 (Figura 3.11 a, b, c; Figura 3.14 a, b).

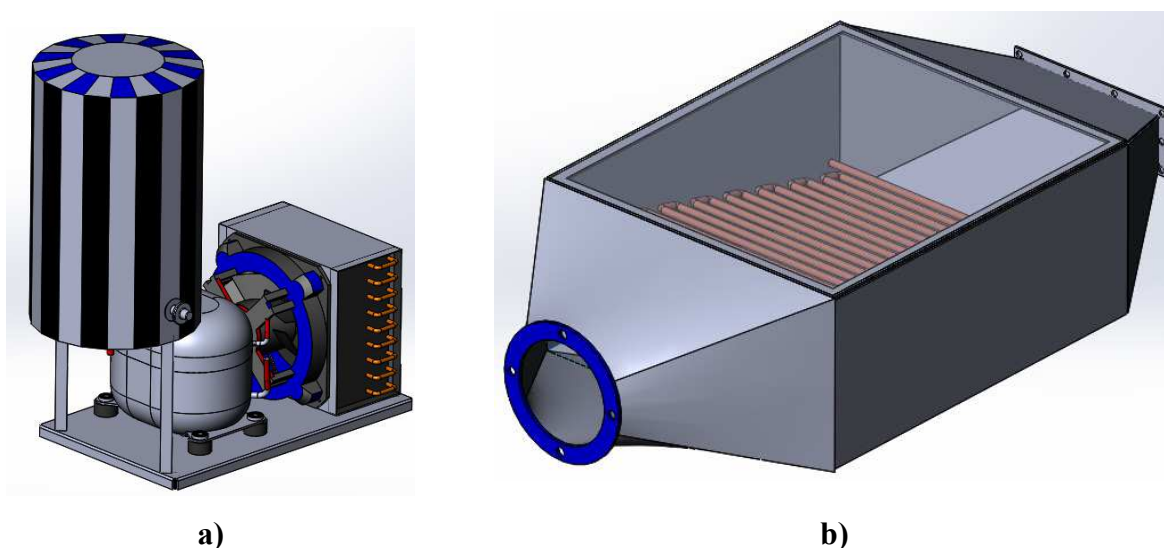


Figura 3.14 Instalația frigorifică (a) și condensatorul (b) ale instalației experimentale de uscare pentru fructe și legume.

Pregătirea pentru procesul de uscare în mediu modificat de CO_2 , are loc după cum este descris anterior. Este important de urmat toți pașii de pregătire și mai ales de a presta atenție la etapele ce țin de pregătirea și punerea în funcționare a sistemului de reciclare (Figura 3.15 a și b) (Melenciuc, 2023).

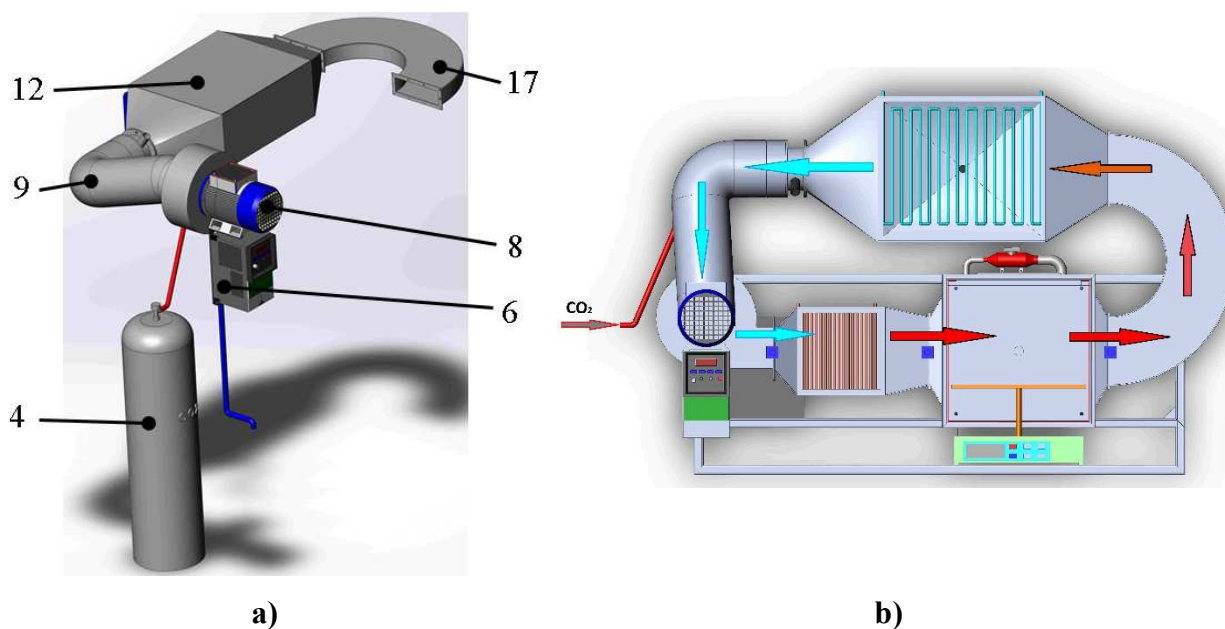


Figura 3.15 Sistemul de reciclare a gazului al instalației experimentale de uscare pentru fructe și legume: vederea din față (a) și schema generală de funcționare (b).

Odată ce au fost conectate conductele suplimentare 7 și 9 (Figura 3.11 a, b, c; Figura 3.15 a și b) și circuitul a fost închis, se pun în funcțiune celelalte elemente constitutive ale instalației. Când în funcțiune este pus ventilatorul 8, este introdus în camera de uscare și dioxidul de carbon din rezervorul cu gaz 4. Trecând în contact cu elementele de încălzire, gazul preia de la ele căldura și o transmite la produs. Cedând căldura produsului și preluând de la acesta o cantitate de apă, gazul umectat, fiind impus de ventilator, părăsește camera de uscare și intră în condensatorul 12, unde din cauza diferenței mari de temperatură, gazul încălzit se răcește și se condensează. Apa din componența gazului, la fel condensează, trecând în faza lichidă și fiind mai grea ca gazul se scurge la fundul condensatorului, de unde este eliminată printr-o conductă. Gazul răcit, este preluat de ventilator și introdus din nou în camera de uscare.

3.7. Concluzii la capitolul 3

- Pentru efectuarea experimentelor a fost proiectată și confecționată instalația experimentală de uscare în mediu modificat de CO₂, cu ciclu închis a agentului termic, cu posibilitatea modificării concentrației dioxidului de carbon în interiorul camerei de lucru și preluării automate a datelor experimentale în timpul procesului.
- A fost întocmită diagrama stării dioxidului de carbon (I-d) cu elaborarea dependențelor și interdependențelor tuturor parametrilor de stare (entalpia, temperatura, conținutul de umiditate). Diagrama stării dioxidului de carbon permite preluarea parametrilor termofizici ai gazului pentru proiectarea instalațiilor și proceselor de uscare în atmosferă modificată de CO₂.
- A fost întocmit modelul matematic a fenomenelor de transfer de masă și căldură pentru uscarea în mediu modificat de CO₂, pentru care au fost stabilite condițiile de limită și a fost determinată dependența intensității transferului de masă și căldură de principalii parametri care dirijează procesele respective (coeficientul conductivității termice, capacitatea termică specifică, coeficientul difuzivității termice). Verificarea la similitudine efectuată în baza modelării matematice a arătat abaterea de 5,7 % – pentru temperatură și 2 % – pentru umiditate. Modelul matematic a fenomenelor de transfer de masă și căldură pentru uscarea în mediu modificat de CO₂, are aplicabilitate practică.
- Cu scopul determinării vitezei optime de uscare a fost construit modelul matematic al vitezei agentului de uscare la transferul de masă dintre produs și mediu care a permis de a stabili dependența dintre viteza de uscare și parametrii vaporilor de apă deasupra suprafeței produsului dar și de însăși parametrii agentului de uscare (umiditatea relativă, presiunea parțială, etc). Viteza optimă de uscare pentru mediul modificat de CO₂ este de 1,5±0,13 m/s.

4. STUDIUL CINETICII PROCESULUI DE USCARE ȘI CALITĂȚII PRODUSULUI

Pentru a stabili influența mediului modificat de CO₂ asupra procesului de uscare au fost efectuate uscări experimentale ale perelor de soi „Conferința”, de la o umiditate inițială a produsului de 84,0 ± 0,75 %, până la umiditatea finală a perelor uscate de 20 %, atât prin metoda convențională – cu aer, cât și în mediu modificat. Uscarea a avut loc la mai multe regimuri termice (cu temperaturi cuprinse între 60 °C și 100 °C) și pentru CO₂ la mai multe concentrații ale gazului în camera de lucru (30, 60 și 80 %). În scopul determinării influenței mediilor de uscare au fost întocmite diagramele de uscare și ale vitezelor de uscare, la fel au fost determinate conținutul acid L-ascorbic și conținutul total de polifenoli.

4.1. Analiza cineticii procesului de uscare a perelor prin convecție cu aer

În baza rezultatelor experimentale s-au obținut curbele de uscare ($U = f(\tau)$) (Figura 4.1). Curbele de uscare obținute au formă tradițională, și sunt bine evidențiate perioadele de uscare și corespund celor descrise în literatura de specialitate (Melenciuc, 2023; Гинзбург, 1973; Лыков, 1968).

Totodată graficele demonstrează o intensificare a procesului la creșterea temperaturii agentului de uscare, astfel la temperatura de 60 °C durata de uscare a fost de 525 min., iar la temperatura de 100 °C – de 260 min., arătând o intensificare a procesului de cca. 2 ori (Figura 4.2).

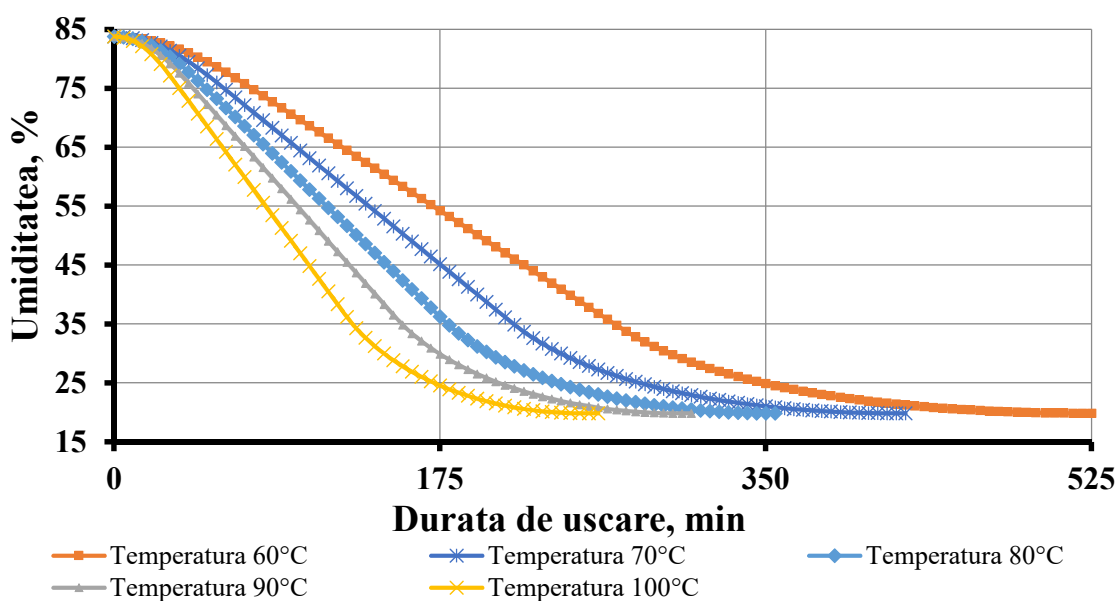


Figura 4.1 Curbele de uscare a perelor prin convecție, $U=f(\tau)$, agent de uscare – aerul

Intensificarea procesului de uscare în funcție de temperatură, poartă un caracter linear și este prezentată prin relația:

$$\tau = -6,45 \cdot T + 891 \quad (R^2 = 0,9709) \quad (4.1)$$

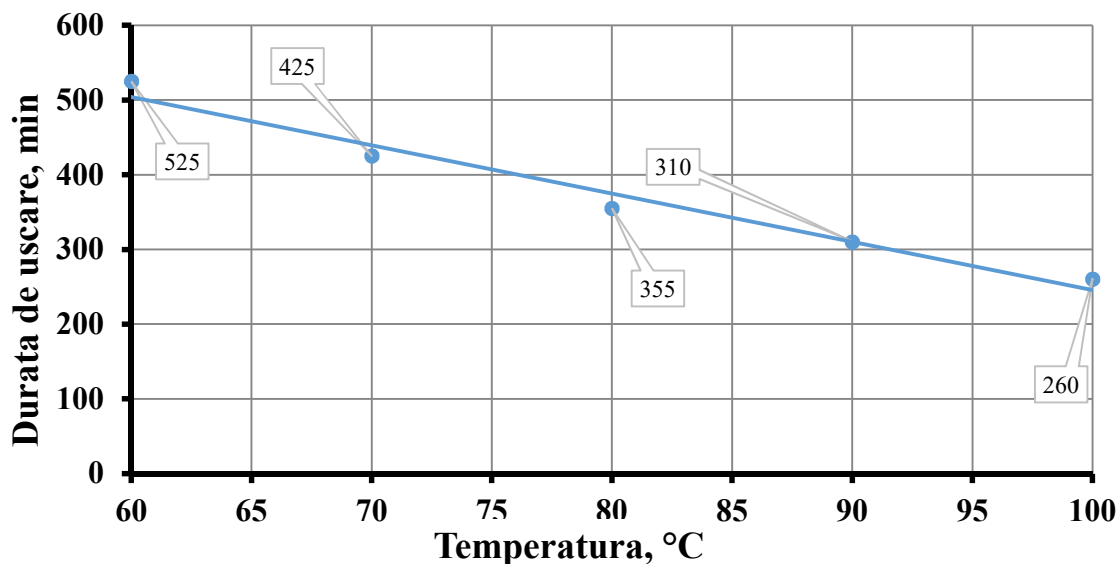


Figura 4.2 Dependența duratei de uscare de temperatura agentului de uscare – aerul

Curbele vitezei de uscare, prezentate în Figura 4.3, au forma universală, descrisă pe larg în literatura de specialitate (Гинзбург, 1973; ЛЫКОВ, 1968; Jangam et al., 2010; Melenciuc, 2023). Astfel, sunt bine evidențiate toate perioadele de uscare: perioada de încălzire, care a avut loc până la atingerea unei umidități de cca 74 %; perioada vitezei constante de uscare – de la 73÷75 % până la 34÷38 % și perioada vitezei în scădere – de la 34÷38 % până la umiditatea finală de 20 %.

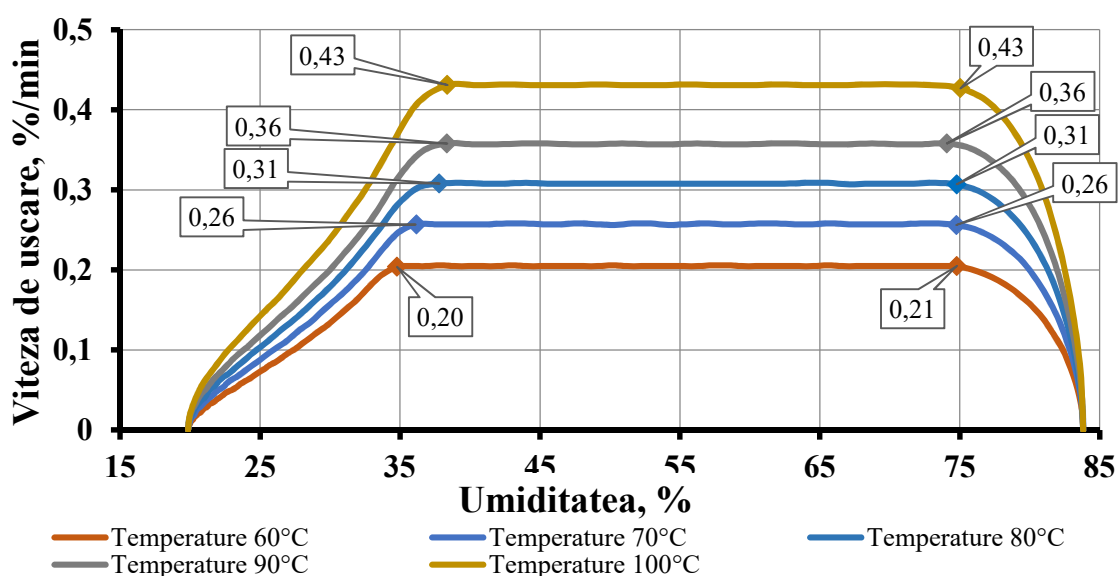


Figura 4.3 Curbele vitezei de uscare prin convecție a perelor, $dU/dt=f(U)$, agent de uscare – aerul

Conform clasificării prezentate de (Лыков, 1968), forma curbelor a perioadei vitezei de uscare în scădere a perelor, este de tipul produselor cu o structură complexă, ceea ce este confirmat prin structura capilar-poroasă și a formelor multilaterale de legare a apei cu scheletul perelor (Jackson, 2003; Morgan et al., 2015; Лактионов, 2017).

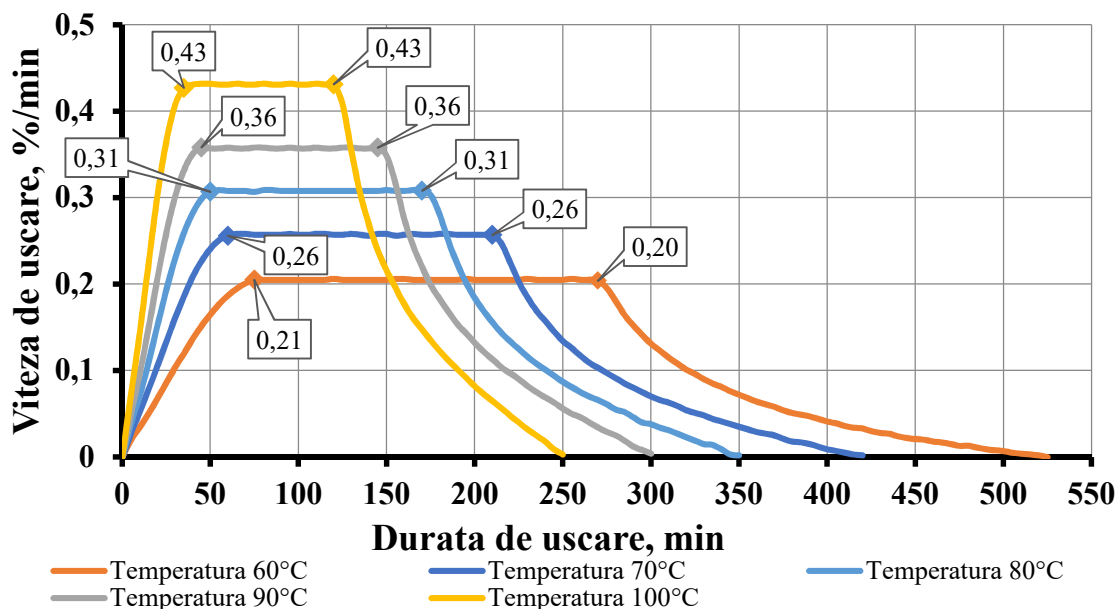


Figura 4.4 Dependența vitezei de uscare de durata de uscare – aerul

Corelația dată indică o creștere stabilă a vitezei de uscare la creșterea temperaturii, astfel la temperatura agentului de uscare de 60 °C, s-a stabilit o viteză de uscare de cca. 0,21 %/min, la 70 °C – $dU/d\tau$ este 0,26 %/min, la 80 °C – $dU/d\tau$ este 0,31 %/min, la 90 °C – $dU/d\tau$ este 0,36 %/min și la 100 °C – $dU/d\tau$ este 0,43 %/min, cu o creștere în viteză de la 60 °C la 100 °C de 2,1 ori (Bernic, 2005; 2011; Малежик et al., 2005).

Valoarea punctului critic (umiditatea critică U_c) al curbei vitezei de uscare de asemenea este influențată de temperatura agentului de uscare, aceasta se observă din diagramele din Figura 4.3.

Pentru peretele „Conferința”, în intervalul analizat de temperaturi ale agentului de uscare, de la 60 °C până la 100 °C, punctul critic U_c se schimbă de la valoarea de 34,77 % până la 38,37 %. Această creștere, de 1,1 ori, a valorii punctului critic este condiționată de faptul că mărirea temperaturii provoacă evaporarea umidității în interiorul produsului mai devreme.

4.2. Analiza cineticii procesului de uscare a perelor prin convecție în mediu modificat de CO₂

Cinetica procesului de uscare a perelor în mediu modificat de CO₂ a fost examinată pentru diferite concentrații de dioxid de carbon – 30, 60 și 80 %. Regimul termic s-a acceptat același ca

și la uscarea cu aer – 60, 70, 80, 90 și 100 °C și viteza agentului de uscare de $1,5 \pm 0,13$ m/s (Берник et al., 2015; Melenciuc, 2023).

Forma geometrică a perele a rămas neschimbată – rondele secționare perpendicular cu grosimea de 3 mm și aranjate într-un strat.

Curbele de uscare a perelor în mediu modificat de CO₂ (Figura 4.5) și-au păstrat forma similară celor din Figura 4.1, caracteristice uscării prin convecție, cu aer, ceea ce confirmă că procesul de uscare prin convecție mai mult este influențat de structura materialului și forma de legătură a umidității cu scheletul, (Гинзбург, 1973; Лыков, 1968; Bernic, 2011; 2005; Das et al., 2018; Melenciuc, 2023).

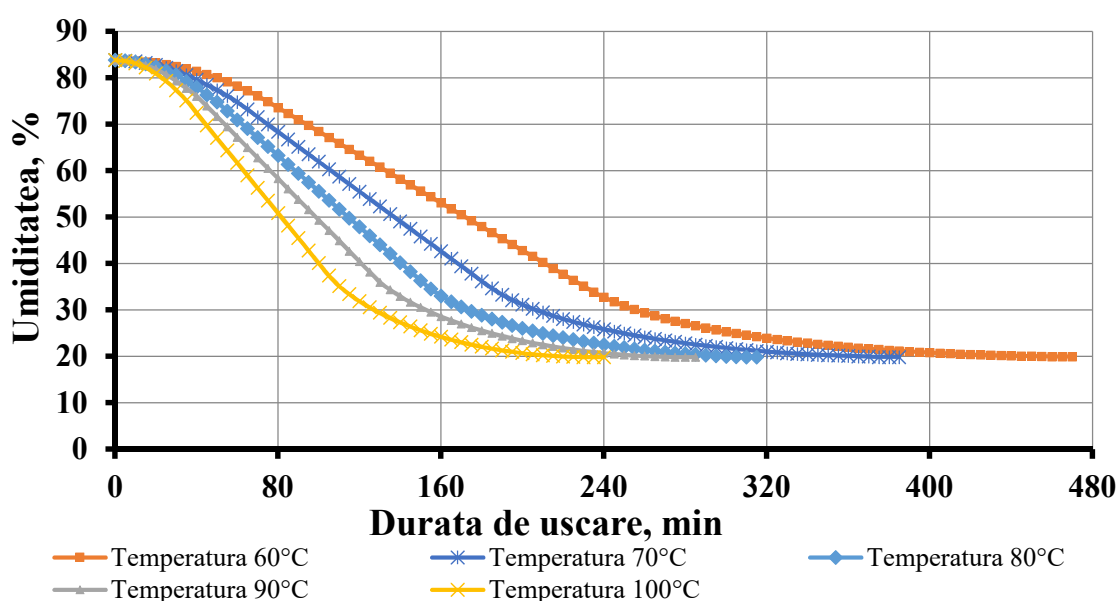


Figura 4.5 Curbele de uscare prin convecție a perelor, $U=f(\tau)$, agent de uscare – bioxid de carbon ($C_{CO_2} = 80\%$)

Totodată din grafice (Figura 4.1, Figura 4.5 și Figura 4.2, Figura 4.6) se observă o reducere a duratei de uscare în mediu modificat în comparație cu uscarea prin convecție cu aer. Astfel la temperatura de 60 °C procesul s-a redus cu 10,5 %, la 70 °C cu 9,4 %, la 80 °C cu 11,27 %, la 90 °C cu 8 % și la 100 °C cu 7,7 %. Corelația dintre durata de uscare în mediul modificat de CO₂ și temperatură este descrisă cu ecuația (4.2).

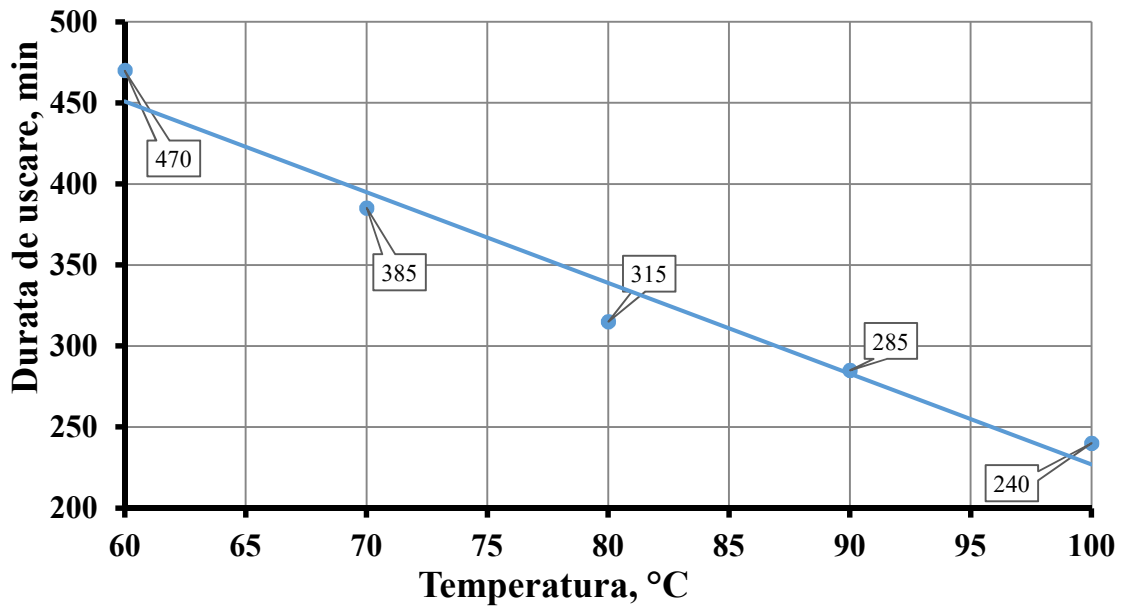


Figura 4.6 Dependenta duratei de uscare de temperatura agentului de uscare – CO₂

$$\tau = -5,6 \cdot T + 787; (R^2 = 0,9628) \quad (4.2)$$

Reducerea duratei de uscare este argumentată mai mult de intensificarea procesului de transfer de masă de la produs în mediu și mai puțin de transferul de masă din interiorul produsului. Aceasta s-a dovedit experimental (Figura 4.1, Figura 4.5) prin faptul că s-a redus mai mult durata perioadei vitezei constante, la care are loc înlăturarea umidității de pe suprafața produsului și mai puțin durata perioadei vitezei în scădere, la care are loc deshidratarea produsului în interior (Melenciuc, 2023).

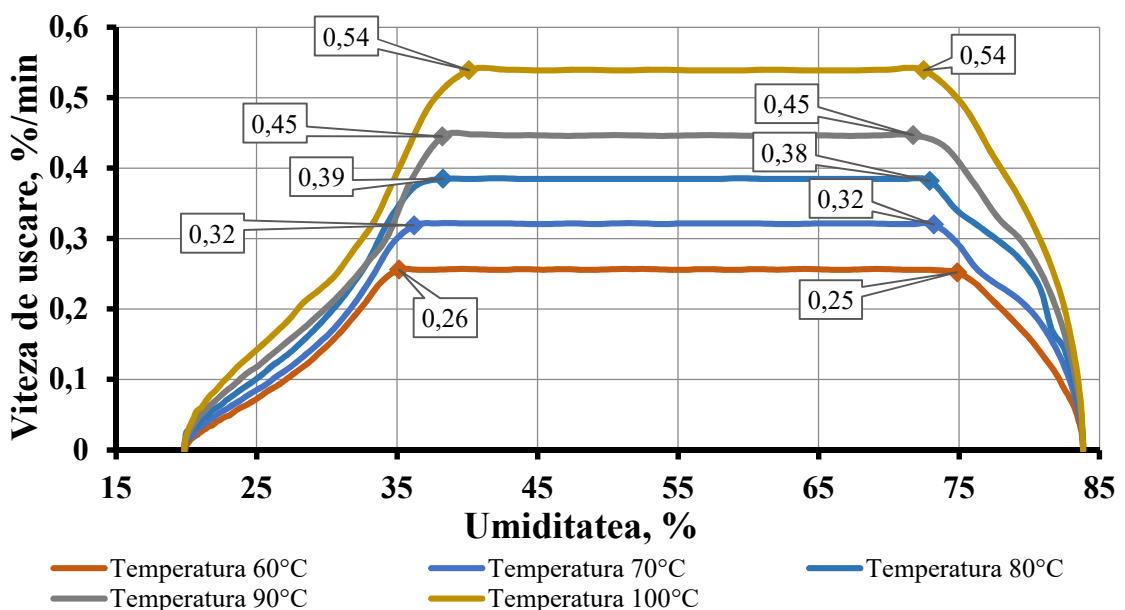


Figura 4.7 Curbele vitezei de uscare prin convecție a perelor, $dU/dt=f(U)$, agent de uscare – bioxid de carbon ($C_{CO_2} = 80 \%$)

Intensificarea transferului de masă în gaz (mediu modificat de CO₂) este datorată de creșterea atât a energiei cinetice proprii a moleculelor de CO₂ (Figura 3.1) în comparație cu aerul cât și de creșterea energiei cinetice a aceleiași molecule obținute de o sursă externă – ventilator. O altă explicație a acestui fenomen ar fi diferența evidentă dintre capacitățile termice specifice ale gazelor (Figura 4.10).

Curbele vitezei de uscare în mediu modificat de CO₂ (Figura 4.7) poartă același caracter ca și la uscarea în aer (Figura 4.3) cu excepția valorilor mărite în perioada vitezei de uscare constantă (Figura 4.8) (Гинзбург, 1973; Лыков, 1968; Jangam et al., 2010), ceea ce confirmă accelerarea procesului anume în etapa eliminării umidității de pe suprafața produsului.

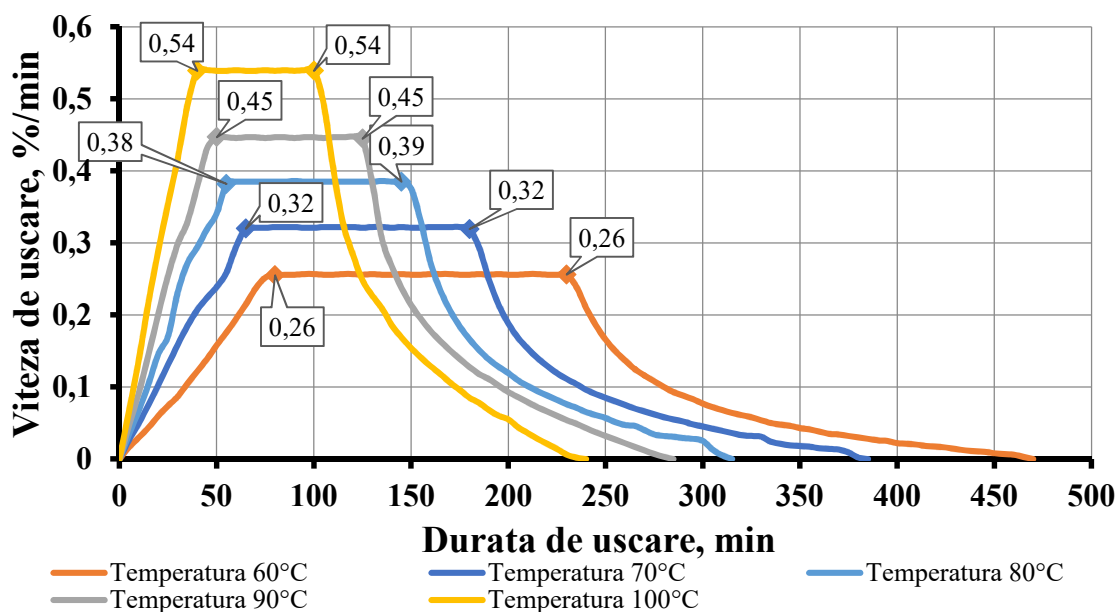


Figura 4.8 Dependența vitezei de uscare de durata de uscare – CO₂, 80 %

Curbele perioadei vitezei în scădere la uscarea în mediu de CO₂ au rămas practic neschimbate în comparație cu uscarea în aer din cauza că proprietățile mediului în care se află produsul influențează slab transferul de masă din interior, totuși cu valori mărite în perioada vitezei constante de uscare: la temperatura agentului de uscare de 60 °C, s-a stabilit o viteză de uscare de cca. 0,26 %/min, la 70 °C – $dU/d\tau$ este 0,32 %/min, la 80 °C – $dU/d\tau$ este 0,39 %/min, la 90 °C – $dU/d\tau$ este 0,45 %/min și la 100 °C – $dU/d\tau$ este 0,543 %/min, cu o creștere în viteză de la 60 °C la 100 °C de 2,1 ori (Bernic, 2005; 2011; Малезжик et al., 2005). Totodată, comparând vitezele de uscare în aer și mediu modificat de CO₂ (Figura 4.3, Figura 4.4, Figura 4.7, Figura 4.8), la aceleași temperaturi, s-a observat intensificarea vitezei, astfel: la temperatura de 60 °C – aer, viteza constituie 0,21 %/min, iar în mediu modificat de CO₂ 0,26 %/min, cu o creștere de 1,25 ori, iar la temperatura de 100 °C – 0,43 %/min, pentru aer și 0,54 %/min, pentru CO₂ și o intensificare la fel de 1,25 ori, (Bernic, 2005; 2011; Малезжик et al., 2005; Melenciuc, 2023).

4.3. Consumul de energie la uscarea perelor prin diferite metode

Factorii principali care determină consumul de energie pentru uscarea unui kg de produs sunt umiditatea inițială și finală. Pentru calcule mai precise, este necesar să se ia în considerare faptul că consumul specific de energie pentru evaporarea unui kg de apă din produs depinde de mulți factori: structura produsului, suprafața de contact, presiunea parțială etc.

În cazul, când procesul de uscare are loc prin evaporarea apei, adică cu o tranziție de fază a lichidului în vapori, atunci teoretic sunt necesari cca. $0,6 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-1}$ numai pentru evaporarea umezelii „libere”. Acest fapt este aplicabil tuturor proceselor, atât la presiune atmosferică cât și în vid, indiferent de metoda de încălzire și de captare a vaporilor de apă. Pe lângă consumul de energie destinat încălzirii produsului și evaporării umidității este necesar de luat în considerație atât consumul de energie necesar pentru asigurarea transferului de umiditate în produs, cât și cel electromecanic (ventilatoare, pompe, compresoare, etc.).

Pentru cazul perelor, la uscarea prin convecție, indiferent de agentul utilizat (aer sau bioxid de carbon), creșterea temperaturii acestuia conduce la reducerea consumului de energie (Figura 4.9). Aceasta se datorează faptului, că după cum s-a menționat anterior, indiferent de metoda de aplicare a energiei, energia necesară pentru evaporarea umidității rămâne aceeași, în cazul nostru, variația temperaturii nu a putut influența acest consum de energie. În schimb, consumul de energie electromecanică este dependent de durata de funcționare a instalației, care se reduce odată cu creșterea temperaturii agentului termic (Figura 4.2 și Figura 4.6).

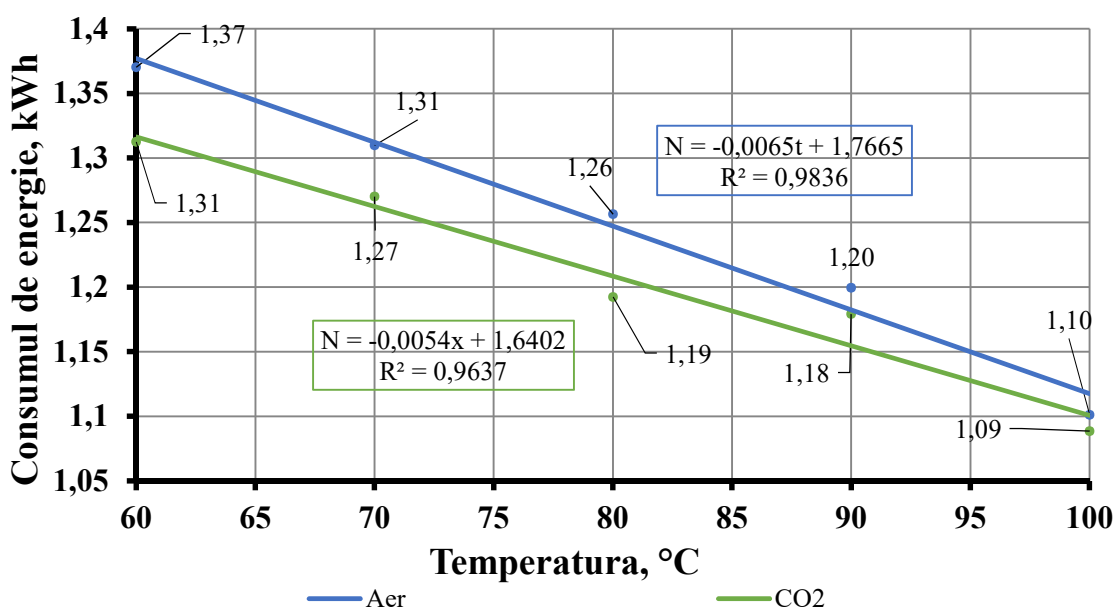


Figura 4.9 Dependența consumului de energie de temperatura agentului de uscare: aer și mediu modificat de CO₂. Viteza agentului de uscare $1,5\pm 0,13 \text{ m/s}$

Totuși, din Figura 4.9 se observă, o oarecare diminuare a consumului de energie la uscarea în atmosferă modificată de CO₂ în raport cu aerul. Se presupune că această diminuare a consumului de energie, este cauzată de aceeași diferență a energiilor cinetice a gazelor. În așa mod dioxidul de carbon posedând o energie cinetică superioară, antrenează cu sine o cantitate mai mare de umiditate din zona de frontieră, măbind gradientul de umiditate interior, ceea ce conduce la reducerea consumului de energie necesar pentru asigurarea transferului de umiditate în produs.

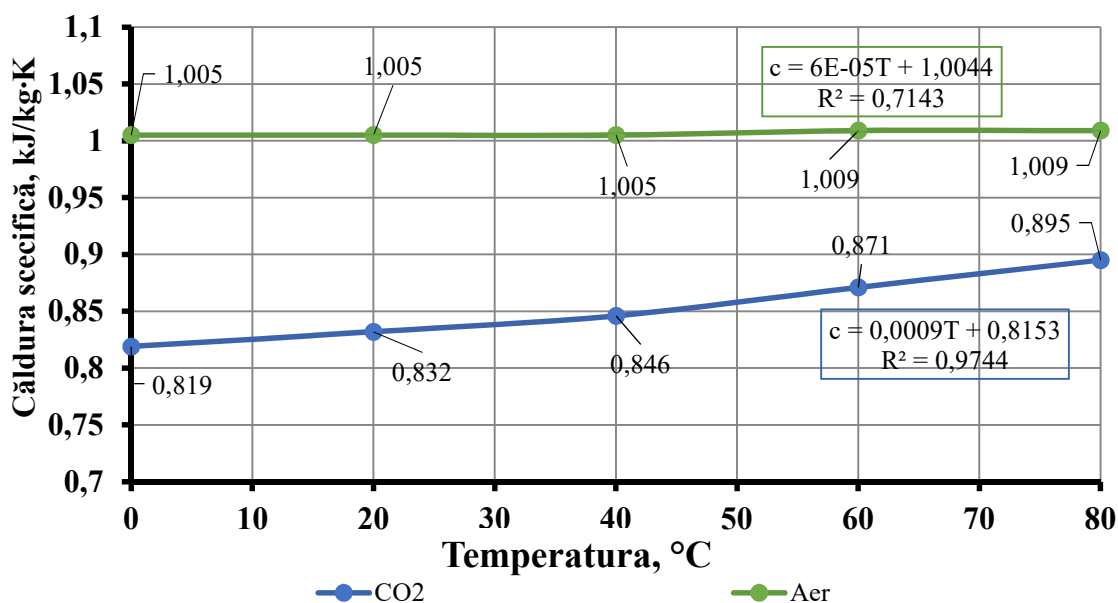


Figura 4.10 Variația căldurii specifice la creșterea temperaturii agentului de uscare: aer și CO₂

Cheltuielile de energie reduse, pentru uscarea în mediu modificat de CO₂, pot fi argumentate dacă analizăm Figura 4.10, unde s-a observat, că variația căldurii specifice a bioxidului de carbon, este de 1,2 ori mai mică decât căldura specifică a aerului, ceea ce permite de a considera că pentru a încălzi același volum de CO₂, este necesar de 1,2 ori mai puțină energie.

Totodată este de menționat că reducerea consumului de energie (Figura 4.9), la aplicarea mediului modificat de CO₂ în raport cu aerul, la diferite temperaturi, este diferit. Astfel, la temperatura de 60 °C a agentului, la uscarea în mediu modificat de CO₂, consumul de energie s-a redus cu 4,2 % și la temperatura de 100 °C – cu 1,2 %. Reducerea mai pronunțată a diferenței consumului de energie la temperaturile joase în raport cu cele mari, se datorează faptului, că gradientul de temperatură este mai redus și în cazul influenței majore îl are gradientul de umiditate, care a fost mărit datorită energiei cinetice sporite a lui CO₂. La temperaturi înalte crește esențial gradientul de temperatură propriu-zis în raport cu gradientul de umiditate, ultimul influențând mai slab consumul de energie.

4.4. Analiza valorii biologice și calității senzoriale ale perelor uscate la diferite regimuri și în diferite medii

Pentru cercetarea influenței diferitor condiții de uscare asupra valorii biologice le perelor uscate s-a determinat conținutul total de polifenoli și de acid L-ascorbic. De asemenea, s-a analizat calitatea senzorială a probelor uscate. Cercetările au fost supuse câte o probă, găsită ca fiind cea mai optimă, de la fiecare metodă de uscare (Figura 4.11, a și b): metoda convectivă, metoda SHF, metoda combinată (convecție + SHF) și metoda convectivă în mediu modificat cu CO₂.



Figura 4.11 Perele „Conferința” uscate prin metoda convectivă cu utilizarea agentului de uscare ($v = 1,5 \pm 0,13$ m/s): a) aer; b) atmosfera modificată de CO₂

Din Figura 4.11 s-a observat acțiunea efectelor de brunificare asupra perelor uscate. Pentru probele de pere uscate prin convecție, cu utilizarea aerului ca agent de uscare (Figura 4.11, (a)), s-a observat un efect puternic de brunificare, care poartă atât un caracter neenzimatic (reacții Maillard, etc.) cât și unul enzimatic (oxidarea polifenolilor) (Hui, 2006; Perera, 2005; Prachayawarakorn et al., 2004). Deoarece tratarea termică a perelor contribuie, într-o mare măsură la inhibarea polifenoloxidazei (Labuza et al., 1972; Goula et al., 2006; Maskan et al., 2002; McMinn et al., 1997; Rapusas et al., 1995; Topuz, 2008), principalul catalizator al brunificării enzimatice, totuși perele uscate în mediu modificat de CO₂ (Figura 4.11, (b)), vizual, sunt mai puțin supuse proceselor oxidative, ceea ce poate fi explicat prin reducerea drastică a contactului probelor de pere „Conferința”, cu oxigenul și la reducerea efectului de brunificare enzimatică.

4.4.1. Determinarea conținutului total de polifenoli în perele uscate prin metoda convectivă în aer și mediu modificat de CO₂

Pentru determinarea conținutului total de polifenoli, a fost aplicată metoda fotometrică Reactivul Folin-Ciocalteu cu coeficientul de absorbție de 765 nm (Melenciuc, 2023).

Determinarea conținutului total de polifenoli a fost făcut pe probele de pere uscate la diverse regimuri de uscare și anume – uscarea prin convecție cu aer la 60, 70, 80 °C și în mediu modificat de CO₂ la 60, 70, 80 °C și concentrația de CO₂ în camera de uscare 30 60 și 80 % CO₂.

În urma efectuării experimentelor a fost întocmită diagrama dependenței conținutului total de polifenoli, în dependență de temperatura de uscare (Figura 4.12).

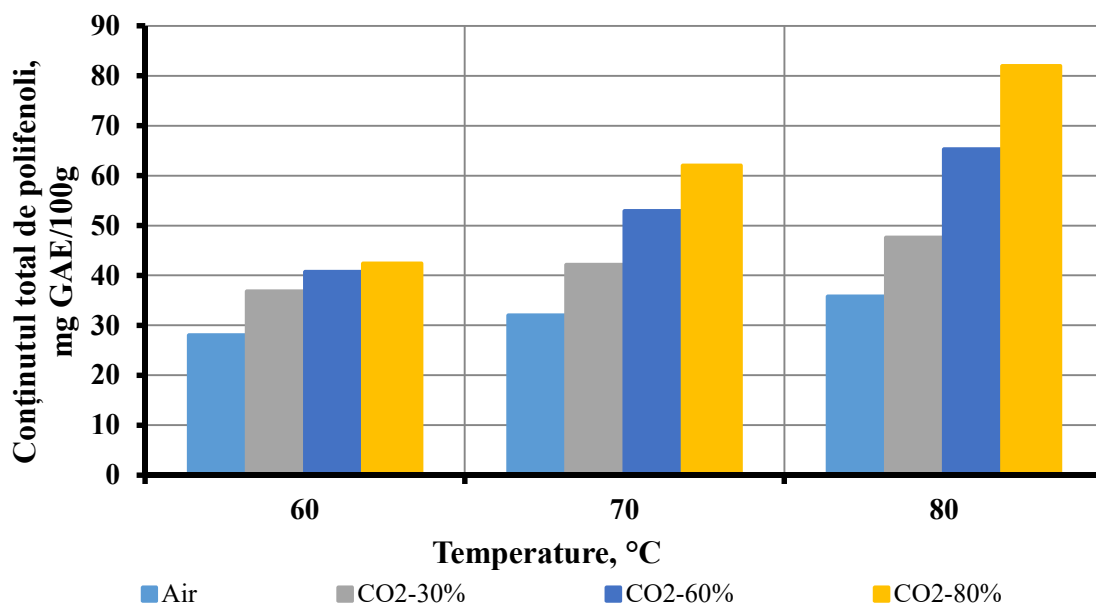


Figura 4.12 Conținutul total de polifenoli în funcție de temperatura de uscare:

Pere „Conferința”; convecție – aer (60, 70, 80 °C) ; CO₂ (60, 70, 80 °C / 30 60 și 80 % CO₂)

Analizând diagrama din Figura 4.12, s-a constatat că păstrarea cantității totale de polifenoli în perele uscate analizate, este direct dependentă de creșterea temperaturii de uscare. Din diagrama prezentată în Figura 4.12, se poate observa o creștere a conținutului total de polifenoli odată cu creșterea temperaturii. Același efect a fost menționat de alți cercetători (Djendoubi Mrad et al., 2012; Garau et al., 2007; Devic et al., 2010) și este probabil cauzat de durata de expunere mai scurtă a polifenolilor la acțiunea temperaturii, ca urmare a timpului redus de uscare la temperaturi mai ridicate și că mărirea temperaturii de uscare duce la inactivarea polifenoloxidazei (PPO) și ca rezultat la încetinirea proceselor de degradare a polifenolilor.

Astfel, la compararea aceleiași concentrații de CO₂ de 80 % s-a observat o creștere a conținutului de polifenoli odată cu creșterea temperaturii: 60 °C – 42,34±2,19 mg GAE/100 g; 70 °C – 62,01±3,21 mg GAE/100 g; 80 °C – 81,90±4,24 mg GAE/100 g, vedem o creștere a polifenolilor totali păstrați de 2,5 ori de la 40 °C la 80 °C.

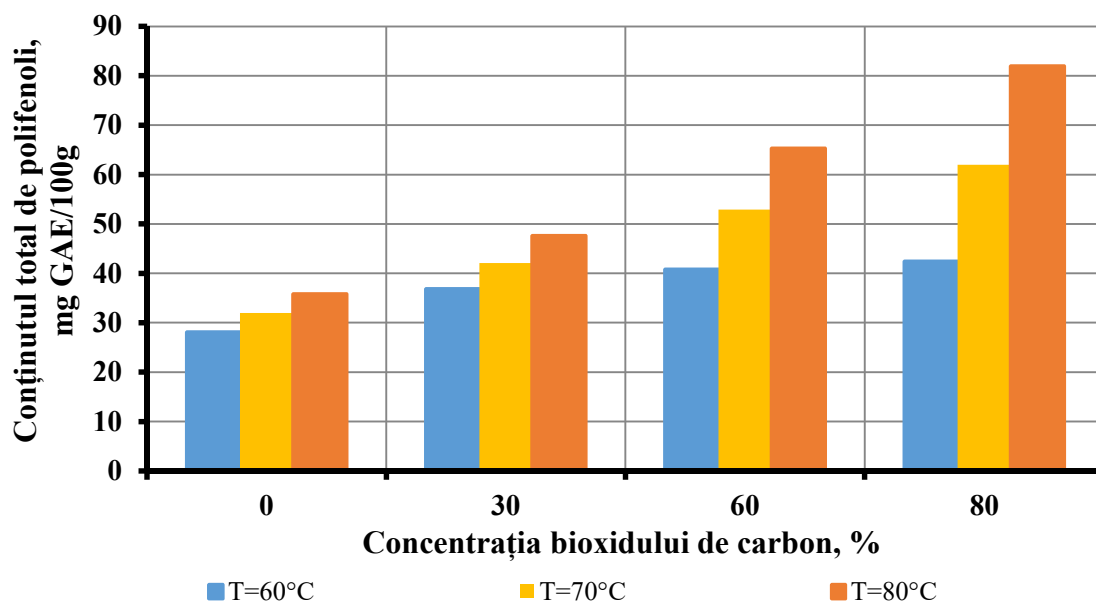


Figura 4.13 Conținutul total de polifenoli, în dependență de concentrația dioxidului de carbon: Pere „Conferința”; convecție – 60, 70, 80 °C / 30 60 și 80 % CO₂)

În același timp din Figura 4.13 a fost evidențiat faptul că conținutul total de polifenoli, determinat la aceleași temperaturi de uscare, dar la diferite concentrații de CO₂, arată că odată ce concentrația de CO₂ crește, avem cantități mai importante de polifenoli rămași în produsul uscat.

Analizând Figura 4.13, s-a identificat o evoluție a conținutului de polifenoli pe măsură ce crește concentrația de CO₂, astfel la aceeași temperatură de 60 °C, s-au primit 28,03±1,45 mg GAE/100 g material pentru uscarea cu aer; 36,77±1,90 mg GAE/100 g material pentru uscarea cu 30 % CO₂; 40,73±2,11 mg GAE/100 g material pentru uscarea cu 60 % CO₂ și respectiv 42,34±2,19 mg GAE/100 g material pentru uscarea cu 80 % CO₂, cu o creștere a conținutului total de polifenoli de la aer la concentrația de 80 % CO₂ de 1,5 ori (Cam et al., 2018; O’Neill et al., 1998; Hawlader et al., 2006a; Di Giacomo et al., 2016).

În rezultat poate fi afirmat că perele de soi „Conferința” care au fost uscate prin convecție în aer, dețin cele mai joase valori de polifenoli rămași în produs, în schimb perele uscate în atmosferă modificată de CO₂ arată o rată de creștere a conținutului total de polifenoli odată cu mărirea concentrației gazului în camera de uscare (Melenciuc, 2023).

4.4.2. *Analiza conținutului de substanțe biologice active în perele uscate prin metoda convectivă în aer și mediu modificat de CO₂*

Determinarea conținutului de acid L-ascorbic

Ca indice al nivelului de scădere a calității nutriționale a perelor, pe durata uscării, a fost ales conținutul de acid L-ascorbic. Acidul L-ascorbic a fost selectat datorită susceptibilității

acestui la temperaturile înalte, cât și la prezența umidității. Conținutul de acid L-ascorbic în probele de pere deshidratate a fost determinat prin metoda fotocolorimetrică (Melenciuc, 2023).

Luând ca bază cantitatea medie de acid L-ascorbic în perele „Conferința” proaspete – $44,45 \pm 2,44$ mg/100 g produs uscat, nivelul de degradare a acidului ascorbic în probele de pere „Conferința”, uscate prin metoda convecției cu aer, la 70 °C și în mediu modificat de CO₂, 70 °C și 80 % CO₂, poate fi analizat din Figura 4.14 și Figura 4.15.

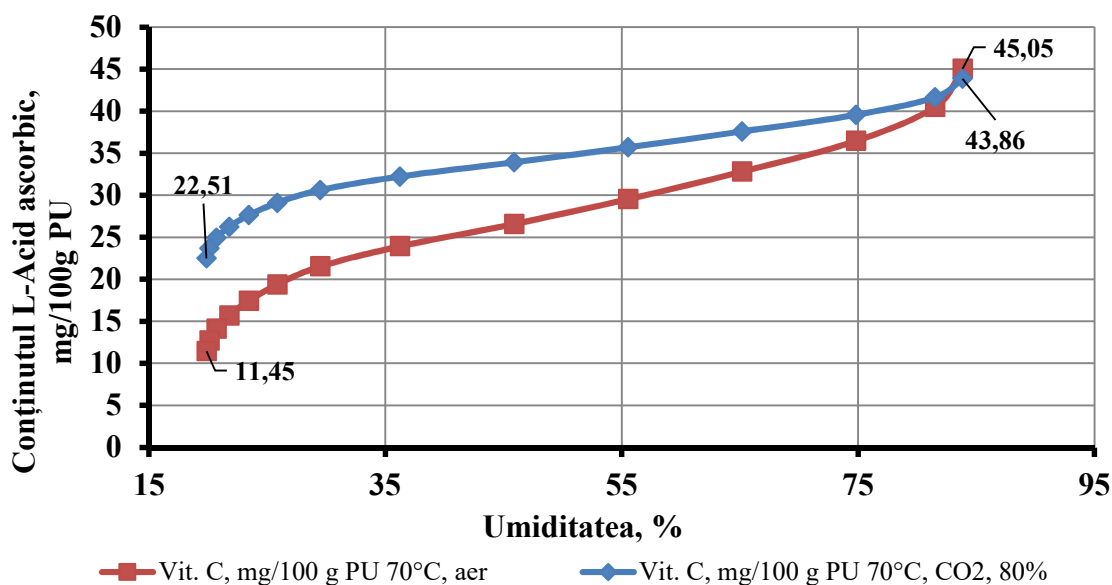


Figura 4.14 Conținutul de acid L-ascorbic în perele de soi „Conferința”:
convecție – 70 °C aer și 70 °C, 80 % CO₂

Din Figura 4.14, poate fi evidențiat, că degradarea acidului L-ascorbic depinde într-o mare măsură de umiditatea produsului. Astfel, concentrația de acid L-ascorbic scade într-un timp redus la cantități mari de umiditate, pe care le deține produsul la începutul procesului, după care urmează o diminuare bruscă a conținutului de acid L-ascorbic, la valorile joase ale umidității (Djendoubi Mrad et al., 2012).

Din Figura 4.15, s-a observat dependența scăderii concentrației de acid L-ascorbic de durata de uscare, dar și de temperatura și metoda de uscare aplicată. Savanții au demonstrat, că există o tendință bine evidențiată a accelerării degradării acidului L-ascorbic odată cu creșterea temperaturii, deoarece se intensifică scăderea conținutului de umiditate (Djendoubi Mrad et al., 2012). Totodată o influență mare o are și timpul de expunere a Vitaminei C la acțiunea temperaturii, astfel este de importanță majoră de a reduce durata de uscare a produselor vegetale. Prin urmare, pierderile de acid L-ascorbic pentru uscarea prin convecție cu aer, la 70 °C și o durată de expunere la acțiunea temperaturii de 425 min, a constituit 77 % ($11,45 \pm 0,63$ mg/100 g produs uscat) (Melenciuc, 2023).

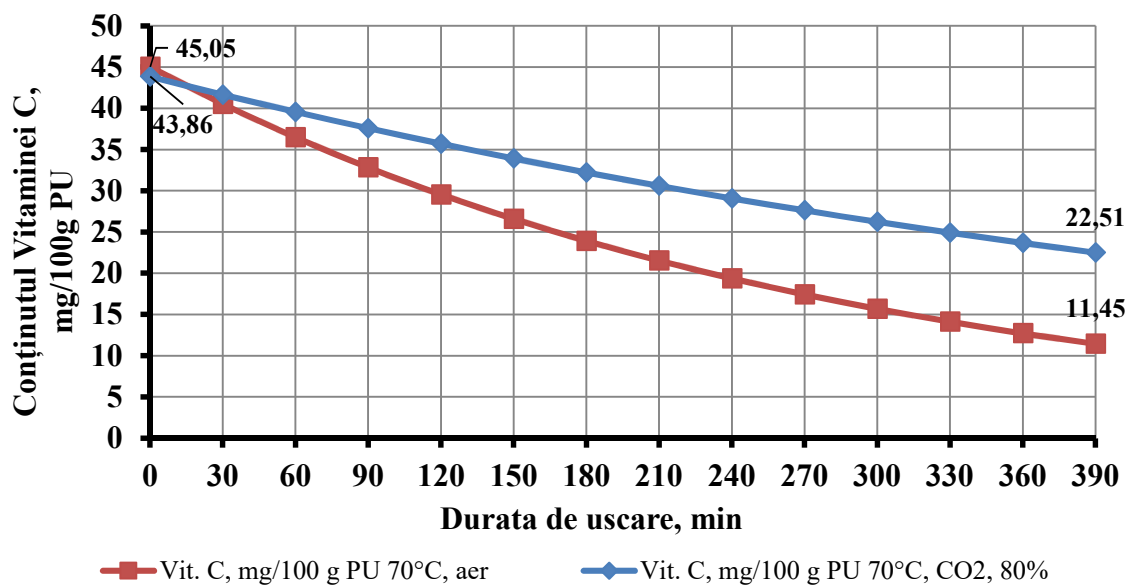


Figura 4.15 Conținutul de Vitamină C în perele de soi „Conferința”: Vitamina C=f(τ); convecție – 70 °C aer și 70 °C, 80 % CO₂

Rezultate asemănătoare au fost obținute și de savanți la uscarea căpșunilor, (Cam et al., 2018), ardeiului (Di Scala et al., 2008) și cartofilor (McLaughlin et al., 1998). Menținerea acidului ascorbic în produs, în timpul uscării, este funcție nu doar de condițiile de uscare, dar și de umiditatea produsului supus uscării. Astfel scăderea lentă a umidității, poate crea condiții favorabile pentru reacțiile de denaturare a acidului L-ascorbic (Hui, 2006), (Russell, 1987) (Djendoubi Mrad et al., 2012).

Pentru cazul uscării prin convecție, în mediu modificat de CO₂, la 70 °C și 80 % CO₂, concentrația de acid L-ascorbic păstrat în pere, este de 50 % (22,51 ±1,24 mg/100 g produs uscat) de la cea inițială. Diferența de 23 % de acid ascorbic păstrat în perele uscate în mediu modificat de CO₂, față de cele uscate în aer, poate fi explicată prin reducerea duratei de uscare pentru prima metodă (385 min pentru uscarea în CO₂ contra 425 min, în aer) cu 1,1 ori, sau 9,4 %, ceea ce reduce timpul de expunere a acidului L-ascorbic la acțiunea temperaturii. În afară de aceasta, o influență majoră o are și reducerea concentrației de oxigen din camera de uscare, ceea ce reduce la minimum procesele oxidative cărora se supune acidul ascorbic în timpul uscării. Rezultate asemănătoare au fost obținute și de savanți la uscarea căpșunilor, unde pierderile de acid L-ascorbic în probele analizate, au constituit 6,9 % din cantitatea totală, pentru uscarea în mediu modificat, contra 27,2 % din cantitatea totală, pentru uscarea cu aer cald (Melenciuc, 2023; Cam et al., 2018).

Analiza organoleptică

Pentru a determina indicii organoleptici a fost întocmită o comisie de degustători, care au analizat 3 probe, după cum urmează: Proba I – pere „Conferința”, în stare proaspătă, Proba II – pere „Conferința”, uscate prin convecție cu aer cald, la 70 °C, și Proba III – pere „Conferința”, uscate în mediu modificat de CO₂, la 70 °C și 80 % concentrație gaz în camera de lucru. Rezultatele analizei sunt introduse în Tabel 4.1 și Figura 4.16.

Tabel 4.1 Analiza organoleptică a perelor de soi „Conferința”: proaspete și uscate prin convecție în aer și atmosferă controlată, CO₂

Para proaspătă - Proba I		Para uscată – Proba II, III		Nota generală
Indice	Comentarii	Indice	Comentarii	
1) Textura	Nu au fost depistate particule mici de substanțe străine, suprafața este netedă și rugoasă.	1) Textura	Nu au fost depistate particule străine, suprafața este rugoasă. Proba II este puțin uscată.	Proba I = 5,0 Proba II = 3,8 Proba III = 4,5
2) Culoarea	Culoare este caracteristică soiului.	2) Culoarea	Proba II este puțin întunecată. Culoarea este atrăgătoare la Proba III.	Proba I = 4,9 Proba II = 3,8 Proba III = 5,0
3) Aromă	Aromă caracteristică perelor.	3) Aromă	Aromă la Proba III este dulce-caramelizată dar la Proba II este mai puțin pronunțat.	Proba I = 5,0 Proba II = 4,6 Proba III = 4,7
4) Gust	Caracteristic perelor.	4) Gust	Gust este dulce-caramelizat la Proba II și III.	Proba I = 5,0 Proba II = 4,8 Proba III = 4,8
Total				
Proba I (para proaspătă)		Proba II (uscată la aer cald)		Proba III (uscată în CO₂)
4,9 puncte		4,2 puncte		4,7 puncte

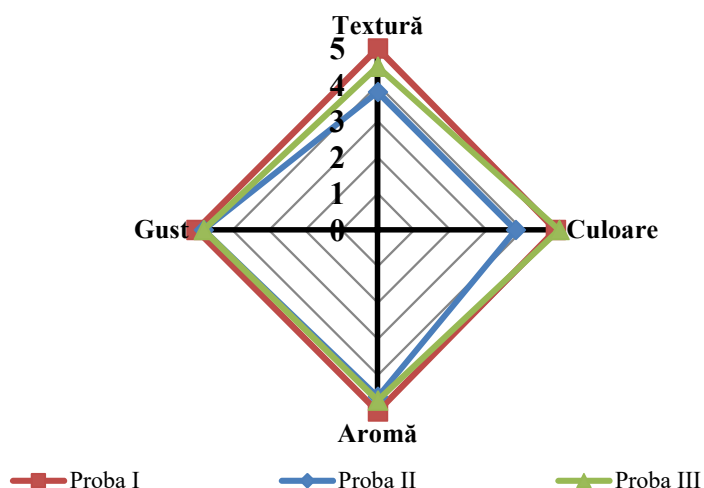


Figura 4.16 Reprezentarea grafică a rezultatelor analizei organoleptice pentru perele de soi „Conferința”:

Proba I – pere proaspete; Proba II – uscate prin convecție – 70 °C aer; Proba III – uscate în mediu modificat de CO₂ – 70 °C, 80 % CO₂

Determinarea indicilor organoleptici din Tabel 4.1 au fost efectuată conform specificațiilor din HG 1523/2007 din 29.12.2007 (HOTĂRÎRE Nr. 1523, 2007). În urma analizei, comisia, a atribuit cel mai înalt punctaj (Figura 4.16) perelor proaspete (4,9 puncte), după care pe locul doi au fost stabilite perele uscate prin mediu modificat de CO₂ (4,7 puncte), perele uscate prin metoda convențională cu aer au fost plaste pe locul trei, cu 4,2 puncte. Unul din aspectele analizate a fost culoarea, la care perele uscate în aer au fost apreciate cu 3,8 puncte pentru o culoare de chihlimburi închis. Culoarea întunecată poate fi explicată prin procesele de brunificare care au loc în produsele alimentare în prezența oxigenului.

4.5. Concluzii la capitolul 4

- A fost elaborată tehnologia de uscare a perelor în mediu modificat de CO₂ și efectuată analiza senzorială a perelor proaspete, uscate cu aer și în mediu modificat de CO₂. S-a constatat că perele uscate prin metoda convențională, în aer au avut un aspect exterior mai puțin atractiv (culoare chihlimburi închis) în comparație cu perele uscate în mediu modificat de CO₂ (culoare crem), ca rezultat al proceselor de brunificare.
- S-a stabilit că, pentru aceeași temperatură de 70 °C: durata de uscare în mediu modificat de CO₂ s-a redus de 9,4 %, sau de 1,1 ori (385 min – CO₂ 80 %, 425 min – aer); viteza de uscare în mediu modificat de CO₂ este de 1,25 mai mare, decât la uscarea convențională cu aer (0,32 %/min – CO₂ 80 %; 0,26 %/min – aer); consumul de energie la uscarea în mediu modificat de CO₂ a scăzut în mediu cu 1,1 ori (1,370 kWh – aer; 1,313 kWh – CO₂ 80 %).
- S-a stabilit conținutul de acid L-ascorbic pentru probele de pere proaspete și uscate în aer și mediu modificat de CO₂, unde s-a depistat că concentrația de acid păstrat în probele uscate este invers proporțională temperaturii și concentrației de oxigen în camera de lucru. Pentru perele uscate în mediu modificat de CO₂ valorile de acid ascorbic au fost mai mari de cca. 1,5 ori decât cele uscate în aer (pentru temperatura de 70 °C: 22,51 ± 1,24 mg/100 g produs uscat – CO₂ 80 %; 11,45 ± 0,63 mg/100 g produs uscat – aer).
- A fost determinat conținutul total de polifenoli, care arată că creșterea concentrației de dioxid de carbon în camera de lucru duce la mărirea cantității de polifenoli păstrată în perele supuse uscării. Pentru aceeași temperatură de 70 °C: 32 ± 1,66 mg GAE/100 g – aer, 42,10 ± mg GAE/100 g – CO₂ 30 %; 52,88 ± 2,74 mg GAE/100 g – CO₂ 60 %; 62,01 ± 3,21 mg GAE/100 g – CO₂ 80 %).

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Problema risipii alimentelor și menținerii calității produselor vegetale ușor perisabile, este una din cele mai acute în secolul nostru. Uscarea, este una din cele mai accesibile procedee de conservare a produselor alimentare. Alegerea corectă a metodei și a regimului de deshidratare sunt cele mai importante. Pentru elaborarea tezei au fost efectuate cercetări teoretice și experimentale, care au condus la formularea următoarelor concluzii:

1. A fost efectuată o analiză amplă a metodelor de uscare a produselor de natură vegetală și în special a fost studiată posibilitatea de utilizare a atmosferei modificate cu dioxid de carbon pentru uscarea perelor. Studiile bibliografice au permis de a confirma, că metoda de uscare a perelor în mediu modificat poate aduce rezultate benefice din punct de vedere al calității produsului finit uscat, iar dioxidul de carbon, ca mediu de uscare, nu va avea efecte nocive asupra perelor.
2. A fost aplicată modelarea matematică cu implicarea transformatei Laplace pentru optimizarea procesului de uscare a perelor în mediu modificat de CO₂. A fost determinată dependența intensității transferului de masă și căldură de principalii parametri care dirijează procesele de transfer în mediu modificat de CO₂: coeficientul conductivității termice, capacitatea termică specifică, coeficientul difuzivității termice, Capitolul 3, Subcapitolul 3.2, (Берник et al., 2015; Melenciuc, 2023).
3. Pentru prima dată a fost întocmită diagrama stării dioxidului de carbon pentru uscare în mediu modificat, ceea ce permite determinarea parametrilor de bază care influențează agentul de uscare la etapa inițială și în timpul procesului: entalpia, temperatura termometrului uscat și umed, conținutul total de umiditate, umiditatea și presiunea parțială, Capitolul 3, Subcapitolul 3.3, (Țislinscaia et al., 2017; Melenciuc, 2023).
4. A fost construit modelul matematic al vitezei agentului de uscare la transferul de masă dintre produs și mediu, care a permis de a stabili dependența dintre viteza de uscare și parametrii vaporilor de apă deasupra suprafeței produsului, dar și de însuși parametrii agentului de uscare (umiditatea relativă, presiunea parțială, etc). Studiul cinetic a permis de a stabili viteza optimă a agentului de uscare (CO₂) – $1,5 \pm 0,13$ m/s, Capitolul 3, Subcapitolul 3.4, (UTM et al., 2019).
5. Pentru uscarea perelor a fost proiectată și confecționată instalația experimentală de uscare în mediu modificat de CO₂, cu ciclu închis al agentului de uscare, cu posibilitatea modificării concentrației dioxidului de carbon în interiorul camerei de uscare și preluării automate a datelor experimentale în timpul procesului de uscare. Instalația experimentală

a fost realizată din inox și dotată cu un sistem, care permite în timpul reciclării gazului de a condensa vaporii de apă, preluați din camera de uscare și de a redirecționa dioxidul de carbon spre sursa de căldură Capitolul 3, Subcapitolul 3.5, (UTM et al., 2019).

6. Cinetica procesului de uscare a perelor în mediu modificat de CO₂ a fost examinată pentru diferite concentrații de dioxid de carbon – 30, 60 și 80 %. S-a constatat o reducere a duratei procesului de uscare: la 60 °C cu 10,5 %, la 70 °C cu 9,4 %, la 80 °C cu 11,27 %, acest lucru fiind argumentat în special prin intensificarea procesului de transfer de masă de la produs spre mediu. Intensificarea transferului de masă în mediu modificat de CO₂ este cauzată de creșterea energiei cinetice proprii a moleculelor de CO₂ în raport cu aerul, precum și de creșterea energiei cinetice obținute de o sursă externă a moleculelor de CO₂, Capitolul 4, Subcapitolul 4.1, 4.2 (Melenciuc, 2023).
7. Au fost analizați parametrii de calitate ai perelor „Conferința”, atât în stare proaspătă, cât și uscată prin metoda convențională și în mediu modificat de CO₂. Perele uscate în mediu modificat de CO₂ au fost mai puțin supuse proceselor oxidative, ceea ce poate fi explicat prin reducerea contactului cu oxigenul și, respectiv, reducerea efectului de brunificare enzimatică. Conținutul de vitamină C în fructe uscate s-a redus cu cca 50 % în cazul uscării convective cu aer, luat în raport față de conținutul din fructe proaspete. În cazul uscării în mediu modificat de CO₂ reducerea conținutului de vitamina C a fost de cca 25 %. Substituirea parțială a oxigenului cu dioxid de carbon a limitat efectele oxidative, asigurând o calitate superioară perelor uscate în mediu modificat de CO₂ în raport cu perele uscate în aer, Capitolul 4, Subcapitolul 4.4.1, 4.4.2 (Melenciuc, 2023).

Recomandări:

1. Pentru menținerea calității produselor vegetale uscate se recomandă aplicarea metodei de uscare în mediu modificat de CO₂, cu viteza agentului de uscare de 1,5±0,13 m/s; temperatura agentului termic de 70 °C; concentrația dioxidului de carbon în camera de lucru de 80 %, Capitolul 3, Subcapitolul 3.4, (UTM et al., 2019), Capitolul 4, Subcapitolul 4.1, 4.2, 4.4.1, 4.4.2 (Melenciuc, 2023).
2. Diagrama stării dioxidului de carbon, ca agent de uscare, poate fi utilizată pentru calculele ingineresti dar și pentru proiectarea și elaborarea utilajului tehnologic destinat proceselor de uscare, Capitolul 3, Subcapitolul 3.3 (Țislinscaia et al., 2017; Melenciuc, 2023).
3. Se recomandă utilizarea modelului matematic a fenomenelor de transfer de masă și căldură pentru uscarea în mediu modificat de CO₂, care are aplicabilitate practică pentru proiectarea utilajului din domeniu, cât a proceselor de uscare în mediu modificat de CO₂ Capitolul 3, Subcapitolul 3.2, (Берник et al., 2015; Melenciuc, 2023).

BIBLIOGRAFIE

- About SFT, Inc. *Supercritical Fluid Technologies* (blog), f.a. Data accesării 7 mai 2021. <https://www.supercriticalfluids.com/company-information/about-sft-inc/>.
- ACHANTA, S., și OKOS, M.R. Predicting the Quality of Dehydrated Foods and Biopolymers — Research Needs and Opportunities. *Drying Technology* 14 (6), 1996: pp.1329–68. <https://doi.org/10.1080/07373939608917149>.
- ACHARIYAVIRIYA, A., TIAN SUWAN, J., și SOPONRONNARIT, S. Energy Optimisation of Whole Longan Drying: Simulation Results. *International Journal of Ambient Energy* 23 (4), 2002: pp.212–20. <https://doi.org/10.1080/01430750.2002.9674892>.
- ADE-OMOWAYE, B.I.O., TAIWO, K.A., ESHTIAGHI, N.M., et al. Comparative Evaluation of the Effects of Pulsed Electric Field and Freezing on Cell Membrane Permeabilisation and Mass Transfer during Dehydration of Red Bell Peppers. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 4 (2), 2003: pp.177–88. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(03)00020-1).
- ANDERSSON, K., și LINGNERT, H. Influence of Oxygen Concentration on the Storage Stability of Cream Powder. *LWT - Food Science and Technology* 30 (2), 1997: pp.147–54. <https://doi.org/10.1006/fstl.1996.0145>.
- ARESTA, M., KARIMI, I., și KAWI, S., ed. *An Economy Based on Carbon Dioxide and Water: Potential of Large Scale Carbon*. S.I.: SPRINGER NATURE, 2019. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-15868-2>.
- AWOGBEMI, O., și OGUNLEYE, I.O. Effects of Drying on the Qualities of Some Selected Vegetables. *International Journal of Engineering and Technology* 1 (5), 2009: pp.409–14. <https://doi.org/10.7763/IJET.2009.V1.77>.
- BAKER, C.G.J. Energy efficiency in drying. *Stewart Postharvest Review* 1 (4), 2005: pp.1–11. <https://doi.org/10.2212/spr.2005.4.8>.
- BALLADIN, D.A., HEADLEY, O., CHANG-YEN, I., et al. High Pressure Liquid Chromatographic Analysis of the Main Pungent Principles of Solar Dried West Indian Ginger (*Zingiber Officinale* Roscoe). *Renewable Energy* 13 (4), 1998: pp.531–36. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00029-9).
- BALLADIN, D.A., YEN, I.C., MCGAW, D.R., et al. Solar Drying of West Indian Ginger (*Zingiber Officinale* Roscoe) Rhizome Using a Wire Basket Dryer. *Renewable Energy* 7 (4), 1996: pp.409–18. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(95\)00137-9](https://doi.org/10.1016/0960-1481(95)00137-9).
- BAZYMA, L.A., și KUTOVOY, V.A. Vacuum drying and hybrid technologies. *Stewart Postharvest Review* 1 (4), 2005: pp.1–4. <https://doi.org/10.2212/spr.2005.4.7>.
- BEAUDRY, C., RAGHAVAN, G.S.V., RATTI, C., et al. Effect of Four Drying Methods on the Quality of Osmotically Dehydrated Cranberries. *Drying Technology* 22 (3), 2004: pp.521–39. <https://doi.org/10.1081/DRT-120029999>.
- BEAUDRY, C., RAGHAVAN, G.S.V., și RENNIE, T.J. Microwave Finish Drying of Osmotically Dehydrated Cranberries. *Drying Technology* 21 (9), 2003: pp.1797–1810. <https://doi.org/10.1081/DRT-120025509>.
- BERNIC, M. *Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute*. U.T.M., 2005. ———. *Uscarea produselor oleaginoase în câmp U.H.F. cu aport de energie prin impuls*. „Tehnica-Info” SRL, 2011. <http://cris.utm.md/handle/5014/105>.
- BEUCHAT, L.R. Microbial Stability as Affected by Water Activity. *Cereal Foods World* 26 (7), 1981: pp.345–49.
- BROWNSORT, D.P.A. 1st Report of the Thematic Working Group on: CO2 Transport, Storage and Networks, noiembrie, 2019, 27.

- BURDURLU, H.S., KOCA, N., și KARADENİZ, F. Degradation of Vitamin C in Citrus Juice Concentrates during Storage. *Journal of Food Engineering* 74 (2), 2006: pp.211–16. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.026>.
- CAM, I.B., BASUNAL GULMEZ, H., EROGLU, E., et al. Strawberry Drying: Development of a Closed-Cycle Modified Atmosphere Drying System for Food Products and the Performance Evaluation of a Case Study. *Drying Technology* 36 (12), 2018: pp.1460–73. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1409233>.
- Ce Este CO₂? – CO₂ Alimentar, f.a. Data accesării 9 mai 2021. <https://www.co2alimentar.ro/co2-alimentar/ce-este-co2/92/>.
- CHAGNÉ, D., CROWHURST, R.N., PINDO, M., et al. The Draft Genome Sequence of European Pear (*Pyrus Communis* L. ‘Bartlett’). Ed. Tinker. *PLoS ONE* 9 (4), 2014: pp.e92644. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092644>.
- CHAKRAVERTY, A., MUJUMDAR, A.S., și HOSAHALLI, S.R., ed. *Handbook of postharvest technology: cereals, fruits, vegetables, tea, and spices*. Books in soils, plants, and the environment, v. 93. New York: Marcel Dekker, 2003.
- CHANGRUE, V., SUNJKA, P.S., GARIEPY, Y., et al. Realtime Control of Microwave Drying Process. În . Campinas, Brazil: State Univ., Chemical Engineering School, 2004.
- CHEESMAN, E.E. Tropical Crops: Monocotyledons Vols. 1 and 2 By J. W. Pursel. London: Longman (1972), Pp. 334 and 273, £6.00 and £5.00. *Experimental Agriculture* 9 (3), 1973: pp.287–287. <https://doi.org/10.1017/S0014479700005822>.
- CHOU, H.-E., și BREENE, W.M. Oxidative Decoloration of B-Carotene in Low-Moisture Model Systems. *Journal of Food Science* 37 (1), 1972: pp.66–68. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1972.tb03387.x>.
- CHOU, S.K., și CHUA, K.J. New Hybrid Drying Technologies for Heat Sensitive Foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology* 12 (10), 2001: pp.359–69. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00102-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00102-9).
- CHUA, K.J., MUJUMDAR, A.S., și CHOU, S.K. Intermittent Drying of Bioproducts—an Overview. *Bioresource Technology* 90 (3), 2003: pp.285–95. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00133-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00133-0).
- . Convective Drying of Banana, Guava and Potato Pieces: Effect of Cyclical Variations of Air Temperature on Drying Kinetics and Color Change. *Drying Technology* 18 (4–5), 2000: pp.907–36. <https://doi.org/10.1080/07373930008917744>.
- CO₂ Alimentar – CO₂ Alimentar, f.a. Data accesării 9 mai 2021. <https://www.co2alimentar.ro/co2-alimentar/co2-alimentar/90/>.
- COMMISSION REGULATION (EU) NO 231/2012. laying down specifications for food additives listed in Annexes II and III to Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union, 2012. <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC111209>.
- CRANK, J. *The mathematics of diffusion*. 2d ed. Oxford, [Eng]: Clarendon Press, 1975.
- CRISTINA RATTI. Freeze drying of plant products: where we are and where we are heading to. *Stewart Postharvest Review* 1 (4), 2005: pp.1–5. <https://doi.org/10.2212/spr.2005.4.5>.
- CryoTech. Thermo King, f.a. Data accesării 7 mai 2021. <https://europe.thermoking.com/cryotech/>.
- CUI, Z.-W., XU, S.-Y., și SUN, D.-W. Dehydration of Garlic Slices by Combined Microwave-Vacuum and Air Drying. *Drying Technology* 21 (7), 2003: pp.1173–84. <https://doi.org/10.1081/DRT-120023174>.
- DAS, M., și AKPINAR, E. Investigation of Pear Drying Performance by Different Methods and Regression of Convective Heat Transfer Coefficient with Support Vector Machine. *Applied Sciences* 8 (2), 2018: pp.215. <https://doi.org/10.3390/app8020215>.
- DAVEY, M.W., MONTAGU, M.V., INZÉ, D., et al. Plant L-Ascorbic Acid: Chemistry, Function, Metabolism, Bioavailability and Effects of Processing. *Journal of the Science of Food and*

- Agriculture* 80 (7), 2000: pp.825–60. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<825::AID-JSFA598>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<825::AID-JSFA598>3.0.CO;2-6).
- DE VRIES, D.A. Simultaneous Transfer of Heat and Moisture in Porous Media. *Transactions, American Geophysical Union* 39 (5), 1958: pp.909. <https://doi.org/10.1029/TR039i005p00909>.
- DENNIFF, P., MACLEOD, I., și WHITING, D.A. Syntheses of the (±)-[n]-Gingerols (Pungent Principles of Ginger) and Related Compounds through Regioselective Aldol Condensations: Relative Pungency Assays. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, nr. 0, 1981: pp.82–87. <https://doi.org/10.1039/P19810000082>.
- DENNIFF, P., și WHITING, D.A. Biosynthesis of [6]-Gingerol, Pungent Principle of Zingiber Officinale. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, nr. 18, 1976: pp.711. <https://doi.org/10.1039/c39760000711>.
- DESROSIERS, T., BERGERON, G., și SAVOIE, L. Effect of Heat Treatments on In Vitro Digestibility of Delactosed Whey Protein as Determined by the Digestion Cell Technique. *Journal of Food Science* 52 (6), 1987a: pp.1525–28. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb05870.x>.
- . In Vitro Digestibility of Thermally Processed Diafiltered Whey as Influenced by Water Activity. *Journal of Dairy Science* 70 (12), 1987b: pp.2476–85. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)80314-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80314-4).
- DEVIC, E., GUYOT, S., DAUDIN, J.-D., et al. Kinetics of Polyphenol Losses During Soaking and Drying of Cider Apples. *Food and Bioprocess Technology* 3 (6), 2010: pp.867–77. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0361-1>.
- DI GIACOMO, G., SCIMIA, F., și TAGLIERI, L. Application of Supercritical Carbon Dioxide for the Preservation of Fresh-Like Carrot juice. *International Journal of New Technology and Research* 2 (februarie), 2016: pp.71–77.
- DI SCALA, K., și CRAPISTE, G. Drying Kinetics and Quality Changes during Drying of Red Pepper. *LWT - Food Science and Technology* 41 (5), 2008: pp.789–95. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.06.007>.
- DJENDOUBI MRAD, N., BOUDHRIOUA, N., KECHAOU, N., et al. Influence of Air Drying Temperature on Kinetics, Physicochemical Properties, Total Phenolic Content and Ascorbic Acid of Pears. *Food and Bioprocess Technology* 90 (3), 2012: pp.433–41. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.11.009>.
- Dohmeyer | Cryogenic Tunnel Freezer | Cryogenic – Freezing – Precision. DOHMEYER, f.a. Data accesării 7 mai 2021. <https://dohmeyer.com/>.
- DROUZAS, A.E., și SCHUBERT, H. Microwave Application in Vacuum Drying of Fruits. *Journal of Food Engineering* 28 (2), 1996: pp.203–9. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00040-2](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)00040-2).
- DZIKI, D. Recent Trends in Pretreatment of Food before Freeze-Drying. *Processes* 8 (12), 2020: pp.1661. <https://doi.org/10.3390/pr8121661>.
- DZIUBENKO, V.H., MILEIKOVSKYI, V.O., și SACHENKO, I.A. Expansion of the Range of Wet Air I-d Diagram for Environmental Safe Heat Production. *Екологічна Безпека Та Природокористування* 2 (26), 2018: pp.15–22.
- ERENTURK, S., GULABOGLU, M.S., și GULTEKIN, S. The Effects of Cutting and Drying Medium on the Vitamin C Content of Rosehip during Drying. *Journal of Food Engineering* 68 (4), 2005: pp.513–18. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.07.012>.
- ERLE, U. Drying Using Microwave Processing. În *The Microwave Processing of Foods*, pp.142–52. Elsevier, 2005. <https://doi.org/10.1533/9781845690212.2.142>.
- FABRONI, S., AMENTA, M., TIMPANARO, N., et al. Supercritical Carbon Dioxide-Treated Blood Orange Juice as a New Product in the Fresh Fruit Juice Market. *Innovative Food*

- Science & Emerging Technologies* 11 (3), 2010: pp.477–84.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.02.004>.
- FAO, ed. *Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction*. The State of Food and Agriculture 2019. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019.
- FENG, H., TANG, J., MATTINSON, D.S., et al. Microwave and Spouted Bed Drying of Frozen Blueberries: The Effect of Drying and Pretreatment Methods on Physical Properties and Retention of Flavor Volatiles. *Journal of Food Processing and Preservation* 23 (6), 1999: pp.463–79. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1999.tb00398.x>.
- FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.I., FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.J., HERMOSO PRIETO, E., et al. Evaluation at Industrial Scale of Electric-Driven Heat Pump Dryers (HPD). *Holz Als Roh- Und Werkstoff* 62 (4), 2004: pp.261–67. <https://doi.org/10.1007/s00107-004-0483-0>.
- FITO, P., CHIRALT, A., BARAT, J.M., et al. Vacuum Impregnation for Development of New Dehydrated Products. *Journal of Food Engineering* 49 (4), 2001: pp.297–302. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00226-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00226-0).
- FoodData Central, f.a. Data accesării 28 noiembrie 2021. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169118/nutrients>.
- GABAS, A.L., BERNARDI, M., TELIS-ROMERO, J., et al. Application of Heat Pump in Drying of Apple Cylinders. În . Campinas, Brazil: State Univ., Chemical Engineering School, 2004.
- GARAU, M.C., SIMAL, S., ROSSELLÓ, C., et al. Effect of Air-Drying Temperature on Physico-Chemical Properties of Dietary Fibre and Antioxidant Capacity of Orange (*Citrus Aurantium* v. *Canoneta*) by-Products. *Food Chemistry* 104 (3), 2007: pp.1014–24. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.009>.
- GEORGE, S.D., CENKOWSKI, S., și MUIR, W.E. A review of drying technologies for the preservation of nutritional compounds in waxy skinned fruit, ianuarie, 2004. https://www.researchgate.net/publication/267378001_A_review_of_drying_technologies_for_the_preservation_of_nutritional_compounds_in_waxy_skinned_fruit.
- G&G: Operation Manual: For models: JJ100B, JJ200B, JJ1500B, JJ2000B, f.a. <https://www.gandg.de/download/anleitungen/englisch/JJ-B%20Englisch.pdf>.
- GHERGHI, A., BURZO, L., BIBICU, M., et al. *Biochimia si fiziologia legumelor si fructelor*. Vol. 1. Editura: Academiei Romane, 2001.
- GOULA, A.M., și ADAMOPOULOS, K.G. Retention of Ascorbic Acid during Drying of Tomato Halves and Tomato Pulp. *Drying Technology* 24 (1), 2006: pp.57–64. <https://doi.org/10.1080/07373930500538709>.
- GUSTAVSSON, J., ed. *Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention; Study Conducted for the International Congress Save Food! At Interpack 2011, [16 - 17 May], Düsseldorf, Germany*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.
- HALL, C.W. Expanding Opportunities in Drying Research and Development. *Drying Technology* 14 (6), 1996: pp.1419–27. <https://doi.org/10.1080/07373939608917154>.
- HARALAMPU, S.G., și KAREL, M. Kinetic Models for Moisture Dependence of Ascorbic Acid and B-Carotene Degradation in Dehydrated Sweet Potato. *Journal of Food Science* 48 (6), 1983: pp.1872–73. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb05106.x>.
- HAWLADER, M.N.A., PERERA, C.O., și TIAN, M. Comparison of the Retention of 6-Gingerol in Drying of Ginger Under Modified Atmosphere Heat Pump Drying and Other Drying Methods. *Drying Technology* 24 (1), 2006a: pp.51–56. <https://doi.org/10.1080/07373930500538675>.

- HAWLADER, M.N.A., PERERA, C.O., și TIAN, M. Properties of Modified Atmosphere Heat Pump Dried Foods. *Journal of Food Engineering* 74 (3), 2006b: pp.392–401. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.028>.
- . Properties of Modified Atmosphere Heat Pump Dried Foods. *Journal of Food Engineering* 74 (3), 2006c: pp.392–401. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.028>.
- HAWLADER, M.N.A., PERERA, C.O., TIAN, M., et al. Drying of Guava and Papaya: Impact of Different Drying Methods. *Drying Technology* 24 (1), 2006d: pp.77–87. <https://doi.org/10.1080/07373930500538725>.
- HELDMAN, D.R., LUND, D.B., și SABLIOV, C.M., ed. *Handbook of food engineering*. Third edition. Boca Raton, Florida: CRC Press, Taylor and Francis Group, 2018.
- HOGAN, M.R., AYERS, D.L., MULLER, Jr.R.E., et al. Heat Pump for Low-Temperature Grain Drying. *Transactions of the ASAE* 26 (4), 1983: pp.1234–38. <https://doi.org/10.13031/2013.34109>.
- HOTĂRÎRE NR. 229. pentru aprobarea Regulamentului sanitar privind aditivii alimentari. Publicat: 05-04-2013 în Monitorul Oficial Nr. 69-74 art. 283, 2013. https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=109707&lang=ro.
- HOTĂRÎRE NR. 671. pentru aprobarea Regulamentului sanitar privind solvenții de extracție utilizați la fabricarea produselor alimentare și a ingredientelor alimentare. Publicat: 11-09-2020 în Monitorul Oficial Nr. 229-233 art. 801, 2020. https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=123054&lang=ro.
- HOTĂRÎRE NR. 929. cu privire la aprobarea „Cerințelor de calitate și comercializare pentru fructe și legume proaspete”. Publicat: 19-01-2010 în Monitorul Oficial Nr. 5-7 art. 26, 2009. https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=110404&lang=ro#.
- HOTĂRÎRE NR. 1523. cu privire la aprobarea Reglementării tehnice ”Fructe și legume uscate (deshidratate)”. Publicat: 18-01-2008 în Monitorul Oficial Nr. 11-12 art. 65, 2007. https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=111725&lang=ro.
- HSU, Ch.-L., WENLUNG, Ch., YIH-MING, W., et al. Chemical Composition, Physical Properties, and Antioxidant Activities of Yam Flours as Affected by Different Drying Methods. *Food Chemistry* 83 (1), 2003: pp.85–92. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00053-0).
- HUI, Y.H., ed. *Food Biochemistry and Food Processing*. Ames, Iowa, USA: Blackwell Publishing, 2006. <https://doi.org/10.1002/9780470277577>.
- Informatii nutritionale despre pere, f.a. Data accesării 8 mai 2021. https://www.sfatulmedicului.ro/Educatie-pentru-sanatate/informatii-nutritionale-despre-pere_10771.
- JACKSON, J.E. *Biology of Apples and Pears*. Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press, 2003. <http://proxy.cegepat.qc.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=120391>.
- JANGAM, S.V., LAW, C.L., și MUJUMDAR, A.S., ed. *Drying of Foods, Vegetables and Fruits*. Vol. 1. Singapore, 2010.
- JAYARAMAN, K.S., și DAS GUPTA, D.K. Dehydration of Fruit and Vegetables-Recent Developments in Principles and Techniques. *Drying Technology* 10 (1), 1992: pp.1–50. <https://doi.org/10.1080/07373939208916413>.
- KADAM, D.M., SAMUEL, D.V.K., CHANDRA, P., et al. Impact of Processing Treatments and Packaging Material on Some Properties of Stored Dehydrated Cauliflower. *International Journal of Food Science & Technology* 43 (1), 2008: pp.1–14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01372.x>.

- KARATHANOS, V.T., VILLALOBOS, G., și SARAVACOS, G.D. Comparison of Two Methods of Estimation of the Effective Moisture Diffusivity from Drying Data. *Journal of Food Science* 55 (1), 1990: pp.218–23. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06056.x>.
- KATEKAWA, M.E., și SILVA, M.A. A Review of Drying Models Including Shrinkage Effects. *Drying Technology* 24 (1), 2006: pp.5–20. <https://doi.org/10.1080/07373930500538519>.
- KHIN, M.M., ZHOU, W., și PERERA, C. Development in the Combined Treatment of Coating and Osmotic Dehydration of Food - A Review. *International Journal of Food Engineering* 1 (1), 2005. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1005>.
- KINGSLY, A.R.P., MEENA, H.R., JAIN, R.K., et al. Shrinkage of Ber (*Zizyphus Mauritian* L.) Fruits during Sun Drying. *Journal of Food Engineering* 79 (1), 2007: pp.6–10. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.019>.
- KLIEBER, A., și BAGNATO, A. Colour Stability of Paprika and Chilli Powder. În *Food Australia*, 51:pp.592–96, 1999. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=1266458>.
- KLOPOTEK, Y., OTTO, K., și BÖHM, V. Processing Strawberries to Different Products Alters Contents of Vitamin C, Total Phenolics, Total Anthocyanins, and Antioxidant Capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (14), 2005: pp.5640–46. <https://doi.org/10.1021/jf047947v>.
- KNORR, D. Impact of Non-Thermal Processing on Plant Metabolites. *Journal of Food Engineering* 56 (2–3), 2003: pp.131–34. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00321-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00321-7).
- KOÇ, B., EREN, İ., și KAYMAK ERTEKIN, F. Modelling Bulk Density, Porosity and Shrinkage of Quince during Drying: The Effect of Drying Method. *Journal of Food Engineering* 85 (3), 2008: pp.340–49. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.030>.
- KOHAYAKAWA, M.N., SILVEIRA-JÚNIOR, V., și TELIS-ROMERO, J. Drying of Mango Slices Using Heat Pump Dryer. În . Campinas, Brazil: State Univ., Chemical Engineering School, 2004.
- KOUCHAKZADEH, A. The Effect of Moisture and Temperature on Thermophysical Properties of Iranian Pistachios. *World Applied Sciences Journal* 7 (ianuarie), 2009: pp.1552–59.
- KUMAR, H.S.P., RADHAKRISHNA, K., NAGARAJU, P.K., et al. Effect of Combination Drying on Physico-Chemical Characteristics of Carrot and Pumpkin. *Journal of Food Processing and Preservation* 25 (6), 2001: pp.447–60. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2001.tb00472.x>.
- KUMAR, P.S., SAGAR, V.R., și SINGH, U. Effect of Tray Load on Drying Kinetics of Mango, Guava and Aonla 65, 2006: pp.6.
- KUPINA, S., FIELDS, C., ROMAN, M.C., et al. Determination of Total Phenolic Content Using the Folin-C Assay: Single-Laboratory Validation, First Action 2017.13. *Journal of AOAC INTERNATIONAL* 101 (5), 2018: pp.1466–72. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0031>.
- LABUZA, T.P., și TANNENBAUM, S.R. Nutrient Losses during Drying and Storage of Dehydrated Foods. *C R C Critical Reviews in Food Technology* 3 (2), 1972: pp.217–40. <https://doi.org/10.1080/10408397209527139>.
- LEERATANARAK, N., DEVAHASTIN, S., și CHIEWCHAN, N. Drying Kinetics and Quality of Potato Chips Undergoing Different Drying Techniques. *Journal of Food Engineering* 77 (3), 2006: pp.635–43. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.07.022>.
- LEONG, S.Y., și OEY, I. Effect of Endogenous Ascorbic Acid Oxidase Activity and Stability on Vitamin C in Carrots (*Daucus Carota* Subsp. *Sativus*) during Thermal Treatment. *Food Chemistry* 134 (4), 2012: pp.2075–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.002>.
- LEWICKI, P.P. Effect of Pre-drying Treatment, Drying and Rehydration on Plant Tissue Properties: A Review. *International Journal of Food Properties* 1 (1), 1998: pp.1–22. <https://doi.org/10.1080/10942919809524561>.

- LEWICKI, P.P., și JAKUBCZYK, E. Effect of Hot Air Temperature on Mechanical Properties of Dried Apples. *Journal of Food Engineering* 64 (3), 2004: pp.307–14. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.10.014>.
- LIN, T.M., D. DURANCE, T., și SCAMAN, C.H. Characterization of Vacuum Microwave, Air and Freeze Dried Carrot Slices. *Food Research International* 31 (2), 1998: pp.111–17. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(98\)00070-2](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(98)00070-2).
- LIU, Y., WU, J., MIAO, S., et al. Effect of a Modified Atmosphere on Drying and Quality Characteristics of Carrots. *Food and Bioprocess Technology* 7 (9), 2014: pp.2549–59. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1295-9>.
- MARFIL, P.H.M., SANTOS, E.M., și TELIS, V.R.N. Ascorbic Acid Degradation Kinetics in Tomatoes at Different Drying Conditions. *LWT - Food Science and Technology* 41 (9), 2008: pp.1642–47. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.003>.
- MASKAN, A., KAYA, S., și MASKAN, M. Effect of Concentration and Drying Processes on Color Change of Grape Juice and Leather (Pestil). *Journal of Food Engineering* 54 (1), 2002: pp.75–80. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00187-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00187-X).
- MASTERS, K. Current Market-Driven Spray Drying Development Activities. *Drying Technology* 22 (6), 2004: pp.1351–70. <https://doi.org/10.1081/DRT-120038733>.
- MAYOR, L., și SERENO, A.M. Modelling Shrinkage during Convective Drying of Food Materials: A Review. *Journal of Food Engineering* 61 (3), 2004: pp.373–86. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00144-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00144-4).
- MCLAUGHLIN, C.P., și MAGEE, T.R.A. The Determination of Sorption Isotherm and the Isosteric Heats of Sorption for Potatoes. *Journal of Food Engineering* 35 (3), 1998: pp.267–80. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00025-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00025-9).
- MCMINN, W.A.M., și MAGEE, T.R.A. Kinetics of Ascorbic Acid Degradation and Non-Enzymic Browning in Potatoes. *Food and Bioprocess Technology* 75 (4), 1997: pp.223–31. <https://doi.org/10.1205/096030897531621>.
- MEDA, L., și RATTI, C. Rehydration of Freeze Dried Strawberries at Varying Temperatures. *Journal of Food Process Engineering* 28 (3), 2005: pp.233–46. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2005.00404.x>.
- MEGÍAS-PÉREZ, R., GAMBOA-SANTOS, J., SORIA, A.C., et al. Survey of Quality Indicators in Commercial Dehydrated Fruits. *Food Chemistry* 150 (mai), 2014: pp.41–48. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.141>.
- MELENCIUC, M. Drying of pears in CO₂ modified atmosphere. *Journal of Engineering Science* 30 (1), 2023: pp.154–64. [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30\(1\).13](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30(1).13).
- Modified Atmosphere Packaging | MAP | A dedicated website|Call us!, f.a. Data accesării 7 mai 2021. <https://www.modifiedatmospherepackaging.com/>.
- Modified atmosphere packaging - Strategic application technology, f.a. Data accesării 7 mai 2021. <https://applications.messergroup.com/modified-atmosphere-packaging>.
- Modified Atmosphere Packaging (MAP). Linde Gas, f.a. Data accesării 7 mai 2021. https://www.linde-gas.com/en/processes/controlled_and_modified_atmospheres/modified_atmosphere_packaging/index.html.
- MORGAN, J., și DOWLE, E. *The Book of Pears: The Definitive History and Guide to over 500 Varieties*, 2015.
- MUJUMDAR, A. S. *Guide to industrial drying : principles, equipment and new developments*. IDS, 2008.
- MUJUMDAR, Arun S. Some Recent Developments in Drying Technologies Appropriate for Postharvest Processing. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation* 1 (1), 2006: pp.76. <https://doi.org/10.1504/IJPTI.2006.009185>.

- , ed. *Handbook of industrial drying*. Fourth edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015.
- MULTON, J.L., și SIMATOS, D. Properties of Water in Foods: In Relation to Quality and Stability.
- N KALIYAN, R V MOREY, W F WILCKE, et al. Applications of Carbon Dioxide in Food and Processing Industries: Current Status and Future Thrusts. În *2007 Minneapolis, Minnesota, June 17-20, 2007*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007. <https://doi.org/10.13031/2013.23553>.
- NCERT. *Physics: Textbook for Class XI Part - II*. New Delhi: National Council of Educational Research and Training, 2019. <https://ncert.nic.in/textbook.php?keph2=0-7>.
- NIAMNUY, C., DEVAHASTIN, S., SOPONRONNARIT, S., et al. Kinetics of Astaxanthin Degradation and Color Changes of Dried Shrimp during Storage. *Journal of Food Engineering* 87 (4), 2008: pp.591–600. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.01.013>.
- NIJHUIS, H.H., TORRINGA, H.M., MURESAN, S., et al. Approaches to Improving the Quality of Dried Fruit and Vegetables. *Trends in Food Science & Technology* 9 (1), 1998: pp.13–20. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)00007-1](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(97)00007-1).
- NINDO, C.I., SUN, T., WANG, S.W., et al. Evaluation of Drying Technologies for Retention of Physical Quality and Antioxidants in Asparagus (*Asparagus Officinalis*, L.). *LWT - Food Science and Technology* 36 (5), 2003: pp.507–16. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00046-X).
- O'NEILL, M.B., RAHMAN, M.S., PERERA, C.O., et al. Color and Density of Apple Cubes Dried in Air and Modified Atmosphere. *International Journal of Food Properties* 1 (3), 1998: pp.197–205. <https://doi.org/10.1080/10942919809524577>.
- ORSAT, V., RAGHAVAN, G.S.V., și KRISHNASWAMY, K. Microwave Technology for Food Processing. În *The Microwave Processing of Foods*, pp.100–116. Elsevier, 2017. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100528-6.00005-X>.
- ORSAT, Valerie, CHANGRUE, V., și RAGHAVAN, G.S.V. Microwave drying of fruits and vegetables. *Stewart Postharvest Review* 2 (6), 2006: pp.1–7. <https://doi.org/10.2212/spr.2006.6.4>.
- OSEPCHUK, J.M. Microwave power applications. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 50 (3), 2002: pp.975–85. <https://doi.org/10.1109/22.989980>.
- OSUNA-GARCIA, J.A., și WALL, M.M. Prestorage Moisture Content Affects Color Loss of Ground Paprika (*Capsicum Annuum* L.) under Storage. *Journal of Food Quality* 21 (3), 1998: pp.251–59. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1998.tb00520.x>.
- PERERA, C. Selected Quality Attributes of Dried Foods. *Drying Technology* 23 (4), 2005: pp.717–30. <https://doi.org/10.1081/DRT-200054180>.
- PIOTROWSKI, D., LENART, A., și WARDZYŃSKI, A. Influence of Osmotic Dehydration on Microwave-Convective Drying of Frozen Strawberries. *Journal of Food Engineering* 65 (4), 2004: pp.519–25. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.015>.
- POPA, B. *Manualul inginerului termotehnician*. Vol. 1. 3 vol. București: Editura Tehnică, 1986.
- PRACHAYAWARAKORN, S., SAWANGDUANPEN, S., SAYNAMPHUEUNG, S., et al. Kinetics of Colour Change during Storage of Dried Garlic Slices as Affected by Relative Humidity and Temperature. *Journal of Food Engineering* 62 (1), 2004: pp.1–7. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00163-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00163-8).
- PUYATE, Y.T., și LAWRENCE, C.J. Sherwood's Models for the Falling-Rate Period: A Missing Link at Moderate Drying Intensity. *Chemical Engineering Science* 61 (21), 2006: pp.7177–83. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2006.06.024>.
- QUEIROZ, R., GABAS, A.L., și TELIS, V.R.N. Drying Kinetics of Tomato by Using Electric Resistance and Heat Pump Dryers. *Drying Technology* 22 (7), 2004: pp.1603–20. <https://doi.org/10.1081/DRT-200025614>.

- RAGHAVAN, G.S.V., RENNIE, T.J., SUNJKA, P.S., et al. Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 22 (2), 2005: pp.195–201. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322005000200005>.
- RAHMAN, M. Shafiur. Toward Prediction of Porosity in Foods during Drying: A Brief Review. *Drying Technology* 19 (1), 2001: pp.1–13. <https://doi.org/10.1081/DRT-100001349>.
- RAHMAN, M. Shafiur, GUIZANI, N., AL-RUZEIKI, M.H., et al. Microflora Changes in Tunas during Convection Air Drying. *Drying Technology* 18 (10), 2000: pp.2369–79. <https://doi.org/10.1080/07373930008917847>.
- RAHMAN, M.S., CHEN, X.D., și PERERA, C.O. An Improved Thermal Conductivity Prediction Model for Fruits and Vegetables as a Function of Temperature, Water Content and Porosity. *Journal of Food Engineering* 31 (2), 1997: pp.163–70. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(96\)00060-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(96)00060-X).
- RAHMAN, S. *Handbook of Food Preservation*, 2020.
- RAMESH, M.N., WOLF, W., TEVINI, D., et al. Influence of Processing Parameters on the Drying of Spice Paprika. *Journal of Food Engineering* 49 (1), 2001: pp.63–72. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00185-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00185-0).
- RAO, M.A., RIZVI, S.S.H., DATTA, A.K., et al., ed. *Engineering Properties of Foods*. 0 ed. CRC Press, 2014. <https://doi.org/10.1201/b16897>.
- RAPUSAS, R.S., și DRISCOLL, R.H. Kinetics of Non-Enzymatic Browning in Onion Slices during Isothermal Heating. *Journal of Food Engineering* 24 (3), 1995: pp.417–29. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)90054-F](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)90054-F).
- RASTOGI, N.K., ESHTIAGHI, M.N., și KNORR, D. Accelerated Mass Transfer During Osmotic Dehydration of High Intensity Electrical Field Pulse Pretreated Carrots. *Journal of Food Science* 64 (6), 1999: pp.1020–23. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb12272.x>.
- RASTOGI, N.K., și NIRANJAN, K. Enhanced Mass Transfer During Osmotic Dehydration of High Pressure Treated Pineapple. *Journal of Food Science* 63 (3), 1998: pp.508–11. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15774.x>.
- RASTOGI, N.K., și RAGHAVARAO, K.S.M.S. Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Pineapple: Considering Fickian Diffusion in Cubical Configuration. *LWT - Food Science and Technology* 37 (1), 2004: pp.43–47. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00131-2](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00131-2).
- REEDS, P.J. Dispensable and Indispensable Amino Acids for Humans. *The Journal of Nutrition* 130 (7), 2000: pp.1835S-1840S. <https://doi.org/10.1093/jn/130.7.1835S>.
- REGIER, M., MAYER-MIEBACH, E., BEHSNILIAN, D., et al. Influences of Drying and Storage of Lycopene-Rich Carrots on the Carotenoid Content. *Drying Technology* 23 (4), 2005: pp.989–98. <https://doi.org/10.1081/DRT-200054255>.
- ROCKLAND, L.B., și BEUCHAT, L.R., ed. *Water Activity: Theory and Applications to Food*. CRC Press Taylor & Francis Group, 2020.
- RUSSELL, G.F. Food Chemistry, 2nd Ed. Revised and Expanded. *The Journal of Nutrition* 117 (1), 1987: pp.213–14. <https://doi.org/10.1093/jn/117.1.213>.
- SABLANI, S.S. Drying of Fruits and Vegetables: Retention of Nutritional/Functional Quality. *Drying Technology* 24 (2), 2006: pp.123–35. <https://doi.org/10.1080/07373930600558904>.
- SABLANI, S.S., și RAHMAN, M.S. Pore Formation in Selected Foods as a Function of Shelf Temperature during Freeze Drying. *Drying Technology* 20 (7), 2002: pp.1379–91. <https://doi.org/10.1081/DRT-120005857>.
- SAGAR, V.R., și SURESH KUMAR, P. Processing of guava in the form of dehydrated slices and leather. *Acta Horticulturae*, nr. 735 (martie), 2007: pp.579–89. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.735.75>.

- SAGAR, V.R., și SURESH KUMAR, P. Recent Advances in Drying and Dehydration of Fruits and Vegetables: A Review. *Journal of Food Science and Technology* 47 (1), 2010: pp.15–26. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0010-8>.
- SAGUY, I.S., MARABI, A., și WALLACH, R. Liquid Imbibition during Rehydration of Dry Porous Foods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 6 (1), 2005: pp.37–43. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.11.002>.
- SHARMA, G.P., și PRASAD, S. Optimization of Process Parameters for Microwave Drying of Garlic Cloves. *Journal of Food Engineering* 75 (4), 2006: pp.441–46. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.029>.
- SHYAM S SABLANI. Food quality attributes in drying. *Stewart Postharvest Review* 2 (2), 2006: pp.1–6. <https://doi.org/10.2212/spr.2006.2.8>.
- SINGH, U., SAGAR, V.R., BEHERA, T.K., et al. Effect of drying conditions on the quality of dehydrated selected leafy vegetables. *Journal of Food Science and Technology* 43 (noiembrie), 2006: pp.579–82.
- SONG, X., ZHANG, M., și MUJUMDAR, A.S. Effect of Vacuum-Microwave Predrying on Quality of Vacuum-Fried Potato Chips. *Drying Technology* 25 (12), 2007: pp.2021–26. <https://doi.org/10.1080/07373930701728703>.
- SOYSAL, Y., ÖZTEKIN, S., și EREN, Ö. Microwave Drying of Parsley: Modelling, Kinetics, and Energy Aspects. *Biosystems Engineering* 93 (4), 2006: pp.403–13. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.01.017>.
- SUNJKA, P., și RAGHAVAN, V. Assessment of pretreatment methods and osmotic dehydration of cranberries. *Canadian Biosystems Engineering / Le Genie des biosystems au Canada* 46 (ianuarie), 2004: pp.3.35-3.40.
- TAIWO, K.A., ANGERSBACH, A., și KNORR, D. Influence of High Intensity Electric Field Pulses and Osmotic Dehydration on the Rehydration Characteristics of Apple Slices at Different Temperatures. *Journal of Food Engineering* 52 (2), 2002: pp.185–92. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00102-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00102-9).
- . Effects of Pulsed Electric Field on Quality Factors and Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Apples. *Journal of Food Process Engineering* 26 (1), 2003: pp.31–48. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2003.tb00588.x>.
- TALLA, A., PUIGGALI, J.-R., JOMAA, W., et al. Shrinkage and Density Evolution during Drying of Tropical Fruits: Application to Banana. *Journal of Food Engineering* 64 (1), 2004: pp.103–9. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.09.017>.
- TARRAGO-TRANI, M.T., PHILLIPS, K.M., și COTTY, M. Matrix-Specific Method Validation for Quantitative Analysis of Vitamin C in Diverse Foods. *Journal of Food Composition and Analysis* 26 (1–2), 2012: pp.12–25. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.03.004>.
- TATEMOTO, Y., YANO, S., MAWATARI, Y., et al. Drying Characteristics of Porous Material Immersed in a Bed of Glass Beads Fluidized by Superheated Steam under Reduced Pressure. *Chemical Engineering Science* 62 (1–2), 2007: pp.471–80. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2006.09.016>.
- TOPUZ, A. A Novel Approach for Color Degradation Kinetics of Paprika as a Function of Water Activity. *LWT - Food Science and Technology* 41 (9), 2008: pp.1672–77. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.10.004>.
- ȚISLINSCAIA, N., BERNIC, M., LUPAȘCO, A., et al. The Modeling of Graphical and Analytical Drying Process Parameters Relations in CO₂ Environment. *Journal of Engineering Studies and Research* 23 (3), 2017: pp.36–40. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/18968/Journal_ofEngineering_Studies_andResearch_2017_V23_N3_p36_40.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

- ȚISLINSCAIA, N., LUPAȘCO, A., și BERNIC, M. *Modelarea matematică a fenomenelor de transfer în procesele de uscare*. Ch.: ITA, f.a. <http://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/14943/Monografie-ModelMatematFenomenTransferProceseUscare.pdf?sequence=1>.
- UTM, BERNIC, M., ȚISLINSCAIA, N., et al. Instalație de uscare a fructelor și legumelor. *Brevet de invenție MD 1295 Z* (iulie), 2019: pp.8. <http://www.db.agepi.md/Inventions/details/s%202018%200014/LinkTitluElib>.
- VENKATACHALAPATHY, K., și RAGHAVAN, G.S.V. Combined Osmotic and Microwave Drying of Strawberry. *Drying Technology* 17 (4–5), 1999: pp.837–53. <https://doi.org/10.1080/07373939908917573>.
- VENKATESH, M.S., și RAGHAVAN, G.S.V. An Overview of Microwave Processing and Dielectric Properties of Agri-Food Materials. *Biosystems Engineering* 88 (1), 2004: pp.1–18. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.01.007>.
- WANG, J., și XI, Y.S. Drying Characteristics and Drying Quality of Carrot Using a Two-Stage Microwave Process. *Journal of Food Engineering* 68 (4), 2005: pp.505–11. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.06.027>.
- XIONG, X., NARSIMHAN, G., și OKOS, M.R. Effect of Composition and Pore Structure on Binding Energy and Effective Diffusivity of Moisture in Porous Food. *Journal of Food Engineering* 15 (3), 1992: pp.187–208. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(92\)90050-G](https://doi.org/10.1016/0260-8774(92)90050-G).
- YAN, Z., SOUSA-GALLAGHER, M.J., și OLIVEIRA, F.A.R. Shrinkage and Porosity of Banana, Pineapple and Mango Slices during Air-Drying. *Journal of Food Engineering* 84 (3), 2008: pp.430–40. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.06.004>.
- YOUNG, V.R. Adult Amino Acid Requirements: The Case for a Major Revision in Current Recommendations. *The Journal of Nutrition* 124 (suppl_8), 1994: pp.1517S-1523S. https://doi.org/10.1093/jn/124.suppl_8.1517S.
- ZOGZAS, N.P., și MAROULIS, Z.B. Effective Moisture Diffusivity Estimation from Drying Data. A Comparison Between Various Methods of Analysis. *Drying Technology* 14 (7–8), 1996: pp.1543–73. <https://doi.org/10.1080/07373939608917163>.
- ZUGRAVU, C.-A. *Siguranța utilizării aditivilor în produsele alimentare*. Ghid. Romania: CNMRMC, f.a. <https://cnmrmc.insp.gov.ro/cnmrmc/images/ghiduri/Ghid-Aditivi-Alimentari.pdf>.
- А.В. ЛЫКОВ, și МИХАЙЛОВ, Ю.А. *Теория переноса энергии и вещества*. Минск: АН БССР, 1959. https://www.studmed.ru/lykov-av-mihaylov-yua-teoriya-perenosa-energii-i-veschestva_33e5abc6095.html.
- БАСКАКОВ, А.П., БЕРГ, Б.В., și ВИТТ, О.К. *Теплотехника*. М.: Энергоатомиздат, 1991.
- БЕРНИК, М.П., ЛУПАШКО, А.С., ЦИСЛИНСКАЯ, Н.Я., et al. Математическое моделирование процесса сушки влажных материалов в модифицированной среде CO₂. *Промышленная Теплотехника* 37 (7), 2015: pp.212–16.
- ВАРГАФТИК, Н.Б. *Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей*. М.: Наука, 1972.
- ГИНЗБУРГ, А.С. *Основы теории и техники сушки пищевых продуктов*. Москва: Пищ. пром-сть, 1973. <https://search.rsl.ru/ru/record/01007247019>.
- ГОСТ 8050-85. Двуокись углерода газообразная и жидкая. Москва: Стандартинформ, 2006. <https://files.stroyinf.ru/Data/41/4114.pdf>.
- КАЛИНИН, А.Г. *Обработка данных методами математической статистики*. Чита: Забайкальский институт предпринимательства Сибирского университета потребительской кооперации, 2015. <http://zip.sibupk.su/upload/medialibrary/monografii/2014/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8F%20%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B0%20%D0%>

- В4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D0%9A%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D0%BD%20%D0%90%D0%93%202014.pdf.
- КИКОИН, А.К., și КИКОИН, И.К. *Общий курс физики. Молекулярная физика*. 2-lea ed. М.: Наука, 1976.
- КРАЙНОВ, А.Ю., și РЫЖИХ, Р. *Операционное исчисление. Примеры и задачи*. Томск: Томск: Том. ун-т, 2007. <https://ftf.tsu.ru/wp-content/uploads/Operatsionnoe-ischislenie-primery-i-zadachi-A.YU.-Krajnov-YU.N.-Ryzhikh.pdf>.
- ЛАКТИОНОВ, К. *Семечковые культуры. Часть I Яблоня, груша, айва и пока еще мало распространенные культуры*. Palmarium Academic Publishing, 2017. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-201711184584>.
- ЛЫКОВ, А.В. *Теория теплопроводности*. Москва: Высшая школа, 1967.
- . *Теория сушки*. 2-lea ed. М.: Энергия, 1968.
- МАЛЕЖИК, И.Ф., ТАРЛЕВ, В.П., și ЛУПАШКО, А.С. *Конвективно-высокочастотная сушка косточковых фруктов*. Ch: UTM, 2005.
- ПАВЛОВ, К.Ф., РОМАНКОВ, П.Г., și НОСКОВ, А.А. *Примеры и задачи по курсу процессов м аппаратов химической технологии*. Госхимиздат, 1961.

ANEXE

Anexa 1



**MINISTERUL SĂNĂTĂȚII, MUNCII
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AL REPUBLICII MOLDOVA**
МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ТРУДА
И СОЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА
AGENȚIA NAȚIONALĂ PENTRU SĂNĂTATE PUBLICĂ
НАЦИОНАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДОРОВЬЯ
MD-2026, mun. Chișinău, str. Gheorghe Asechi, 87-a
Tel. + 373 22 574501, fax + 373 22 729725
IDNO 1018601030021
E-mail: ansp@ansp.md; anticamara@ansp.md

DOCUMENTAȚIE MEDICALĂ / Медицинская документация
FORMULAR / Форма № 303-2/a
APROBAT DE MSMPs al RM / Утверждена MSMPs RM
31.10.11 Nr. 829

Centrul de încercări de laborator acreditat de către
Centrul Național de Acreditare din Republica Moldova, MOLDAC
Испытательный лабораторный центр аккредитованный
Национальным аккредитационным Центром РМ, MOLDAC
Certificat nr. LE-044 din 17.02.2018 valabil până la 16.02.2022
Acreditat în Sistemul Ministerului Sănătății, Muncii
și Protecției Sociale al RM
Аккредитованный в системе Министерства Здравоохранения, Труда и
Социальной Защиты Республики Молдова
Certificat nr. 2293 din 24.10.2014, valabil până la 24.10.2019

AVIZ SANITAR
PENTRU PRODUSELE ALIMENTARE ȘI NEALIMENTARE Nr. P-8994/2021
Санитарное заключение для пищевых и непищевых продуктов
din/om " 83 " februarie a./z. 2021

Prin prezentiul aviz sanitar se confirmă că producerea, importul, utilizarea și desfacerea produselor / echipamentelor
Настоящим санитарным заключением подтверждается, что производство, ввоз, использование и реализация продукции / оборудования
Bioxid de carbon lichefiat

sunt conforme Regulamentului (lor) sanitar (e) / соответствует санитарному (ым) регламенту (ам) (se va indica
детально полностью а Регулентулуй (lor) санитар (е) / указать полное наименование санитарного (ым) регламента (ов)
GOST 8050-85, SF 38179993-001:2007, Regulamentului sanitar privind beaurile nealcoolice aprobat
prin HG nr. 934 din 15.08.2007, Directiva 2008/84/EC, modificata prin Directiva 2010/67/EC

Organizația-producătoare/importatoare, țara de origine / организация-производитель/импортёр, страна происхождения
IM "ZERNOFF" SRL, Republica Moldova

Destinatarul avizului sanitar / получатель санитарного заключения
IM "ZERNOFF" SRL, Moldova, Chișinău, bd. Mireea cel Bătrân, 13

Că temel pentru recunoașterea conformității produselor Regulamentului (lor) sanitar (e) menționat (e) a servit /
Основанием для признания продукции соответствующему (ым) санитарному (ым) регламенту (ам) послужило
Demers: autorizatie sanitară de funcționare nr.2583 din 20.02.2014, facturi, certificat de conformitate
aviz sanitar nr.569 din 03.03.2018, raport a încercărilor de laborator nr.1035 din 19.02.2021
(se aflișează documentele de încercare, buletinele de analiză / перечислить соответствующие docs, протоколы испытаний)

Caracteristica sanitară a produselor / санитарная характеристика продукции:
Parametri (factorii) / показатели (факторы) Normativul sanitar / санитарный норматив
parametrii cercetați conform raportului încercărilor de laborator nr.1035 din 19.02.2021

Domeniul de utilizare / Область применения: industria alimentară

Condițiile necesare de utilizare, depozitare, transportare, măsurile de securitate / Необходимые условия
использования, хранения, транспортировки, меры безопасности:
plasarea pe piață în condițiile respectării legislației în vigoare în Republica Moldova
AVIZUL SANITAR este valabil până la / Санитарное Заключение действительно до: 28 februarie 2024

DIRECTORUL AGENȚIEI NAȚIONALE PENTRU SĂNĂTATE PUBLICĂ

GUSTIUC
(nume, prenume și prenume)
ANSP/HA03
000489 03

Ex. S. Constantinovici

Ministerul Sănătății, Muncii și Protecției Sociale al Republicii Moldova
 Министерство Здравоохранения, Труда и Социальной Защиты Республики Молдова
 Agenția Națională pentru Sănătate Publică
 Национальное Агентство Общественного Здоровья
 Centrul de Încercări de Laborator (CÎL)
 Испытательный Лабораторный Центр
 Adresa - Republica Moldova, 2028, mun. Chișinău, str. G. Asachi 67-A
 Юридический адрес: Республика Молдова, 2028, гор. Кишинэу, ул. Георге Асаки 67-а
 Tel. fax Телефон Факс: 57-45-01; 57-46-69; 57-45-05 Fax: 72-97-25;

DOCUMENTAȚIE MEDICALĂ
 Formular 343/c
 форма
 Aprobat de MSMP/S RM
 утверждена МЗГЦЗ РМ
 Nr. 828 din 31.10.2011

RAPORT
a încercărilor de laborator
 ОТЧЕТ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Nr. 1035 din 19 02 2021

1. Denumirea întreprinderii, organizația (beneficiar)
 Наименование предприятия, организации (заявитель) ÎM „ZERNOFF” SRL
 2. Adresa juridică
 Юридический адрес mun. Chisinau, bd.Mircea cel Bătrân, 13/1, ap.1F
 3. Denumirea mostrei, data producerii
 Наименование образца (пробы), дата изготовления Bioxid de carbon
 4. Producătorul (firma, organizația, instituția)
 Изготовитель, фирма, предприятие, организация ÎM „ZERNOFF” SRL
 țara Republica Moldova
 страна

5. Data și ora prelevării 10 ora 00 min 18 02 2021
 Время и дата отбора час мин

N.P., funcția Mostrele au fost prelevate și prezentate de către solicitant
 Ф.И.О., должность

Condițiile de transportare auto
 Условия доставки

Livrat în CÎL 11 ora 00 min 18 2021
 Доставлен в ИЛЦ час мин

6. Date suplimentare
 Дополнительные сведения

7. D.N. la producție SF 38179993-001:2007
 ИД на продукцию

8. D.N. privind reglementarea volumului cercetărilor de laborator și aprecierea lor
 ИД регламентирующие объем лабораторных исследований и их оценку

Nr. d/n № и п	Parametrii cercetării Определенные показатели	Rezultatele cercetărilor, unități de măsură Результаты исследований Единицы измерения	Incertitudinea de măsurare* Неопределенность измерения*	Nivelul maxim admisibil unități de măsură Величина допустимого уровня	DN a metodelor de investigație ИД на методы исследований
1	2	3	4	5	6

Nota: La cererea clientului rezultatul încercării se eliberează cu incertitudinea de calcul extinsă cu coeficientul de acoperire k=2 și nivelul de încredere 95%.

I. Analiza chimică cantitativă:

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Mostra a sosit 13 ora 00 min 18 02 2021
 Образец поступил час мин

Codul 1035.1.1.1.21
 Код

Nr. de înregistrare 9 în registru în jurnal Nr. 9 Procesul verbal din 19.02.2021
 Регистрационный журнал протокол испытаний

1	2	3	4	5	6
1.	Monoxid de carbon	n/d		n/a	GOST 8050-85
2.	Acid azotic	n/d		n/a	GOST 8050-85
3.	Acid clorhidric	n/d		n/a	GOST 8050-85
4.	Acid sulfuric	n/d		n/a	GOST 8050-85
5.	Ulei industrial	n/d		n/a	GOST 8050-85
6.	Hydroogen sulfurat	n/d		n/a	GOST 8050-85
7.	Hydrocarburi	n/d		n/a	GOST 8050-85
8.	Amoniac	n/d		n/a	GOST 8050-85
9.	Miros. gust	n/d		n/a	GOST 8050-85

N.P. funcția persoanei responsabile de оформirea raportului
 Ф.И.О., должность medic igienist Șt.Constantinovici

Concluzie

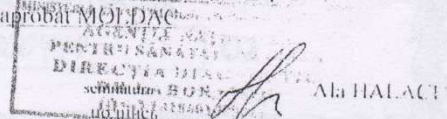
Заключение *Proba investigată corespunde GOST 8050-85 specificației pe produs la parametrii cercetării*

Amendamente: Rezultatul se referă numai la proba analizată. Este strict interzisă reproducerea parțială a rezultatului.
 Примечание: Результат распространяется только на анализируемую пробу. Частичное воспроизведение результата строго запрещено.

* Parametrii cercetării nu sunt incluși în Domeniul de acreditare CIL aprobat MOLDAC

* Определенные показатели не включены в Область аккредитации ИЛЦ MOLDAC

Autorizat. Nume, prenume, Șef direcție diagnostic de laborator
 Ф.И.О., должность



CERTIFICAT DE CALITATE / СЕРТИФИКАТ КАЧЕСТВА

Denumirea întreprinderii cumpărător Наименование предприятия покупателя			
Producător Производитель		ÎM «ZERNOFF» SRL, Republica Moldova, mun. Chișinău, str. Muncești 793/2 ÎМ «ZERNOFF» SRL, Республика Молдова, мун. Кишинэу, ул. Мунчешть 793/2	
Data fabricării / Дата изготовления		07.09.2021	
Numărul partidei / Номер партии		P-93 A	
Masa netă / Масса нетто, кг.		-----	
№ п/п	Denumirea parametrilor Наименование показателя	Norma / Норма ГОСТ 8050-85(анулат) Calitate superioară / Высший сорт	Rezultatul analizei / Результаты анализа
1	Partea de volum a bioxidului de carbon, % nu mai puțin Объемная доля двуокиси углерода, % не менее	99,8	99,9
2	Concentrația uleiurilor minerale și a corpurilor mecanice străine în masă, mg/kg nu mai mult Массовая концентрация минеральных масел и механических примесей, мг/кг, не более	0,1	Отсутствуют
3	Prezența sulfurii de hidrogen Наличие сероводорода	Trebuie să treacă testul conform p. 4.6	A trecut testul p. 4.6
4	Prezența acidului sulfuros, azotos și a compușilor organici (alcooli, eteruri, aldehide și acizi organici) Наличие сернистой и азотистой кислот и органических соединений (спиртов, эфиров, альдегидов и органических кислот)	Trebuie să treacă testul conform p. 4.8	A trecut testul p. 4.8
5	Prezența mirosului și gustului Наличие запаха и вкуса	Trebuie să treacă testul conform p. 4.10	A trecut testul p. 4.10
6	Concentrația în masă a apei, % nu mai mult Массовая доля воды, % не более	Trebuie să lipsească	Lipsește
7	Concentrația în masă a vaporilor de apă la temperatura 20 °C și presiunea 101,3 kPa (760 mm a coloanei de mercur), g/cm ³ nu mai mult Массовая концентрация водяных паров при температуре 20°C и давлении 101,3 кПа, г/см ³ , не более	0,037	<0,008
8	Și care să corespundă temperaturii de saturare a bioxidului de carbon cu vapori de apă la presiunea 101,3 kPa (760 mm a coloanei de mercur) și la temperatura °C, nu mai mult Что соответствует температуре насыщения двуокиси углерода водяными парами при давлении пара 101,3 кПа и температуре, °C, не выше	Minus 48	Minus 77
9	Prezența hidrocarburilor aromatice Наличие ароматических углеводородов	Trebuie să treacă testul conform p. 4.13	A trecut testul p. 4.13
Corespunde GOST 8050-85, categoria Соответствует ГОСТ 8050-85, сорт		Cea mai înaltă	
Data înmînării certificatului de calitate Дата выдачи сертификата качества		23.07.2021	

pentru bioxidul de carbon în stare gazoasă și lichidă / на двуокись углерода газообразную и жидкую

Termenul de valabilitate/Срок годности:

În butelii conform GOST 949- 2 ani din data producerii CO₂/ в баллонах по ГОСТ 949- 2 года со дня изготовления CO₂
În cisterne (izotermice)- 6 luni din data producerii CO₂/ в цистернах (изотермических)-6 мес со дня изготовления CO₂

Șef de laborator (Inginer-chimist)
Зав. лаборатории (Инженер-химик)



	CENTRUL TEHNIC PENTRU SECURITATE INDUSTRIALĂ ȘI CERTIFICARE SRL	
<h2 style="margin: 0;">CERTIFICAT DE CONFORMITATE</h2>		
Nr. de înregistrare	OCP_{GSP} MD 015 11A 46692-19	
Data emiterii	17 iulie 2019	Valabil până la 17 iulie 2022
<p>ORGANISMUL DE CERTIFICARE A PRODUSELOR CU GRAD SPORIT DE PERICOL din cadrul SRL "Centrul Tehnic pentru Securitate Industrială și Certificare", certificat de acreditare OCpr-015, MD-2004, mun. Chișinău, str. S.Lazo, 48, tel.: 022208156, 022208186 PRIN PREZENTUL DOCUMENT SE CONFIRMĂ FAPTUL, CĂ PRODUSELE IDENTIFICATE ASTFEL:</p>		
<p>DENUMIREA / DESCRIEREA Bioxid de carbon lichefiat, calitate superioară, fabricat conform GOST 8050-85, SF 38179993-001.2007; producție fabricată în serie; ambalajul-cisterne izotermice și butelii sub presiune; termenul de garanție: în cisterne izotermice -6 luni de la data fabricației, în butelii sub presiune - 2 ani de la data fabricației; păstrare-depozitul firmei (MD-2060, mun. Chișinău, șos. Muncești, 793/2).</p>		
<p>SUNT CONFORME CU CERINȚELE OBLIGATORII STABILITE ÎN GOST 8050-85 p.1.3, tab.2, ind.: 1, 4, 6, 8.</p>		
<p>PRODUCĂTOR ÎM "ZERNOFF" SRL, mun.Chișinău, str.Mircea cel Bătrîn 13/1, of.1F, tel: +373 22 52-90-03</p>		
<p>CLIENT ÎM "ZERNOFF" SRL, mun.Chișinău, str.Mircea cel Bătrîn 13/1, of.1F, tel. +373 22 35-26-61</p>		
<p>CERTIFICATUL ESTE ELIBERAT ÎN BAZA Raportului de încercări Nr.235 din 17.05.2019, eliberat de LI ÎM "ZERNOFF" SRL, certificat de acreditare nr. LI -070. Raportului de evaluare a procesului de producție nr.328 din 19.06.2019. Raportului de evaluare nr.5v/10-ev din 17.07.2019. Avizului sanitar nr.569 din 03.03.2018.</p>		
<p>INFORMAȚIE SUPLIMENTARĂ Schema de certificare de tip 3. Sunt stabilite 2 (două) supravegheri-o dată pe an. Supravegherea se efectuează de către OC PGSP. Certificatul este valabil în condițiile respectării cerințelor de marcare, ambalare, manipulare și depozitare pentru produsul dat.</p>		
<p>Seria C nr. 004326</p>		<p>Conducătorul organismului de certificare  Nicolai Manolov</p>
<p><i>În atenția antreprenorilor și organelor de control!</i> Copiile certificatului de conformitate se legalizează în modul stabilit de Organismul de Certificare a Produselor cu Grad Sporit de Pericol</p>		

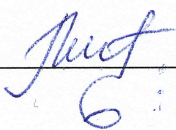
Declarația privind asumarea răspunderii

Subsemnatul, MELENCIUC Mihail, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.

Numele, prenumele

MELENCIUC Mihail

Semnătura



Data

29.05.23

INFORMAȚII PERSONALE

Mihail MELENCIUC

📍 Chirov 36, ap. 56, MD 3200 Bender (Republica Moldova)

☎ (+373) 68 27 13 94

✉ st.michael_86@mail.ru

Sexul Masculin | Data nașterii 31/03/1986 | Naționalitatea moldovean

EXPERIENȚA PROFESIONALĂ

09/2010–Prezent

Lector universitar

Universitatea Tehnică a Moldovei
Bd. Ștefan cel Mare 168, MD 2004 Chișinău (Republica Moldova)
<https://utm.md/>

Tipul sau sectorul de activitate Educație

EDUCAȚIE ȘI FORMARE

14/04/2014–16/03/2015

Certificat de recalificare la specialitatea Pedagogie profesională

Universitatea Tehnică a Moldovei
Bd. Ștefan cel Mare 168, MD 2004 Chișinău (Republica Moldova)
<https://utm.md/>

11/2010–11/2013

Studii doctorat

Universitatea Tehnică a Moldovei
Bd. Ștefan cel Mare 168, MD 2004 Chișinău (Republica Moldova)
<https://utm.md/>

01/09/2008–15/01/2010

Master în tehnologii de fabricare și prelucrare

Nivelul 6 CEC

Universitatea Tehnică a Moldovei
Bd. Ștefan cel Mare, MD 2004 Chișinău (Republica Moldova)
<https://utm.md/>

01/09/2004–20/06/2008

Inginer licențiat în tehnologia produselor alimentare

Nivelul 5 CEC

Universitatea Tehnică a Moldovei
Bd. Ștefan cel Mare, MD 2004 Chișinău (Republica Moldova)
<https://utm.md/>

COMPETENȚE PERSONALE

Limba(i) maternă(e) română

Limbile străine

	ÎNȚELEGERE		VORBIRE		SCRIERE
	Ascultare	Citire	Participare la conversație	Discurs oral	
rusă	C2	C2	C2	C2	C2
engleză	C1	C1	C1	C1	C1
franceză	C1	C1	C1	C1	C1

Niveluri: A1 și A2: Utilizator elementar - B1 și B2: Utilizator independent - C1 și C2: Utilizator experimentat
 Cadrul european comun de referință pentru limbi străine

Competențe de comunicare ■ bune abilități de comunicare dobândite în urma experienței mele în calitate de lector universitar

Competențe organizaționale/manageriale ■ bune competențe de organizare dobândite ca membru al consiliului facultății, conducător de grupă și membru organizatoric al conferințelor MTFI 2012 - 2018

Competențele digitale

AUTOEVALUARE				
Procesarea informației	Comunicare	Creare de conținut	Securitate	Rezolvarea de probleme
Utilizator experimentat	Utilizator experimentat	Utilizator experimentat	Utilizator independent	Utilizator independent

Competențele digitale - Grilă de auto-evaluare

- o bună stăpânire a programelor de birou (MS Office, Excel, PowerPoint, etc.)
- lucru cu programele de proiectare și design (Corel Draw, AutoCAD, etc.)

Permis de conducere B

INFORMAȚII SUPLIMENTARE

- Participări proiecte
- Proiect Instituțional 15.187.05.04F, „Sporirea eficacității proceselor de deshidratare a produselor vegetale cu utilizarea metodelor netradiționale ale aportului de energie”. Director proiect dr. hab., prof. univ. BERNIC Mircea
 - Proiect „Tineri Cercetători” SToVE, “Simularea matematică computerizată a fenomenelor de transfer în produse vegetale umede la tratarea cu microunde”, (Contract de finanțare 21 TC din 24 mai 2019) Director proiect dr., conf. univ. GUȚU Marin