

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlu de manuscris

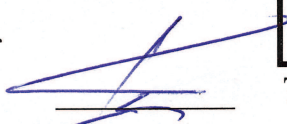
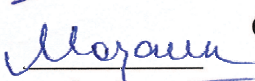
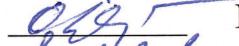
C.Z.U: 664.8.047.38:634.25(043)

VIȘANU VITALI

**ELABORĂRI TEORETICE ȘI PRACTICE PRIVIND
METODA COMBINATĂ DE DESHIDRATARE A FRUCTELOR
DE PIERSIC**

Specialitatea 253.05 Procese și aparate în industria alimentară

Teză de doctor în științe ingineresti

Conducător științific:		Bernic Mircea	dr. hab., prof. univ.
		Țislinscaia Natalia	dr., conf. univ.
Consultanți științifici:		Ghendov-Moșanu Aliona	dr. hab., conf. univ.
		Deseatnicova Olga	dr., prof. univ.
		Sandulachi Elisaveta	dr., conf. univ.
Autor		Vișanu Vitali	

CHIȘINĂU, 2023

© Vişanu Vitali, 2023

CUPRINS

ADNOTARE.....	5
АННОТАЦИЯ.....	6
ANNOTATION.....	7
LISTA TABELELOR.....	8
LISTA FIGURILOR	9
LISTA ABREVIERILOR	12
INTRODUCERE.....	13
1. ASPECTELE TEORETICE ALE PROCESULUI DE DESHIDRATARE A FRUCTELOR	
 DE PIERSIC	21
1.1. Principiile de bază ale teoriei transferului de masă și căldură în procesul de uscare a produselor cu structură capilar – poroasă	21
1.2. Aspecte teoretice moderne ale tratării cu microunde în produsele vegetale	28
1.3. Modificări fizico - chimice ce au loc la deshidratarea produselor vegetale.....	31
1.4. Aplicații moderne destinate deshidratării produselor vegetale.....	34
1.5. Direcțiile de perspectivă în tehnologia procesului de deshidratare	43
1.6. Fructele de piersic – materie primă valoroasă pentru deshidratare	46
1.6.1. Descrierea culturală a piersicilor	46
1.6.2. Ariea de cultivare și dinamica piersicilor în Republica Moldova	47
1.6.3. Caracteristica fructelor de piersic	49
1.6.4. Metode de valorificare a fructelor de piersic	49
1.6.5. Compoziția fizico – chimică, proprietăți nutriționale, mecanice și termofizice a piersicilor	51
Concluziile la capitolul 1	51
2. MATERIALE ȘI METODE DE CERCETARE.....	52
2.1. Materia primă – fruct de piersic	52
2.2. Reactivi și materiale de laborator	53
2.3. Standul experimental destinat studiului procesului de deshidratare al piersicilor	53
2.4. Măsurarea variației parametrilor procesului de deshidratare.....	56
2.5. Metoda de măsurare a parametri mediului.....	58
2.6. Etapele de pregătire a fructelor de piersici pentru procesare.....	58
2.7. Determinarea indicilor de calitate a fructelor de piersic	59
2.8. Simularea curgerii fluidului prin camera de lucru în procesul de deshidratare	60
2.9. Prelucrarea statistică a datelor experimentale	61
Concluziile la capitolul 2	62

3. CERCETAREA CINETICII PROCESULUI DE DESHIDRATARE A FRUCTELOR DE PIERVIC	63
3.1. Simularea curgerii fluidului prin camera de uscare	63
3.2. Determinarea răspândirii câmpului de temperaturi la aplicarea microundelor	70
3.3. Studiul cineticii al procesului de dehidratare prin metoda convecției forțate a fructelor de piersic	72
3.4. Studiul cineticii procesului de deshidratare prin aplicarea microundelor a fructelor de piersic ..	77
3.5. Studiul cineticii procesului de deshidratare prin metoda combinată a fructelor de piersic	79
3.6. Cercetarea consumului de energie electrică în funcție de metoda de uscare	82
3.7. Modelarea matematică a procesului de uscare a fructelor de piersic	87
3.7.1. Modelarea matematică a transferului de masă și căldură pentru instalațiile cu microunde ..	87
3.7.2. Modelarea matematică a consumului de energie în procesul de uscare a fructelor de piersic ..	91
Concluziile la capitolul 3	96
4. INFLUENȚA PROCEDEELOR DE DESHIDRATARE ASUPRA CALITĂȚII FRUCTELOR DE PIERVIC	97
4.1. Analiza senzorială a mostrelor de piersici uscate prin diferite metode	97
4.2. Modelarea matematică a procesului de uscare a fructelor de piersic în funcție de parametri de calitate ai produsului finit	105
4.3. Modificarea aspectului fructelor de piersici în funcție de temperatura de uscare	109
4.4. Conținutul și activitatea antioxidantă ale polifenoli în fructele de piersic în funcție de temperatura uscării	110
Concluziile la capitolul 4	113
CONCLUZII GENERALE	114
RECOMANDĂRI	115
BIBLIOGRAFIE	117
CONTRIBUȚII PROPRII ÎN TEZĂ	129
ANEXE ..	131
DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII	142
CV-UL CANDIDATULUI	143

ADNOTARE

Vișanu Vitali: Elaborări teoretice și practice privind metoda combinată de deshidratare a fructelor de piersic, teză de doctor în științe inginerești, Chișinău, 2023.

Structura tezei: Constă din introducere, 4 capitole, concluzii, recomandări, bibliografie cu 230 surse. Textul de bază conține 116 pagini format A4, inclusiv 83 de figuri și 15 tabele.

Cuvinte cheie: Convecție, SHF, metoda combinată, cinetica, model matematic, polifenoli, calitate.

Scopul lucrării: Elaborări teoretice și practice a procesului de obținere a fructelor deshidratate de calitate prin aplicarea metodei combinate de uscare: deshidratarea fructelor prin convecție forțată în combinație cu tratarea fructelor cu microunde orientate perpendicular față de obiectul de uscare și determinarea modificărilor fizico-chimice și senzoriale ale fructelor de piersic uscate obținute prin metoda combinată.

Obiectivele lucrării: Proiectarea și elaborarea instalației destinată procesului de deshidratare a fructelor prin metoda combinată; descrierea construcției și verificarea funcționării instalației experimentale; aprecierea influenței caracteristicilor fizice ale aerului asupra dinamicii modificării umidității piersicilor în procesul de uscare; analiza cineticii procesului de deshidratare a piersicilor în dependență de parametri metodei aplicate; determinarea consumului de energie în procesul de uscare a piersicilor; determinarea modificărilor fizice, fizico - chimice și senzoriale ale piersicilor în procesul de uscare; modelarea matematică a procesului de uscare a fructelor de piersic în funcție de parametri de calitate ai produsului finit.

Noutatea și originalitatea științifică: Constă în argumentarea teoretică și realizări practice a eficacității metodei combinate de uscare a fructelor de piersic cu aplicarea convecției forțate și tratarea cu microunde estimate pe baza modelelor matematice elaborate, care reflectă consumul rațional de energie, concomitent cu protejarea calității fructelor uscate de caramelizare și oxidare.

Rezultate principale: S-a elaborat o nouă metodă combinată de deshidratare a produselor vegetale cu stabilizarea aspectului natural și valorii nutritive obținute la un consum redus de energie, metoda presupune combinarea simultană a convecției forțate cu temperatura agentului termic cuprinsă între 50 - 70°C, viteza agentului 2,0 - 2,5 m/s și utilizarea curenților de frecvență supra înaltă 2450 MHz în regimuri de impulsuri active 7 - 10 secunde cu puterea magnetronului de 900 W, produsul supus cercetărilor au servit piersicile fiind feliate în rondele cu grosimea de 3 - 4 mm.

Semnificația teoretică: Semnificația teoretică: s-a descris fenomenul de transfer de masă și căldură (Lykov); fenomenul difuziei la nivel celular (Amit, Datta și Spanswick); fenomene de transfer pentru starea de schimb de fază (Darcy, Bird și Fick); s-a determinat răspândirea optimă a câmpului de temperaturi și vitezei aerului prin simularea numerică, software ANSYS și experimental; s-a elaborat modelul matematic al transferului de temperatură și umiditate la uscarea cu microunde (Maxwell și Lykov); s-a elaborat modelul matematic care poate determina cantitatea de căldură necesară evaporării umidității din produs (Brandon); s-a elaborat o metodă nouă de uscare, care presupune deshidratarea produsului prin combinarea simultană a convecției forțate și a microundelor.

Valoare aplicativă: S-au depus 2 cereri de brevet de invenție cu privire la procedeul de deshidratare a fructelor de piersici, prin metoda convecției forțate, nr. 2424 din 10.04.2023 și cu aplicarea microundelor nr.2423 din 10.04.2023.

Implementarea rezultatelor științifice: A fost proiectată și elaborată instalația de laborator pentru uscarea fructelor și legumelor, brevet MD.1295 Z 2019.07.31. Rezultatele obținute au fost implementate pentru modernizarea unei instalații de uscare de tip tunel din raionul Edineț.

АННОТАЦИЯ

Вишану Виталий: Теоретические и практические разработки комбинированного метода обезвоживания плодов персика, кандидатская диссертация по техническим наукам, Кишинев, 2023.

Структура диссертации: Состоит из введения, 4 глав, выводов, рекомендаций, библиографии из 230 источников. Основной текст содержит 105 страниц формата А4, в том числе 83 рисунка и 15 таблиц.

Ключевые слова: конвекция, СВЧ, комбинированная сушка, кинетика, математическая модель, полифенолы, качество.

Цель работы: Теоретическая и практическая проработка процесса получения качественных сушеных плодов с применением комбинированного метода сушки: обезвоживание плодов принудительной конвекцией в сочетании с обработкой плодов микроволнами, направленными перпендикулярно объекту сушки и определением физико-химических и органолептических изменений сушеных персиков, полученных комбинированным способом.

Задачи работы: Проектирование и разработка установки для обезвоживания плодов комбинированным способом; описание конструкции и проверки работы экспериментальной установки; оценка влияния физических характеристик воздуха на динамику изменения влажности персиков в процессе сушки; анализ кинетики процесса обезвоживания персика в зависимости от параметров применяемого метода; определение энергозатрат в процессе сушки персиков; определение физических, физико-химических и органолептических изменений персиков в процессе сушки; математическое моделирование процесса сушки персика по параметрам качества готового продукта.

Научная новизна и оригинальность: заключается в теоретическом обосновании и практических достижениях эффективности комбинированного способа сушки персиков с применением принудительной конвекции и СВЧ-обработки, оцененной на основе разработанных математических моделей, отражающих рациональное потребление энергии, сохраняя при этом качество фруктов, высушенных путем карамелизации и окисления.

Основные результаты: Разработан новый комбинированный способ обезвоживания овощной продукции со стабилизацией естественного вида и пищевой ценности, полученной при малых энергозатратах, способ предполагает одновременное сочетание принудительной конвекции с температурой теплового агента 50 - 70°C, скорость агента 2,0 - 2,5 м/с и использование токов высокой частоты выше 2450 МГц в активных импульсных режимах 7 - 10 секунд при мощности магнетрона 900 Вт, исследуемым продуктом служили нарезанные персики. на крути толщиной 3 - 4 мм.

Теоретическая значимость: Теоретическая значимость: описано явление массотеплообмена (Лыков); явление диффузии на клеточном уровне (Амит, Датта и Спансвик); явления передачи состояния с изменением фазы (Дарси, Бёрд и Фик); оптимальный разброс температурного поля и скорости воздуха определялся численным моделированием в программе ANSYS и экспериментально; разработана математическая модель переноса температуры и влаги при СВЧ-сушке (Максвелл, Лыков); разработана математическая модель, позволяющая определить количество тепла, необходимое для испарения влаги из продукта (Брэндон); разработан новый метод сушки, который заключается в обезвоживании продукта за счет одновременного сочетания принудительной конвекции и микроволн.

Прикладное значение: поданы 2 патентные заявки на процесс обезвоживания персиков методом принудительной конвекции, №. № 2424 от 10.04.2023 и с применением СВЧ № 2423 от 10.04.2023.

Внедрение научных результатов: Разработана и разработана лабораторная установка для сушки фруктов и овощей, патент МД.1295 Z 2019.07.31. Полученные результаты были реализованы для модернизации сушильной установки тоннельного типа в Единецком районе.

ANNOTATION

Vişanu Vitali: Theoretical and practical elaborations on the combined method of peach fruit dehydration, PhD thesis in engineering sciences, Chisinau, 2023.

Structure of the thesis: Consists of introduction, 4 chapters, conclusions, recommendations, bibliography with 230 sources. The main text contains 105 A4 pages, including 83 figures and 15 tables.

Keywords: Convection, SHF, combined drying, kinetics, mathematical model, polyphenols, quality.

The purpose of the paper: Theoretical and practical elaborations of the process of obtaining quality dehydrated fruits by applying the combined drying method: dehydration of fruits by forced convection in combination with the treatment of fruits with microwaves oriented perpendicular to the drying object and the determination of physical-chemical and sensory changes of dried peaches obtained by the combined method.

The objectives of the work: The design and development of the plant intended for the fruit dehydration process by the combined method; description of the construction and verification of the operation of the experimental facility; assessment of the influence of the physical characteristics of the air on the dynamics of changes in the humidity of peaches during the drying process; analysis of the kinetics of the peach dehydration process depending on the parameters of the applied method; determination of energy consumption in the process of drying peaches; determining the physical, physico-chemical and sensory changes of peaches in the drying process; mathematical modeling of the peach drying process according to quality parameters of the finished product.

Scientific novelty and originality: It consists in the theoretical argumentation and practical achievements of the effectiveness of the combined method of drying peaches with the application of forced convection and microwave treatment, estimated on the basis of developed mathematical models, which reflect the rational consumption of energy, while protecting the quality of the fruits dried by caramelization and oxidation.

Main results: A new combined method of dehydrating vegetable products was developed with the stabilization of the natural appearance and nutritional value obtained at a low energy consumption, the method involves the simultaneous combination of forced convection with the temperature of the thermal agent between 50-70°C, the speed of the agent 2,0 - 2,5 m/s and the use of high frequency currents above 2450 MHz in active pulse regimes 7 - 10 seconds with the magnetron power of 900 W, the product under research served peaches being sliced into rounds with a thickness of 3 - 4 mm.

Theoretical significance: Theoretical significance: the phenomenon of mass and heat transfer (Lykov) was described; the phenomenon of diffusion at the cellular level (Amit, Datta and Spanswick); phase change state transfer phenomena (Darcy, Bird and Fick); the optimal spread of temperature field and air velocity was determined by numerical simulation, ANSYS software and experimentally; the mathematical model of temperature and moisture transfer during microwave drying was developed (Maxwell and Lykov); the mathematical model that can determine the amount of heat needed to evaporate moisture from the product was developed (Brandon); a new drying method was developed, which involves dehydrating the product through the simultaneous combination of forced convection and microwaves.

Applicative value: 2 patent applications have been submitted regarding the process of dehydrating peaches, using the forced convection method, no. 2424 of 10.04.2023 and with the application of microwaves no. 2423 of 10.04.2023.

Implementation of scientific results: The laboratory installation for drying fruits and vegetables was designed and developed, patent MD.1295 Z 2019.07.31. The obtained results were implemented for the modernization of a tunnel-type drying facility in Edineţ district.

LISTA TABELELOR

Tabelul 1.1. Aplicarea principiului exponențial de transfer a umidității în modelele matematice a cineticii deshidratării fructelor și legumelor prin convecție.....	28
Tabelul 1.2. Proprietăți mecanice și fizice ale piersicilor	51
Tabelul 2.1. Caracteristicile soiurilor de piersici Springcrest, Cardinal și Redhaven	53
Tabelul 2.2. Reactivi chimici și materiale de laborator	53
Tabelul 2.3. Metode de analiză utilizate în cercetare.....	59
Tabelul 4.1. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate cu diferite grosimi	98
Tabelul 4.2. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate la diferite viteze ale aerului.....	99
Tabelul 4.3. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate la diferite temperaturi.....	101
Tabelul 4.4. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate la diferite regimuri SHF	102
Tabelul 4.5. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate prin metoda combinată.....	104
Tabelul 4.6. Indicii de calitate folosiți în modelarea matematică	105
Tabelul 4.7. Modificarea mono și dizaharidelor piersicilor în dependență de temperatura aerului de uscare.....	109
Tabelul 4.8. Conținutul total de polifenoli și activitatea antioxidantă în piersicile uscate prin convecție la diferite temperaturi ale aerului	110
Tabelul 4.9. Conținutul total de polifenoli și activitatea antioxidantă în piersicile uscate cu microunde la diferite puteri ale magnetronului	111
Tabelul 4.10. Conținutul total de polifenoli și activitatea antioxidantă în piersicile uscate prin metoda combinată.....	112

LISTA FIGURILOR

Fig.1.1. Schema de principiu al uscătorului cu încălzire intermediară: a) schema uscătorului; b) prezentarea grafică a procesului de uscare în diagrama h-x.....	38
Fig.1.2. Schema de principiu al uscătorului cu recirculare: a) schema uscătorului; b) prezentarea grafică a procesului de uscare în diagrama h-x	38
Fig.1.3. Schema de principiu al uscătorului cu încălzire intermediară și recirculare: a) schema uscătorului; b) prezentarea grafică a procesului de uscare în diagrama h-x	39
Fig.1.4. Schema de principiu al uscătorului cu circuit închis: a) schema uscătorului; b) prezentarea grafică a procesului de uscare în diagrama h-x	39
Fig.1.5. Schemă de principiu al uscătorului mobil modular	40
Fig.1.6. Uscător modular extins	41
Fig.1.7. Uscător cu raze infraroșii:.....	41
Fig.1.8. Instalație de uscare cu SHF și prin convecție:a) frontal; b) A-A	42
Fig.1.9. Tunel de uscare cu microunde:	42
Fig.1.10. Utilizarea energiei solare: (a, b) instalații de uscare cu utilizarea energiei solare	45
Fig.1.11. Utilizarea energiei biomasei.....	46
Fig.1.12. Utilizarea energiei regenerabile: a) solară, b) cu utilizarea biomasei	46
Fig.1.13. Zonele de cultivare a piersicilor: a) suprafața plantațiilor de piersic; b) repartizarea teritorială a zonelor favorabile și nefavorabile.....	47
Fig.1.14. Dinamica suprafețelor de piersic din Republica Moldova.....	48
Fig.1.15. Dinamica recoltei obținută pe o unitate de suprafață în Republica Moldova	48
Fig.1.16. Dinamica recoltei globale a fructelor de piersic în Republica Moldova.....	48
Fig.1.17. Prunus Persica.....	49
Fig.2.1. Instalația de deshidratare, vedere frontală.....	53
Fig.2.2. Schema funcțională a instalației de uscare proiectată:.....	54
Fig.2.3. Vederea frontală a instalației de cercetare	56
Fig.2.4. Camera de uscare dotată cu senzori pentru monitorizarea procesului de uscare: a) vedere frontală și b) izometrie	56
Fig.2.5. Monitorizarea procesului de deshidratare: a) senzori de temperatură DALLAS 8820; b) senzori de umiditate DALLAS 8820; c) dispozitiv electronic	57
Fig.2.6. Procesarea electronică a datelor , IgiCOM &UTM Dryer –V.2.0:	57
Fig.3.1. Domeniul computațional.....	64
Fig.3.2. Rețeaua de calcul pentru curgerea fluidului prin camera de uscare.....	65

Fig.3.3. Monitorizarea iterațiilor	66
Fig.3.4. Distribuția vitezei fluidului în întreg volum al camerei de uscare.....	66
Fig.3.5. Distribuția vitezei aerului în camera de uscare (vedere în secțiune).....	67
Fig.3.6. Distribuția vitezei aerului în camera de uscare: a) vedere frontală; b) vedere de sus)	67
Fig.3.7. Câmpul de temperatură în camera instalației:.....	68
Fig. 3.9. Instalația de cercetare: a) componenta; b) zonele de măsurare.....	70
Fig. 3.10. Reprezentarea magnetronului: a) fără ghidaj; b) cu un ghidaj; c) cu două ghidaje	70
Fig. 3.11. Distribuția câmpului: a) interpretarea grafică; b) interpretarea zonală	71
Fig. 3.12. Distribuția câmpului: a) interpretarea grafică; b) interpretarea zonală	71
Fig. 3.13. Distribuția câmpului: a) interpretarea grafică; b) interpretarea zonală	71
Fig.3.14. Curbele de uscare prin convecție a piersicilor la diferite temperaturi ale aerului	72
Fig.3.15. Curbele vitezei de uscare prin convecție la diferite temperaturi ale aerului	73
Fig.3.16. Curbele de uscare a piersicilor pentru diferite grosimi ale rondelelor	74
Fig.3.17. Curbele vitezei de uscare a piersicilor pentru diferite grosimi ale rondelelor	74
Fig.3.18. Influența grosimii produsului asupra duratei de uscare	75
Fig.3.19. Curbele de uscare a piersicilor la diferite viteze ale aerului	75
Fig.3.20. Curbele vitezei de uscare a piersicilor la diferite viteze ale aerului.....	75
Fig.3.21. Influența vitezei aerului asupra duratei de uscare.....	76
Fig.3.22. Influența temperaturii asupra duratei de uscare la diferite soiuri de piersic	76
Fig.3.23. Curbele de uscare a piersicilor la diferite puteri ale magnetronului 120 – 490 W	77
Fig.3.24. Curbele vitezei de uscare a piersicilor la diferite puteri ale magnetronului 120 – 490 W...	78
Fig.3.25. Curbele de uscare a piersicilor la diferite puteri ale magnetronului 180 – 360 W	78
Fig.3.26. Curbele vitezei de uscare a piersicilor la diferite puteri ale magnetronului 180 – 360 W ...	79
Fig.3.27. Curbele de uscare a piersicilor prin metoda combinată	79
Fig.3.28. Curbele rba vitezei de uscare a piersicilor prin metoda combinată	80
Fig.3.29. Curbele de uscare a piersicilor prin metoda combinată,	80
Fig.3.30. Curbele de uscare a piersicilor prin metoda combinată,	81
Fig.3.31. Curbele de uscare a piersicilor prin convecție, microunde și combinat.....	81
Fig.3.32. Influența metodei de tratare asupra duratei de uscare.....	82
Fig. 3.33. Consumul de energie ale rezistențelor electrice la diferite temperaturi ale aerului	83
Fig.3.34. Consumul de energie al ventilatorului la diferite viteze ale aerului	83
Fig.3.35. Consumul de energie necesar uscării produsului la diferite grosimi	83
Fig.3.36. Consumul total de energie la uscarea piersicilor prin convecție, 50 - 90°C	84
Fig.3.37. Consumul total de energie la uscarea piersicilor cu microunde 180 – 360 W	84

Fig.3.38. Consumul total de energie la uscarea piersicilor prin metoda combinată.....	85
Fig.3.39. Consumul total de energie la uscarea piersicilor prin metoda combinată.....	85
Fig.3.40. Consumul total de energie în funcție de metoda aplicată: (a) durata medie de procesare; (b) consumul mediu de energie la uscarea piersicilor	86
Fig.3.41. Dependența presiunii parțiale de temperatură la diferite conținuturi de umiditate.....	92
Fig.3.42. Căldura necesară evaporării umidității din interiorul produsului la diferite conținuturi de umiditate	93
Fig.3.43. Căldura necesară pentru evaporarea umidității de pe suprafața produsului.....	94
Fig.3.44. Cantitate maximă de căldură necesară pentru evaporarea umidității din interior și exteriorul produsului	94
Fig.4.1. Mostre deshidratate ale rondelilor de piersică cu diferite grosimi	97
Fig.4.2. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate cu diferite grosimi	98
Fig.4.3. Mostre de piersici deshidratate la diferite viteze ale aerului.....	99
Fig.4.4. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate la diferite viteze ale aerului	100
Fig.4.5. Mostre de piersici deshidratate la diferite temperaturi ale aerului, ($v_a=2,0 \pm 0,1$ m/s, $\delta_p =$ $4 \pm 0,5$ mm)	100
Fig.4.6. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate la diferite temperaturi ale aerului	101
Fig.4.7. Mostre de piersici deshidratate la diferite puteri ale magnetronului 180 – 360 W, ($v_a = 2,0$ $\pm 0,1$ m/s, $\delta_p = 4 \pm 0,5$ mm)	102
Fig.4.8. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate la diferite regimuri ale microundelor ...	103
Fig.4.9. Mostre de piersici deshidratate prin metoda combinată.....	103
Fig.4.10. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate prin metoda combinată.....	104
Fig.4.11. Similitudinea modelului matematic la uscarea prin convecție forțată	108
Fig.4.12. Similitudinea modelului matematic la uscarea cu microunde	109
Fig.4.13. Similitudinea modelului matematic la uscarea prin metoda combinată	110
Fig.4.14. Dependența activității antioxidante a polifenolilor variază în limitele 91 – 94%.....	111
Fig.4.15. Corelația dintre activitatea antioxidantă și conținutul total de polifenoli în probele de piersici uscate	111
Fig.4.16. Corelația dintre activitatea antioxidantă și conținutul total de polifenoli în probele de piersici uscate	112

LISTA ABREVIERILOR

a	Conductivitate termică, $W/m \cdot K$.
a_m	Coeficientul de difuzie a umidității, m^2/s .
a_p	Coeficientului de difuzie, m^2/s .
b_l	Forma geometrică al produsului.
c	Căldura specifică, $J/kg \cdot ^\circ K$.
D_i	Difuzia intercelulară, m^2/s .
E	Puterea câmpului electric în V/m^3 .
f	Frecvență, Hz.
j_{ic}	Fluxul masic de vapori de apă/volum de unitate, eliberat în spațiul intracelular.
j_{ip}	Fluxul masic de vapori de apă/volum de unitate, eliberat în spațiul intercelular.
k	Permeabilitatea mediului poros, md.
M_b	Cota de umiditate în starea legată, %.
M_e	Corespunde conținutului de umiditate de echilibru, %.
M_f	Cota de umiditate în starea liberă, %.
M_o	Corespunde conținutului inițial de umiditate, %.
n_1 și n_2	Constante cinetice definite de Kiranoudis.
P	Presiunea gazului (aerului), Pa.
P_i	Presiunea vaporilor de apă, Pa.
Q	Căldură de evaporare, J.
q	Sursa de căldură a microundelor, W/m^3 .
r_b	Rata de conversie, %.
SHF	Curenți cu frecvență supra-înaltă, Hz.
u_τ	Conținutul de umiditate într-un anumit moment de timp, %.
T	Temperatura absolută, $^\circ K$.
t	Temperatura aerului, $^\circ C$.
u	Conținutul de umiditate, %.
u_r	Umiditatea relativă a aerului, %.
Δ	Coeficient termo - gradient, $1/grad$.
ε	Permitivitatea complexă, F/m.
ε'	Constanta dielectrică.
ε''	Pierderile dielectrice.
ε_o	Permitivitatea spațiului liber, F/m.
λ	Căldură latentă, J/kg .
∇p	Gradient de presiune, Pa.
μ	Vâscozitatea dinamică a fluidului, $Pa \cdot s$.
μ_i	Vâscozitatea spațiului intercelular, $Pa \cdot s$.
μ_w, μ_g	Vâscozitatea fazei lichide și gazoase, $Pa \cdot s$.
ρ	Densitatea materiei prime, kg/m^3 .
ρ_i	Densitatea vaporilor de apă, kg/m^3 .
σ	Conductivitatea a mediului, S/m.
ϕ_i	Porozitatea mediului, %.
P_c	Presiunea capilară, Pa.
P_v	Puterea conservată, W/m^3 .
v_o	Viteza curgerii fluidului, m/s.
v_a	Viteza aerului, m/s.
λ	Coeficient de conductivitate termică, W/m^2K .
δ_p	Grosimea rondelei, mm.

INTRODUCERE

Dezvoltarea dinamică a industriei alimentare se desfășoară prin schimbări profunde în tehnologii și tehnici. În prezent, progresul tehnic în industria alimentară se bazează pe investigații științifice. Din punct de vedere teoretic și aplicativ, asigurarea stabilității calității alimentare din fructe prin procesul de deshidratare prezintă o problemă de importanță majoră. Deshidratarea fructelor este un proces tehnologic prin care se elimină o cantitate de apă până la $a_w < 0,6$, care duce la distrugerea microorganismelor, inactivarea enzimelor și reducerea vitezelor reacțiilor chimice în produsul finit (Tatarov, 2017; Rockland et al., 2020).

Deshidratarea sau uscarea fructelor se realizează prin diverse metode: uscarea în aer prin convecție și / sau radiație. Uscarea tradițională în aparate de tip tunel, cu benzi și altele, toate aceste metode au diverse dezavantaje: se modifică culoarea naturală și valoarea nutrițională a fructelor uscate, are loc reacția Maillard de caramelizare, reacția de oxidare a compușilor fenolici, etc. Având în vedere cele expuse, au fost realizate cercetări teoretice și experimentale în scopul obținerii cunoștințelor noi despre procedeele care permit obținerea fructelor deshidratate de calitate.

Una din direcțiile de perspectivă în asigurarea stabilității fructelor prezintă metoda de conservare a acestora prin deshidratare în câmp electro-magnetic de înaltă frecvență. Sensul metodei constă în tratarea fructelor cu microunde care conduce la creșterea temperaturii în întreg volum al fructelor, urmată de evaporarea apei și formarea produsului uscat.

În conformitate cu aceasta direcție strategică, una din problemele de importanță semnificativă prezintă fabricația industrială a produselor alimentare deshidratate de origine vegetală, în special a fructelor deshidratate. Actualmente în Republica Moldova, în general, fabricația fructelor și legumelor deshidratate (uscate) este organizată la circa 70 de întreprinderi mici și mijlocii. La aceste întreprinderi procesul de producere se bazează pe tehnologii tradiționale și instalații de uscare vechi cu consum ridicat de energie termică. Modernizarea tehnică a procesului tehnologic de fabricație a fructelor uscate poate fi realizată pe baza investigațiilor în domeniu ingineriei tehnologice.

În scopul modernizării sistemelor tehnologice și tehnice de uscare a fructelor și legumelor, au fost desfășurate cercetări științifice de mai mulți savanți din diferite țări, inclusiv din Republica Moldova. La Universitatea Tehnică a Moldovei, pe parcursul a mai multor ani au fost desfășurate cercetări științifice în domeniu procesării și obținerii produselor alimentare deshidratate. Lucrările științifice a savanților: Carajia V., Lupașco A., Bernic M., Carabulea B., Țislinscaia N., Ghendov-

Moșanu A., și alții, care au adus un impact semnificativ în rezolvarea problemelor legate de deshidratarea alimentelor.

În prezent, valorificarea și optimizarea sortimentului de fructe deshidratate prezintă o preocupare permanentă a specialiștilor din agricultură și industria alimentară. Plantațiile de piersic ocupă al treilea loc după suprafață și volum de producție în Republica Moldova (Popa, 2016). În ultimii ani, predominant în zona de sud, cantități enorme de piersici nu au fost culese, au fost alterate, din motiv că sunt fructe perisabile. Ca consecință cantități enorme rămân nevalorificate. Pentru a evita această pierdere se propune uscarea lor, care prezintă o mulțime de avantaje: piersicile uscate sunt mai compacte ceea ce duce la economisirea spațiului de depozitare, reducerea cheltuielilor la transportare, se mărește considerabil perioada de păstrare, consumul piersicilor deshidratate prezintă beneficii pentru sănătate, etc.

Fructele de piersic sunt cunoscute datorită importantelor proprietăți terapeutice și a gamei diverse de vitamine precum vitamina C, A, B, E și a unui conținut bogat de substanțe minerale ca Fe, Mg, P, Cu, Zn, I, Ka, Se, fitonutrienți, antioxidanți și carotenoizi. Datorită proprietăților antioxidante ale piersicilor sunt folosiți în cosmetologie păstrează pielea sănătoasă, ajută la regenerarea țesutului pielii, reduce stresul, anxietatea, previne cancerul, au un efect diuretic și ușor laxativ, sunt afrodisiace. Piersicile uscate au un conținut ridicat de fibre ce stimulează sistemul imunitar, stimulează sucurile gastrice, sunt benefice în gastrită, etc., (Iordănescu et al., 2015; Geçer, 2020; Hudina, 2022).

Problema valorificării piersicilor în RM este actuală și foarte importantă, în ultimii ani cantități enorme de piersici în deosebi de la sudul țării rămân pe copaci sau date jos lăsate să se strice, din motive că nu pot fi realizate și că produsul e ușor alterabil. În prezent în Republica Moldova cât și peste hotarele ei, piersicile deshidratate ar prezenta un produs nou strategic pe piața fructelor uscate, fiind unul competitiv și care nu ar avea concurență cu alte fructe uscate.

În lucrarea de față cercetările experimentale a cineticii procesului de uscare a fructelor, în special a piersicilor, au fost executate cu ajutorul instalației experimentale unde s-au utilizat curenții de frecvență supra înaltă (SHF). Sunt prezentate rezultatele experimentale a procesului de deshidratare și modificările fizico - chimice ale fructelor de piersic.

Actualitatea temei constă în direcția prioritară de reînnoire și aplicarea în industria alimentară a tehnologiilor și utilajului modern, procedeele și sistemelor de fabricație a produselor alimentare de calitate, cu conținut redus de energie.

Ipoteza de cercetare. *Reducerea consumului de energie și ameliorarea calității produselor în procesul de eliminare a apei libere și apei legate fizico-chimic din fructe pe*

parcursul procesului de uscare poate fi realizată prin metoda combinată, care include convecție forțată și tratarea cu microunde în câmp electromagnetic.

Scopul cercetării. Elaborări teoretice și practice a procesului de obținere a fructelor deshidratate de calitate prin aplicarea metodei combinate de uscare: deshidratarea fructelor prin convecție forțată în combinație cu tratarea fructelor cu microunde orientate perpendicular față de obiectul de uscare și determinarea modificărilor fizico-chimice și senzoriale ale fructelor de piersic uscate obținute prin metoda combinată.

Obiectivele lucrării: Pentru a realiza scopul cercetărilor în conformitate cu ipotezele științifice expuse, au fost formulate următoarele obiective principale și specifice:

1. Proiectarea și elaborarea instalației destinată cercetărilor experimentale a procesului de deshidratare a fructelor prin combinare metodelor convecție forțate și tratarea cu microunde în câmp electromagnetic:
 - *Schițarea 2D și proiectarea 3D a instalației de uscare în SolidWorks;*
 - *Fabricarea, sudarea pieselor de bază, și asamblarea instalației de cercetare;*
 - *Montarea componentelor pentru metoda convecției, (ventilatorul și tenul electric);*
 - *Montarea microundei în cadrul instalației și a magnetronului în camera de uscare;*
 - *Instalarea și conectarea cântarului, senzorilor de temperatură, umiditate, etc.*
2. Descrierea construcției și verificarea funcționării instalației experimentale pentru studiul procesului de deshidratare a produselor vegetale, a piersicilor:
 - *Verificarea funcționării instalației la uscarea prin convecție, (funcționarea ventilatorului, tenului electric, mecanismului de reglare a temperaturii, etc.);*
 - *Verificarea funcționării instalației la uscarea cu aplicarea microundelor, (verificarea la etanșeitate, și la supra încălzirea magnetronului);*
 - *Verificarea funcționării instalației la combinarea simultană a convecției și microundelor.*
3. Aprecierea influenței caracteristicilor fizice ale aerului asupra dinamicii modificării umidității piersicilor în procesul de uscare:
 - *Cercetarea influenței temperaturii aerului în camera de lucru asupra dinamicii modificării umidității piersicilor în procesul de uscare;*
 - *Cercetarea influenței vitezei aerului în camera de lucru asupra dinamicii modificării umidității piersicilor în procesul de uscare;*
 - *Cercetarea influenței umidității aerului asupra dinamicii modificării umidității piersicilor în procesul de uscare;*

4. Analiza cineticii procesului de deshidratare a piersicilor în dependență de parametrii convecției forțate și a câmpului electromagnetic al microundelor:
 - *studiul cineticii procesului de uscare a piersicilor prin convecție;*
 - *studiul cineticii procesului de uscare a piersicilor cu aplicarea microundelor;*
 - *studiul cineticii procesului de uscare a piersicilor prin combinarea simultană a convecției și a microundelor.*
5. Determinarea consumului de energie în procesul de uscare a piersicilor prin metoda combinată:
 - *Determinarea consumului de energie în procesul de uscare a piersicilor prin metoda convecției, (ventilatorul, invertorul, tenul electric, etc);*
 - *Determinarea consumului de energie în procesul de uscare a piersicilor la aplicarea microundelor, (ventilatorul, invertorul, microunda, etc);*
 - *Determinarea consumului de energie în procesul de uscare a piersicilor prin metoda convecției și cu microunde (ventilator, invertorul, tenul electric, microunda, etc).*
6. Determinarea modificărilor fizice, fizico-chimice și senzoriale ale piersicilor în procesul de uscare cu aplicarea metodei combinate:
 - *Analiza organoleptică a mostrelor de piersici uscate prin diferite aporturi de energie;*
 - *Determinarea modificărilor mono- și dizaharidelor piersicilor în dependență de temperatura de uscare;*
 - *Determinarea conținutului și activității antioxidante ale polifenolilor în fructele de piersic în dependență de temperatura uscării.*
7. Modelarea matematică a procesului de uscare a fructelor de piersic în funcție de parametri de calitate ai produsului finit:
 - *Elaborarea modelului matematic al transferului de masă și căldură în instalațiile cu utilizarea microundelor;*
 - *Elaborarea modelului matematic ce prezintă dependența consumului de căldură în funcție de volumul evaporării apei din produs;*
 - *Elaborarea modelului matematic ce prezintă dependența calității piersicilor uscate de parametrii procesului de uscare.*

Metodologia de cercetare include cercetări teoretice a transferului de masă și căldură în procesul de deshidratare a fructelor de piersici. Metode experimentale fizice, chimice și fizico-chimice a procesului de uscare prin metoda combinată, metode fizico-chimice, spectrofotometrice și senzoriale de apreciere a calității piersicilor uscate.

Noutatea și originalitatea științifică. Constă în argumentarea teoretică și realizări practice a eficacității metodei combinate de uscare a fructelor de piersic cu aplicarea convecției forțate și tratarea cu microunde, estimate pe baza modelelor matematice elaborate, care reflectă consumul rațional de energie, concomitent cu protejarea calității fructelor uscate de caramelizare și oxidare.

Problema științifică soluționată. S-a demonstrat că în procesul de deshidratare a fructelor de piersic tăiate sub formă de placă cu dimensiuni limitate, viteza difuziei umidității din centru la suprafața mostrelor, depinde de temperatura și dimensiunile fructelor tăiate, în urma acțiunii microundelor cu frecvența 2450 MHz, în regim de impulsuri cu durată de 7 - 10 secunde și intervalul de pauză timp de $\Delta\tau = 23 - 20$ secunde.

Importanța teoretică și inovația științifică a lucrării: s-au descris fenomenele de transfer de masă și căldură pentru produse cu structură capilar – poroasă; s-a descris fenomenul difuziei la nivel celular; s-au elaborat modele matematice capabile să determine cantitatea de energie termică disipată din energia electrică; a fost elaborat un model matematic al transferului de masă și căldură pentru instalațiile cu microunde; s-a întocmit un model matematic al consumului de energie termică în procesul de uscare a fructelor de piersic; s-a determinat răspândirea câmpului de temperaturi în interiorul camerei de uscare; s-au elaborat simulări ale curgerii fluidului prin camera de uscare în timpul procesului de lucru; s-a determinat răspândirea câmpului de temperaturi la uscarea în câmp electro-magnetic; s-a elaborat o metodă nouă de uscare combinată, ce permite deshidratarea unei game largi de produse vegetale de calitate.

Lucrarea a fost efectuată în baza cercetărilor și experienței acumulate la realizarea următoarelor proiecte de cercetare naționale și internaționale:

1. **16.80015.5807.208T.** ”Implementarea tehnologiei inovaționale de procesare a tescovinei de struguri pentru obținerea unei produceri non-deșeuri în industria vinicolă”, director de proiect, dr. hab., prof. univ., Mircea Bernic.
2. **15.187.05.04F.** Sporirea eficacității proceselor de deshidratare a produselor vegetale cu utilizarea metodelor netradiționale ale aportului de energie, director de proiect, dr. hab., prof. univ., Mircea Bernic;
3. **Proiect: Contract Nr. 2II.** Dezvoltarea și funcționarea Incubatorului de Inovare „Politehnica” și dezvoltarea infrastructurii acestuia prin consolidarea capacităților de promovare și diseminarea inovațiilor UTM. Director: dr. hab., prof. univ., Mircea Bernic.
4. **19.80012.50.14A"** Simularea matematică computerizată a fenomenelor de transfer în produse vegetale umede la tratarea cu microunde, director dr. Marin Guțu.

5. **SOFT/1.2/83** ”Valorificarea inteligentă a deșeurilor industriale agroalimentare (INTEL-WASTES)”, director de proiect, dr. hab., prof. univ., Rodica Sturza.
6. **20.80009.5107.09.** Îmbunătățirea calității și siguranței alimentelor prin biotehnologie și ingineria alimentară. Director de proiect dr. hab., prof. univ., Rodica Sturza.

Valoarea aplicativă a lucrării: S-au realizat 2 procedee de uscare a piersicilor prin convecție forțată și cu aplicarea microundelor unde s-a obținut stabilizarea aspectului natural și a valorii biologice a piersicilor deshidratate cu un consum redus de energie. S-au depus cereri de brevet privind procedeul de deshidratare a fructelor de piersici prin metoda convecției forțate, nr. 2424 din 10.04.2023 și cu aplicarea microundelor nr.2423 din 10.04.2023.

Implementarea rezultatelor științifice: A fost proiectată și elaborată instalația de laborator pentru uscarea fructelor și legumelor, brevet MD.1295 Z 2019.07.31. De asemenea rezultatele obținute au fost implementate pentru modernizarea unei instalații de uscare din raionul Edineț. În rezultatul implementării a fost instalat un sistem de generare a căldurii care a contribuit la reducerea consumului de energie cu circa 17 %.

Aprobarea lucrării la foruri științifice. Rezultatele obținute pe parcursul realizării lucrării au fost prezentate și discutate la conferințe, simpozioane și saloane de inventică:

1. Culegeri de lucrări ale conferințelor internaționale a studenților, masteranzilor și doctoranzilor în Republica Moldova: 10 lucrări, 2016 – 2023,
2. Culegeri de lucrări ale conferințelor internaționale în Republica Moldova: 12 lucrări, MTFI 2014 – 2022;
3. Conferința internațională „Conferința Națională cu Participare Internațională a Universității Alma Mater din Sibiu”, Sibiu (2015);
4. „Modern Technologies in the Food Industry”, Chișinău (MTFI 2014, 2016, 2018, 2023);
5. ”Biotechnologies, present and perspectives”, Suceava (2018, 2020, 2022);
6. Simposiumul Internațional „EuroAliment – 2017”, Galați (2017);
7. Simposiumul Internațional European Exhibition of Creativity and Innovation „EuroInvent”, Iași (2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023);
8. Salonul Internațional al Cercetării Științifice, Inovării și Inventicii „Pro-Invent”, Cluj-Napoca (2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023);
9. Târgul Internațional de Inventică și Educație Creativă pentru Tineret, ediția a II-a, Suceava (2020, 2021, 2022, 2023);
10. Simposiumul Internațional „Inovation and Creative Education Fair for Youth” ICE – USV, Suceava (2019, 2020, 2021, 2022);

11. Simposiul Internațional „European Exhibition of Creativity and Innovation” „Inventica”, Iași ((2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023);
12. Simposiul Internațional „UGAL Invent ”, Galați (2018, 2019, 2020);
13. Simposiul Internațional „INFOINVENT”, Chișinău (2015, 2017, 2019, 2021).

La tematica tezei au fost publicate:

- Articole în reviste științifice – 5.
- Articole în lucrările conferințelor și altor manifestări științifice – 8.
- Brevete de invenție și alte obiecte de proprietate intelectuală (OPI) – 8.

Sumarul capitolelor tezei. Lucrarea este expusă pe 147 pagini dintre care 116 text de bază și include următoarele: adnotare în limbile română, rusă și engleză, introducere, 4 capitole, concluzii și bibliografie cu 207 de titluri, lucrarea este ilustrată cu 83 de figuri, 15 tabele.

În introducere sunt relevate motivația alegerii metodei ca obiect de cercetare, actualitatea și importanța temei alese, scopul și obiectivele cercetării, ipoteza științifică, sinteza metodologiei de cercetare, importanța teoretică și inovația științifică, valoarea aplicativă a rezultatelor obținute și sumarul capitolelor tezei.

Capitolul 1. Aspectele teoretice moderne ale procesului de uscare a fructelor de piersic, cuprinde descrierea principiilor de bază ale teoriei de transfer de masă și căldură în procesul de uscare a produselor cu structură capilar – poroasă, descrierea aspectelor teoretice moderne ale tratării cu microunde în produsele vegetale umede, analize ale schimbărilor fizico - chimice în procesul de tratare termică a fructelor și legumelor, cercetarea tehnicii și tehnologiei moderne de uscare a fructelor și legumelor, în deosebi ai piersicilor, determinarea direcțiilor de bază ale perfecționării tehnicii și tehnologiei procesului de uscare, cercetarea piersicului ca obiect de studiu.

Capitolul 2. Materiale și metode de cercetare, se descrie materia primă, reactivi și materiale de laborator, include descrierea standului experimental pentru studiul cineticii procesului de uscare a piersicilor, se descrie metoda de măsurare a scăderii de masă și temperatură, metoda de măsurare a parametrii mediului, descrierea metodei de uscare a piersicilor prin convecție, cu aplicarea microundelor și combinată, se descrie metodele de determinare a indicilor de calitate a fructelor de piersic, s-a elaborat simularea curgerii fluidului prin camera de uscare în procesul de cercetare și prelucrarea statistică a datelor experimentale.

Capitolul 3. Cercetarea cineticii procesului de deshidratare a fructelor de piersic, sunt elaborate simulări ale curgerii fluidului prin camera de uscare, s-a determinat răspândirea câmpului

de temperaturi la aplicarea microundelor, este descrisă cinetica procesului de uscare a piersicilor prin convecție, cu aplicarea microundelor și prin metoda combinată; s-a determinat consumul de energie conform metodei și parametrilor de uscare, s-a elaborat modelarea matematică a procesului de uscare a piersicilor.

Capitolul 4. Influența procedeeleor de uscare asupra calității fructelor de piersic, s-a efectuat analiza senzorială a mostrelor de piersici uscate prin diferite aporturi de energie și regimuri, modelarea matematică a procesului de uscare a fructelor de piersic în funcție de parametri de calitate ai produsului finit, s-a determinat conținutul de zaharuri la metoda convecției s-a determinat conținutul de polifenoli și activitatea antioxidantă ale piersicilor uscate pentru diferite regimuri termice.

Cuvinte cheie: Convecție, SHF, metodă combinată, cinetica, model matematic, polifenoli, calitate.

1. ASPECTELE TEORETICE ALE PROCESULUI DE DESHIDRATARE A FRUCTELOR DE PIERSIC

1.1. Principiile de bază ale teoriei transferului de masă și căldură în procesul de uscare a produselor cu structură capilar – poroasă

Una din cele mai energointensive operații de procesare a fructelor și legumelor este uscarea. Tot odată, aceasta reprezintă una din cele mai eficiente metode de conservare folosită în prezent. Uscarea legumelor și fructelor se bazează pe un fenomen complex bazat pe transferul simultan de masă, căldură și impuls care este dependent atât de parametri procesului cât și de proprietățile și structura produsului. Deci, pentru alegerea metodei optime de uscare este necesar un studiu amplu, individual al fenomenelor de transfer pentru fiecare tip de produs.

În acest context a fost necesar de realizat un studiu individual pentru corpurile capilar poroase la care se referă și piersicile, un fruct strategic pentru Republica Moldova datorită condițiilor favorabile de cultivare în această zonă. Structura pericarpului este caracterizată prin capilare evidențiate în mare parte umplute cu apă liberă. Deci interes deosebit pentru acest tip de produse este difuzia umidității prin aceste capilare.

Pentru prima dată noțiunea de „difuzia termică a umidității în corpuri capilar – poroase,, este descrisă de către inginerul rus A.V. Lykov în teza sa în care a prezentat un fenomen nou - difuziunea termică a umidității în corpurile capilare-poroase pe parcursul uscării, (Lykov 1959). În literatura de specialitate, acest fenomen de transfer a căldurii și umidității este cunoscut sub numele de efectul „Lykov”. Descrierea transferului de căldură, masă și presiune este posibilă cu ajutorul sistemului de ecuații Lykov care țin cont de efectele încrucișate și este construită pe baza termodinamicii liniare a proceselor ireversibile care include trei ecuații, fiecare dintre acestea cuprinzând trei operatori Laplace:

$$\begin{aligned}\partial T / \partial \tau &= K_{11} \nabla^2 T + K_{12} \nabla^2 \theta + K_{13} \nabla^2 p, \\ \partial \theta / \partial \tau &= K_{21} \nabla^2 T + K_{22} \nabla^2 \theta + K_{23} \nabla^2 p, \\ \partial p / \partial \tau &= K_{31} \nabla^2 T + K_{32} \nabla^2 \theta + K_{33} \nabla^2 p.\end{aligned}\tag{1.1}$$

Lykov folosind metodele termodinamicii proceselor ireversibile a creat teoria transferului de căldură și masă interconectate în timpul transformărilor de fază. Sistemul rezultat al ecuațiilor diferențiale în cazul unidimensional are forma:

$$\begin{aligned}c\rho \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \psi \rho Q \frac{\partial u}{\partial t}, \\ \frac{\partial u}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(a_m \frac{\partial u}{\partial x} + a_m \delta \frac{\partial T}{\partial x} \right).\end{aligned}\tag{1.2}$$

unde: T este temperatura absolută a sistemului, °K;

u - conținutul de umiditate, %;

a_m - coeficientul de difuzie a umidității, m^2/s ;

δ - coeficient termo - gradient, $grad^{-1}$;

λ - coeficient de conductivitate termică, W/m^2K ;

ρ - densitatea materiei prime, kg/m^3 ;

Ψ - criteriul transformării de fază, sistem care caracterizează modificarea conținutului de umiditate datorată evaporării până la modificarea totală a umidității ținute;

Q - căldură de evaporare, J.

Sistemul de ecuații (1.2) joacă un rol important în studiul uscării materialelor umede în deosebi a celor capilar-poroase (Lykov 1968).

Pe plan mondial un aport important în descrierea fenomenelor de transfer au fost ingineri Bird, Stewart, și Lightfoot, (Bird et al., 1960). Mecanismul de transfer în procesul de uscare a produselor poroase este investigat de multipli savanți folosind diferite metode și simulări într-un spectru larg de aplicații (Kumar et al., 2012; Bonnet et al., 2019; Tartakovsky et al., 2019; Rosti et al., 2020).

Dezvoltarea unui model matematic capabil să prezică comportamentul transferului prin structurile poroase se datorează inginerul francez Henry Darcy care a propus o relație directă dintre debit și diferența de presiune:

$$v_0 = -\frac{k}{\mu}(\nabla p - \rho g), \quad (1.3)$$

unde: k este permeabilitatea mediului poros, m^2 ;

μ - vâscozitatea dinamică a fluidului, $Pa \cdot s$;

v_0 - viteza curgerii fluidului, m/s ;

∇p - gradient de presiune, Pa ;

ρ - densitatea, în kg/m^3 ;

g - accelerația căderii libere, m/s^2 .

Viteza v_0 în ecuația (1.3) este o viteză superficială, care este definită ca debitul volumetric de curgere printr-o zonă în secțiune transversală a corpului capilar. Densitatea și presiunea fluidului sunt mediate pe o regiune disponibilă pentru un debit mare în raport cu dimensiunea porilor. Ecuația (1.3) a fost propusă empiric pentru a descrie curgerea lentă a fluidelor prin intermediul mediilor poroase (Whitaker, 1986; Schweizer, 2015; Rosti et al., 2020), după care a fost adaptată pe scară largă pentru diferite cazuri particulare, de exemplu pentru un flux variabil în alimente poroase (Datta, 2008).

Pentru a descriere mai amplă a transferului de umiditate în procesul de uscare, legea lui Darcy a fost completată cu legea difuziei lui Fick. Legea lui Darcy, în forma sa simplă exprimă doar proporționalitatea dintre viteza medie a debitului de fluid și potențialul de curgere, cuprinzând gradientul de presiune prin medii poroase (Katekawa et al., 2007). În ultimii ani, s-au dezvoltat teorii mai complexe pentru a descrie procesul transferului simultan de căldură și masă la scară microscopică, pe baza teoriei difuziei (Tartakovsky et al., 2019), teoriei fluxului capilar (Ismail, N. et al., 2019) și teoriei condensării prin evaporare (Bonnet et al., 2019).

În multe investigații teoretice și experimentale, atenție deosebită se atrage fenomenelor de transfer în medii poroase care sunt caracteristice structurii la majoritatea fructelor și legumelor. Aceste fenomene au fost pe larg studiate, primele din ele au fost dezvoltate și prezentate în lucrările lui (Lykov, 1975; Whitaker, 1977, 1986).

Lykov a folosit teoria termodinamică a proceselor ireversibile elaborate de savantul Onsanger pentru a descrie temperatura, umiditatea și distribuția presiunii în mediile poroase în timpul uscării în mod fenomenologic. În aceste studii s-au folosit ecuațiile de conservare a masei și energiei împreună cu relații fenomenologice pentru a descrie fluxurile de masă (apă și vapori) și fluxul de căldură în mediile poroase (Lykov, 1968, 1975).

Whittaker a elaborat o tehnică nouă pentru a formula fluxul fluidelor și transferul de căldură în mediile poroase în ansamblu (Whitaker, 1977; Katekawa et al., 2007). Această tehnică permite studiul și perceperea mai corectă a interacțiunii fenomenelor de transfer în procesul deshidratării produselor capilar - poroase.

Avantajul modelului lui Whitaker este că oferă o reprezentare mai clară a fenomenelor fizice care apar în mediile poroase în timpul uscării. Una din problemele întâlnite la utilizarea modelului Whitaker consta în dificultatea de a determina influența parametrilor materialului într-o ecuație de transfer, cum ar fi difuzivitatea și permeabilitatea efectivă, care depind puternic de proprietățile și structura materialului.

Cu toate acestea modelului Whitaker a devenit o abordare populară pentru modelarea teoretică a uscării produselor poroase, în deosebi pentru produsele alimentare care reprezintă un mediu hidroscopic poros, (Plumb et al., 1985; Nasrallah et al., 1988; Constant et al., 1996; Di Blasi, 1998; Quintard et al., 2000). Modelul Whitaker a fost completat cu noțiunile de porozitate și saturație echivalentă a apei pentru diferite cazuri particulare cum ar fi: procesul de prăjire și răcire a chipsurilor tortilla (Yamsaengsung et al., 2002); pentru prăjirea chipsurilor de cartofi (Feng et al., 2001); uscarea merelor (Ni et al., 1999); uscare cu microunde (Dincov et al., 2004; Datta, et al., 2002, 2007); și pentru coacerea pâinii (Datta, 2001; Zhang, et al., 2005, 2006).

Conform abordării Whitaker (Whitaker, 1977; Quintard et al., 2000), ecuațiile de conservare a masei pentru vapori, apă, și aer în procesul de uscare a alimentelor capilar - poroase sunt prezentate în termeni generali ai conservării masei în forma:

$$\frac{\partial c_v}{\partial t} + \nabla \cdot (n_v) = I; \quad (1.4)$$

$$\frac{\partial c_w}{\partial t} + \nabla \cdot (n_w) = -I; \quad (1.5)$$

$$\frac{\partial c_a}{\partial t} + \nabla \cdot (n_a) = 0; \quad (1.6)$$

și conservarea globală a energiei ca:

$$\frac{\partial}{\partial t} (c_v h_v + c_w h_w + c_a h_a) + \nabla \cdot (n_v h_v + n_w h_w + n_a h_a) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T) - \lambda I + q, \quad (1.7)$$

unde: n_v, n_w, n_a reprezintă fluxul de vapori, apă și aer;

c_v, c_w, c_a - concentrațiile fiecărei faze transformate în termeni de porozitate și saturație;

I - rata de evaporare care reprezintă masa apei lichide care devine vapori pe unitatea de volum;

λ - căldură latentă, J/kg;

q - sursa de căldură, W/m³.

Vitezele fluxurilor de lichid (apă) și de gaz (vapori de apă și aer) într-un mediu poros sunt prezentate prin legea generalizată Darcy (Brown, 2002)

$$u_w = -\frac{k_w}{\mu_w} \nabla (P - p_c); \quad (1.8)$$

$$u_g = -\frac{k_g}{\mu_g} \nabla P, \quad (1.9)$$

unde: k_w, k_g sunt permeabilitatea fazei lichide și gazoase, m²;

μ_w, μ_g - vâscozitatea fazei lichide și gazoase, Pa·s;

$P - P_c$ - diferența dintre presiunea gazului și presiunea capilară, Pa.

Fluxul total de apă rezultă din debitul convectiv cauzat de către gradientul de presiune totală a gazului și din debitul capilar cauzat de către gradientul forței capilare:

$$n_w = -\rho_w u_w = -\rho_w \frac{k_w}{\mu_w} \nabla P - \rho_w \frac{k_w}{\mu_w} \nabla p_c. \quad (1.10)$$

Fluxul total de vapori n_v și aer n_a sunt compuse din flux convectiv și fluxul de difuzie, cum ar fi

$$n_v = \rho_v u_v + j_v = -\rho_v \frac{k_g}{\mu_g} \nabla P - \rho_v D_v \nabla p_{cv}; \quad (1.11)$$

$$n_a = \rho_a u_a + j_a = -\rho_a \frac{k_g}{\mu_g} \nabla P - \rho_a D_a \nabla p_{ca}. \quad (1.12)$$

Ecuatiile (1.10, 1.11 și 1.12) sunt valabile pentru majoritatea operațiilor de procesare termică a alimentelor care sunt însoțite de transfer de masă și de căldură.

O concretizare importantă în cea ce privește fenomenele de transfer în produsele capilar poroase au făcut Halder Amit, Ashim Datta, Roger M. Spanswick (Halder et al., 2011), în baza unui studiu experimental în care au investigat transportul de lichid (apă) al țesutului celular. Studiul dat le-a permis să confirme că pe parcursul uscării apa se deplasează concomitent pe două căi: extracelulare (prin intermediul porilor și capilarelor) și intercelulare (prin intermediul membranelor celulare). Tot odată sa constatat că la temperaturi reduse apa migrează preponderent prin căile extracelulare și invers la temperaturi mari prin căile intracelulare.

Este cunoscut că majoritatea fructelor ca piersicile, merele, perele, prunele etc., posedă o structură capilar-poroasă constituită din capilare, substanțe uscate și apă. Spațiul porilor și al capilarelor ca regulă este umplut cu apă, vapori de apă și aer. Deplasarea umezelii prin pori în procesul de uscare are loc în faza lichidă, gazoasă (vapori) și în stare de schimb de fază. Interes deosebit prezintă studiul fenomenelor de transfer pentru starea de schimb de fază atunci când apar mecanisme de transfer mai superioare decât cum ar fi difuzia clasică.

Astfel, descrierea transferului de masă în procesul de uscare a fructelor cu structură capilar – poroasă se bazează pe mai multe teorii: ecuația de conservare a masei (Ni et al., 1999); legea Darcy cu privire la transferul vaporilor de apă prin material poros (Méhauté, 1976; Kiranoudis et al., 1995; McMINN et al., 2007); modelarea fluxului de vapori de apă, Bird, legea lui Fick (Wang, et al., 1995) și altele. Toate aceste teorii au permis de a obține ecuația de conservare a masei pentru faza de vapori:

$$\frac{\partial(\phi i \rho i)}{\partial t} = \nabla \cdot \left(\frac{K i \rho i}{\mu i} \nabla P i \right) + \nabla \cdot (D i \nabla \rho i) + j_{ip} + j_{ic}, \quad (1.13)$$

unde: ϕi este porozitatea mediului %;

ρi – densitatea vaporilor de apă kg/m³,

$P i$ – presiunea vaporilor de apă, Pa;

μi – vâscozitatea spațiului intercelular, Pa· s;

$D i$ – difuzia intercelulară, m²/s;

j_{ip} - fluxul masic de vapori de apă/volum de unitate, eliberat în spațiul intercelular datorită eliberării apei prin membrana celulară și porii peretelui celular, care rezultă din presiunea internă a celulei;

j_{ic} - fluxul masic de vapori de apă/volum de unitate, eliberat prin perete/membrană a spațiului intracelular prin difuzie.

Mai puține studii s-au realizat în domeniul migrației a transferului apei legate. În urma a mai multor cercetări s-a conchis că scăderea vitezei de uscare la un conținut redus de umiditate este cauzată de scăderea disponibilității moleculelor libere de apă. Creșterea vitezei de uscare în acest caz este posibilă numai prin ruperea legăturilor dintre apa legată prin absorbție și țesut, ceea ce necesită un aport suplimentar de energie (temperaturi avansate). Pe măsură ce uscarea continuă, apa liberă se reduce considerabil, prin urmare cea legată rămâne în majoritate. Deci conversia între apa legată și cea liberă controlează fenomenul general de transfer de masă (Barcikowski et al., 1984; Flourey et al., 1990; Slattey, 1990; Xiong et al., 1992).

Interacțiunea dintre apa legată și cea liberă pentru un mediu multifazic macroscopic (Gekas et al., 1991) (Karathanos et al., 1999) obține forma:

$$\frac{\partial M_b}{\partial t} = -r_b = -(n_1 M_b - n_2 M_f), \quad (1.14)$$

unde: M_b este cota de umiditate în starea legată, %;

M_f – cota de umiditate în starea liberă, %;

r_b – rata de conversie corespunzătoare, %;

n_1 și n_2 – constante cinetice definite de Kiranoudis.

Totodată, echilibrul formelor de legătură dintre apă și schelet (Srikiatden et al., 2007; Erbay et al., 2010), este:

$$M_b = \left(\frac{n_1}{n_2} \right) M_f. \quad (1.15)$$

Fenomenul de transfer la nivel de celulă poate fi caracterizat de mai multe mecanisme interne: transportul apei prin pereții și membranele celulare în spațiul intercelular – difuzia între membranele spațiului intercelular și eliberarea locală a apei prin membrane datorită diferenței de presiune; transportul de apă liberă de la celulă la celulă – difuzia în cadrul matricei celulare și eliberarea apei între celule din porii locali din structura celulelor (Whitaker et al., 1969; Marinos-Kouris et al., 2006; Silva, et al., 2012; Onwude et al., 2016).

Pentru optimizarea proceselor de uscare, proiectarea și confecționarea echipamentelor noi eficiente, este necesar de a lua în considerație atât fenomenele transferului de căldură și masă în produs la nivel macro și microscopic cât și metoda de procesare, caracteristicile materialului supus uscării, regimurile de uscare, mediul de uscare, etc. Astfel este important de înțeles cinetica de uscare pentru cazul și produsul concret. Deci pentru a analiza comportamentul (cinetica) de uscare este necesar de a elabora și studia modele matematice care descriu aceste procese.

În funcție de scopul elaborării modelului: cercetarea interacțiunii legităților fenomenologice; fie studiul influenței proprietăților produsului sau a influenței parametrilor metodei asupra procesului de uscare etc., se folosesc diferite tipuri de modele matematice.

Pentru studiul cineticii procesului de uscare ca regulă se folosesc trei tipuri de modele: fenomenologice (teoretice), semiteoretice și empirice.

Indiferent de tipul modelului, în majoritatea cazurilor acestea se reduc la determinarea transferului de masă și căldură în procesul de uscare ca funcție de timp.

Modelele fenomenologice descriu legitățile fenomenelor de transfer și impactul acestora asupra procesului de uscare. În majoritatea cazurilor ele se bazează pe ecuațiile diferențiale (Lykov, 1975).

$$\frac{\delta M}{\delta t} = D \left[\frac{\delta^2 M}{\delta x^2} + \frac{b_1}{x} \frac{\delta M}{\delta x} \right], \quad (1.16)$$

$$\frac{\delta T}{\delta t} = a \left[\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} + \frac{b_1}{x} \frac{\delta T}{\delta x} \right], \quad (1.17)$$

unde b_1 reprezintă forma geometrică al produsului.

Aceste modele teoretice permit perceperea teoretică a transferului de masă și de căldură la deshidratarea produselor și ajută la alegerea corectă a metodelor de aport de energie pentru cazuri concrete (produs, formă geometrică etc.). Dar tot o dată admit prea multe presupuneri care influențează negativ prin eronarea rezultatului final, ceea ce limitează utilizarea lor în practică și la proiectarea utilajelor de uscare.

Cele mai practice tipuri de modele pentru descrierea procesului de uscare a fructelor și legumelor sunt cele teoretice și empirice (Vega-Gálvez et al., 2008; Meisami-asl et al., 2009; Onwude et al., 2016). Aceste modele descriu mai mult transferul de masă în exterior (de la suprafață în mediu) și mai puțin transferul de masă intern. Ele dispun de rezultate mai exacte din motiv că sunt bazate și pe date experimentale concrete. Modelele date sunt cele mai practice pentru inginerii proiectanți ai echipamentelor de uscare. Tot o dată acestea sunt limitate numai pentru produse concrete în condiții de aplicare limitate.

Indiferent de modelele teoretice și empirice ale procesului de transfer de umiditate, în majoritatea cazurilor acestea sunt derivate din legea a II-a a difuziei Fick și din legea de răcire Newton. Cel mai des întâlnit model este modelul Henderson și Pabis aplicat pe scară largă în descrierea cineticii procesului de uscare a mai multor produse vegetale (Maskan, 2001a; Darıcı et al., 2015; Kaya et al., 2008; Izli et al., 2017).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = a \cdot \exp(-kt) \quad (1.18)$$

unde: M_t reprezintă conținutul de umiditate într-un anumit moment de timp, %;

M_o – corespunde conținutului inițial de umiditate, %;

M_e – corespunde conținutului de umiditate de echilibru, %.

Factorii care determină aplicarea acestor modele includ: parametri geometri ai materialului; temperatura și viteza agentului de uscare; conținutul inițial de umiditate al produsului; umiditatea relativă a aerului. Complicitatea modelelor depinde de numărul de factori care sunt luați în considerație de aceștia, ca regulă ei sunt prezentați în model prin diverse constante sau variabile. În ceea ce privește literatura științifică numărul de constante variază între 1 (modelul Newton) și 6 (modelul modificat Henderson și Pabis). În tabelul 1.1 sunt prezentate câteva exemple de modele semiteoretice mai des utilizate pentru descrierea cinetici uscării fructelor și legumelor.

Tabelul 1.1. Aplicarea principiului exponențial de transfer a umidității în modelele matematice a cineticii deshidratării fructelor și legumelor prin convecție

Nr	Numele/modelul	Modelul	Referințe
1.	Henderson și Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt)$	(Pestaño et al., 2018)
2.	Henderson și Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt) + b \cdot \exp(-gt) + c \cdot \exp(ht)$	(Prakash et al., 2017)
3.	Newton	$MR = \exp \cdot (-kt)$	(Górnicki et al., 2017)
4.	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(El-Beltagy et al., 2007)
5.	Logaritmic	$MR = a \cdot \exp(-kt) + c$	(Akoy, 2014)
6.	Doi termeni	$MR = a \cdot \exp(-K_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	(Gharehbeglou et al., 2014)
7.	Doi termeni exponențiali	$MR = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	(Demiray et al., 2014)
8.	Wang și Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	(Fang et al., 2015)
9.	Abordarea prin difuzie	$MR = a \cdot \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	(Coradi et al., 2015)
10.	Midilli	$MR = a \cdot \exp(-kt^n) + bt$	(Darvishi et al., 2012)

1.2. Aspecte teoretice moderne ale tratării cu microunde în produsele vegetale

Scopul principal al uscării produselor vegetale este de a elimina umiditatea din produsul umed până la o anumită umiditate limită pentru a împiedica creșterea și reproducerea microorganismelor, astfel extinzând perioada de păstrare a acestuia.

Este cunoscut că în timpul procesului de uscare cea mai mare parte din umiditate este evaporată în prima perioadă de uscare, unde are loc evaporarea apei libere de la suprafața produsului. Rata de uscare în această etapă depinde de unii factori ce sunt într-o strânsă legătură cu suprafața produsului supusă uscării, cum ar fi dimensiunea zonei expusă tratării termice, diferența de temperatură între suprafața umedă și aerul cald, precum și coeficienții externi de transfer de căldură și masă (Datta, 2007; Datta, et al., 2009; Perussello et al., 2014).

După prima perioadă pentru a facilita uscarea, umiditatea trebuie difuzată din interiorul materialului la suprafață, trecând de punctul critic al conținutului de umiditate. În această fază, viteza de uscare depinde în principal de grosime, formă și structura produsului. În prima perioadă de scădere a vitezei de uscare, viteza se reduce pe măsură ce conținutul de umiditate scade datorită rezistenței interne suplimentare pentru transferul de umiditate și reducerii fluxului de căldură. În cea de-a doua perioadă umiditatea se deplasează de la centru la suprafață datorită rezultatului difuziei al gradientului de concentrație între regiunea de bază și suprafață. Viteza de difuzie scade din cauza modificării structurii produsului, ca urmare scade gradientul de umiditate care duce la apariția perioadei de uscare mult mai îndelungate (Ho et al., 2002; Hassini et al., 2007; Djendoubi, 2012; Joardder, et al., 2015c).

Viteza de uscare a acestei perioade este mult prea lentă, evident include timp de uscare excesiv și un consum sporit de energie. Conform unor surse bibliografice pentru a elimina ultimii 10% de umiditate din produs, este nevoie de aproape un timp egal cu cel necesar pentru îndepărtarea primelor 90% de umiditate (Joardder, et al., 2015a).

Durata totală de uscare poate fi limitată prin creșterea temperaturii aerului de uscare, prin majorarea vitezei fluxului de aer, și tăierea produsului cât mai subțire, dar astfel de intervenții, în deosebi temperatura înaltă poate deteriora suprafața produsului ducând la formarea crustei, în timp ce conținutul de umiditate din centru este încă ridicat (Liu, et al., 2012).

Una din metodele eficiente de intensificare a procesului de uscare este aplicarea sursei interne de căldură independent sau în combinație cu ale metode (convecție, sublimare, în vid, osmotic, etc.) (Liu, et al., 2005; Kumar et al., 2014). Aplicarea sursei interne de căldură, în deosebi a microundelor, permite reducerea esențială a duratei procesului de uscare și ca consecință a consumului de energie datorită creșterii ratei de difuziune a umidității din interiorul produsului, (Mujumdar, 2004; Zhang, et al., 2006; Orsat et al., 2007; Zhang, et al., 2010).

Deshidratarea cu microunde reduce perioada de tratare termică a produselor vegetale ceea ce permite păstrarea unor cantități mai mari a substanțelor biologice active din produs, (Soysal et al., 2009a; 2009b).

Microundele (SHF) sunt unde electromagnetice cu lungimi de undă variind de la un metru la un milimetru sau cu frecvențe cuprinse între 300 MHz și 300 GHz., în cazul utilizării cuptoarelor casnice cel mai des utilizate sunt la frecvența de 2450 MHz.

La baza încălzirii cu SHF sunt dispuse două mecanisme: orientare / reorientare bipolară și ionică. Datorită proprietăților fizico – chimice ale moleculelor de apă (natură bipolară) sub influența câmpului electric moleculele se orientează conform polului (+/-) după care revin la poziția anterioară. Acest mecanism de mișcare a moleculelor la viteze enorme stă la baza generării

căldurii datorită frecării dintre acestea. Conducerea ionică este un al doilea mecanism major de încălzire cu microunde, care este cauzat de ioni, cum ar fi cei prezenți în produse vegetale umede, care migrează sub influența câmpului electric.

Datorită fenomenului de polarizare în timpul tratării cu microunde în interiorul produsului are loc creșterea temperaturii evident și a presiunii din partea umidității. Datorită vectorului orientării comun și apariției gradientului de presiune umiditatea este orientată din interiorul produsului spre exterior ceea ce duce la o încălzire a produsului în întreg volum. De asemenea are loc majorarea ratei de difuziune a umidității respectiv se va obține un timp redus de procesare, are loc păstrarea structurii capilar-poroasă ce influențează fenomenele de transfer și o uscare uniformă, nu are loc supraîncălzirea suprafeței produsului deci se evită formarea crustei, prin evitarea formării crustei se reduce fenomenul de zbârcire a produsului (Birla et al., 2008; Celuch et al., 2009; Jha et al., 2014; Mujaffar et al., 2019).

În cazul uscării produselor vegetale umede cu aplicarea SHF asupra eficienței procesului de uscare nu influențează doar parametri (frecvența, lungimea de undă, timpul de procesare, intensitatea câmpului, etc.) dar în mare parte și proprietățile dielectrice ale produsului cum ar fi permitivitatea. În caz că se cunoaște valoarea permitivității produsului, va fi posibil de a estima energia termică convertită din energia electrică la frecvența respectivă necesară pentru a obține un produs deshidratat eficient cu un consum redus de energie.

Interacțiunea dintre un produs vegetal umed și energia microundelor este dirijată de permitivitatea relativă complexă a produsului. Permitivitatea dată consistă din două părți: constanta dielectrică și pierderile dielectrice:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' + j\varepsilon'' \quad (1.19)$$

unde: ε^* este permitivitatea relativă complexă, F/m;

ε' - constanta dielectrică, descrie capacitatea materialului de a stoca energie electrică;

ε'' - pierderile dielectrice, indică capacitatea materialului de a disipa energia electrică în căldură.

Materialele dielectrice sunt caracterizate de tangența pierderilor dielectrice care reprezintă raportul dintre pierderile și constanta dielectrică:

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (1.20)$$

Conductivitatea electrică a mediului dielectric are forma:

$$\sigma = 2\pi f \varepsilon_0 \varepsilon'' \quad (1.21)$$

unde: f este frecvența în Hz;

ε_0 – permitivitatea spațiului liber (vidului), $8,854 \cdot 10^{-12}$, F/m.

Transformarea componentei electrice a microundelor în disiparea puterii într-un material cu pierderi poate fi determinată astfel:

$$P_v = 2\pi f \varepsilon_0 \varepsilon'' E^2 \quad (1.22)$$

unde: P_v este conversarea puterii pe unitate de volum, W/m³;

E – puterea câmpului electric, V/m³.

Determinarea puterii necesare a magnetronului în procesul de uscare a produselor vegetale umede v-a duce la obținerea unui consum redus de energie (Feng et al., 2002; Tang et al., 2002; Tang, 2005; Sipahioglu et al., 2006; Ghanem, 2010; Jiang et al., 2014).

1.3. Modificări fizico - chimice ce au loc la deshidratarea produselor vegetale

Una din cele mai cunoscute reacții ce au loc în timpul procesului de uscare a fructelor și legumelor este reacția de brunificare. Brunificarea se manifestă din momentul pregătirii produsului pentru deshidratare, atunci când are loc felierea, și pe întreaga perioadă de deshidratare. Brunificarea afectează de obicei proprietățile senzoriale ale produselor datorită modificărilor asociate ale culorii, aromelor cât și proprietățile nutriționale. Brunificarea alimentelor rezultă atât din oxidarea enzimatică, cât și din cea neenzimatică (Tatarov, 2017). Brunificarea enzimatică este una dintre cele mai importante reacții de culoare care afectează fructele, legumele și alimentele marine, reacție catalizată de polifenoloxidaze. În procesul deshidratării efectul de brunificare poate fi observat chiar din faza pregătirii produsului, când are loc operația mecanică de feliere. Datorită contactului dintre suprafețele proaspăt tăiate și aerul din mediul înconjurător care la rândul său este unul din principalii factori care influențează apariția fenomenului dat, are loc pronunțarea efectului de brunificare și anume prin schimbarea în timp a culorii inițiale spre o culoare mai închisă cu prezența unor pigmenți de culoare brună. Gradul de brunificare enzimatică a produselor vegetale este corelat cu conținutul tisular în polifenoloxidază activă, conținutul fenolic al țesutului, pH, temperatura aplicată și disponibilitatea oxigenului în țesut (Tatarov, 2017). Temperatura este parametrul principal al operației de deshidratare, însă o temperatură necorespunzătoare fie mică sau mare poate contribui la apariția fenomenului de brunificare neenzimatică. În procesul de brunificare neenzimatică (chimică) se presupune că este implicată în primul rând reacția Maillard. Modificările de culoare se manifestă prin închiderea culorii produsului ca urmare a reacțiilor chimice ce au loc între zaharurile reducătoare și aminoacizii prezenți în sistem, reacții cunoscute sub denumirea de reacții Maillard. Odată cu modificarea culorii se constată și o modificare a gustului, produsul căpătând un gust caracteristic de copt, fapt pentru care calitatea produsului este depreciată (Garcia et al., 2002; Gonzalez-Aguilar et al., 2005; Tatarov, 2017).

Factorii principali care influențează desfășurarea reacției Maillard sunt:

Temperatura. La temperaturi diferite, reacția Maillard poate avea căi diferite, ceea ce denotă că temperatura are o influență calitativă asupra desfășurării reacției. S-a constatat că la temperaturi mai reduse de 56°C se formează o colorație mai intensă de cât la 100°C, cu toate că în ultimul caz cantitatea de bioxid de carbon formată este mult mai mare (HO et al., 2002; Sharma et al., 2015)

Durata tratamentului termic. Intensitatea colorației, ce se formează ca urmare a reacției Maillard este proporțională cu pătratul duratei.

Natura substanțelor. Pentru ca zaharurile să formeze melanoide este necesar să existe gruparea carbonilică liberă. Reacții intense dau fructoza, glucoza, maltoza; zaharoza. S-a constatat că la temperaturi înalte atât zaharoza cât și dextrina formează melanoide. Optimul reacției are loc atunci când conținutul de zahăr este în proporție aproape echivalentă cu conținutul de aminoacizi. (Kader et al., 1984; Tatarov, 2017).

Conținutul de apă. În mediu complet anhidru reacția Maillard nu se produce. Este suficient să existe urme de apă pentru ca mecanismul de reacție să se declanșeze. Apa are un dublu rol: pe de o parte frânează reacția Maillard deoarece primul stadiu al reacției implică o deshidratare, pe de altă parte, prezența sa este necesară pentru a asigura o mobilitate suficientă a moleculelor de a intra în reacție. Valoarea optimă corespunde mai precis între aceste două acțiuni supuse deshidratări (Ioannou et al., 2013).

Valoarea pH-ului. pH-ul acid (2,5–2,6) frânează reacția Maillard s-au este complet redusă, pe când pH-ul alcalin (6,9–7,5) are un efect favorabil, deoarece forma anion a aminoacidului care intră în reacție predomină în mediu bazic. La sigur că mai sunt și alți factori dar în mare măsură aceștia sunt cei mai des întâlniți și descriși în literatură, (Lee et al., 1995; He et al., 2007; Wei et al., 2019; Chen et al., 2022).

La deshidratarea produselor care nu conțin clorofilă, brunificarea neenzimatică sau reacția Maillard este mult mai favorizată. În cazul deshidratării legumelor, fructelor, în anumite condiții de temperatură și durată de deshidratare, se observă apariția treptată a unei colorații galben-deschise, trecând rapid spre brun s-au brun-închis. La fiecare din aceste stadii de dezvoltare a culorii brune se constată și modificări sensibile a aromei originale s-au caracteristicile fiecărui produs în timpul deshidratării (Özdemir, 1997; Mohammadi et al., 2002; Núñez-Delicado et al., 2005). Temperatura joacă un rol foarte important în intensificarea înbrunării. Din această cauză, temperatura folosită la deshidratarea fructelor și legumelor se recomandă de fi cuprinsă în domeniul 55 - 65°C dar să nu depășească 70 – 75°C, cu precizarea că temperatura joasă, mai mic

de 50°C nu elimină în totalitate riscul apariției reacției Maillard, deoarece la așa temperaturi persistă o durată majorată de uscare (Queiroz et al., 2008; Patnaik et al., 2015).

În urma studiului (Stadtman, 1992; Wang, et al., 2007; Thipnate et al., 2015; Vasily 2017), pentru prevenirea modificărilor fizico – chimice a produselor vegetale în decursul și după deshidratare este recomandabil a se lua următoarele măsuri:

- *Temperatura aplicată medie*, 55 - 65 °C;
- *Reducerea regimurilor termice* aplicate în procesul de deshidratare la minimum necesar și anume: durata de deshidratare să nu depășească mai mult de 6 – 8 ore;
- *Umiditatea produsului finit* să nu depășească normele admisibile individual de produs;
- *Răcirea produsului*, asigurarea unei rapide răciri a produsului finit, imediat după deshidratare;
- *Temperatura de depozitare* se recomandă 15 - 20 °C;
- *Umiditatea relativă a aerului* din depozit să fie de maximum 75%, deoarece umiditatea produsului tinde să ajungă mereu în echilibru cu umiditatea relativă a aerului din spațiul de depozitare, absorbind apa din atmosferă;
- *Ambalare în vacuum*, pentru menținerea umidității scăzute se recomandă, ambalarea tuturor produselor deshidratate, trebuie să se facă în ambalaje ermetice, impermeabile față de vaporii de apă din atmosferă, ambalajele cele mai corespunzătoare sunt cutiile și bidoanele de tablă cositorită, cutiile de carton, în care legumele deshidratate sunt ambalate după ce în prealabil au fost introduse în saci de material, plastic de grosime 0,10–0,12 mm sudați; fiecare ambalaj trebuie să asigure protecția completă a produsului deshidratat împotriva umidității, luminii și aerului, impurităților, microflorei și mirosurilor străine;
- *Introducerea substanțelor desicante* ca oxidul de calciu, clorura de calciu etc., în ambalaje ermetice care absorb umiditatea din ambalaj și chiar din produs. aplicarea acestui procedeu duce la micșorarea degradărilor calitative în cursul depozitării prin inhibarea s-au reducerea la minimum a proceselor biochimice și microbiologice;
- *Substituirea aerului* (eliminarea oxigenului) din ambalajele cu produse, prin gaze inerte – azot, bioxid de carbon. În cutiile metalice, gazul inert se introduce după închiderea ermetică a ambalajelor, printr-un orificiu în capac, care ulterior se sudează, s-au cu ajutorul unor mașini se închid cutiile în vid s-au în atmosfera de gaz inert fără a mai fi necesară perforarea capacului.

1.4. Aplicații moderne destinate deshidratării produselor vegetale

Operația de uscare este cunoscută din timpuri străvechi, o dată cu trecerea timpului, operația de uscare a progresat și sa diversificat enorm, de la simpla uscare la soare la uscarea prin convecție forțată, în câmp electromagnetic, sub influența câmpului electric, osmotică, prin sublimare, s-au cu combinarea diferitor metode cum ar fi convecție și microunde, osmotică și microunde, osmotică cu microunde în vid, cu raze infraroșii etc., (Ahmed et al., 2013).

Progresele în tehnicile de deshidratare și dezvoltarea de noi metode de uscare în ultima perioadă au permis pregătirea unei game largi de produse deshidratate și alimente convenabile din fructe și legume care îndeplinesc cerințele de calitate, stabilitate și funcționalitate, împreună cu economia. Acest lucru a fost posibil prin studiile experimentale susținute de-a lungul anilor pentru a înțelege aspectele teoretice și fundamentale ale procesului și optimizarea tehnicilor pentru a realiza o combinație favorabilă de cost și calitate (Germer et al., 2010; Ahmed, 2014).

Deshidratarea prin convecție a feliilor de piersici și căpșune. Experimentele de uscare au fost efectuate cu succes pe produs într-un uscător de laborator la temperaturile 50, 60 și 70°C pentru trei viteze diferite de curgere a aerului 0,18, 0,18 și 0,26 m/s. S-a constatat că creșterea temperaturii a scăzut semnificativ timpul de uscare al fructelor. Modelul matematic a fost utilizat pentru a descrie caracteristicile de uscare ale piersicilor și căpșunelor. Transferul umidității în timpul uscării a fost descris de a doua lege a difuziei și cea a lui Fick, coeficienții de difuzie au fost de determinat 3,99, 5,37 și $7 \cdot 10^{-10}$ m²/s pentru piersici și 5,39, 7,41 și $8,59 \cdot 10^{-10}$ m²/s pentru căpșune. În intervalul de temperaturi de 50-70°C sa constatat că difuzivitatea este mai mare pentru căpșune. Energiile de activare au fost estimate la 25,92 kJ/mol pentru piersici și respectiv 21,49 kJ/mol pentru căpșune folosind ecuația lui Arrhenius, (Johnson et al., 2016), (Golisz et al., 2013).

Deshidratarea prin convecție, cu aplicarea microundelor și liofilizare a feliilor de kiwi. Acest studiu a analizat uscarea prin convecție la (60, 70 și 80°C), uscare cu aplicarea microundelor (120 și 350 W) și liofilizare, utilizarea acestor metode în ceea ce privește efectele lor asupra caracteristicilor de uscare, culoare, conținutul total fenolic și capacitatea antioxidantă a feliilor de kiwi. Modelul Wang și Singh s-a dovedit a fi cel mai potrivit pentru a explica cinetica uscării probelor de kiwi în comparație cu alte modele conform testelor statistice. Conform analizei de corelație efectuată între conținut total fenolic și capacitatea antioxidantă pentru feliile de kiwi, există o corelație pozitivă ($R^2 = 0,780$). Metoda de uscare prin liofilizare a dat cele mai apropiate rezultate în ceea ce privește valorile culorii, conținutul total de fenoli și capacitatea antioxidantă față de cele ale probelor proaspete, comparativ cu celelalte metode (Movagharnejad et al., 2017).

Deshidratarea ohmică a feliilor de piersici. Procesarea Ohmică poate fi o alternativă reală la procesarea convențională a căldurii, permițând să obțină produse cu o calitate superioară. Cu

toate acestea, selectarea condițiilor de operare, cum ar fi frecvența câmpului electric, tensiunea, temperatura punctului final și timpul de tratare trebuie efectuate cu precauție. Aplicarea câmpului electric de joasă frecvență poate conduce la electroporarea intensă a membranei celulare, rezultând o creștere a conductivității electrice imprevizibile și textura produsului să fie afectată. Prelucrarea piersicilor la frecvențe cuprinse între zeci de kHz permite suprimarea semnificativă a electroporării (în special la $f > 50$ kHz). Totuși, conductivitatea electrică relativ scăzută a țesuturilor la astfel de frecvențe crește în mod drastic timpul necesar atingerii temperaturii dorite. Mai mult, o creștere a conductivității neliniare datorată unui reziduu electroporarea și plasmoliza termică la temperaturi ridicate, complică semnificativ procesul de modelare pentru sisteme multifazice. Pe de altă parte, conservarea piersicilor la frecvențe mai mari de 100 kHz permite eliminarea electroporării și capacitatea de a obține o predicție bună a vitezei de încălzire, indiferent de prezența unor deteriorări termice la temperaturi ridicate. S-a demonstrat că combinația corectă a parametrilor de procesare (200 kHz la $E = 60$ V/cm până la 65°C timp de 8s) permite minimizarea degradării texturii țesuturilor de piersică în timpul conservării termice (Shynkaryk et al., 2010).

Deshidratarea prin convecție și raze infraroșii a feliilor de piersici. Folosirea acestei metode presupune utilizarea unei surse variabile de căldură va intensifica procesul de uscare și va reduce timpul de uscare pentru piersici. Utilizarea unor regimuri de temperaturi blânde, adaptate maxim la principalele legi cinetice, va reduce impactul negativ asupra substanțelor termolabile ale piersicilor și le va îmbunătăți calitatea acestora. Scopul cercetării s-a pus pe creșterea eficienței termică a procesului de uscare prin utilizarea unui mod treptat de uscare convectivă la radiații, pentru a reduce consumul de energie și obținerea unui produs finit de calitate. Procesul de uscare a piersicilor a fost investigat în funcție de următorii parametri tehnologici: temperatura aerului - 293 K ; debitul de aer de la 0,4 până la 1,6 m/s; grosimea rondelei de piersici a fost de $1,5 \cdot 10^{-3}\text{ m}$, distanța de la produs la suprafața lămpii IR - 0,32 m. Piersicile spălate au fost inspectate, sortate și tăiate în felii subțiri de 1,5 mm. Feliile de piersici au fost supuse tratării cu radiații IR în combinație cu metoda convecției. Razele IR cu o lungime de undă cuprinsă între 1,16 - 1,65 microni și o densitate a fluxului de căldură de $2,69\text{--}5,44\text{ kW/m}^2$, cu suflare simultană a aerului convectiv pentru eliminarea vaporilor din produs (Wang, et al., 2006a).

Deshidratarea osmotică și utilizarea microundelor pentru feliile de guava Au fost efectuate experimente pentru a evalua felii de guava uscate (deshidratate anterior osmotice) cu metode combinate cu microunde: fie cu aer cald s-au cu vid. Testele preliminare au arătat că nivelul ridicat de putere (mai mult de 60W) în combinație cu modul continuu a avut tendința de a arde bucățile de guava. S-au ales astfel setări de putere scăzute (între 0,8 și 1,2 W/g). Cu toate acestea,

neuniformitatea uscării cu microunde a fost o problemă semnificativă, care ar putea fi rezolvată cu o tavă rotativă sau o centură în mișcare.

Pentru uscarea cu aer cald în microunde, s-a constatat că cea mai acceptabilă este o combinație de întrerupere cu puterea de 40W, 43°C și 30 secunde de lucru și 30 secunde pauză, pe când la puterea de 50W, 2,0 kPa presiune absolută în același regim de funcționare al microundelor 30/30 a fost combinația care a dat cea mai apropiată calitate a feliilor de guava la cea a fructelor proaspete pentru procesul de uscare cu microunde în vid.

Feliile de guava uscate prin prima metodă au fost mai acceptabile în ceea ce privește culoare și textură, dar proprietățile de rehidratare au fost mai bune pentru felii uscate în vacuum cu microunde. Rezultatele au arătat că, deși uscarea în vacuum cu microunde a avut un timp de uscare mai scurt (aproximativ 60 de minute, mai mult de 90 de minute pentru uscarea în aer cu microunde), culoarea și textura proprietățile au fost mai puțin schimbate cu microunde - aer cald. Cu toate acestea, capacitatea de rehidratare a fost mai bună cu vid (Hawlder et al., 2006).

Deshidratarea osmotică și microunde în vid a morcovilor și căpșunelor. S-a cercetat procesul de uscare cu microunde pentru morcovi și căpșune. S-a conceput setarea pentru microunde în vid pe scară largă și a fost realizat un studiu preliminar. Efectele pre-tratamentului osmotice au fost experimentate în termeni de proprietăți dielectrice, pierderi de apă și câștiguri solide (Methakhup et al., 2005). Toate experimentele au condus la următoarele concluzii: căpșunele în jumătate și morcovii de 10 mm cubați pot fi uscați în cuptorul cu microunde cu vid cu puterea de intrare care nu depășește 1,5 W/g; constanta dielectrică a morcovilor și căpșunelor a scăzut cu creșterea concentrației agenților osmotici, temperatura și timpul de imersie; pentru morcov timpul de imersie a fost cel mai semnificativ factor care afectează constanta dielectrică, în timp ce sarea a fost considerată a fi cel mai important factor care afectează factorul de pierdere; constanta dielectrică după pretratarea osmotică a morcovilor a scăzut în timp pe când factorul de pierdere a crescut; constanta dielectrică după pretratarea osmotică a căpșunelor a scăzut în timp în timp ce factorul de pierdere nu a fost afectat; creșterea concentrației de zaharoză, a temperaturii și a timpului de tratare a dus la creșterea pierderilor de apă și creșterea solidă, pentru morcovii tratați osmotice, dar creșterea concentrației de zaharoză la tratamentul osmotice al căpșunelor a redus pierderile de apă; tratamentul osmotice înainte de uscarea în vid a probelor de morcovi a scăzut timpul de uscare și consumul de energie (Changrue, et al., 2006).

În ceea ce privește evaluarea calității, s-a redus efectul de contracție cu îmbunătățirea aspectului exterior, în timp ce gustul nu a fost acceptabil din cauza apariției conținutului de sare; tratamentul osmotice înainte de uscarea în vid a căpșunelor cu microunde nu a redus considerabil timpul de uscare și economisirea de energie, însă calitatea produsului uscat a fost îmbunătățită;

produsului uscat, în acest studiu, temperatura a fost capabilă să fie controlată de nivelul de putere de intrare și de modul de impuls al magnetronului; vacuumul cu microunde cu pre-tratare osmotică a morcovilor nu a prezentat o perioadă de uscare cu viteză constantă, în timp ce procesul fără pre-tratare osmotică a arătat o perioadă scurtă de rată constantă, urmată de scăderea ratei difuziei; vacuumul cu microunde cu pre-tratare osmotică a căpșunelor a arătat numai o singură perioadă de scădere a ratei de uscare, în timp ce procesul fără pre-tratare osmotică a arătat în mod clar o perioadă de rată constantă, urmată de perioada de scădere a ratei de uscare (Changrue, et al., 2008).

Deshidratarea în pat fluidizat a piersicilor, strugurilor și caiselor. Uscarea particulelor (bucăților) într-un pat fluidizat oferă o calitate mai bună a produselor finale, în special pentru o structură mai bună a produsului și un timp de reconstituire mai scurt. A fost investigată uscarea în pat fluidizat a diferitelor particule de fructe. Conținutul de apă inițial până la cel final al produsului uscat a variat, la boabele de struguri 81 - 5%, piersici 87 - 7% și la caise 86 - 9%. Temperatura fluidizării a variat de la 70°C la 100°C la viteze ale aerului de la 0,98 m/s – 5, 2 m/s. Produsul final ar trebui să fie particule mici de fructe uscate cu un conținut de umiditate de la 5% până la 10%, cu o bună calitate a rehidratării, care variază de la 8 la 20%. Au fost măsurate date experimentale, au fost calculate valorile relevante și a fost elaborat un model matematic. Rezultatele au arătat că uscarea fructelor într-un pat fluidizat produce particule de fructe uscate de calitate îmbunătățită într-un timp mult mai scurt, decât în uscătoarele continue cu benzi care sunt utilizate în general (BobiĆ et al., 2002; Bauman et al., 2005).

Uscarea fructelor și legumelor poate avea loc în diferite tipuri de instalații, utilaje, folosind aerul ca agent de uscare, s-au destinat îndepărtării umidității de pe suprafața produsului. La deshidratarea materiei prime trebuie respectate anumite condiții tehnice, în funcție de caracteristicile materiei prime și ale produsului finit. În funcție de mai mulți factori utilajul de uscare poate fi clasificat astfel: în funcție de presiunea de lucru (uscător la presiune atmosferică, sub depresiune); în funcție de caracterul funcționării (funcționare continuă, funcționare discontinuă); în funcție de aportul de căldură (convective, conductive, prin radiație, dielectrice); și în funcție de tipul constructiv (tip cameră, tip tunel, cu bandă), în continuare se vor prezenta unele schițări ale utilajelor care prezintă un interes constructiv și funcțional (Janjai et al., 2009, Safarov et al., 2017).

Instalație de uscare cu încălzire intermediară. Camera de uscare a uscătorului cu încălzire intermediară este împărțită în mai multe zone, aerul fiind încălzit la intrarea în fiecare zonă cu ajutorul bateriilor de încălzire intermediară (zona A, C, E), și este evacuat pe la partea opusă intrării. La intrare aerul este proaspăt, rece și umed, după care este uscat și încălzit de baterii și spre final după ce preia umiditatea din produs cedând căldură, este evacuat din camera de uscare

a instalației. Temperatura maximă a aerului în camera de uscare (t_1) este mai mică decât în cazul uscătorului cu o singură treaptă de încălzire a aerului, temperatura minimă (t_0). Ca avantaj acest tip de instalație realizează o uscare mai uniformă a produsului datorită amplasării bateriilor de încălzire, la temperaturi nu prea ridicate, figura 1.1.

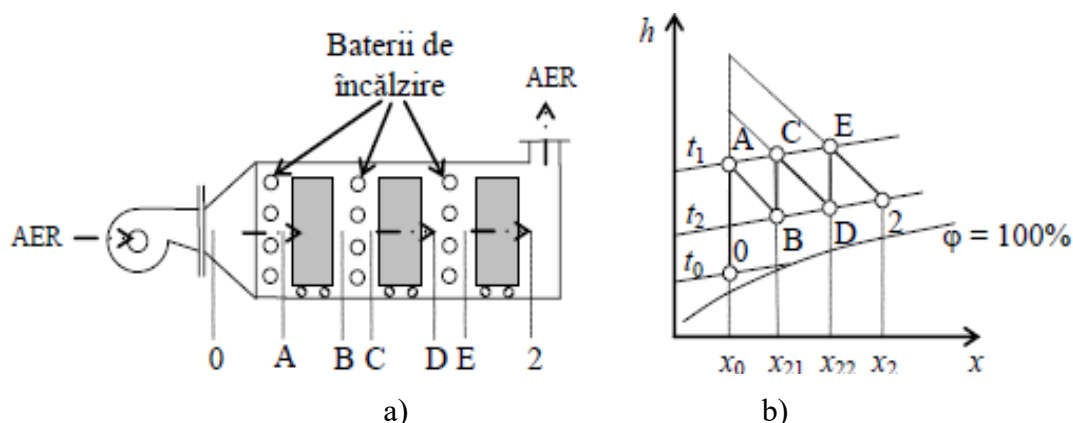


Fig.1.1. Schema de principiu al uscătorului cu încălzire intermediară: a) schema uscătorului; b) prezentarea grafică a procesului de uscare în diagrama h-x

Instalație de uscare cu recirculare. În uscătorul cu recirculare, debitul de aer care iese din camera de uscare se împarte în două părți: o parte este evacuată din instalație, iar cealaltă parte este amestecată cu aer proaspăt și reintrodusă apoi în instalația de uscare prin bateria de încălzire. Recircularea mărește conținutul de umiditate al aerului din instalație; ea este indicată în cazul uscării produsului care are tendința să se deformeze sau să se crape dacă intensitatea procesului de evaporare a umidității la suprafața acestora este mare. În același timp prin recirculare coboară temperatura de preîncălzire a aerului t_1 , figura 1.2.

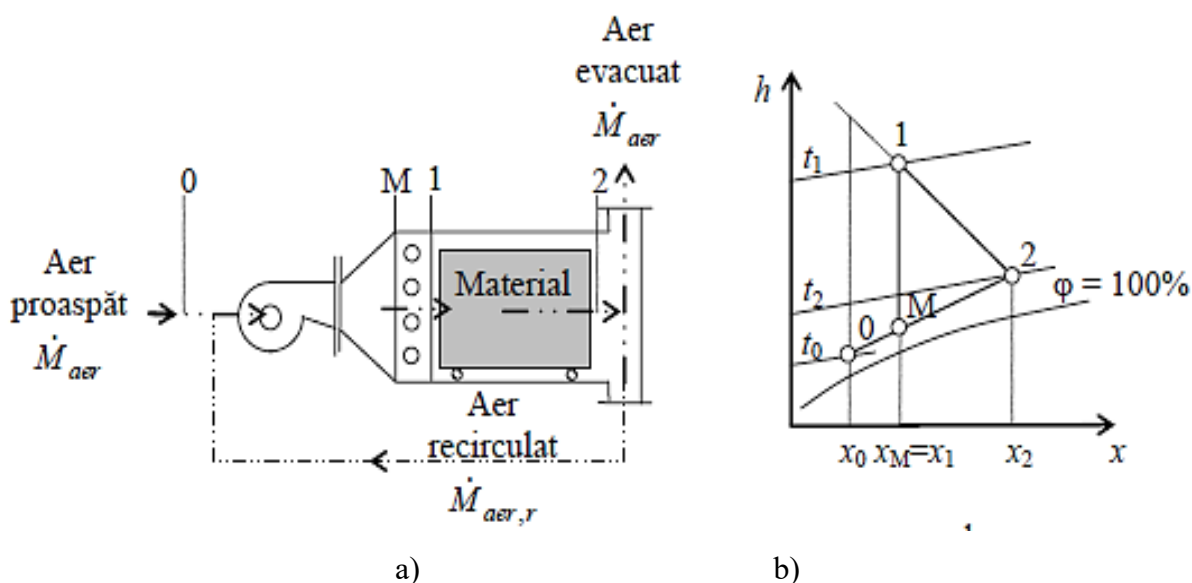


Fig.1.2. Schema de principiu al uscătorului cu recirculare: a) schema uscătorului; b) prezentarea grafică a procesului de uscare în diagrama h-x

Instalație de uscare cu încălzire intermediară și recirculare. Uscătorul dat are la baza funcționării sale principiile descrise anterior la figura 1.1. și 1.2. figura 1.3.

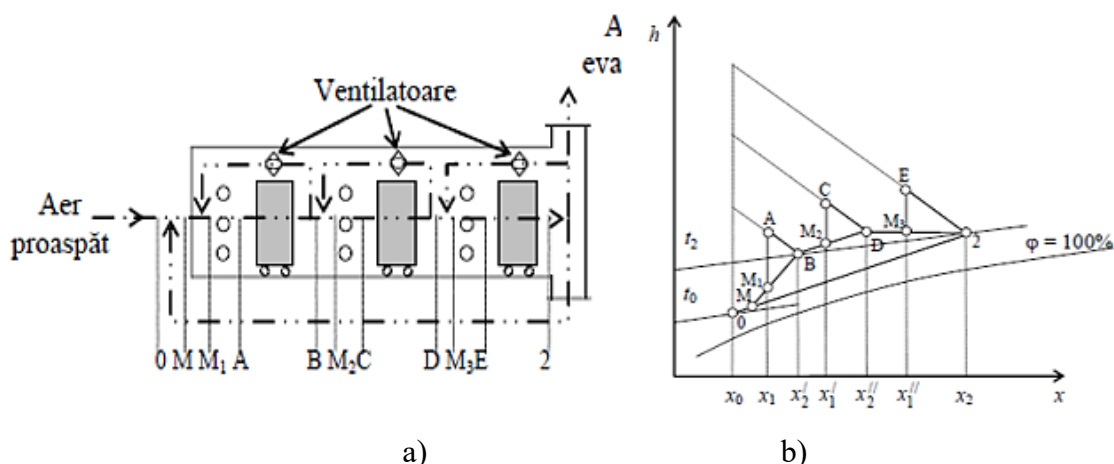


Fig.1.3. Schema de principiu al uscătorului cu încălzire intermediară și recirculare: a) schema uscătorului; b) prezentarea grafică a procesului de uscare în diagrama h-x

Instalație de uscare cu circuit închis. Aerul care iese din camera de uscare a uscătorului cu circuit închis este introdus într-un schimbător de căldură de suprafață s-au de amestec (condensator), în care aerul se răcește sub temperatura punctului de rouă (procesul 2-3-0). Această răcire conduce la condensarea parțială a vaporilor de apă și, ca urmare, la micșorarea conținutului de umiditate a aerului. Aerul saturat care iese din condensator este încălzit în bateria de încălzire și apoi introdus în camera de uscare. Față de celelalte variante, uscătorul cu circuit închis consumă în plus apă de răcire pentru condensator și energie electrică pentru vehicularea acesteia. Uscătorul cu circuit închis se folosește, de obicei când procesul necesită aer cu puritate ridicată s-au când în procesul de uscare a produsului se folosește atmosferă modificată, figura 1.4.

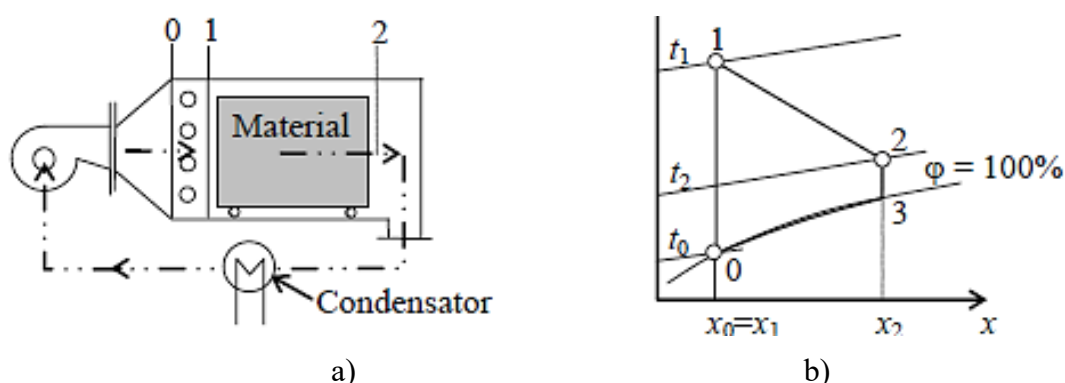


Fig.1.4. Schema de principiu al uscătorului cu circuit închis: a) schema uscătorului; b) prezentarea grafică a procesului de uscare în diagrama h-x

Instalație de uscare cu încălzire intermediară, cu recirculare, cu încălzire intermediară și recirculare, și cu circuit închis, aceste scheme funcționale au fost selectate ca fiind unele de perspectivă în dezvoltarea și apariția noilor tipuri de utilaje industriale de uscare datorită avantajelor pe care le dispun (Umarov et al., 1972; Wessel, 1994; Schraud et al., 2021).

Utilaj de uscare mobil, modular este dotat cu un cazan cu apă caldă cu putere termică de 60 kW. Fiind complet automatizat permite uscarea fructelor și legumelor în regim de șarjă s-au semi-continuu. Pentru a crește randamentul uscătorului acesta este construit în varianta modulară, cu un modul de bază și de extindere, ceea ce permite ca suprafață utilă pentru uscare să poată varia de la 50 la 150%. În cazul instalațiilor de uscare mărimile fizice utile sunt: temperatura aerului, umiditatea relativa, temperatura produselor, masa produselor și viteza aerului. Cu ajutorul acestor valori ale parametrilor, un sistem de automatizare va lua decizii privind desfășurarea procesului. Senzorii de temperatura de tip PT100/PT1000 sau termocuplu. Pentru măsurarea umidității relative pot fi folosite higrometre capacitive, rezistive. Pentru măsurarea masei produselor se folosesc doze tensometrice amplasate fie în interior sau în exteriorul incintei, în funcție de posibilitatea acestora de a lucra în mediul respectiv, figura 1.5.

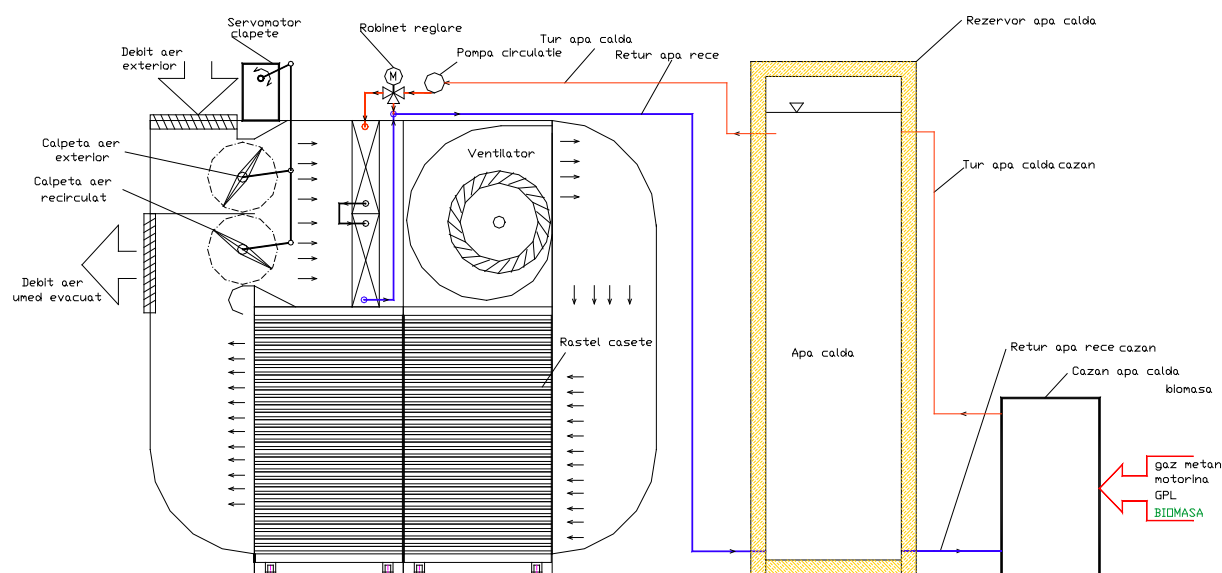


Fig.1.5. Schemă de principiu al uscătorului mobil modular

Această soluție tehnică permite de a adapta ușor instalația pentru deshidratarea diferitor tipuri de fructe și legume, la regimuri de uscare în șarjă s-au semi-continuu. Uscarea se face prin convecție forțată, materia primă este pusă pe casete (sertare) de uscare stivuite pe rastele pe roți, care se introduc în camerele de uscare din modulele de baza ale uscătorului. Agentul de uscare este produs prin amestecarea aerului recirculat cu aer din exterior și încălzirea acestuia cu un schimbător de căldură de tip tubular (apa caldă – aer), unde apa caldă are temperatura medie de 85°C. Agentul de uscare este aspirat de un ventilator și trimis în camera de uscare. Instalația de uscare standard, este formată dintr-un modul de bază în care încap doua rastele, atunci când se dorește de a se mări productivitatea se adaugă încă patru module în care intră câte un rastel cu casete, figura 1.6.

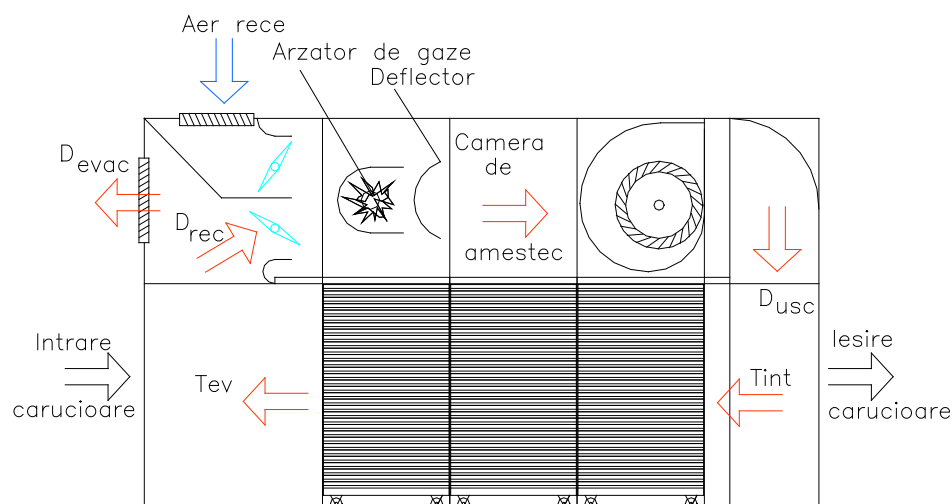


Fig.1.6. Uscător modular extins

Instalație de uscare prin radiație, sunt de tip cameră s-au de tip tunel, principiul de funcționare este asemănător cu funcționarea unui transportor cu funcționare continuă, produsul feliat este transportat de către elementul de tracțiune cu plăcuțe 3, pus în funcțiune de către roata de lanț 8. Uscarea produsului are loc sub influența razelor infraroșii emise de lămpile 7, umiditatea din produs în timpul uscării este evacuată cu ajutorul unui ventilator, fie axial sau centrifugal care aspiră și o refulează prin conducta 6, figura 1.7 (Agrawal et al., 2016; Tiwari et al., 2016; Sakare et al., 2020).

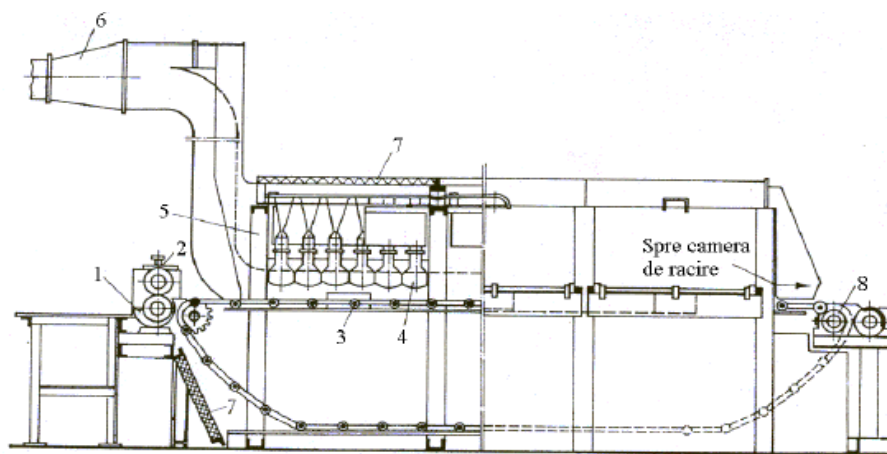


Fig.1.7. Uscător cu raze infraroșii:

1 – 2 măsura de încărcare; 3 – transportor; 4 – lămpi de uscare; 5 – carcasa uscătorului;
6 – conductă de aspirație a aerului; 7 – izolație; 8 – roată de acționare

Instalație de uscare cu curenți de înaltă frecvență, este alcătuită din generatorul de curent 2 și camera de uscare unde sunt plasate vagonetele cu produs 1, în care sunt amplasați și electrozii condensatorului 5, în caz de necesitate pot fi utilizate și bateriile de încălzire 4, surplusul de umiditate este evacuat din instalație cu ajutorul ventilatoarelor 3. Puterea generatorului și frecvența

curentului depind de tipul materialului ce urmează a fi uscat. Dezavantajul principal este costul ridicat al uscării, datorat consumului sporit de energie electrică, figura 1.8 (Altemimi et al., 2019).

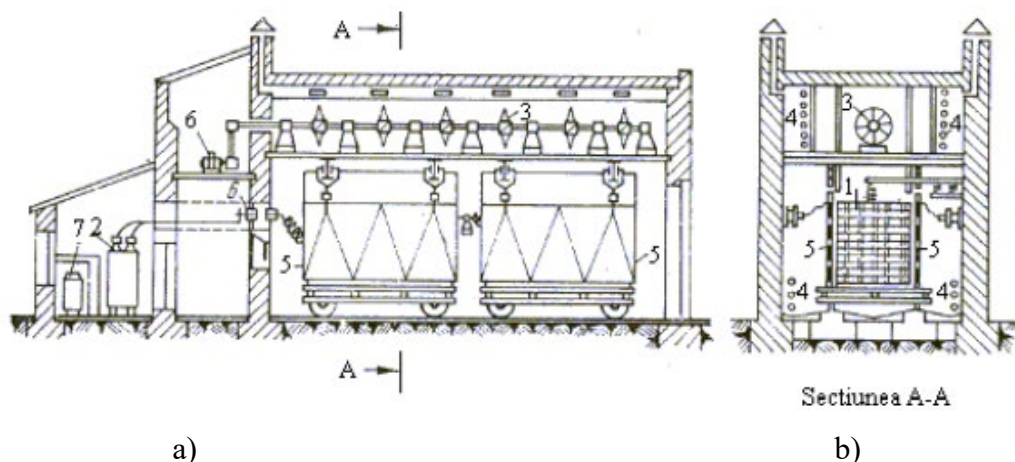


Fig.1.8. Instalație de uscare cu curenți de înaltă frecvență și prin convecție: a) vederea din față; b) secțiunea A-A

1 – vagonet cu material; 2 – generator de înaltă frecvență; 3 – ventilator; 4 – baterii de încălzire; 5 – electrozi; 6 – motor; 7 – transformator

Instalație de deshidratare cu utilizarea curenților de frecvență supra înaltă (SHF), s-au cunoscută ca uscarea în câmp electromagnetic. Tunelul de uscare cu microunde funcționează în regim continuu care are la baza sa un transportor cu bandă. Acest tunel poate fi aplicat pe scară largă la uscarea și sterilizare a diferitor lichide, siropuri, fructe, legume, flori, plante, carne, etc. Conform construcției este dotat cu un buncăr de alimentare cu materie primă 1, care se deplasează de-a lungul transportorului cu bandă 2, prin camera de uscare unde sunt amplasate magnetronurile 4, umiditatea din produs este evacuată în exterior de către un ventilator prin hota 3, produsul uscat este evacuat printr-o gură de evacuare 5, și întregul proces poate fi monitorizat și dirijat de la panoul de comandă 6, figura 1.9

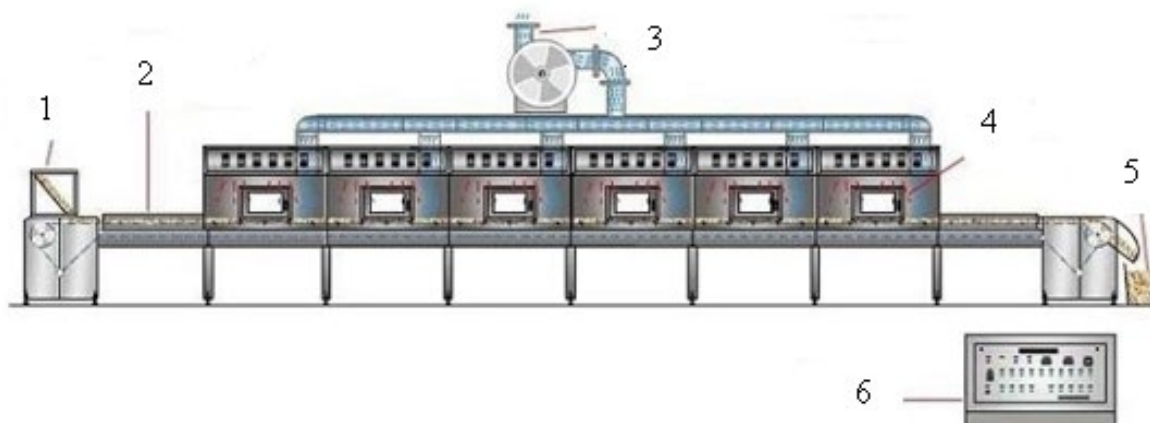


Fig.1.9. Tunel de uscare cu microunde:

1 – încărcarea produsului; 2 – banda transportorului; 3 – sistem de evacuare a umidității; 4 – sistem de încălzire cu microunde; 5 – descărcarea produsului; 6 – panoul de control

În concluzii, se poate de menționat că utilajele prezentate au anumite avantaje care pot fi admise pentru modernizarea utilajelor existente sau în proiectarea noilor utilaje, spre exemplu:

- instalația de uscarea prin convecție s-a modernizat prin dotarea unui compartiment de reciclare a aerului, fie completă s-au parțială, aceasta va duce la economisirea cheltuielilor de energie;
- instalația de uscarea prin convecție în circuit închis, va permite uscării produsului în mediu de gaze inerte, ce va contribui la sporirea calității produsului;
- uscătorul modular, datorită construcției sale poate fi modificată capacitatea sa, poate fi adoptat în funcție de cantitatea produsului ceea ce ar duce la sporirea eficienței economice;
- uscătorul cu raze infraroșii și convecție e un uscător productiv datorită ciclului funcțional continuu, și metodei de uscarea prin radiație;
- instalația de uscarea cu curenți de înaltă și supra înaltă frecvență (microunde) ca avantaj ar fi durata de uscarea redusă datorită influenței câmpului electric și electro – magnetic asupra produsului (fenomenul de polarizare).

1.5. Direcțiile de perspectivă în tehnologia procesului de deshidratare

În prezent o atenție sporită se atrage la aplicarea metodelor combinate de uscarea cum ar fi uscarea *osmotică prin convecție, osmotică cu aplicarea microundelor, convecție cu aplicarea microundelor, convecție cu microunde in vid, convecție cu utilizarea radiațiilor infraroșii, uscarea prin convecție în atmosferă modificată*, etc., avantajul acestor metode presupune o durată de uscarea și un consum redus de energie cu o calitate înaltă a produsului finit. Deci se recomandă pentru perfecționarea tehnologiei de uscarea de a se direcționa de la aplicarea metodelor clasice la metodele combinate de uscarea (Changrue et al., 2008; Ahmed net al., 2013; Altemimi et al., 2019)

Instalațiile de uscarea în cea mai mare parte sunt constructiv analogice ce ar însemna că au parte de aceleași dezavantaje constructive, în funcționare, de monitorizare, etc., (Demakhin, et al., 1987; Hawlader, et al., 2006; Janjai, et all., 2009; Hazervazifeh, et al., 2021)

- consum /cheltuieli sporite de energie; pierderi de căldură (căldura cedată prin pereții camerei de uscarea, prin produsul uscat, la operațiile de încărcare / descărcare, la reciclare, cu evacuarea gazului de ardere);
- lucru manual sporit (la încărcare / descărcare produsului);
- curentul de aer unidirecțional (va însemna în mod normal contact numai pe suprafața de trecere a curentului de aer, rezistența naturală a suprafeței poate fi învinsă numai pe acea latură de contact, toate celelalte laturi ajung numai parțial a fi deservite, curentul de aer trecând doar paralel cu aceste suprafețe);

- contact neuniform (al aerului cu produsul cauzează problemele următoare: uscarea neuniformă - suprafețele situate în curentul efectiv de aer primesc o proporție ridicată de energie și se vor usca mai rapid decât celelalte suprafețe);
- deformare – (acolo unde are loc contracția produsului, suprafața expusă curentului de aer se contractă mai întâi, cauzând deformare);
- ciclu lung (acolo unde are loc contracția, structura poroasă se va închide încetinind trecerea vaporilor de apă);
- formarea crustei (suprafețele, contractându-se previn eliberarea vaporilor de apă din produs lăsând o masă umedă sub crustă);
- lipsa controlului temperaturii și umidității produsului (în timpul uscării produsul este supus doar controlului tactil și vizual);
- evacuarea gazelor de ardere direct în atmosferă prezintă un impact negativ asupra mediului ambiant.

Sunt recomandate unele măsuri în scopul perfecționării instalațiilor de uscare tradiționale (Kumar, et al., 2014; Karaaslan, et al., 2021; Jeon, et al., 2022):

- înlocuirea energiei electrice cu altă sursă de energie mai economă;
- automatizarea instalației;
- izolare eficientă;
- dotare cu sisteme ce nu permit evacuarea căldurii din instalație în timpul operației de încărcare / descărcare cu produs;
- control eficient asupra procesului de reciclare a agentului de uscare;
- posibilitatea adaptării la un circuit închis;
- folosirea căldurii gazelor de ardere la alte operații tehnologice;
- mecanizarea operațiilor de încărcare / descărcare a cărucioarelor cu produs;
- posibilitatea dotării instalației de uscare cu sistem de circulare a agentului de lucru multidirecțional;
- montarea senzorilor de temperatură și umiditate.

Conform ultimelor tendințe ale Republicii Moldova de a deveni stat European, ar fi bine venit de a orienta construcția și funcționarea utilajelor de uscare existente spre un principiu Eco-Friendly, de a implica energia regenerabilă ca sursă alternativă. Unele din modalitățile posibile orientate spre o dezvoltare durabilă ar fi modernizarea instalațiilor de uscare a fructelor și legumelor din Republica Moldova prin aplicarea energiei eoliene, solare, geotermale și a biomasei.

Instalație de deshidratare combinată cu o turbină eoliană. Potențialul energetic tehnic eolian al Republicii Moldova a fost evaluat și exprimat egal cu 1,3 TWh. Această energie ar putea fi produsă cu turbine eoliene, având factorul de utilizare a puterii instalate egal cu 0,3 s-au 30%. (Sobor, 2007; Deumier et al., 2013; Rachier, 2016).

Instalație de deshidratare combinată cu panouri fotovoltaice, figura 1.10. Amplasarea geografică a RM dispune de un potențial major de energie solară. Până pe 02 iunie 2022 au fost depuse deja 167 de cereri de instalații de panouri fotovoltaice privind confirmarea statutului de producător eligibil, pentru o putere instalată de circa 122 MW, conform HG 401/2021, (Demakhin et al., 1987; Prakash, et al., 2017).



Fig.1.10. Utilizarea energiei solare: (a, b) instalații de uscare cu utilizarea energiei solare

Instalație de deshidratare combinată cu pompă de căldură. În prezent utilizarea pompei de căldură are un domeniu larg de întrebuințare, mai puțin cunoscută și aplicată este implicarea pompei de căldură în procesul de uscare, aceasta ar permite de a folosi o sursă curată de energie, independent s-au în combinație cu alte metode în cazul dorinței de a obține temperaturi mai înalte (Wessel, 1994, Huang, 2007; Gîdei et al., 2016)

Instalație de deshidratare combinată cu un cazan pe biomasă, figura 1.11. Biomasă în Republica Moldova este considerată drept una din cele mai importante resurse de energie regenerabilă. Cea mai puternică regiune din punct de vedere al potențialului de biomasă este Nord cu circa 10647,63 TJ, după care urmează Sud cu 5034,40 TJ și Centru cu un potențial de 3744,76 TJ. Peleții și brichetele constituie un nou combustibil, care răspunde actualelor cerințe de utilizare a energiei „curate” și regenerative, de asemenea reprezintă o alternativă de încălzire domestică și industrială ecologică. Pentru RM, în condițiile alinierii prețurilor combustibililor clasici la cele europene, în curând, biomasă va deveni alternativa cea mai avantajoasă și cea mai confortabilă (Todos, 2002; Moses et al., 2014).



Fig.1.11. Utilizarea energiei biomasei

Instalație de deshidratare cu utilizarea energiei solare și biomasei. Un alt concept Eco ar fi utilizarea combinată a energiei solare și energiei biomasei, această combinație ar permite economisirea biomasei și în același timp atingerea a unor temperaturi mai înalte. Spre exemplu pentru unele fructe ca prunele, ar fi necesară o temperatură de circa 70 - 80°C, figura 1.12.



a)



b)

Fig.1.12. Utilizarea energiei regenerabile: a) solară, b) cu utilizarea biomasei

O dată cu implicarea surselor de energii regenerabile se vor obține noi tehnologii de uscare, în deosebi a produselor agroalimentare, se vor reduce cheltuielile energetice în timpul uscării, se v-a reduce efectul poluării mediului o dată cu reducerea utilizării energiei tradiționale (combustibililor fosili). Folosirea tehnologiilor noi de uscare, Eco și obținerea produselor deshidratate de calitate vor deschide noi uși spre noi orizonturi, exportul în UE și în afară, noi relații de colaborare cu diferiți parteneri, diferite proiecte de colaborare, noi proiecte în agricultură și energetică, etc., (Maican, 2015; Tiwari, et al., 2016; Agrawal, et al., 2016).

1.6. Fructele de piersic – materie primă valoroasă pentru deshidratare

1.6.1. Descrierea culturală a piersicilor

În anul 2015 au fost descoperite în China fosilele a opt piersici, având o vechime de 2.5 milioane ani. Chiar dacă numele său științific (*Prunus persica*) sugerează că piersica este originară din Persia, piersicii de fapt sunt nativ Asiei, mai precis Chinei.

Piersicii sunt menționați în scrierile chineze încă din secolul X î.Hr, unde se spune că au fost fructele preferate ale regilor și împăraților chinezi. Recent, istoria cultivării piersicilor în China a fost rescrisă de la început, în urma studierii unor manuscrise din anii 1100 î.Hr. Piersica a fost adusă în India și în Asia vestică încă din vremuri antice. Alexandru Macedon a adus fructul în Europa după cucerirea perșilor în 331 î.Hr. Mai târziu, a fost adus în America de către exploratorii spanioli și a ajuns în cele din urmă și în Anglia și Franța, în secolul XVII, unde era considerată o delicatessă. În prezent, piersicul s-au răspândit pe tot mapamondul, fiind un pom fructifer destul de comun (Ensminger, 1994; Layne et al., 2008).

1.6.2. Arealul de cultivare și dinamica piersicilor în Republica Moldova

În Republica Moldova cultura piersicului s-a dezvoltat în zonele favorabile astfel ca în prezent fructul de piersici prezintă a treia specie pomicolă, ca perspectivă de cultivare, în funcție de suprafață și volumul de producție după măr și prun. Majoritatea plantațiile industriale au fost înființate preponderent în a doua jumătate a secolului XX. Cele mai favorabile zone de cultivare a piersicului sunt zonele de Centru și Sudul Republicii Moldova, în zona de Nord a țării cultivarea piersicului prezintă un risc datorită temperaturilor joase și înghețurilor, zona de Sud fiind caracterizată de precipitații scăzute, figura 1.13, (Popa, et al., 2016).

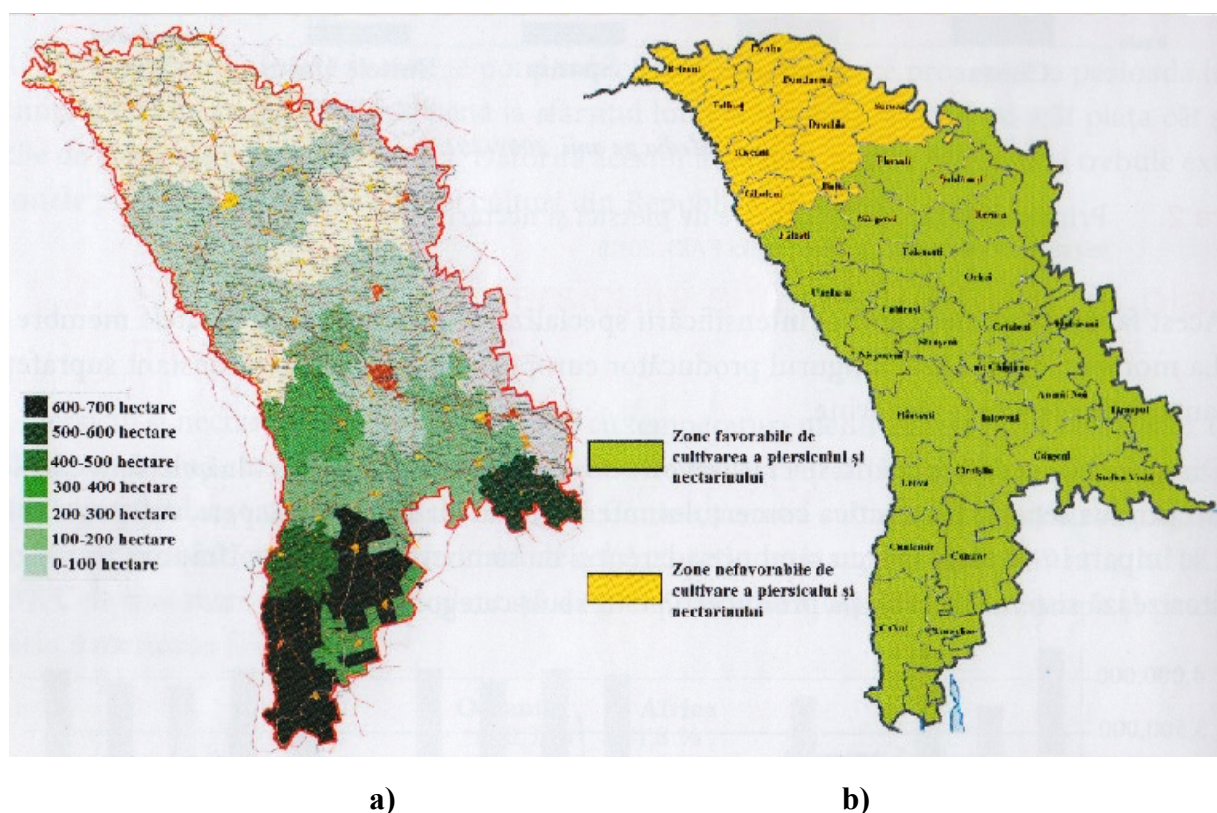


Fig.1.13. Zonele de cultivare a piersicilor: a) suprafața plantațiilor de piersic; b) repartizarea teritorială a zonelor favorabile și nefavorabile

Conform Biroului Național de Statistică (BNS) și Organizația pentru Alimentație și Agricultură a Națiunilor Unite (FAO), (FAOSTAT 2021.), în Republica Moldova suprafața totală a piersicilor în ultimii ani, 2015 – 2019 se reduce de la 7599 la 6074 ha, figura 1.14.

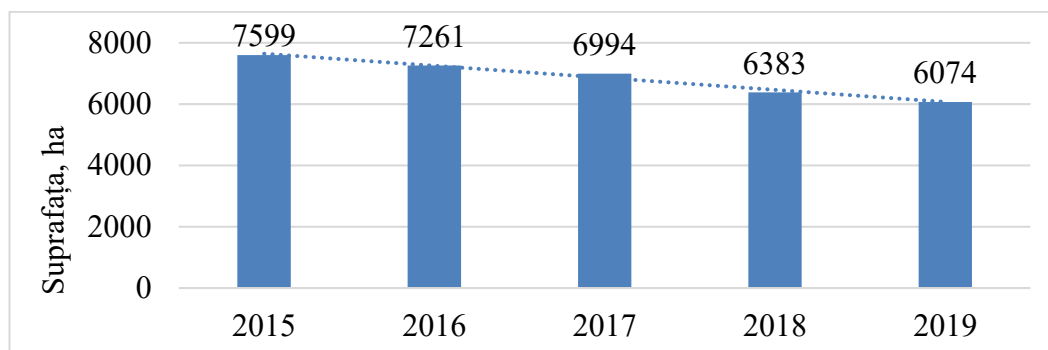


Fig.1.14. Dinamica suprafețelor de piersic din Republica Moldova

Din anul 2015 suprafața totală de piersic s-a micșorat, în schimb a crescut suprafața plantațiilor pe rod constituind în anul 2015 – 3239,4 kg/ha, și în 2019 – 3672,2 hg/ha, figura 1.15.

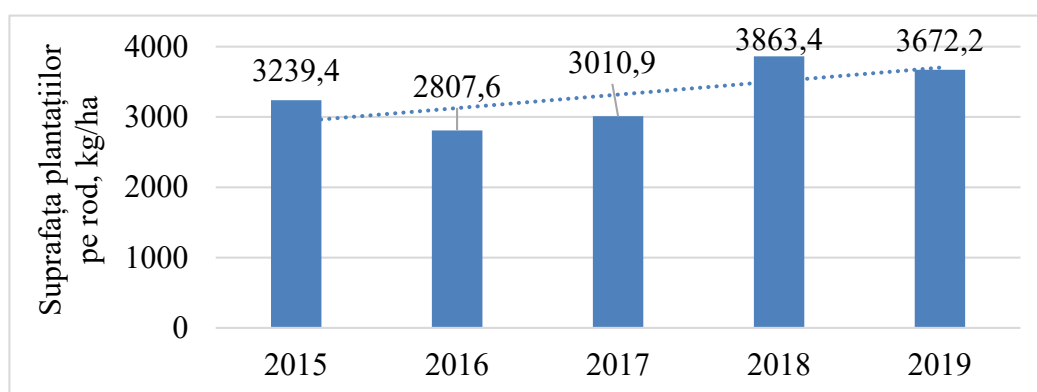


Fig.1.15. Dinamica recoltei obținută pe o unitate de suprafață în Republica Moldova

Recolta globală a avut un caracter diferit în anii 2015 - 2019, aceasta a fost influențată de condițiile climaterice din anii respectivi, cea mai mică recoltă în 2016 a constituit - 20386 t, iar cea mai mare în anul 2018 fiind de 24660 t, figura 1.16.

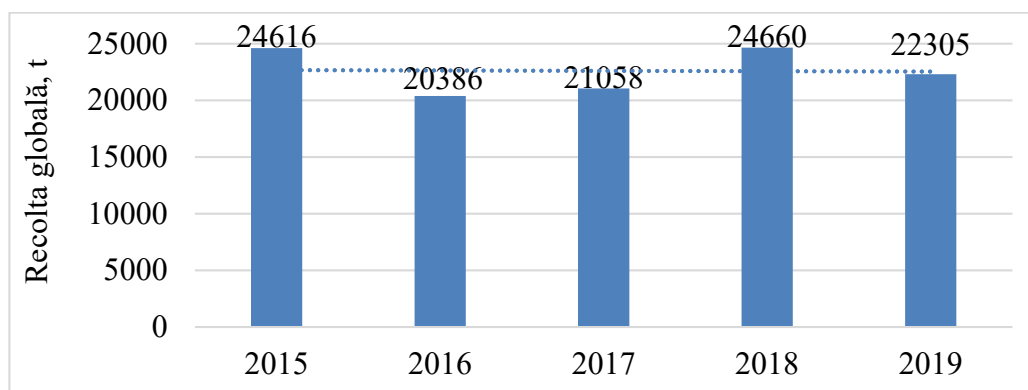


Fig.1.16. Dinamica recoltei globale a piersicului în Republica Moldova

1.6.3. Caracteristica fructelor de piersic

Piersicul (*Prunus persica*) (grec. Μηλον Περσικόν mēlon Persikón „măr persian“) pom fructifer, din familia Rosaceae, genul *Prunus*. Conform clasificării științifice: regnul plantae, diviziune magnoliophyta; clasă magnoliopsida; ordin rosales; familie rosaceae; subfamilie prunoideae; gen *prunus*; specie *prunus persica*; nume binominal *prunus persica*, figura 1.17.

Morfologic, piersicul este un arbore care atinge în înălțime circa 8 m; crengile sale sunt relativ drepte cu puține ramificații.

Frunzele sunt pe margini ușor zimțate de formă lanceolată, având



Fig.1.17. *Prunus persica*

lungimea cuprinsă între 8 – 15 cm și lățimea de 2 – 4 cm. Florile cu un diametru de 2,5 - 3,5 cm, au o formă cupolă, fiind de culoare roză s-au galbenă. Fructele sunt acoperite frecvent de peri, au forma sferică cu un diametru de 4 – 10 cm, având nuanțe de culoare de la verde deschis, galben la roșiatic. Sâmburele este așezat central cu o consistență dură. Conform cultivării în Europa Centrală, piersicul pentru a fi ferit de frig, este plantat în podgorii de viță de vie. Pomii sunt sensibili la frig, de aceea se practică frecvent altoirea prunului cu mlădițe de piersic. Piersicul rezistă la temperaturi de până la -30°C în timpul iernii, însă dacă după înflorirea ramurilor, temperatura scade la mai puțin de -4°, florile se scutură iar pomul nu mai poate produce fructe în anul respectiv. Astfel, înghețurile neașteptate din timpul primăverii sunt destul de problematice, întrucât piersicul înfloarește destul de devreme (la începutul primăverii). De asemenea, pentru ca fructele să se coacă, este nevoie ca temperatura din timpul verii, în luna cea mai fierbinte, să fie între 20 și 30°C. Țări importante care cultivă piersicul sunt China, Iran, Franța dar și țări mediteraneene precum Italia, Spania, Grecia. Mai de curând, țări precum Statele Unite, Canada și Australia au devenit de asemenea țări importante producătoare de piersici (LaRue et al., 1989; Piersic 2018).

1.6.4. Metode de valorificare a fructelor de piersic

Analizând exportul ca o metodă de valorificare a fructelor de piersici în condițiile RM conform unui studiu (AGRO inform, 2018) în anul 2018 sa-u exportat în total doar 4301 tone, în Belarus, Federația Rusă, Polonia România și Ucraina, acest fapt se datorează condițiilor necorespunzătoare de recoltare, condiționare, păstrare și transportare. Spațiile comerciale specializate în desfacerea produselor horticole sunt: hipermarketurile, supermarketurile, magazinele și piețele, acestea diferă în funcție de condițiile de păstrare și comercializare a legumelor și fructelor. Municipiul Chișinău dispune de o gamă largă de centre unde poate fi comercializată producția de piersici în stare proaspătă.

Piersicile sunt apreciate pentru consumul în stare proaspătă, fiind utilizate sub formă prelucrată în compoturi, nectar, gem, dulceață, etc., (Rajarathnam, 2011; Davim et al., 2015; Vasily, 2017; MoldovaFruct; ODIMM, 2016):

Pasta de fructe. Pentru fabricarea pastei de fructe se folosesc piersicile în stare proaspătă, conservată sau se pot folosi și sucuri cu pulpă. Ambalarea se face în recipiente de sticlă de 640 și 420 ml care se pasteurizează timp de 20 - 25 minute la temperatura de 100°C.

Dulcețuri. Sunt produse negelificate îmbibate cu un sirop de zahăr prin prelucrare termică. De regulă fructele se recoltează pentru prelucrarea în stadiul maturității de consum când fermitatea pulpei este suficient de mare pentru a evita destrămarea fructelor în sirop.

Fructe confiate. Acest tip de produs se obține prin impregnarea cu cantități mari de zahăr (73 - 80% substanță uscată), care le asigură conservabilitatea din punct de vedere microbiologic. Fabricarea fructelor confiate este asemănătoare cu cea a dulcețurilor și se bazează pe fenomenul de difuziune osmoză prin care fructele se îmbogățesc treptat cu zahăr, în timp ce sucul vacuolar diluează siropul până la starea de izotonie.

Produse gelificate. Această denumire se datorează formării unui gel, din compoziția pectină zahăr-acid, care conferă produselor obținute o consistență semisolidă din care nu se separă sirop. Gemurile se obțin din fructe proaspete sau semiconservate, fierte cu zahăr, sau fără adaos și pectină, până la o consistență care să-i permită să fie întins fără să se fragmenteze. Din punct de vedere calitativ, produsul finit trebuie să conțină minim 61% substanță uscată solubilă și o aciditate totală de maxim 0,5%, exprimată în acid malic. Ca aspect, gemul conține fructe, bucăți de fructe sau petale parțial destrămate, dispersate în masa ușor gelificată din care nu se separă siropul.

Compoturile. Dozarea implică adăugarea fazei solide (fructe uniforme) și turnarea siropului la cald (minim 75°C). Proportia de fructe este normată conform STAS, între minim 26-45% (piersici întregi). Sterilizarea se execută de regulă la 100°C, un timp variabil în funcție de sortiment și mărimea ambalajului.

Sucurile de fructe. Sucul de fructe este suc obținut din fructe, fermentabil, dar nefermentat, având caracteristicile de culoare, aromă și savoare tipice sucului din fructul de la care provine. Produsul obținut din suc din fructe concentrat are caracteristici organoleptice și analitice echivalente celor ale sucului obținut din fructul de același tip.

Nectarul din fructe este produsul fermentabil, dar nefermentat, obținut prin adăugarea de apă și zaharuri sucului din fructe, sucului din fructe concentrat, piureului din fructe, piureului din fructe concentrat, sau unui amestec al acestor produse. Tendința actuală este de a folosi ca materie primă pentru sucuri fructele proaspete sau cel mult conservate prin congelare.

Sucurile limpezi, spre deosebire de sucurile cu pulpă, sunt produse parțial autentice, fiind lipsite de componenta solidă care constituie fructul propriu-zis. Există posibilitatea fabricării lor atât în timpul perioadei de recoltare, cât și ulterior, din concentrate, condensate, deshidratate, sau stocuri depozitate aseptice.

1.6.5. Compoziția fizico – chimică, proprietăți nutriționale, mecanice și termofizice a fructelor de piersic

Valoarea nutritivă ridicată a piersicilor se datorează compoziției complexe și echilibrate de apă (87 - 90%), substanțe uscate totale (10 - 12,5%), conținut de zahăr (8,4g / 100g de produs), aciditate titrabilă (0,5%) și pH-ul (4). Compoziția chimică, (100 g produs): proteine (0,9 g), lipide (0,3 g) glucide (10,5 g); aminoacizi - acidul aspartic (0,42 g), minerale ca Potasiu (190 mg), Fosfor (20 mg), Magneziu (9 mg), Calciu (6mg); vitaminele A (326 IU), C (6,6 mg), E (0,73 mg) și B4 (6,10 mg); aport caloric (39,00 kcal); carbohidrați (9,54 g) și fibre (1,50 g), (Geçer, f.a.) (Hudina, 2022) (Iordănescu et al., 2015). Uscarea fructelor și legumelor se bazează pe fenomene complexe bazate pe transferul simultan de masă, căldură și impuls, care depinde atât de parametrii procesului, cât și de proprietățile și structura produsului. Caracteristic piersicilor este masa, diametrul echivalent, densitatea, fermitatea, căldura specifică, conductivitatea și difuzia termică, tabelul 1.2, (Emadi et al., 2011; Zohrabi et al., 2013; Pérez-López et al., 2014; Espinoza et al., 2015).

Tabelul 1.2. Proprietăți mecanice și fizice ale piersicilor

Masa (g)	Diametrul echiv. (mm)	Sfericitate (%)	Densitate (kg/m ³)	Fermitate (kgf/cm ²)	Căldura specifică (kJ/kgK)	Coeficient, conductivitate termică (W/mK)	Coeficient, difuzivitate termică (m ² /s)
90-150	50-75	0,98-0,99	0,97-0,99	0,88-1,22	3,55-3,62	0,50-0,60	0,20-0,22

Concluziile la capitolul 1

Sa-u studiat aspecte teoretice ale procesului de uscare a piersicilor ca fiind un produs cu structură capilar – poroasă, și s-a descris: fenomenul difuziei pe baza legiților lui Darcy; fenomene de transfer de masă în faza de apă și vapori, fenomenele de transfer la scară micro și macro; aspecte teoretice ale tratării cu microunde; fenomenul de polarizare; s-a studiat la general fenomenul de brunificare, cauzele apariției sale; s-a descris tehnica și tehnologia modernă de uscare; s-au analizat instalații de uscare moderne; s-au indicat unele direcții de bază ale perfecționării tehnicii și tehnologiei procesului de uscare; s-au analizat piersicile ca obiect de studiu cu prezentarea proprietăților chimice, termofizice, și mecanice.

2. MATERIALE ȘI METODE DE CERCETARE

2.1. Materia primă – fruct de piersic

Fructul de piersic fiind un produs sezonier, în funcție de specie 2 – 3 săptămâni, în cercetarea procesului de deshidratare s-au întâmpinat unele dificultăți legate de disponibilitatea materiei prime proaspete. În acest context s-au pus în evidență mai multe soiuri de piersic cum ar fi Spring Crest, Flamingo, Cardinal, Rehaven și Moldova (Popa, et al, 2016).

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

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

Redhaven, Originar obținut la Stațiunea experimental South-Haven, Michigan, S.U.A. Pomul de vigoare mijlocia spre mare, înfloarește în perioada mijlocia, intră pe rod în anul 3 de la plantare. Fructul de mărime mijlocie spre mare (130-170 g), forma fructului rotunjită s-au rotunjit-ovală. Pelița fin pubescentă, de grosime mijlocie, aderentă la pulpă, colorată în galben portocaliu, acoperită cu roșu intens punctat și striat peste 90% suprafață. Pulpa galben-portocalie puțin roșie lângă sâmbure, mijlociu de succulentă, dulce acidulată cu gust plăcut. Semiaderentă la sâmbure. Epoca de maturare în prima decadă a lunii august. Particularitățile tehnologice se apreciază ca unul din cele mai bune soiuri, servește ca etalon, productivitate înaltă, fructifică regulat.

Tabelul 2.1. Caracteristicile soiurilor de piersici Springcrest, Cardinal și Redhaven

Soiul	Masa (g)	D. echiv. (mm)	Fermitatea (kgf/cm ²)	Umiditatea (%)	pH
Springcrest	70 - 110	50 - 55	1,16 - 1,20	88,0 - 90,5	3,73 - 3,95
Cardinal	80 - 140	55 - 60	0,92 - 1,10	86,0 - 89,0	3,48 - 3,54
Redhaven	130 - 170	65 - 75	0,88 - 0,95	87,0 - 88,0	3,95 - 4,02

(Sipahioglu, et al., 2006; Popa, et al, 2016).

2.2. Reactivi și materiale de laborator

Cercetările realizate au necesitat o serie de reactivi chimici și materiale de laborator prezentate în tabelul 2.2.

Tabelul 2.2. Reactivi chimici și materiale de laborator

Nr.	Denumire	Standard	Puritate	Producător
1.	Folin-Ciocalteu	ISO 6353-2:1983	98%	Merck, Germania
2.	DPPH	ISO 6353-2:1983	99%	Sigma, Germania
3.	Carbonat de sodiu (Na ₂ CO ₃)	ISO 6353-2:1983	99%	Sigma, Germania
4.	Acid galic	ISO 6353-2:1983	98%	Sigma, Germania

2.3. Standul experimental destinat studiului procesului de deshidratare al piersicilor

Cercetarea procesului de deshidratare a piersicilor a avut loc la instalația proiectată, elaborată și brevetată la UTM, brevet de invenție MD 1295 Z 2019.07.31, figura 2.1.



Fig.2.1. Instalația de deshidratare, vedere frontală

Principiul de funcționare și construcția standului experimental poate fi văzut în figura 2.2.

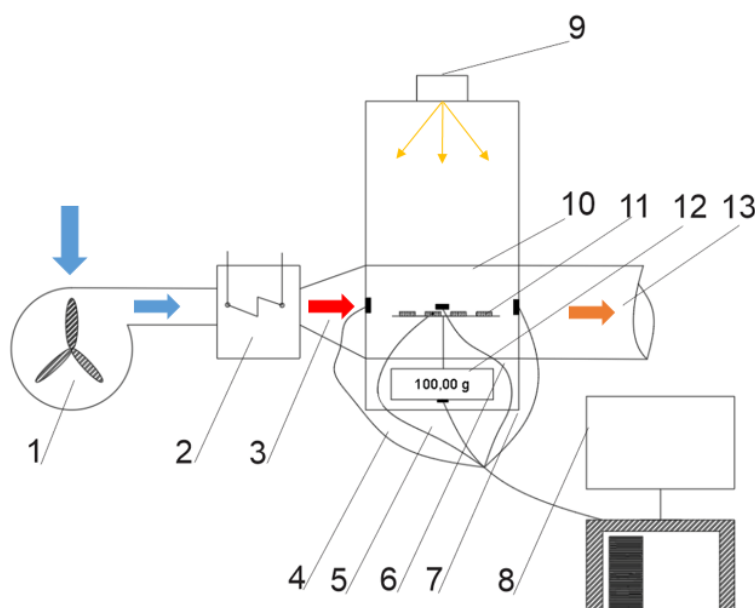


Fig.2.2. Schema funcțională a instalației de uscare proiectată:

1 – ventilator, 2 – schimbător de căldură, 3 – hota de intrare a aerului cald, 4,7 – senzor de temperatură și umiditate a aerului, 5 – senzor de temperatură pentru produs, 6 – senzor al vitezei aerului, 8 – calculator, 9 – magnetron, 10 – camera de uscare, 11 – tava cu produs, 12 – cântar electronic, 13 – hota de evacuare a amestecului de aer și vapori din camera de uscare.

Construcția instalației de uscare este următoarea: la bază o carcasă din profil pătrat 30 x 30 mm – 1; pe acest suport este montat un sistem de dirijare al microundelor – 2; lateral este amplasat un sistem frigorific – 3, și un rezervor de gaze inerte (CO_2) – 4. În partea superioară este montat un dispozitiv de reglare a temperaturii – 5, ce permite obținerea unui diapazon, 0 – 100°C. Schimbarea debitului fluxului de aer al ventilatorului este posibilă datorită un convertizor de frecvență – 6, în vecinătate este amplasat rezervorul de gaze inerte care este conectat cu circuitul camerei de uscare prin furtunul – 7. Datorită convertizorului de frecvență este posibil de a schimba numărul de rotații al motorului electric – 8, în cazul utilizării unui circuit închis este nevoie de a folosi conducta – 9, agentul termic este antrenat în camera de lucru de un ventilator centrifugal – 10, marca (VORTICE SPA) de puterea 0,16 kW, și care asigură o viteză a aerului până la 3,0 m/s. Conducta de reciclare este dotată cu un ștuț – 11, și este montată la un condensator – 12, opus se găsesc rezistențele electrice montate în interiorul unei cavități metalice – 13. În cazul uscării în câmp electromagnetic elementul de bază este emițătorul de microunde – 14, care emite microunde în camera de uscare – 15, în cazul uscării unui produs în atmosferă modificată, valoarea în % a gazului e indicată electronic pe dispozitivul – 16, în acest caz gazul trece pe un circuit închis redirecționat de conducta – 17, gazul inert este analizat de senzorul electronic de gaze – 18. Monitorizarea și înregistrarea scăderii de masă se datorează instalării unui cântar electronic – 19,

montat în camera – **20**. Pentru a facilita operația de încărcare și descărcare a instalației cu produs, camera de uscare este dotată frontal cu un capac metalic, izolat termic – **21**.

La deshidratarea prin convecție este nevoie de conectare la o sursă de curent alternativ 220-240V, se conectează sistemul și cântarul electronic **19**, se conectează calculatorul și se pornește **soft-ul IgiCOM** care este destinat cercetării procesului de uscare. În continuare se asigură că masa inițială a produsului este „**0,00 g**”, pe ecranul cântarului cât și al calculatorului, și se asigură că toți senzorii funcționează. Între timp o cantitate de produs este introdusă în camera de uscare **15** care este plasată pe un suport perforat montat superior cântarului, astfel masa produsului va fi indicată pe ecran. Se închide capacul **21**, în cazul convecției se utilizează un capac din sticlă organică pentru a vizualiza mai bine procesul. În continuare se conectează motorul electric **8** și ventilatorul centrifugal **10** asigurându-se că circuitul este deschis, cu ajutorul convertizorului de frecvență **6** setând numărul de rotații se modifică viteza agentului termic (debitul), în acest caz a aerului din mediu înconjurător. Următorul pas este de a conecta dispozitivul electric **5** și a seta temperatura de uscare valoarea căreia este vizualizată la calculator. O dată ce toți parametri sunt aleși începe procesul de uscare, aerul din mediu este rece și uscat, (la temperatura și umiditatea relativă din cameră) fiind preluat de ventilatorul centrifugal **10** jetul de aer este orientat spre rezistențele electrice **13**, care au temperatura stabilită de dispozitivul electric **5**, în momentul de contact, aerul pierde din umiditate acumulând căldură, și trecând în camera de uscare parțial o cedează produsului. Produsul fiind încălzit, de pe suprafața sa se degajă vapori de apă, care sunt preluați de fluxul de aer ce intră în camera de uscare, și evacuați în exterior. După o perioadă de timp, 5 - 7 ore produsul va fi deshidratat, și operațiile de deconectare a instalației se repetă doar că în direcție inversă.

La deshidratarea cu aplicarea microundelor ordinea operațiilor de pornire și oprire a instalației este identică convecției, dar cu unele diferențieri cum ar fi că nu se conectează dispozitivul electric **5** cu elementele electrice **13**, deci se utilizează aerul cu temperatura și umiditatea din mediu înconjurător. Specificul metodei date este conectarea sistemului de dirijare a microundelor **2**, unde se alege regimul și timpul de lucru al magnetronul **14** care emite microundele în camera de uscare **15**.

La deshidratarea prin metoda combinată se ține cont de aceeași ordine de conectare / deconectare, pentru metoda dată se conectează toți parametri convecției, ventilatorul **10** dispozitivul electric **5** și rezistențele electrice **13**, concomitent se conectează și microunda **2** cu magnetronul **14**. În cazul dat produsul va fi tratat cu două surse de încălzire diferite din interior și exterior, aceasta va duce la reducerea semnificativă a timpului de uscare, figura 2.3.

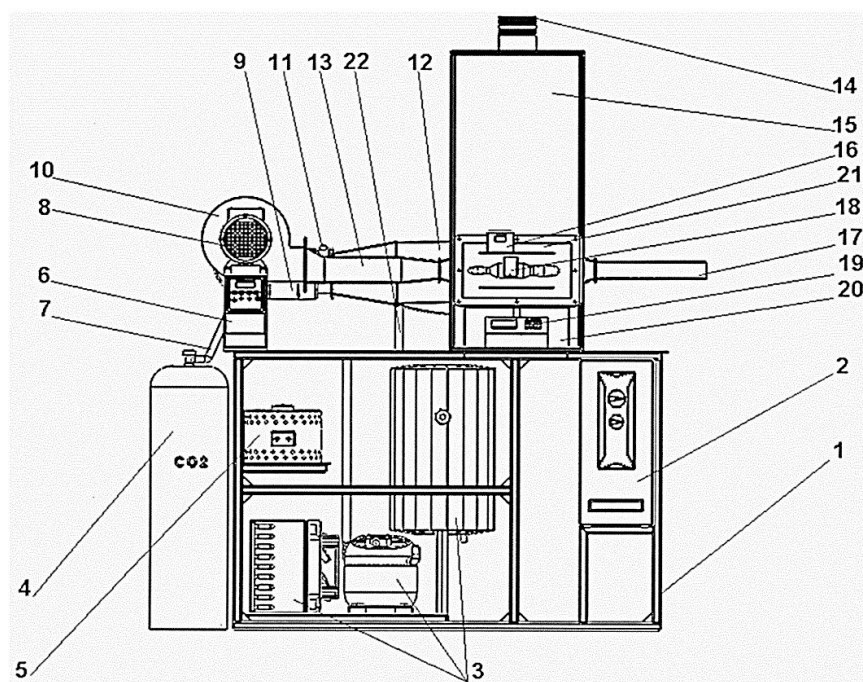


Fig.2.3. Vederea frontală a instalației de cercetare

2.4. Măsurarea variației parametrilor procesului de deshidratare

În elaborarea graficilor cineticii procesului de deshidratare cel mai important rol îl ocupă exactitatea rezultatelor măsurărilor temperaturii, umidității și a scăderii masei produsului în timpul uscării, figura 2.4.

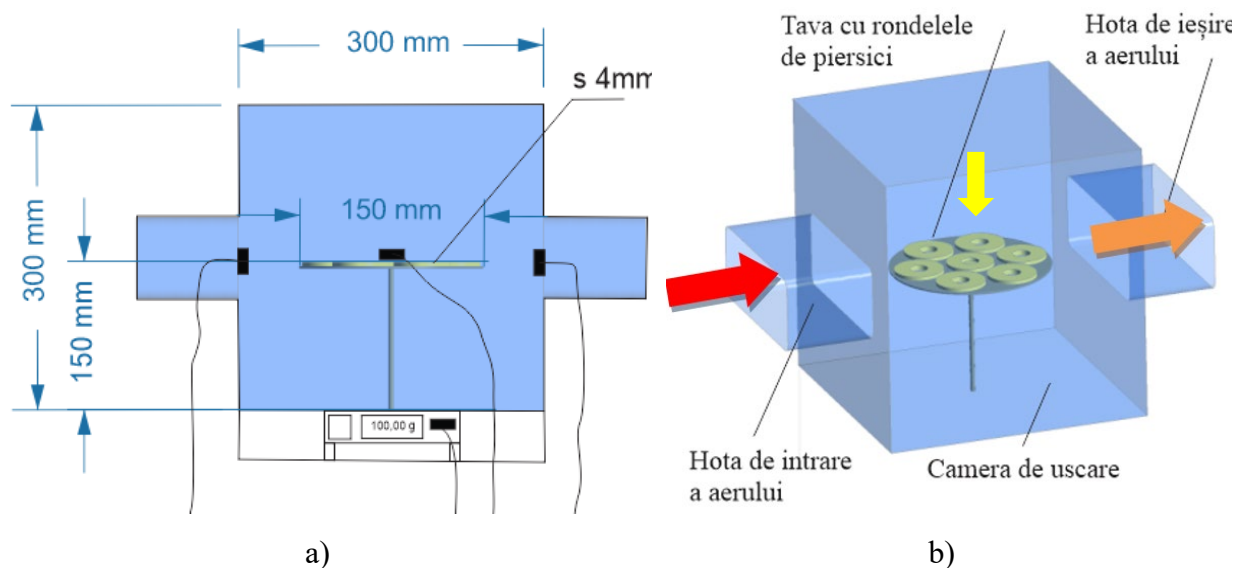


Fig.2.4. Camera de uscare dotată cu senzori pentru monitorizarea procesului de uscare: a) vedere frontală și b) izometria

Instalația de uscare a fost dotată cu senzori de temperatură și umiditate la intrare și ieșirea din camera de uscare, înregistrarea se face cu ajutorul senzorilor (DALLAS 8820 – eroarea $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$) și (DALLAS 8820 – eroarea $\pm 0,5\%$). Totodată în camera de uscare sa montat o platformă, ce prezintă un suport perforat pentru uscarea produsului, și care este fixat pe un cântar electronic

de precizie înaltă, (G&G JJ2000B – eroarea $\pm 0,01$ g). Toți acești senzori și cântarul s-au conectat la un dispozitiv electronic, prin intermediul acestuia și a softului IgiCOM, toți parametri indicați pot fi monitorizați și înregistrați la calculator, figura 2.5. și 2.6.

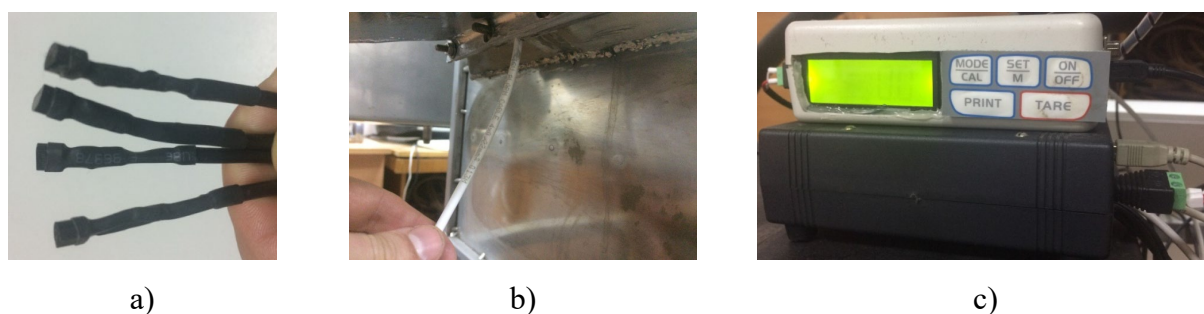


Fig.2.5. Monitorizarea procesului de deshidratare: a) senzori de temperatură DALLAS 8820; b) senzori de umiditate DALLAS 8820; c) dispozitiv electronic

Softul are o interfață simplă și accesibilă, în partea stângă se monitorizează masa produsului supusă uscării, mai jos este indicată umiditatea relativă și temperatura aerului la intrare și ieșire din camera de uscare, plus se poate de măsurat suplimentar temperatura în patru zone diferite. În partea dreaptă sunt prezentate trei cadrane, pe primul are loc generarea curbei de scădere a masei produsului în timpul uscării, al doilea cadran prezintă umiditatea relativă și temperatura aerului, și al treilea cadran sunt acele patru sonde pentru măsurarea temperaturilor dorite. În timpul cât și după finisarea uscării, softul dat permite de a lua datele (masa produsului, temperatura produsului, temperatura și umiditatea aerului) în orice moment al timpului se dorește, intervalul de timp minim la înregistrare este de 5 minute, astfel rezultatele obținute sunt veridice și exacte, și permit folosirea lor în diferite cercetări, articole, publicații etc, figura 2.6.

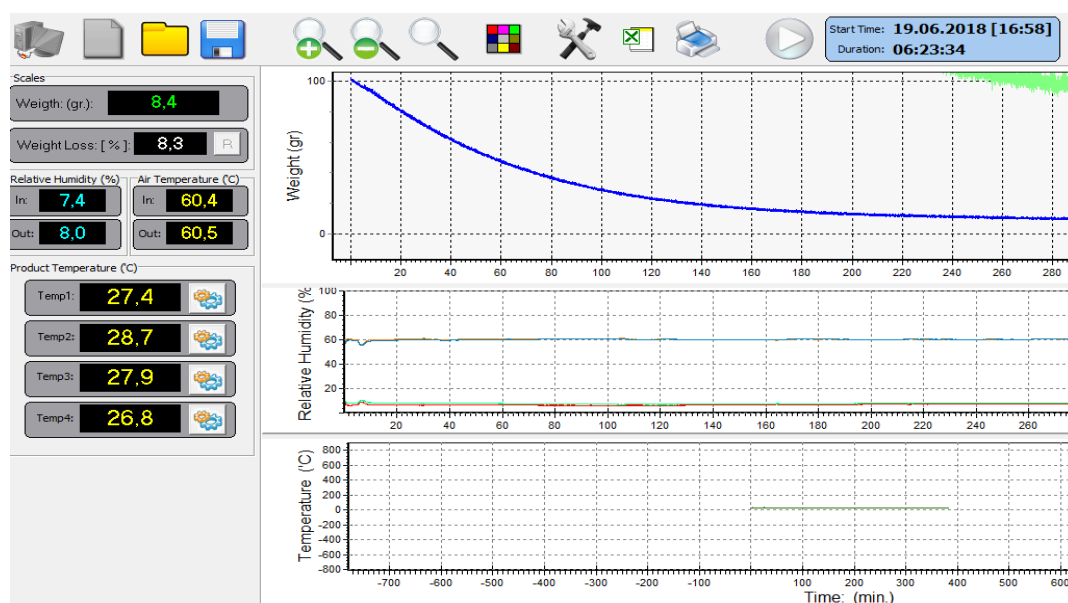


Fig.2.6. Procesarea electronică a datelor , IgiCOM &UTM Dryer –V.2.0:
1-cadran) masa produsului, (g), 2-cadran) temperatura și umiditatea (%), 3-cadran (indică temperatura în patru puncte diferite °C)

2.5. Metoda de măsurare a parametri mediului

Procesul de uscare include în sine un proces destul de complicat deoarece depinde de o mulțime de factori: de natura produsului (umiditatea inițială, fermitatea, caracteristici chimice, termofizice, mecanice, structura scheletului, grosimea produsului supus uscării, etc.), parametri tehnici ai instalației de uscare (tipul instalației, forma geometrică constructivă, viteza fluxului de aer, tipul sursei de energie, temperatura aplicată, etc.) cât și de condițiile în care se desfășoară procesul dat, temperatura, umiditatea și presiunea aerului din mediul înconjurător. Pentru măsurarea parametrilor din exteriorul instalației de uscare s-a utilizat un set de instrumente de la compania Testo, Germania. Setul dat este dotat cu mai multe tipuri de sonde care pot monitoriza și înregistra diferiți parametri.

2.6. Etapele de pregătire a fructelor de piersici pentru procesare

Pentru realizarea compartimentului experimental în calitate de materie primă s-au folosit trei soiuri de piersici, Springcrest, Cardinal și Redhaven cultivate și recoltate în condițiile Republicii Moldova. Piersicii au fost preluați pe parcursul anilor 2015 - 2020. Pentru experiențe au fost selectate piersicile coapte, care conțineau umiditatea inițială în jur de 87 - 90%, masa în jur de 140 - 150g, fermitatea circa 0,9 - 1,2 kgf/cm², pH - ul 3,5 - 4,0.

Inițial piersicile au fost spălate sub un șuvoi de apă de temperatura camerei, șterse cu un șervețel uscat și examinate vizual și tactil să nu posede urme de mucegai, corpuri străine, urme de vătămări, după care au fost tăiate în jumătate pentru scoaterea sâmburelui, după care tăiate în rondele de grosime bine determinată. S-au ales și s-au cântărit o porție de rondele și s-au aranjat într-un singur strat pe tava din camera de uscare, după care a început deshidratarea.

Metoda de deshidratare a fructelor de piersici prin convecție (Zhu et al., 2014; Vișanu, 2018, 2022; Karaaslan et al., 2021).

Metoda de uscare a piersicilor prin convecție constă în executarea următoarelor etape: s-a ales soiul de piersici potrivit pentru uscare, s-au selectat piersicile coapte după care s-au tăiat în rondele, pentru cercetare s-au analizat rondelele tăiate de la $2 - 10 \pm 0,5$ mm. Apoi s-a ales o cantitate de rondele prestabilită și s-au aranjat pe suportul perforat din camera de uscare în poziție orizontală, grosimea stratului de produs este exact cât o grosime al produsului (fără suprapuneri). După ce, are loc deshidratarea piersicilor prin metoda convecției forțate, în calitate de agent termic se utilizează aerul din încăperea cu temperatura inițială 20 - 25°C, umiditatea relativă 55 - 60%, presiunea atmosferică normală, s-a cercetat deshidratarea la diferite temperaturi $50 - 90^\circ \pm 0,5^\circ\text{C}$ și la diferite viteze ale aerului de la $0,5 - 2,5 \pm 0,1$ m/s, în camera de uscare cu dimensiunile de gabarit: L*I*h, (300*300*300 mm.)

Metoda de deshidratare a fructelor de piersici cu aplicarea microundelor (Wang, et al., 2006b; Roknul et al., 2019; Vișanu, 2022).

După pregătirea piersicilor pentru deshidratare a avut loc tratarea cu microunde: în cazul magnetronului cu puterea totală de 600W sa stabilit pentru cercetare diferite regimuri de 120, 150, 230, 370, și 490W; pentru magnetronul de 900W sa ales regimurile de 180, 225, 270, 315, 360W. În calitate de agent termic destinat îndepărtării umidității din produs și din camera de uscare sa utilizat aerul din încăperea cu temperatura 20 - 25°C, umiditatea relativă 55 - 60%, presiunea 760 - 765 mmHg și viteza de $2,0 \pm 0,1$ m/s; camera de uscare posedă aceleași dimensiuni de gabarit.

Metoda de deshidratare a fructelor de piersici prin metoda combinată (Maskan, 2001b; Ismail, et al., 2017; Țislinscaia et al., 2021a; Vișanu, 2022).

Metoda de pregătire a piersicilor pentru uscare la toate trei metode a fost identică. Pentru metoda combinată s-a utilizat aceeași ordine de pregătire a piersicilor pentru uscare, și s-a respectat aceiași parametri ca grosimea rondelilor 3-4 mm, viteza aerului $2 \pm 0,1$ m/s, temperatura aerului din mediu 20 - 25°C, umiditatea relativă a aerului din mediu în jur de 55 - 60%. Pentru convecție s-a ales temperatura de uscare $60 \pm 0,5^\circ\text{C}$, și sa combinat cu metoda de tratare cu microunde, cu regimurile optime de uscare cu puterea magnetronului de 180, 225, 270W, după care s-a cercetat combinarea regimurilor de 225W și temperatura convecției de 50, 60 și $70 \pm 0,5^\circ\text{C}$, ca fiind regimuri și parametri medii de uscare.

2.7. Determinarea indicilor de calitate a fructelor de piersici

Pentru caracterizarea extractelor obținute în cadrul cercetării au fost utilizate un șir de metode fizico-chimice, care sunt rezumate în tabelul 2.3.

Tabelul 2.3. Metode de analiză utilizate în cercetare

Nr.	Denumirea metodei	Caracteristica metodei	Referințe
1	2	3	4
1	Determinarea umidității	Protocolul folosit s-a bazat pe Metoda Oficială AOAC. Umiditatea s-a determinat prin uscare la etuvă, la $103 \pm 2^\circ\text{C}$ timp de 3 ore, experimentul repetându-se până la atingerea masei constante. Probele au fost răcite în exsicator timp de o oră și cântărite (AOAC, 1999).	(Cunniff et al., 1999)
2	Determinarea substanțelor uscate solubile	S-a utilizat refractometru manual, model ATAGO PAL-1, domeniul 0,0 - 53,0 (% Brix), rezoluția 0,1%, acuratețe $\pm 0,2\%$ compensarea temperaturii în intervalul 10-100°C.	(Metoda refractometrică)
3	Determinarea fermității	S-a utilizat penetrometrul, model FT - 327, pentru piersici se instalează pistonul cu suprafața de $0,5\text{ cm}^2$. Se iau 10 piersici, la fiecare din două părți opuse, la centru se taie din piele o parte sub formă de cerc, diametru aproximativ 1 cm^2 , apoi cu penetrometrul pentru fiecare piersic în zona tăiată se efectuează 2 determinări prin penetrarea produsului fiind înregistrată media în Kgf/cm^2 .	(Catalog BNRM).

1	2	3	4
4	Conținut total de polifenoli (CTP).	Este metoda spectrofotometrică bazată pe utilizarea reagentului Folin-Ciocalteu. Absorbanța a fost măsurată la 765 nm. Rezultatele sunt exprimate în mg echivalenți de acid galic (mg GAE)/g s.u.	(Waterman et al., 1994)
5	Activitate antioxidantă determinată prin testul DPPH	S-a utilizat metoda spectrofotometrică. DPPH (2,2-diphenil-1-picrilhidrazil) este un radical liber stabil. Soluția DPPH își pierde culoarea caracteristică violetă, atunci când acceptă hidrogenul de la un donator corespunzător. Măsurările s-au făcut la 515 nm. Rezultatele sunt exprimate în % inhibat și în mmol TE/g s.u.	(Brand-Williams et al., 1995)
6	Aciditatea activă pH	S-a determinat cu ajutorul pH meter TESTO 205.	(Barreto et al., 2019)
7	Analiza organoleptică	Conform reglementării tehnice cu privire la fructe și legume uscate (deshidratate) HG nr. 1523 din 29-12-2007, s-au evaluat indicatori ca: forma, suprafața, culoarea, mirosul și gustul piersicilor suficient de uscați utilizând sistemul de 20 puncte de către un grup de experți din 9 persoane. Sistemul de evaluare în 20 puncte include următoarele punctaje: 18,1 – 20 - foarte bun; 15,1 – 18 - bun; 10,1 – 15 - satisfăcător; 7,1 – 10 - nesatisfăcător.	(HG1523/2007 f.a.) (Coșciug et al., 2007).

2.8. Simularea curgerii fluidului prin camera de lucru în procesul de deshidratare

Pentru a stabili distribuția fluxului de aer în camera de uscare, a fost efectuată o simulare pe computer a fenomenului de curgere a lichidului în timpul uscării produselor. Pentru aceasta, SolidWorks și software-ul ANSYS au fost utilizate pentru proiectarea și ingineria asistată de computer (CAD, CAE). Acest software oferă instrumente esențiale de proiectare de pre-producție, cum ar fi modelarea 2D s-au 3D, dinamica fluidelor, analiza statică și dinamică, transferul de căldură etc. Modulele de analiză a dinamicii fluidelor încorporate în aceste produse software vă permit să simulați fluxul de fluid prin s-au în jurul unui obiect. Analiza poate conține fluxuri incompresibile și compresibile, transfer de căldură etc. într-un singur calcul. O astfel de analiză complexă poate fi foarte costisitoare și consumatoare de timp fără un instrument de modelare dedicat. Modulele de analiză a dinamicii fluidelor efectuează calcule folosind ecuațiile Navier-Stokes. Aceste ecuații sunt complexe și pot fi rezolvate cu un computer pentru a obține soluții aproximative. Sistemul de ecuații Navier-Stokes descrie fluxurile turbulente de fluide reale și constă din ecuația de continuitate derivată din principiul conservării masei și din ecuațiile de mișcare care decurg din principiul conservării impulsului. Ecuațiile Navier-Stokes se completează cu relații constitutive deduse din postulatele lui Stokes:

1. Fluidul este un mediu continuu, iar tensorul tensiune este o funcție liniară de tensorul vitezelor de deformare.
2. Fluidul este izotrop, iar relația constitutivă este independentă de sistemul de referință.

3. Dacă vitezele de deformare sunt nule, tensiunile se reduc la presiuni statice.

Pentru aplicațiile în domeniul curgerii fluidului în jurul corpurilor, ecuațiile Navier-Stokes sunt simplificate prin adoptarea ipotezelor: curgere incompresibilă, curgere izotermă, viscozitate dinamică a fluidului constantă și fluid newtonian.

Principiul de conservare a masei afirmă că în orice proces viteza de variație a masei, i.e. debitul masic, care intră într-un sistem dat este egală cu viteza de variație a masei care părăsește sistemul. Forma diferențială a ecuației de continuitate este:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho u) = 0 \quad (2.1.)$$

În care ρ este densitatea fluidului;

$u(x, t) = (u_1(x, t); u_2(x, t); u_3(x, t))$, este viteza fluidului;

x - este poziția

t - denotă timpul.

În cazul fluidelor incompresibile, ecuația de conservare a masei se simplifică și ia forma:

$$\nabla u = 0 \quad (2.2.)$$

În coordonate carteziane, ecuația (2.3) devine:

$$\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} = 0 \quad (2.3.)$$

Pentru stabilirea distribuției uniforme a fluxului de aer și răspândirea uniformă a câmpului de temperaturi în camera de uscare, s-a utilizat simularea elaborată a curgerii fluidului prin camera de lucru din cadrul proiectului 19.80012.50.14A „Simularea matematică computerizată a fenomenelor de transfer în produse vegetale umede la tratarea cu microunde,, și se aduc mulțumiri proiectului.

2.9. Prelucrarea statistică a datelor experimentale

Pe baza datelor experimentale și utilizând relațiile de calcul corespunzătoare au fost calculate caracteristicile statistice de ordinul I: media, dispersia, abaterea standard (abaterea medie pătratică), valoarea minimă, valoarea maximă etc. Astfel, pentru o mărime oarecare x , valoarea medie (media aritmetică) se calculează prin relația:

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.4.)$$

Ecuația dispersiei rezultă sub forma:

$$D_x = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 \quad (2.5.)$$

Abaterea standard se obține sub forma:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2} \quad (2.6.)$$

În baza rezultatelor efectuate, rezultatul obținut se descrie prin relația:

$$m = m_x \pm \sigma_x \quad (2.7.)$$

Toate experimentele efectuate în cercetare au fost minim triplate, limita statistică s-a ales: $P \leq 0,05$

Concluziile la capitolul 2

1. Obiectul care s-a utilizat în cercetare este fructul de piersic, (*Prunus persica*) (grec. Μηλον Περσικόν *mêlon Persikón* „măr persian“) pom fructifer, din familia Rosaceae, genul *Prunus* cultivate și recoltate în condițiile Republicii Moldova, piersicii soiurile Spring Crest, Cardinal și Redhaven au fost preluați pe parcursul anilor 2015 – 2020.
2. S-a prezentat, și s-a descris construcția și funcționarea standului experimental și a softului, proiectate și elaborate la UTM, destinate studiului procesului de deshidratare al piersicilor;
3. S-a stabilit metodologia de deshidratare a fructelor de piersici, convecție, microunde, și combinată, cu specificarea parametrilor tehnologici utilizați (temperatura, puterea, viteza aerului, grosimea și forma produsului etc.);
4. S-a stabilit metodologia de determinare a indicilor de calitate a fructelor de piersic, prin utilizarea metodelor fizico – chimice și senzoriale;
5. S-a elaborat metoda de simulare a curgerii fluidului prin camera de lucru în procesul de deshidratare a piersicilor utilizând softul ANSYS – 2020.
6. S-au stabilit relațiile de calcul pentru prelucrarea statistică a datelor experimentale ca media, dispersia, abaterea standard, valoarea minimă și maximă etc., s-a stabilit ca toate experimentele efectuate în cercetare să fie minim triplate, limita statistică s-a ales: $P \leq 0,05$.

3. CERCETAREA CINETICII PROCESULUI DE DESHIDRATARE A FRUCTELOR DE PIERSIC

3.1. Simularea curgerii fluidului prin camera de uscare

Pentru determinarea câmpului de căldură și distribuția vitezei aerului în interiorul instalației de cercetare se propune efectuarea simulărilor numerice din cadrul dinamicii fluidelor asistate de calculator (CFD). Simulările din cadrul CFD au fost efectuate utilizând platforma *Workbench* care unifică produsele pachetului software ANSYS. Simularea standard CFD constă din următoarele etape:

1. *Geometry* – realizarea modelului geometric al sistemului analizat și adaptarea geometriei pentru CFD;
2. *Mesh* – discretizarea domeniului fluid în elemente (volume) finite prin generarea rețelei de calcul;
3. *Setup* – definirea proprietăților de material pentru fluid, aplicarea condițiilor inițiale și la limită, selectarea ecuațiilor de curgere, a modelelor de turbulență și a schemelor numerice;
4. *Solution* – selectarea algoritmului de calcul, fixarea parametrilor acestuia, rezolvarea numerică a ecuațiilor de curgere până la atingerea criteriilor de convergență, controlul procesului de calcul și obținerea soluției. Procesul de calcul poate fi realizat în serie s-au în paralel, fie pe mai multe nuclee ale aceluiași calculator, fie într-o rețea de calculatoare.
5. *Results* - prelucrarea rezultatelor, incluzând calculul matematic al variabilelor de interes vizualizarea și exportarea lor.

Etapele 1-3 se mai numesc etape de preprocesare, iar etapa 5 este cunoscută ca etapa de postprocesare. Geometria rotorului a fost creată cu programele *SolidWorks* și *DesignModeler*.. Etapele *Setup*, *Solution* și *Results* au fost implementate în programul *Fluent*.

Elaborarea geometriei camerei de uscare

Geometria camerei de uscare a fost realizată în programul de proiectare asistată de calculator *SolidWorks* și exportată ulterior în programul *DesignModeler* din mediul *Workbench*. Pentru a simplifica analiza CFD și pentru a economisi timpul de calcul a fost creat un domeniu cu geometrie simplificată care cuprinde spațiul interior al camerei de uscare și conductele de alimentare și evacuare a aerului cald. Elementele constructive care nu prezintă interes au fost neglijate. Domeniul computațional este prezentate în figura 3.1.

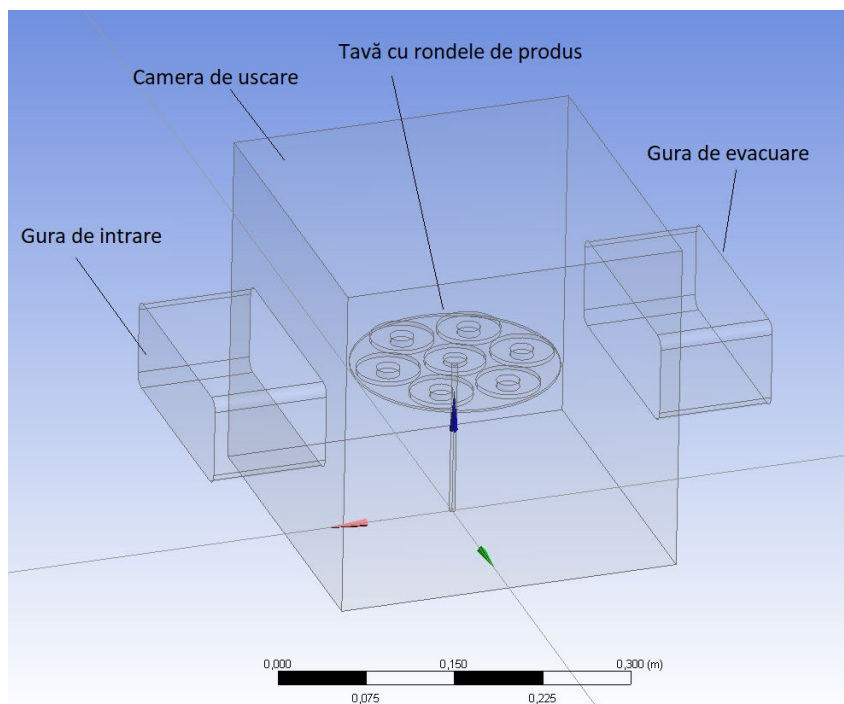


Fig.3.1. Domeniul computațional

Discretizarea în elemente finite

Acest pas constă în împărțirea domeniului de calcul în elemente finite de formă geometrică regulată. Precizia calculului numeric este determinată, în primul rând, de calitatea rețelei, densitatea și distribuția nodurilor în domeniile cheie ale domeniului de calcul. O astfel de zonă este aproape de suprafața tăvii pentru alimente pe care se formează stratul limită. În aceste zone, rețeaua de elemente finite a fost împachetată corespunzător pentru a capta corect fluctuații mari ale parametrilor de flux. În acest caz, numărul de noduri din grilă este limitat de resursele de calcul disponibile (RAM procesor) și timpul de execuție. În plus, tranzițiile de la regiunile eșantionate fin la regiunile eșantionate grosier au fost tratate cu atenție, considerând că o tranziție prea bruscă poate schimba acuratețea calculului. Rețeaua de eșantionare a fost creată în software-ul ANSYS Meshing integrat în mediul Workbench, care oferă diverse strategii pentru crearea unei rețele de elemente finite (volume). După importarea modelului geometric, au fost definite zonele de intrare, ieșire și laterale (pereți). Dimensiunile principale ale tăvii sunt indicate folosind dimensiunea caracteristică minimă, 8 mm și dimensiunea caracteristică maximă 10 mm, a fețelor elementelor și a volumelor adiacente. Domeniul fluid pentru camera de uscare a fost discretizat în 943300 și 211000 elemente finite. În figura 3.2 este prezentată o secțiune longitudinală a domeniului fluid discretizat.

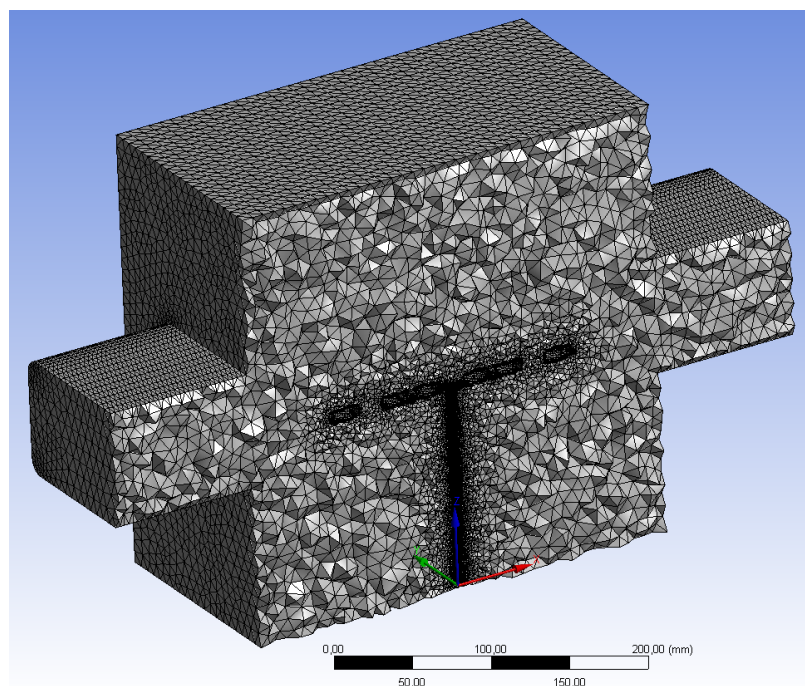


Fig.3.2. Rețeaua de calcul pentru curgerea fluidului prin camera de uscare

Setarea condițiilor de limită

Condițiile la limită impuse sunt următoarele: intrarea în domeniul de calcul se face prin frontiera determinată de baza circulară a conductei de alimentare. Acestei frontiere, care se consideră de intrare, s-au impus condiții la limită de tip *Inlet* cu specificarea distribuției de viteze uniforme. Pentru cazul dat viteza aerului a fost stabilită de 2,5 m/s. Ieșirea din domeniul de calcul se face prin conducta de evacuare prin specificarea condiției la limită de tip *Outlet* cu presiunea relativă medie statică. Suprafeței pereților camerei de uscare s-au impus condiții la limită de tip *Walls* cu specificarea *No-slip* ceea ce simulează un perete virtual cu aderență zero. Suprafața tăvii s-au impus temperatura inițială de 20°C și condiții la limită de tip *Walls* cu specificarea *No-slip* ceea ce nu permite transfer de masă și energie, iar viteza pe aceste suprafețe este considerată egală cu 0 în raport cu viteza celulelor adiacente.

Etapa de soluționare și analiza rezultatelor

Soluționarea ecuațiilor discretizate s-a efectuat în paralel utilizând toate cele 8 nuclee logice disponibile. Convergența rezultatelor a fost atestată prin monitorizarea reziduurilor. Reziduurile reprezintă măsura de convergență a abordării iterative. În aplicațiile CFD, după discretizarea geometriei, ecuațiile diferențiale parțiale sunt convertite într-un set de ecuații algebrice și fiecare ecuație algebrică trebuie rezolvată pentru volumul de control individual (întinderea întregului domeniu într-un număr de subdomenii sau volume de control). Prin urmare,

reziduurile semnifică dezechilibrele locale ale oricărei variabile de câmp conservate în volume individuale de control.

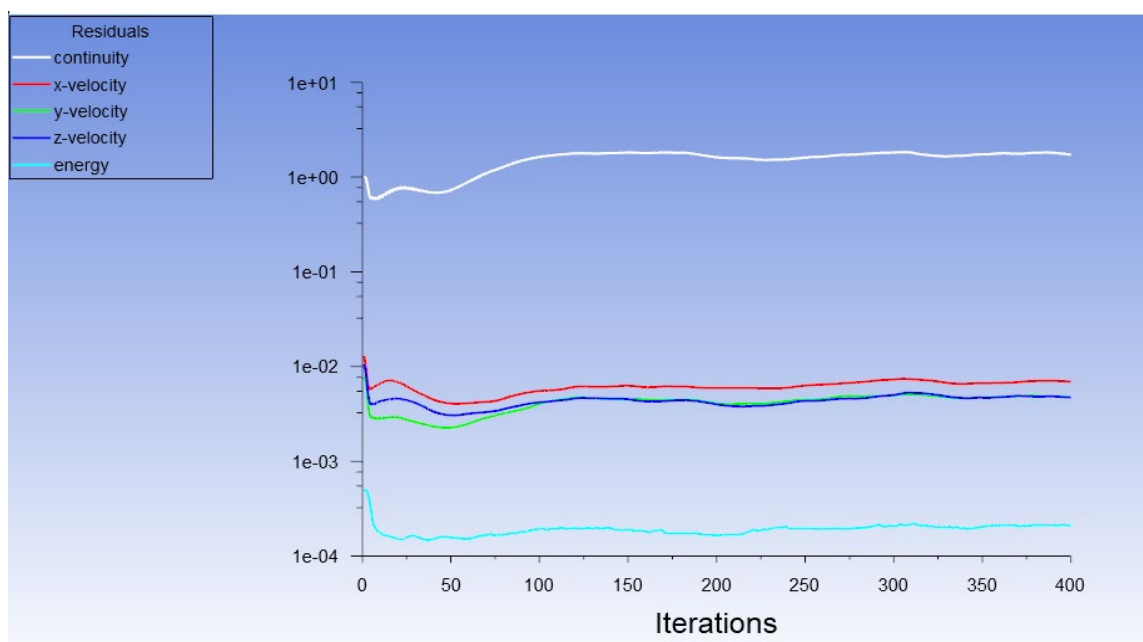


Fig.3.3. Monitorizarea iterațiilor

Pentru a înțelege mai bine curgerea fluxului de aer în camera de uscare, este prezentată distribuția vitezei fluidului în volum, figura 3.4.

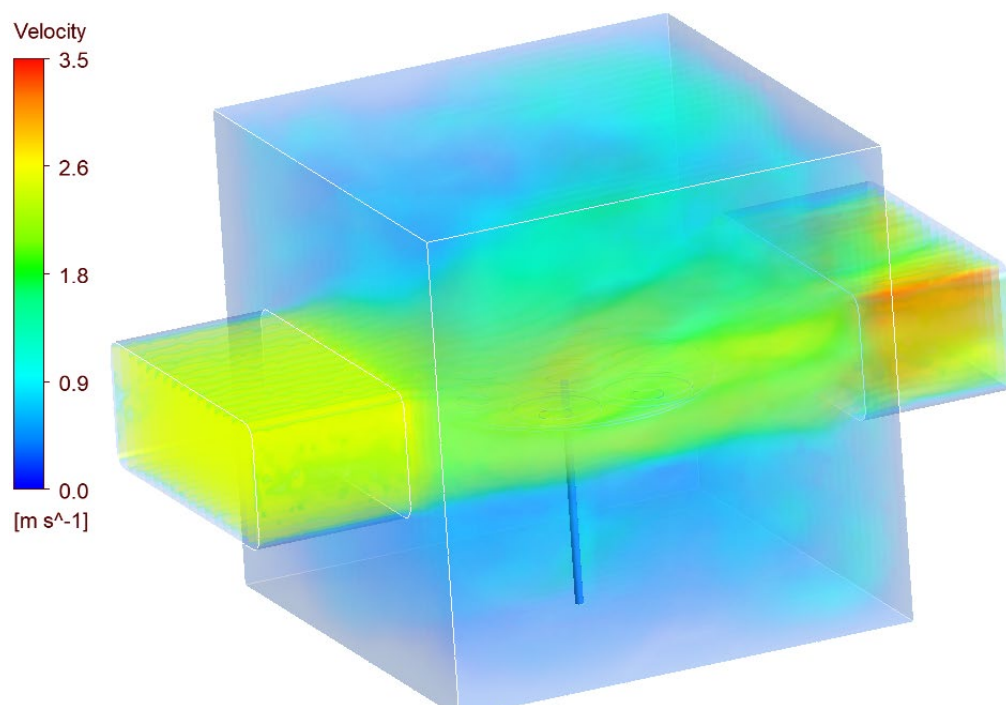


Fig.3.4. Distribuția vitezei fluidului în întreg volum al camerei de uscare

În literatura de specialitate este menționat că viteza aerului în uscătoarele de tip tunel este în jur de 2 – 3,5 m/s. Distribuția vitezei aerului în secțiunea camerei de uscare și în jurul rondelilor

de produs este prezentată în figura 3.5. Culoarea roșie indică valorile maxime ale fluxului de aer 3,0 m/s dar culoarea albastră valorile minime 0,1, 0,2 m/s. Scopul simulării de a prezenta răspândirea și viteza fluxului de aer în camera de uscare. Din figură putem observa că viteza aerului în camera de uscare este neuniformă dar acceptabilă, la intrare 2,5 m/s și la ieșire 3,0 m/s. În jurul produsului viteza aerului variază datorită rezistențelor aerodinamice, între 1 și 2,5 m/s, iar spre ieșire viteza aerului atinge valori maxime 3 m/s, deci se poate de afirmat că amplasarea tăvii cu produs în centrul camerei de uscare reprezintă poziția optimă în sistemul de coordonate 3D.

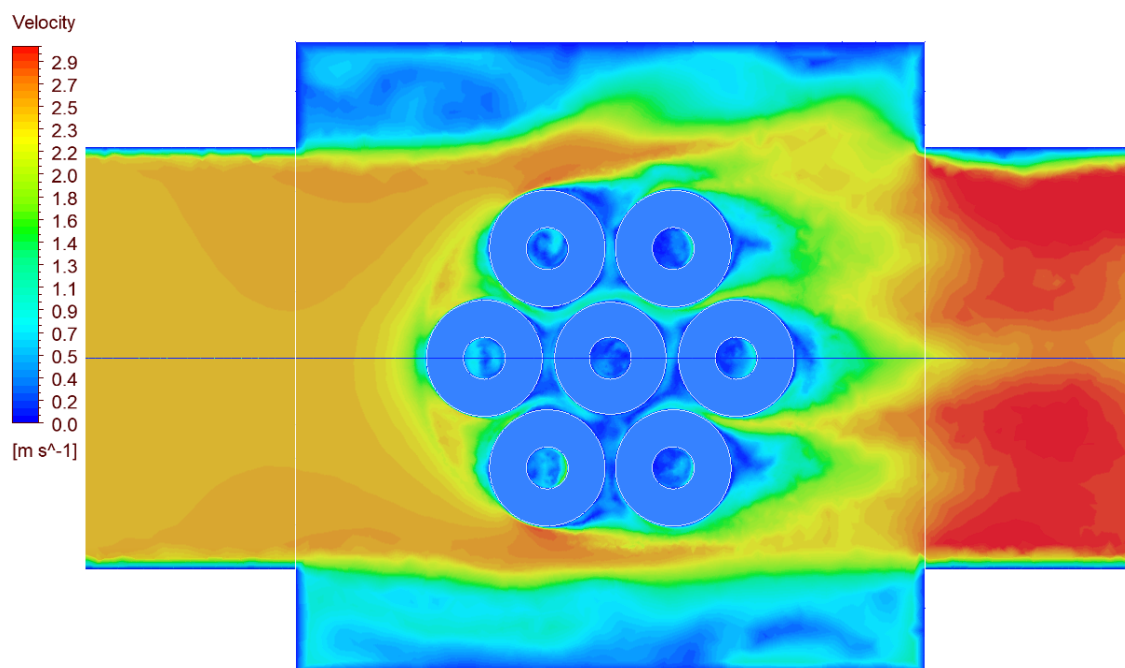


Fig.3.5. Distribuția vitezei aerului în camera de uscare (vedere în secțiune)

Pentru a compara veridicitatea rezultatelor obținute în urma simulărilor s-a măsurat viteza aerului cu anemometru cu fir TESTO în diferite puncte în camera de uscare conform cărora se poate de confirmat similitudinea rezultatelor în 95%, figura 3.6.

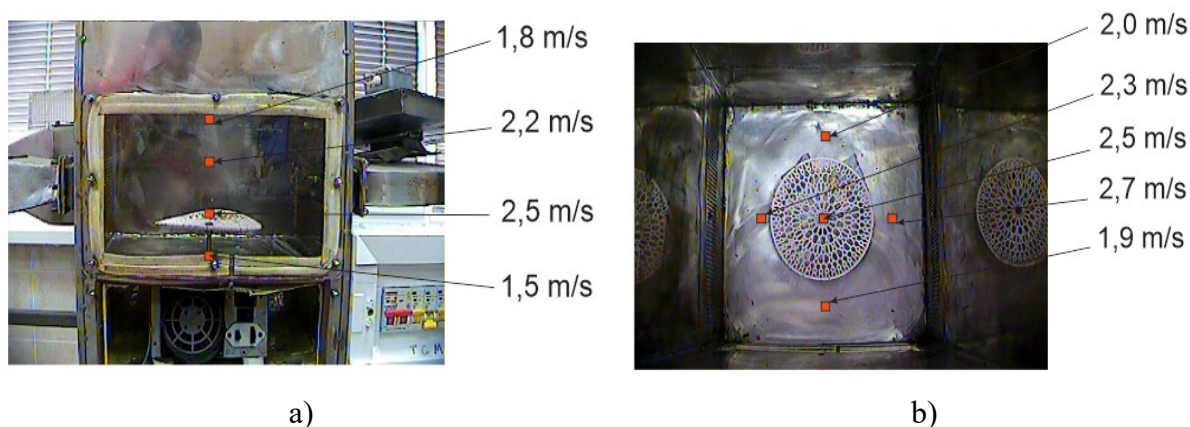
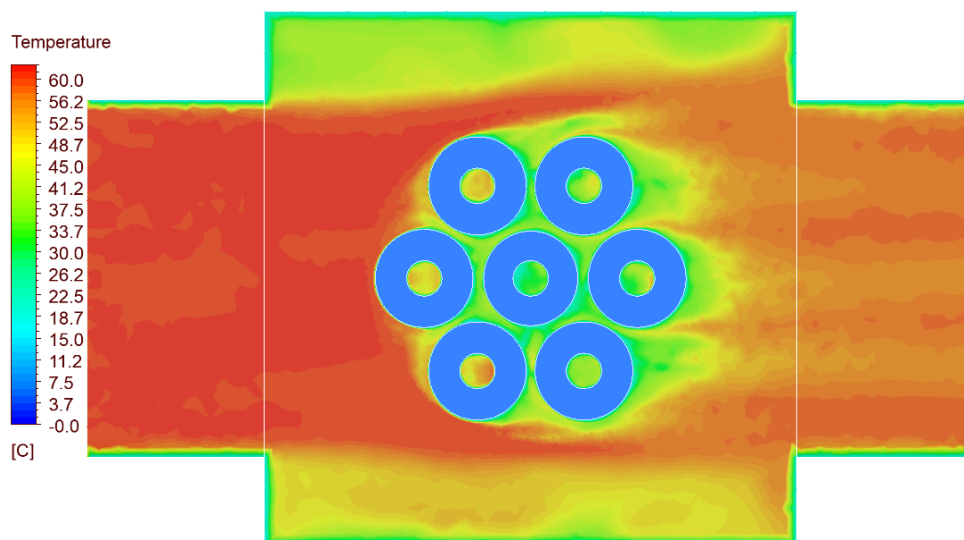
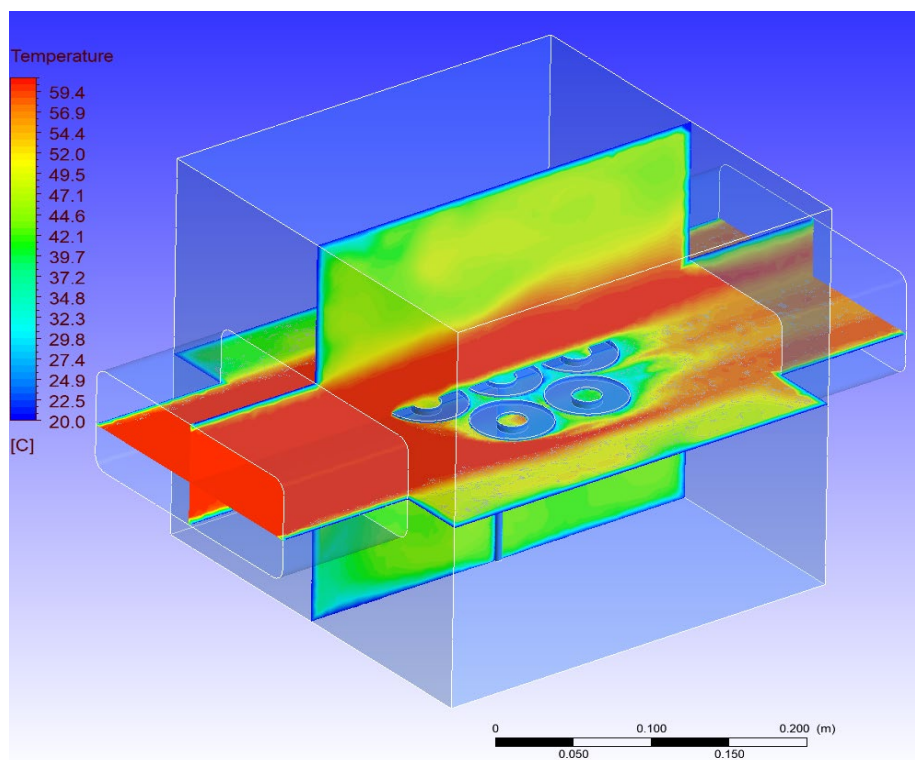


Fig.3.6. Distribuția vitezei aerului în camera de uscare: a)vedere frontală; b) vedere de sus)

Un alt parametru important pentru uscarea prin convecție este temperatura. Distribuția câmpului de temperatură în cameră și în jurul rondelilor de produs este prezentat în figura 3.7. Din imagini se observă că distribuția câmpului temperaturii variază între 45 și 60°C, temperatura mai joasă la periferii se datorează secțiunii brusc majorate al canalului de admisie a aerului, pe când cea din jurul rondelilor este cauzată de temperatura produsului proaspăt, 20 - 25°C și doar pe perioada încălzirii sale.



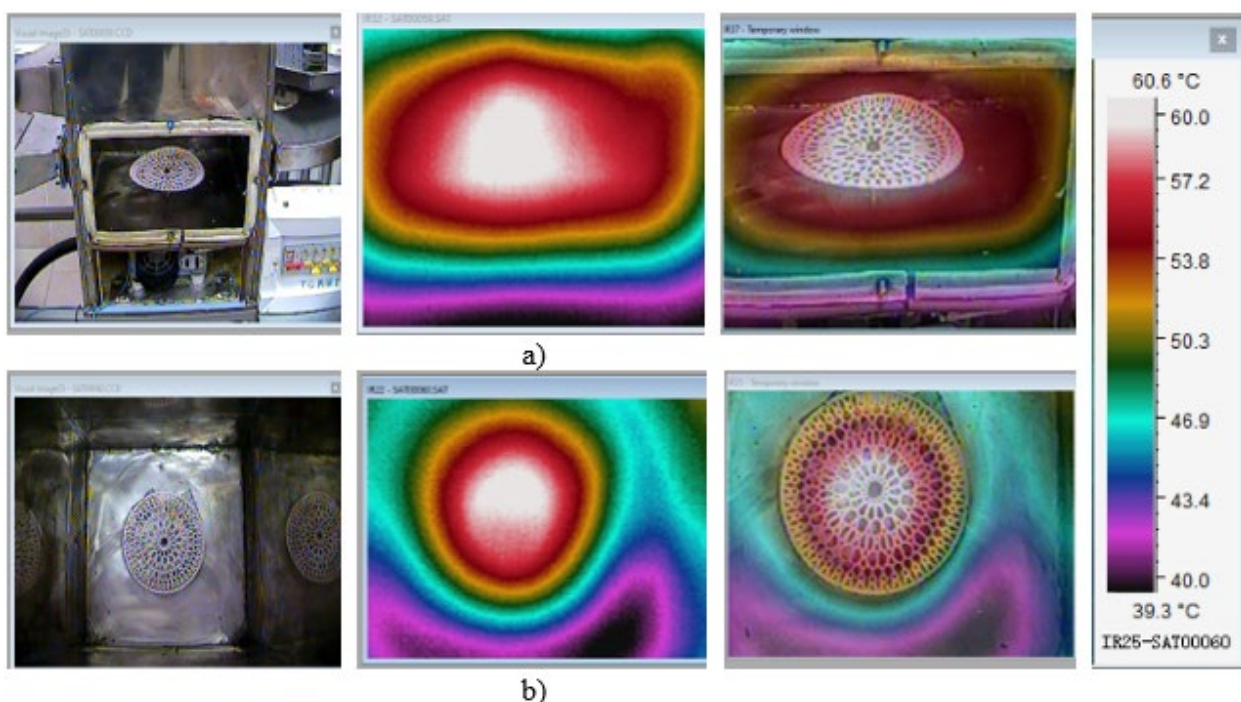
a)



b)

**Fig.3.7. Câmpul de temperatură în camera instalației de uscare:
a) secțiune în planul x-y; b) secțiuni x – y - z**

În urma obținerii rezultatelor simulării elaborate de calculator, s-a cercetat uniformitatea distribuției câmpului de temperaturi la standul de laborator cu scopul validării rezultatelor obținute. Pentru vizualizarea câmpului s-a utilizat camera infra-red Trotec EC - 060 care permite spectru temperaturii de la $-20 \sim 250^{\circ}\text{C}$. În cercetare s-a fixat temperatura de $60 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ și viteza aerului de $2 \pm 0,1 \text{ m/s}$. Cu ajutorul camerei IR s-au făcut capturi a tăvii din camera de uscare din față (frontal), figura 3.8.a) și de sus figura 3.8. b). Conform imaginilor obținute se observă prezența a diferitor culori, la de violet la alb, care semnifică diferite valori ale temperaturii, în zona tăvii temperatura maximă e de circa 60°C , figura 3.8. Conform distribuției câmpului de temperaturi tava cu produs amplasată în centrul camerei de uscare reprezintă poziția optimă pe axele x, y, z.



Pentru a optimiza construcția unei instalații sau tunel de uscare, sunt necesare o serie de simulări, pentru diferite temperaturi, viteze ale aerului și elemente constructive, hote, secțiuni, treceri, etc. În același timp, pot fi efectuate și simulări ale transferului de căldură prin convecție și conducție, identificarea rezistențelor aerodinamice, etc. Aceasta implică utilizarea abilităților de programare pentru a interveni în modelul matematic al aplicației, (Guțu, et al 2019).

3.2. Determinarea răspândirii câmpului de temperaturi la aplicarea microundelor

Cercetarea s-a efectuat la instalația de laborator ai cărei scheme simplificate este prezentată în figura 3.9 a. Elementul cheie este magnetronul 1 dotat cu ghidajul 2 care răspunde de propagarea microundelor în camera de uscare 4, umiditatea poate fi evacuată cu ajutorul ventilatorului 3. Studiul variației câmpului de temperaturi s-a efectuat în felul următor: s-au introdus 16 pähare cu apă în camera de uscare 4 specificând 16 zone în care s-a efectuat măsurarea și înregistrarea temperaturii cu ajutorul unui termometru infraroșu TROTEC RP15. Inițial s-a conectat magnetronul 1 și la fiecare 2 min s-au măsurat valorile temperaturii în fiecare poziție (1 – 16) conform figurii 3.9 b.

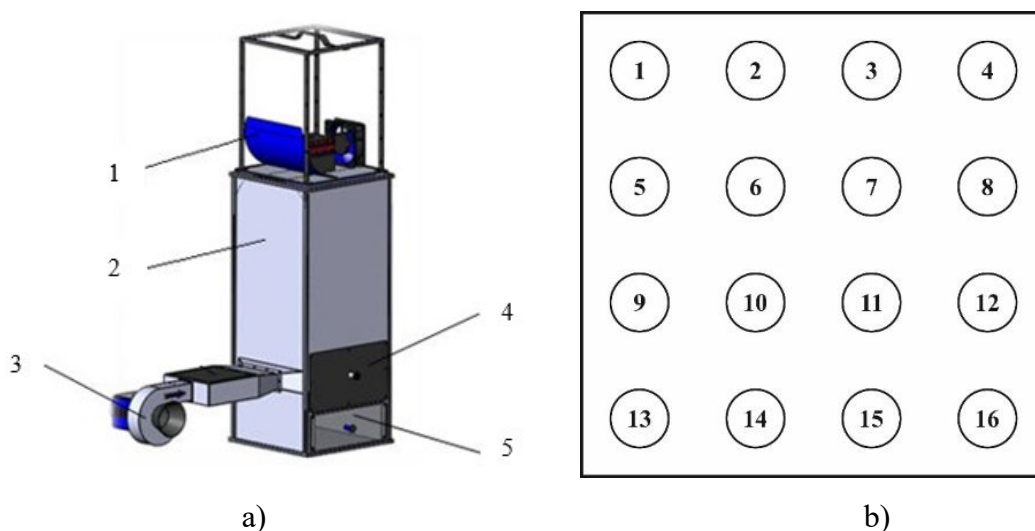


Fig. 3.9. Instalația de cercetare: a) componenta; b) zonele de măsurare

1 – generator de unde electromagnetice, 2 – ghidaj de unde electromagnetice, 3 – ventilator centrifugal, 4 – camera de uscare, 5 – camera pentru cântarul electronic

Experiențele sa-u petrecut pentru 3 cazuri, conform figurii 3.10: magnetronul fără ghidaje (a), cu un ghidaj (b) și cu două ghidaje de reflectare ale microundelor (c) și ulterior s-au elaborat graficele de distribuție a câmpului de temperaturi în cele 16 zone, figura 3.11 – 3.13.

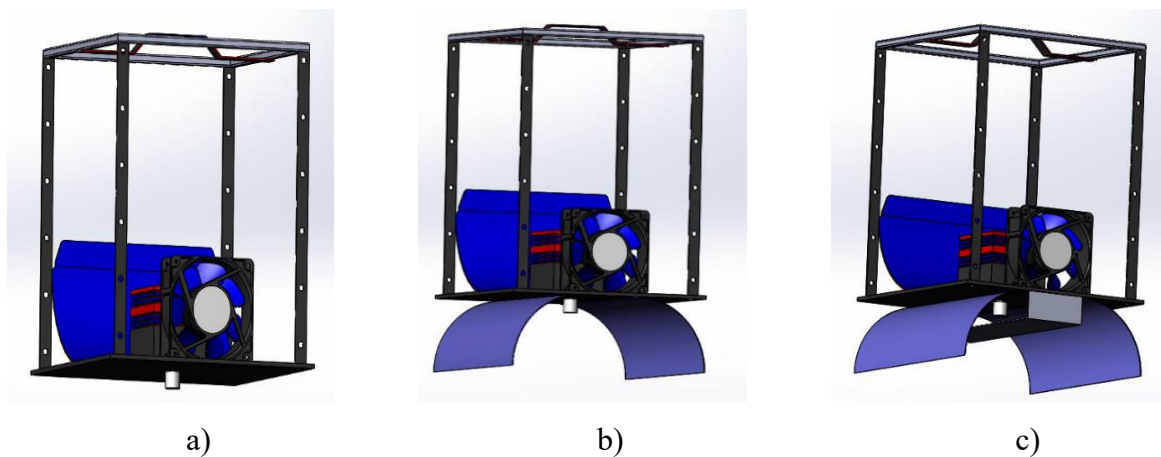


Fig. 3.10. Reprezentarea magnetronului: a) fără ghidaj; b) cu un ghidaj; c) cu două ghidaje

a) Utilizarea magnetronului fără ghidaj de reflecție al microundelor, figura 3.11.

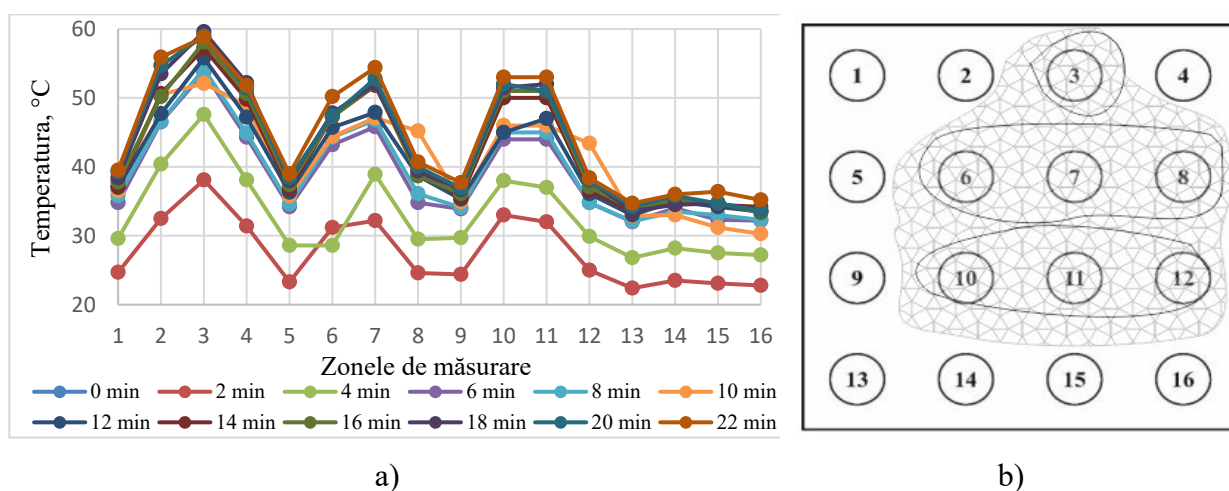


Fig. 3.11. Distribuția câmpului: a) interpretarea grafică; b) interpretarea zonală

b) Utilizarea magnetronului cu un ghidaj de reflecție al microundelor, figura 3.12.

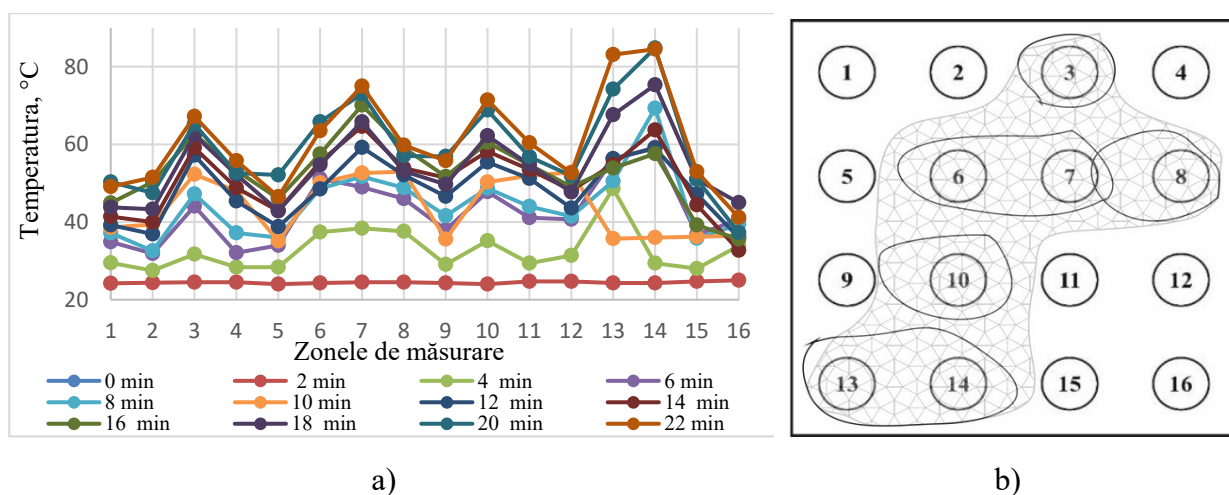


Fig. 3.12. Distribuția câmpului: a) interpretarea grafică; b) interpretarea zonală

c) Utilizarea magnetronului cu două ghidaje de reflecție al microundelor, figura 3.13.

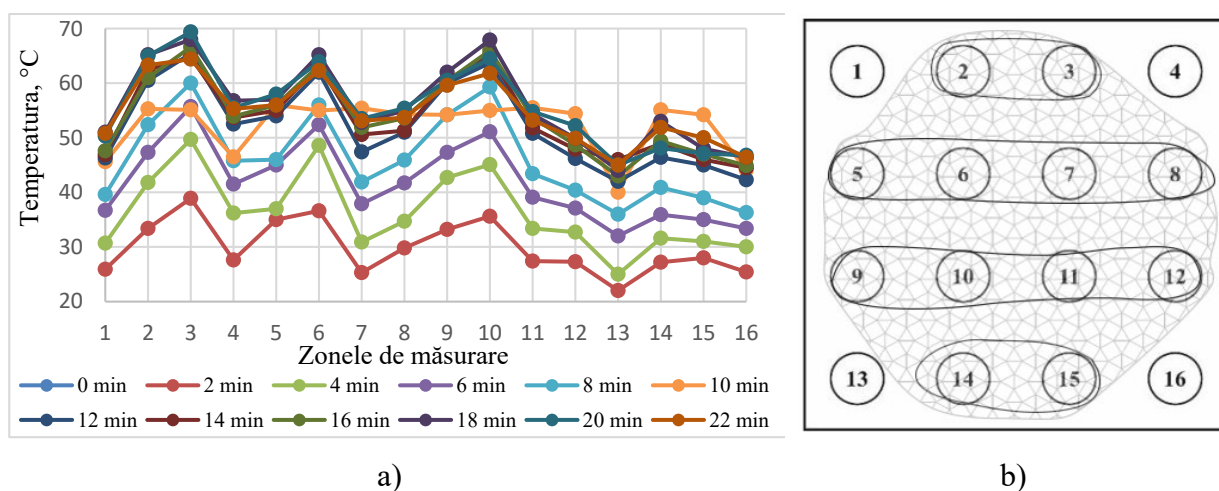


Fig. 3.13. Distribuția câmpului: a) interpretarea grafică; b) interpretarea zonală

În urma experiențelor se concludă că datorită utilizării reflectoarelor pentru microunde câmpul de temperaturi este repartizat mai uniform. Folosirea corectă a ghidajelor de propagarea a undelor cu o construcție și poziție de amplasare corectă duce la reducerea cheltuielilor de energie datorită excluderii mecanismelor de acționare auxiliare de rotire a tăvii sau a reflectoarelor pentru microunde (Li et al., 2011; Hazervazifeh et al., 2021; Jeon et al., 2022; Shen et al., 2022).

3.3. Studiul cineticii al procesului de deshidratare prin metoda convecției forțate a fructelor de piersic

Cinetica procesului de uscare este determinată de mulți parametri, atât ai procesului tehnologic (viteza, umiditatea, temperatura, presiunea agentului de uscare, etc.), cât și de proprietățile produselor (conductibilitatea termică, porozitatea, densitatea, parametrii geometrici, etc.), (Joardder et al., 2014; Correia et al., 2015a; Joardder et al., 2015; Janowicz et al., 2018).

Forma curbelor de uscare a piersicilor deshidratate prin convecție la diferite temperaturi ale agentului termic este tradițională (Sadin et al., 2014; Mühlbauer et al., 2020; Elavarasan et al., 2021; SILVA et al., 2021), observându-se o scădere stabilă a umidității în timp, figura 3.14.

Durata scăderii umidității de la cea inițială de $89,5 \pm 0,1\%$ și până la cea finală de $18 \% \pm 0,5\%$ este funcție de temperatura aerului. Astfel, la viteza agentului termic de $2,0 \pm 0,1$ m/s cu umiditatea relativă inițială a aerului 60%, grosimea rondelei de 4 mm, umiditatea inițială a piersicilor $89,5 \pm 0,5\%$, pentru temperatura de 50°C durata medie de uscare este de 270 min, pentru temperatura de 60°C este de 225 min, pentru temperatura de 70°C este de 185 min, pentru temperatura de 80°C este de 160min, și pentru temperatura de 90°C durata de uscare a constituit 110 min. Conform curbelor de uscare durata de uscare este în funcție invers proporțională de temperatura aplicată, deoarece la temperaturi ridicate transferul de umiditate se intensifică.

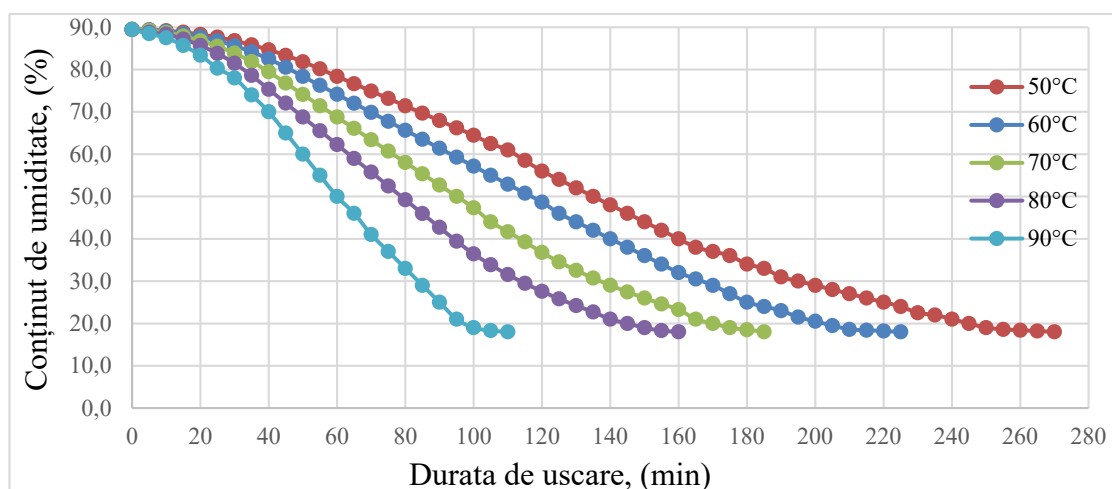


Fig.3.14. Curbele de uscare prin convecție a piersicilor la diferite temperaturi ale aerului, ($v_a=2,0 \pm 0,1$ m/s, $\delta_p= 4 \pm 0,5$ mm)

În figura 3.15. sunt prezentate curbele vitezei de uscare a piersicilor la diferite temperaturi a agentului termic. Forma curbelor corespunde celor clasice, descrise în diferite surse bibliografice de specialitate (Menges et al., 2006; Chegini et al., 2008; Sapei et al., 2017; Dauda et al., 2020). Se observă prezența acelor trei perioade de uscare și anume perioada 1 – de încălzire a produsului, 2 – a vitezei constante de uscare, 3 – a vitezei de uscare în scădere.

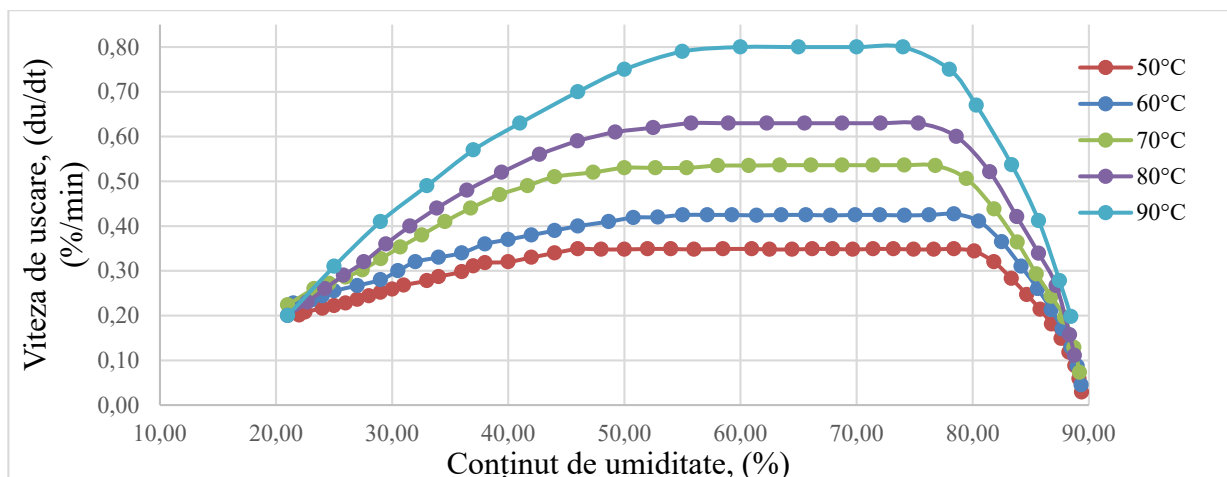


Fig.3.15. Curbele vitezei de uscare prin convecție a piersicilor la diferite temperaturi ale aerului, ($v_a = 2,0 \pm 0,1$ m/s, $\delta p = 4 \pm 0,5$ mm)

Conform figurii 3.15 se observă, că odată cu creșterea temperaturii agentului termic de la 50 C și până la 90 C viteza de uscare în prima perioadă de uscare crește de la 0,33 %/min până la 0,8 %/min respectiv. Totodată, s-a observat și o oarecare corelare dintre durata vitezei constante de uscare și temperatura agentului termic. Astfel, odată cu creșterea temperaturii agentului termic în limitele 50 – 90 C, durata perioadei a doua – a vitezei de uscare constante a scăzut de la 155 min până la 70 min, ceea ce la rândul său reduce esențial durata procesului de uscare.

Transferul de masă și căldură în produs în mare măsură este influențat de gradientii de umiditate și temperatură, dar și de grosimea stratului de produs pe care umiditatea necesită să o parcurgă. Cu cât grosimea rondelii va fi mai mare cu atât rezistența din partea produsului va fi mai mare și transferul mai redus (Bernic, 2008; Correia et al., 2015b). În acest context a fost studiată cinetica procesului de uscare a piersicilor și pentru diferite grosimi ale rondelilor, și anume 2, 4, 6, 8, și 10 mm, uscate prin convecție la viteza agentului termic de $2,0 \pm 0,1$ m/s la temperatura agentului termic de $60 \pm 0,5^\circ\text{C}$ și umiditatea relativă a aerului de $65,0 \pm 0,5\%$. S-a obținut durata de uscare circa 240 minute pentru rondelile cu grosimea de 2 mm, 300 min – produsul cu grosimea de 4 mm, 380 min – 6 mm, 440 min – 8 mm și circa 500 min la grosimea maximă de 10 mm, figura 3.16.

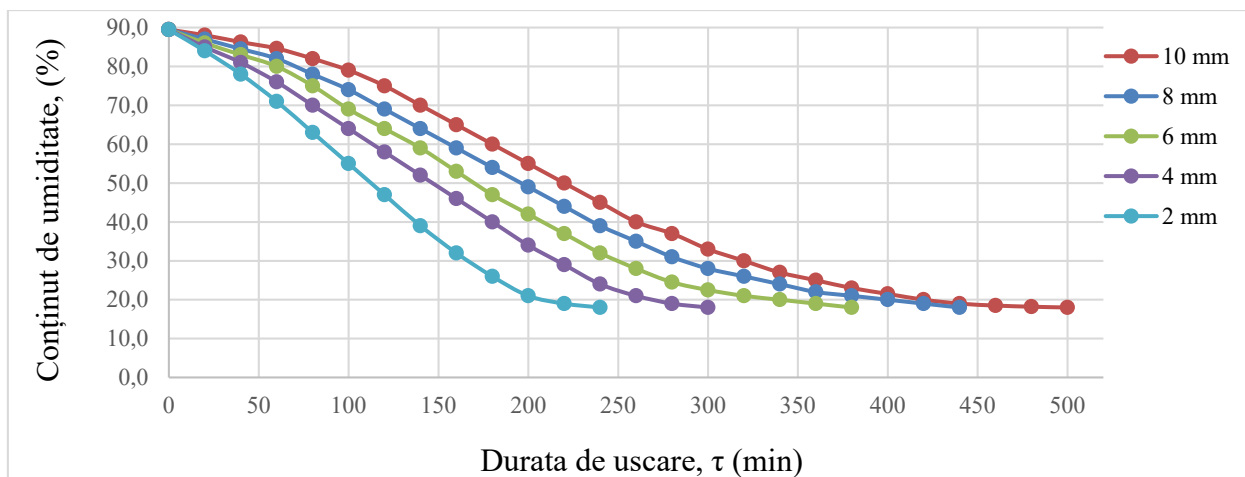


Fig.3.16. Curbele de uscare a piersicilor pentru diferite grosimi ale rondelilor,
 $(t_a = 60^\circ\text{C}, v_a = 2,0 \pm 0,1 \text{ m/s})$

La uscarea prin convecție a piersicilor de soiul Springcrest curbele de uscare pentru diferite grosimi ale rondelilor poartă același caracter, figura 3.16, 3.17, diferit fiind numai unghiul de înclinare a acestora. Mai mult ca atât, corelația dintre variația grosimii rondelilor și unghiul de înclinare a curbelor de uscare poartă un caracter invers proporțional, ceea ce determină că reducerea grosimii rondelilor accelerează procesul de uscare, fapt confirmat și de către curbele vitezei de uscare. Astfel, la grosimea rondelui de 10 mm s-a înregistrat o viteză de uscare de 0,20 %/min, pe când la grosimea de 2 mm – 0,40 %/min, figura 3.17.

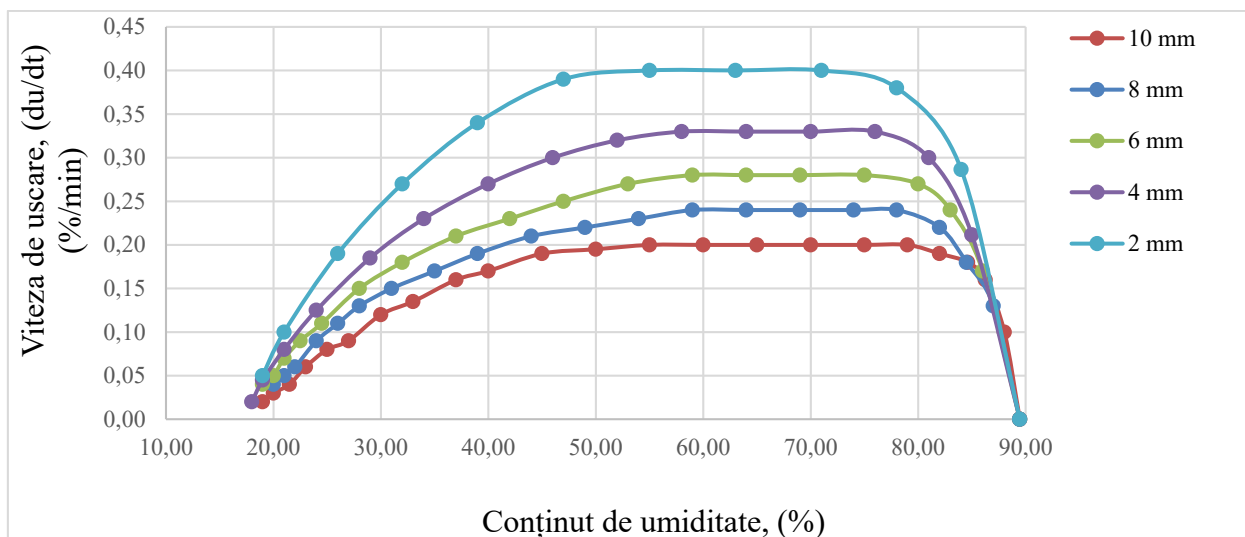


Fig.3.17. Curbele vitezei de uscare a piersicilor pentru diferite grosimi ale rondelilor,
 $(t_a = 60^\circ\text{C}, v_a = 2,0 \pm 0,1 \text{ m/s})$

Micșorarea grosimii rondelilor de piersici a condus la reducerea duratei de uscare, astfel conform figurii 3.18, se atestă că runde cu grosimea de 2 mm s-au uscat circa 240 min iar cele cu grosimea de 10 mm - 500 min. Corelația dintre durata de uscare și grosimea stratului de produs, a rondelilor, în limitele 2 – 10 mm poartă un caracter linear.

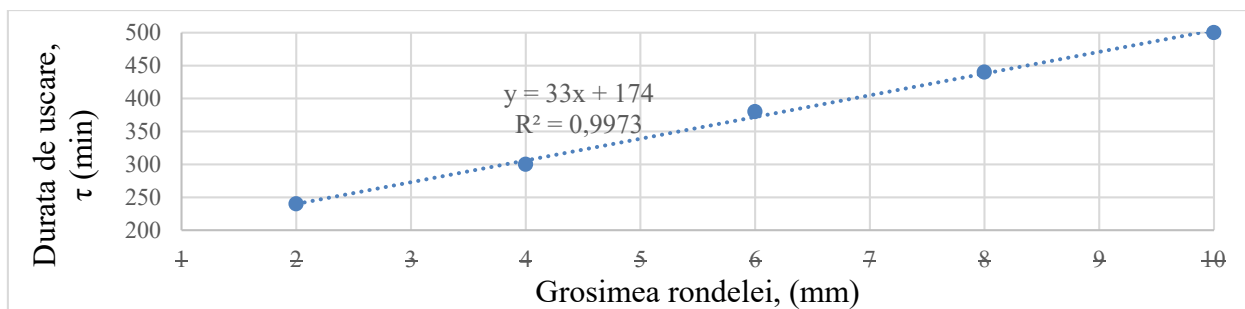


Fig.3.18. Influența grosimii produsului asupra duratei de uscare,
 $(t_a = 60^\circ\text{C}, v_a = 2,0 \pm 0,1 \text{ m/s})$

Procesul de uscare convectivă este influențat și de viteza agentului termic (Țislinscaia et al., 2016). În figura 3.19 sunt prezentate curbele de uscare și în figura 3.20, curbele vitezei de uscare ale fructului de piersic tăiat în rondele de grosimea $4,0 \pm 0,5 \text{ mm}$ deshidratat la temperatura agentului termic de $60 \pm 0,5^\circ\text{C}$ pentru diferite viteze a acestuia ($0,5 - 2,0 \text{ m/s}$). Atât curbele de uscare, cât și cele ale vitezei de uscare indică o intensificare a procesului odată cu creșterea vitezei agentului deoarece în timpul procesului de uscare cu majorarea vitezei aerului suprafața produsului este spălată mai intens ceea ce duce la mărirea ratei de transfer a vaporilor de umiditate de pe suprafața produsului.

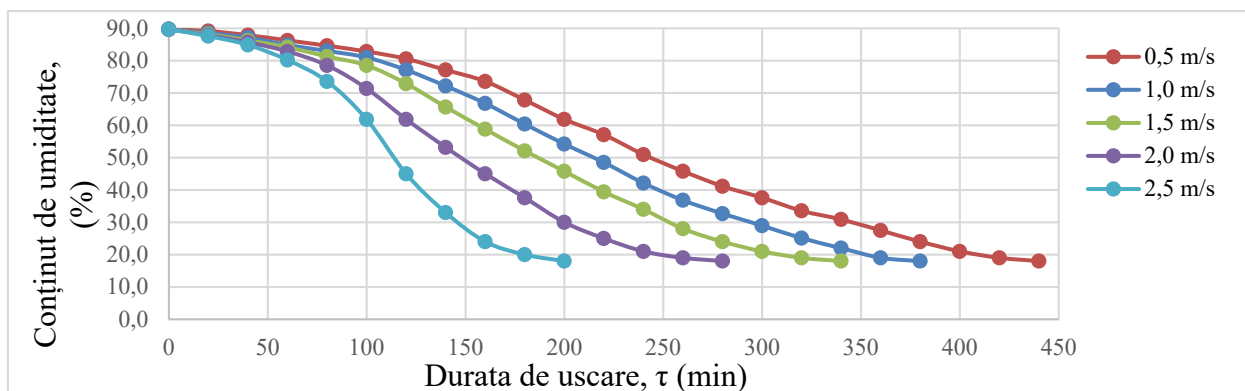


Fig.3.19. Curbele de uscare a piersicilor la diferite viteze ale aerului,
 $(t_a = 60 \pm 0,5^\circ\text{C}, \delta_p = 4 \pm 0,5 \text{ mm})$

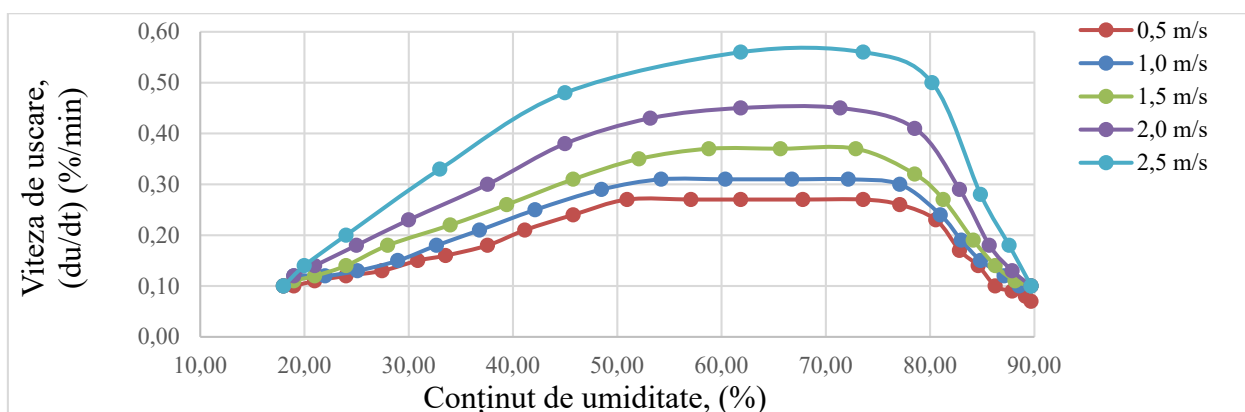


Fig.3.20. Curbele vitezei de uscare a piersicilor la diferite viteze ale aerului,
 $(t_a = 60 \pm 0,5^\circ\text{C}, \delta_p = 4 \pm 0,5 \text{ mm})$

În urma procesului de uscare a piersicilor la viteza aerului de 0,5 m/s s-a obținut o durată de uscare circa 440 min, la viteza de 1,0 m/s – 380 min, la viteza de 1,5 m/s – 340 min, la viteza 2,0 m/s – 280 min și la viteza 2,5 m/s durata de 200 min. Conform figurii 3.21 dependența duratei de uscare a piersicilor în funcție de viteza agentului termic în limitele 0,5 – 2,5 m/s ($\tau = f(v)$) este liniară.

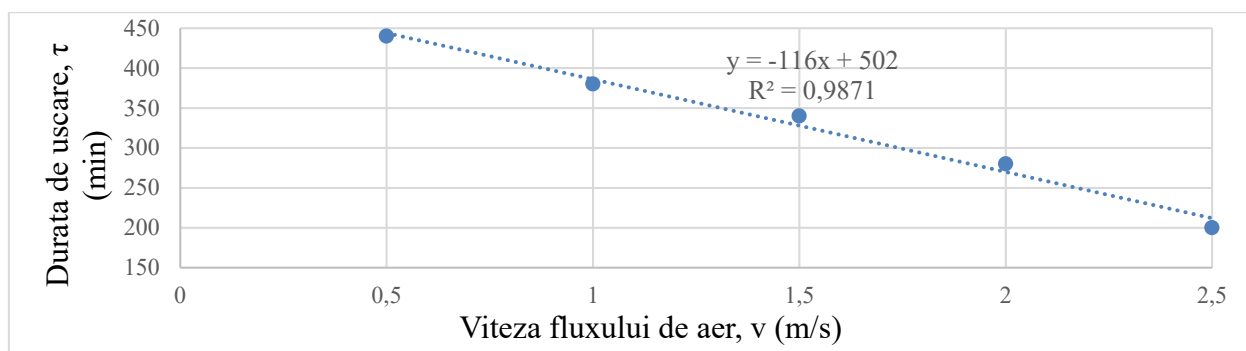


Fig.3.21. Influența vitezei aerului asupra duratei de uscare,
($t_a = 60 \pm 0,5^\circ\text{C}$, $\delta_p = 4 \pm 0,5 \text{ mm}$)

Fructele de piersic reprezintă un produs sezonier, cu o durată de apariție scurtă pe piață, în jur de 14-15 zile, în cercetare au fost studiate 5 soiuri: Springcrest, Cardinal, Flamingo, Redhaven și Moldova. A fost analizată cinetica, curbele și viteza de uscare. S-a constatat că curbele au același caracter geometric, aceleași perioade de uscare ceea ce denotă că acele mici diferențe ale proprietăților fizico - mecanice ale diferitor soiuri de piersic puțin influențează fenomenele de transfer în procesul de uscare. Durata de uscare variază de la un soi la altul datorită conținutului de umiditate pe care îl au în stare proaspătă (86 – 90%). S-a constatat că deshidratarea fructelor la cea mai mică temperatură a agentului termic de 50°C , s-a identificat o variație de timp de circa 100 minute. Cu mărirea temperaturii de la 70 la 90°C diferența dintre duratele de uscare scade semnificativ din motivul intensificării transferului de masă și căldură (Vișanu, 2018), figura 3.22.

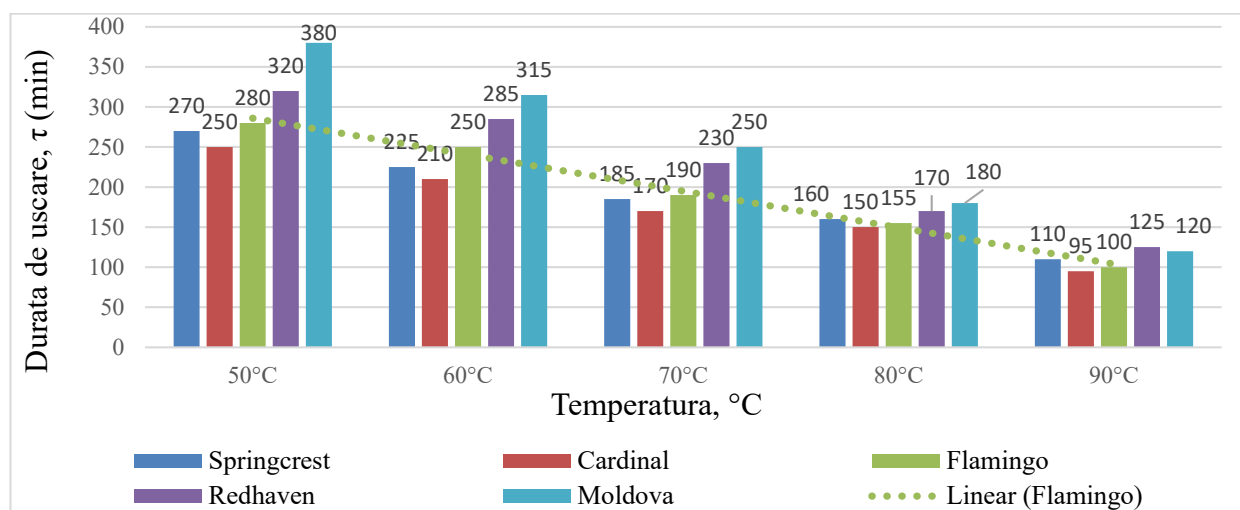


Fig.3.22. Influența temperaturii asupra duratei de uscare la diferite soiuri de piersic

3.4. Studiul cineticii procesului de deshidratare prin aplicarea microundelor a fructelor de piersic

Procesul de uscare este determinat în cea mai mare măsură de metoda de tratare, de tipul aportului de energie. Uscarea prin convecție forțată este o metodă cunoscută, și descrisă bine în diferite surse de literatură tehnică, ca dezavantaj ar fi obținerea unui consum de energie majorat datorită duratei de uscare lungi care se datorează transferului lent de umiditate din produs (Vișanu, et al., 2022; Popa, et al., 2022; Popescu, et al., 2022). Pentru a reduce consumul de energie, este necesar de a majora rata de difuzie a umidității din produs în timpul uscării. Acest fapt este posibil prin înlocuirea aportului de căldură din exterior pe unul din interior, pe acest mecanism se bazează uscarea cu microunde (Bernic, 2008; Bernic et al., 2011; Țislinscaia et al., 2020). S-a cercetat cinetica procesului de uscare a fructelor de piersici la tratarea cu microunde, în care s-a utilizat un magnetron cu puterea de 600 W și 900 W. Prin urmare durata scăderii umidității de la cea inițială de $90 \pm 0,1\%$ și până la cea finală de $18 \pm 0,1\%$ este în funcție de puterea și regimul magnetronului. Astfel, durata de uscare la puterea magnetronului de 600 W, viteza agentului $2,0 \pm 0,1$ m/s s-a obținut: pentru regimul de 490 W - 40 min, pentru 370 W - 100 min, pentru 230 W - 200 min, pentru 150 W – 280 min, și 120 W – 320 min, figura 3.23.

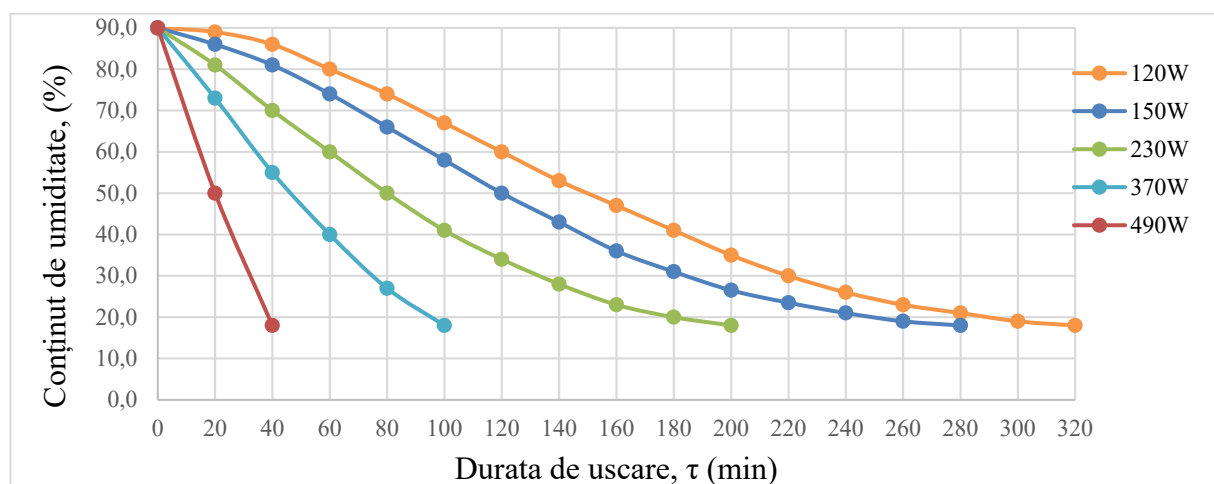


Fig.3.23. Curbele de uscare a piersicilor la diferite puteri ale magnetronului 120 – 490 W, ($t_a = 25 - 28 \pm 0,5^\circ\text{C}$, $v_a = 2,0 \pm 0,1$ m/s, $\delta_p = 4 \pm 0,5$ mm)

Cu toate că pe parcursul uscării s-a observat ca unele regimuri erau prea intensive s-au prea slabe – intensive, pentru 490 W după 30 min și 370 W după 90 min persistă miros de copt și pete de arsură pe produs, iar pentru 120 W acest regim al microundelor în condițiile date, uscarea nu este posibilă, s-au cu o durată excesiv de îndelungată, (600 - 800 min). Curbele vitezei de uscare pentru 120 – 370 W un caracter clasic, pe când regimul cu puterea magnetronului de 490 W datorită vitezei de uscare majore $0,6 \text{ \%/min}$ și duratei scurte de uscare circa 40 min, perioadele de uscare sunt foarte scurte, figura 3.24.

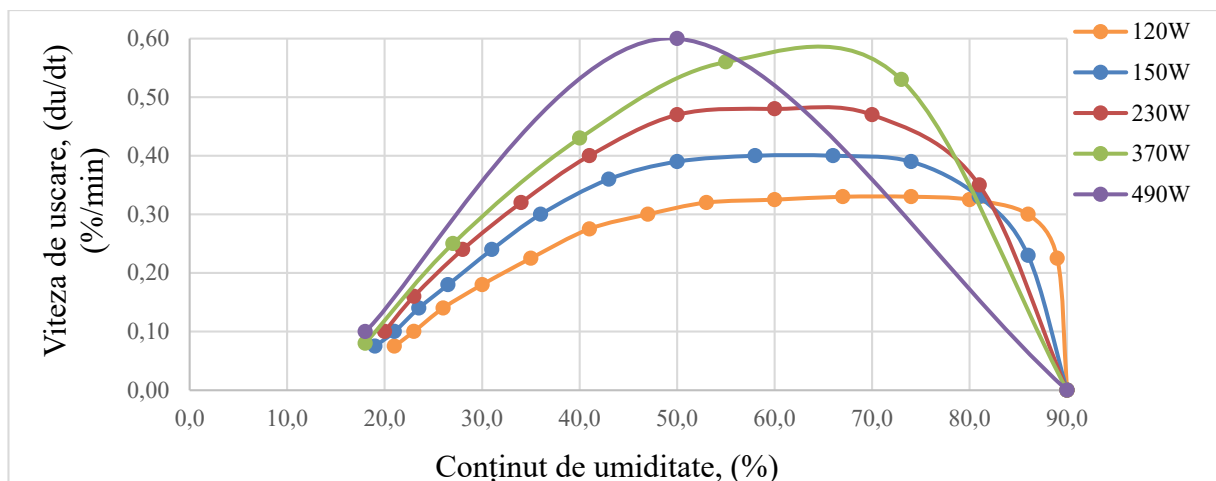


Fig.3.24. Curbele vitezei de uscare a piersicilor la diferite puteri ale magnetronului 120 – 490 W, ($t_a = 25 - 28 \pm 0,5^\circ\text{C}$, $v_a = 2,0 \pm 0,1$ m/s, $\delta_p = 4 \pm 0,5$ mm)

Forma curbelor de uscare în ambele cazuri (600, 900 W) nu diferă de celea descrise în literatură pentru SHF (Dadalı et al., 2007; Zarein et al., 2013; Akoy et al., 2015; Tonay, 2021), dar s-a demonstrat că durata de uscare direct depinde puterea magnetronului: pentru puterea de 360 W – 80 min, 315 W – 120 min, 270 W – 160 min, 225 W – 200 min, 180 W – 260 min, figura 3.25.

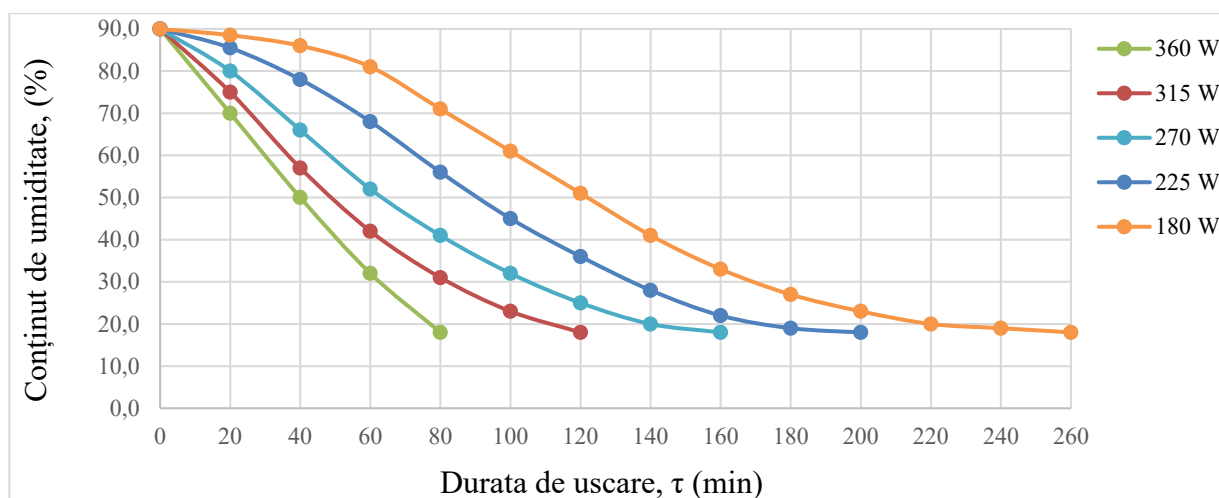


Fig.3.25. Curbele de uscare a piersicilor la diferite puteri ale magnetronului 180 – 360 W, ($t_a = 24 - 28 \pm 0,5^\circ\text{C}$, $v_a = 2,0 \pm 0,1$ m/s, $\delta_p = 4 \pm 0,5$ mm)

Curba vitezei maxime de uscare la puterea de 600 W este de 0,60 %/min pe când la 900 W viteza maximă este de 0,90 %/min. De asemenea se atestă acele trei perioade care descriu curba vitezei de uscare, prima perioadă (încălzirea produsului) nu este la fel de importantă ca perioada a doua (viteza constantă de uscare) sau a treia (viteza de uscare în scădere) dar oricum se prezintă cu scopul de a arăta unde și cum are loc încălzirea produsului, și se observă spre exemplu la 180 W încălzirea produsului este mai lentă ca la 225 sau 270 W din motiv că timpul de tratare cu microunde este diferit, 5,5 s, 7,5 s-au 9,0 s, figura3.26.

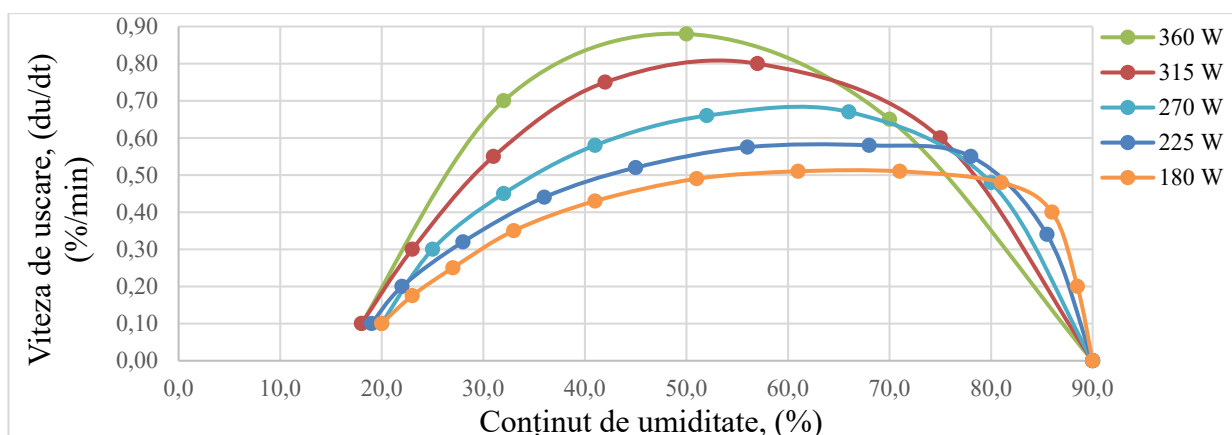


Fig.3.26. Curbele vitezei de uscare a piersicilor la diferite puteri ale magnetronului 180 – 360 W, ($t_a = 24 - 28 \pm 0,5^\circ\text{C}$, $v_a = 2,0 \pm 0,1 \text{ m/s}$, $\delta_p = 4 \pm 0,5 \text{ mm}$)

În cercetare s-a utilizat 2 magnetroane cu puteri diferite de 600 și 900 W cu scopul de a analiza dependența dintre puterea magnetronului asupra duratei de uscare. Se atestă că în procesul de uscare cu microunde o atenție deosebită necesită de atras asupra timpului activ/pasiv de funcționare al magnetronului (Vișanu, 2022).

3.5. Studiul cineticii procesului de deshidratare prin metoda combinată a fructelor de piersic

În calitate de metodă combinată de uscare s-a stabilit de a combina simultan metoda de tratare prin convecție și cu microunde ((Demirel et al., 2017; Hii et al., 2021; Țislinscaia et al., 2021). În cercetare s-a utilizat metoda convectivă cu aplicarea temperaturii aerului de 60°C și microundele la puterea magnetronului de 180W, 225W și 270W, deoarece acestea au fost alese ca parametrii optimi pentru obținerea produsului uscat de calitate. S-a constatat că la regimul combinat de 60°C și 180 W durata de uscare a fost de circa 200 min, la 225 W - 160 min și la 270 W fiind cel mai intensiv regim, 120 min, figura 3.27.

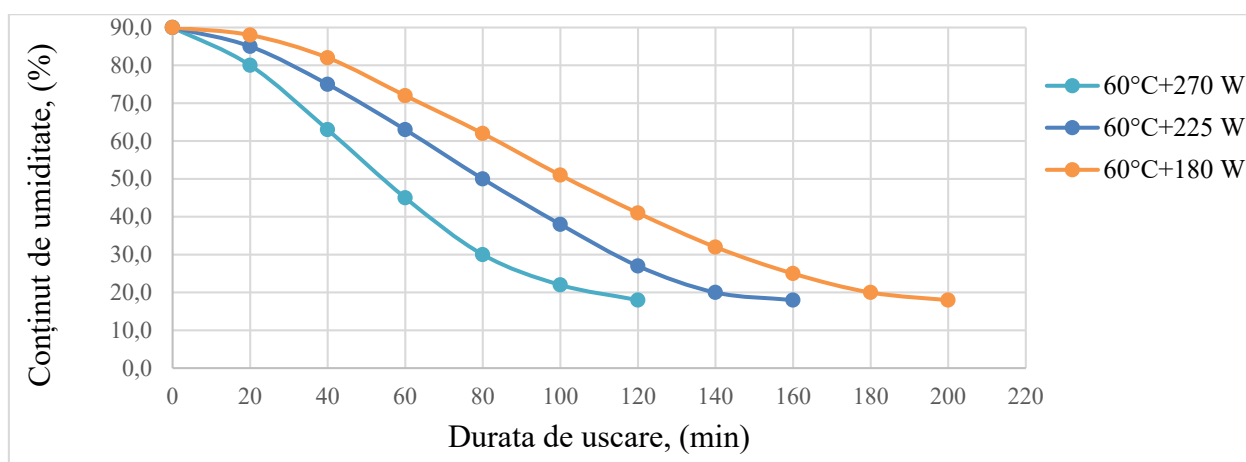


Fig.3.27. Curbele de uscare a piersicilor prin metoda combinată, ($v_a = 2,0 \pm 0,1 \text{ m/s}$, $\delta_p = 4 \pm 0,5 \text{ mm}$)

Pentru metoda combinată, convecție la temperatura de 60°C și la diferite puteri ale magnetronului valorile vitezei de uscare în prima perioadă de uscare au variat în felul următor: la 180 W - $0,56 \pm 0,01$ %/min, la 225 W - $0,71 \pm 0,01$ %/min și la 270 W - $0,88 \pm 0,01$ %/min, figura 3.28.

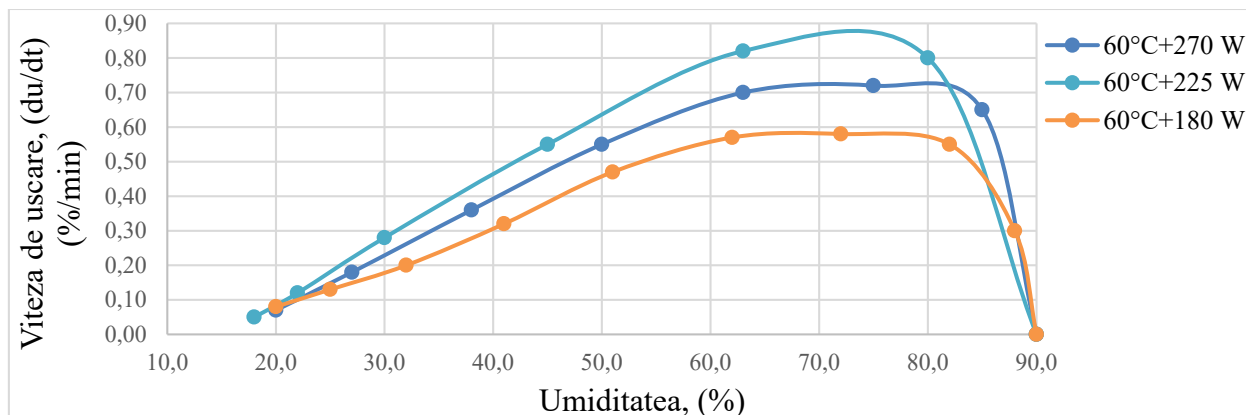


Fig.3.28. Curbele vitezei de uscare a piersicilor prin metoda combinată,
($v_a = 2,0 \pm 0,1$ m/s, $\delta_p = 4 \pm 0,5$ mm)

În cercetare s-a utilizat și combinarea simultană a microundelor și convecției, s-a ales puterea magnetronului de 225 W și convecția la temperaturile 50°C, 60°C și 70°C. În urma experiențelor s-a obținut durata de uscare de 180 min la tratarea cu 225 W și 50°C, durata de 160 min pentru 225 W și 60°C și durata de 140 min pentru puterea de 225W și temperatura de 70°C, Figura 3.29.

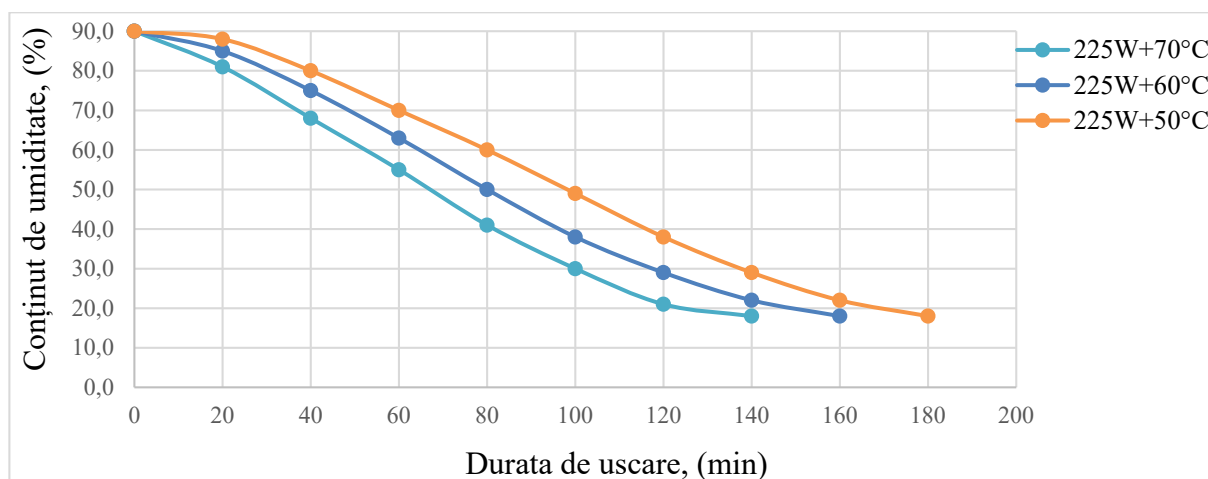


Fig.3.29. Curbele de uscare a piersicilor prin metoda combinată,
($v_a = 2,0 \pm 0,1$ m/s, $\delta_p = 4 \pm 0,5$ mm)

Pentru metoda combinată, SHF cu puterea magnetronului de 225 W și convecție la diferite temperaturi ale agentului termic valorile vitezei de uscare în prima perioada de uscare au variat în felul următor: la 50°C - $0,62 \pm 0,01$ %/min, la 60°C - $0,71 \pm 0,01$ %/min și la 70°C viteza de $0,81 \pm 0,01$ %/min, figura 3.30.

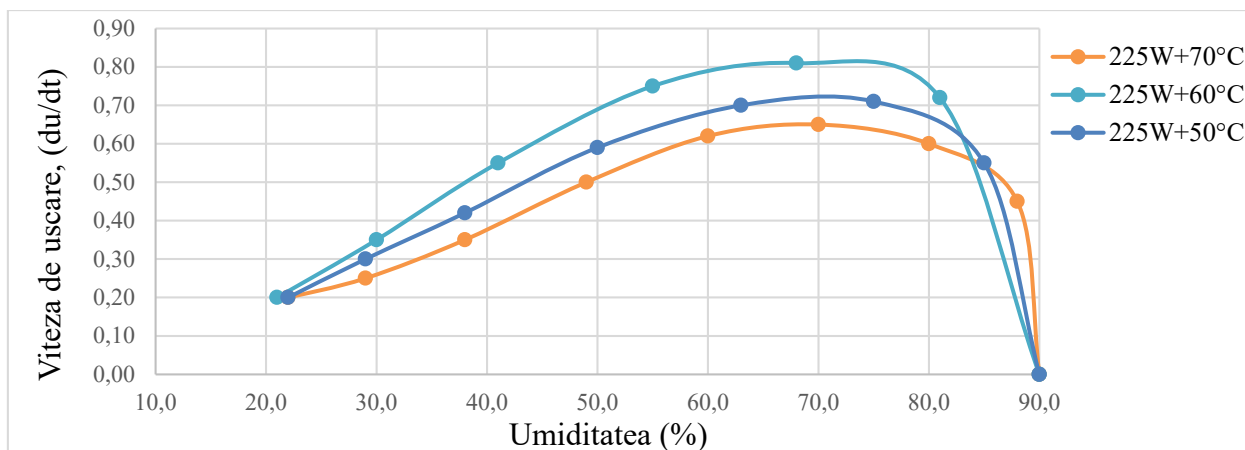


Fig.3.30. Curbele de uscare a piersicilor prin metoda combinată,
 $(v_a = 2,0 \pm 0,1 \text{ m/s}, \delta_p = 4 \pm 0,5 \text{ mm})$

În scopul percepției mai ample a întregului tablou de uscare al piersicilor s-au plasat toate curbele pentru cele trei metode, convecție, microunde și combinată pe un singur plan. Din figura de mai jos se observă că forma curbelor de uscare este clasică și practic este identică pentru toate metodele. Se atestă că perioadele de uscare sunt influențate de metoda aplicată. La uscarea cu microunde încălzirea produsului este mai rapidă și perioada de uscare la viteză constantă este mai redusă în comparație cu uscarea prin convecție. De asemenea, s-a observat că uscarea cu aplicarea microundelor la regim de 180W și uscarea prin convecție la 50°C practic au aceleași durate de uscare, la fel și regimul cu microunde de 225W și uscarea combinată 60°C și 180W, mai mult ca atât caracterul geometric practic identic al curbelor se manifestă la uscarea prin convecție la 70°C, microunde 225W, combinată 225W și 50°C și 180W și 60°C, figura 3.31.

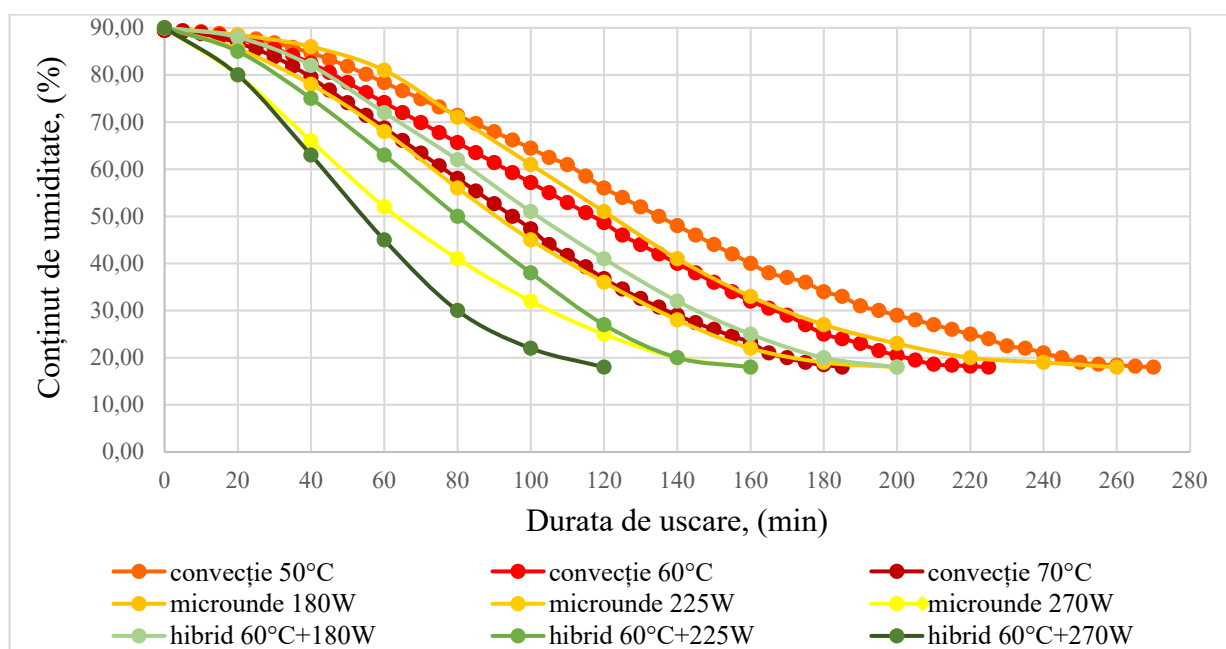


Fig.3.31. Curbele de uscare a piersicilor prin convecție, microunde și combinat,
 $(v_a = 2,0 \pm 0,1 \text{ m/s}, \delta_p = 4 \pm 0,5 \text{ mm})$

În acest caz dacă este cunoscută cinetica de uscare pentru toate metodele în deosebi pentru facilitate curbele scăderii umidității în timp pe un singur plan, se poate de determinat metoda optimă de uscare conform duratei de uscare și a consumului de energie. Conform celor spuse recent pentru a evita un consum de energie sporit la uscarea piersicilor prin convecție spre exemplu la 60°C ce va avea o durată de 225 minute se poate de înlocuit uscarea cu microunde la 225 sau 270 W ce vor avea durata de uscare 200 – 160 minute cu o diferență de 25 – 65 minute mai puțin, sau înlocuirea cu o metodă combinată cu aplicarea microundelor la 270 W în combinație cu convecție la 60°C la care se va obține o durată de uscare de 120 minute.

Se observă că durata de uscare depinde și de natura aportului de energie și intensivitatea parametrului dat, pentru convecție la temperatura de 50 - 60°C durata medie este de circa 270 - 185 min, pentru tratarea cu microunde la regim slab intensiv de 180 – 270 W durata este de 260 - 160 min, pentru metoda combinată 50 - 70°C și microunde 180 – 270 W se obține o durată de 200 – 120 min, fig.3.32.

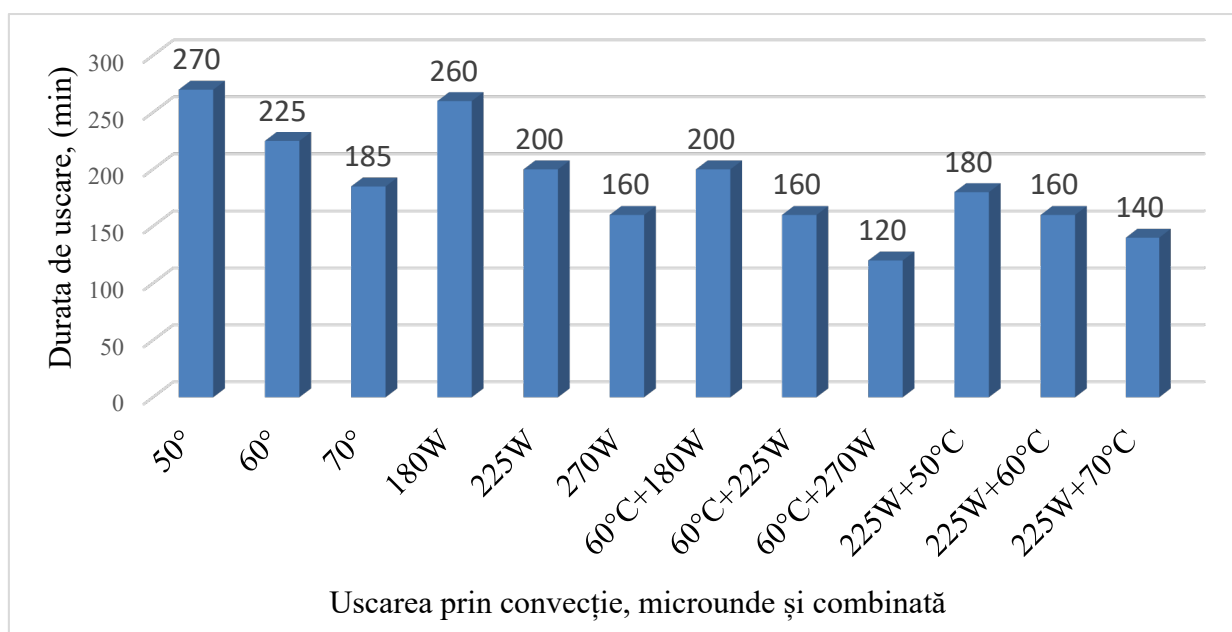


Fig.3.32. Influența metodei de tratare asupra duratei de uscare

3.6. Cercetarea consumului de energie electrică în funcție de metoda de uscare

Ca metodologie de uscare al piersicilor s-a utilizat metoda convecției forțate, cu aplicarea microundelor și combinată - prin combinarea convecției și microundelor.

I. Determinarea consumului total de energie electrică la uscarea prin convecție:

- *Consumul de energie ale rezistențelor electrice:* consumul necesar pentru a atinge și menține temperatura constantă a aerului în camera de uscare în domeniul cuprins între 50 și 90°C este necesar de la 1,27 la 2,45 KWh, figura 3.33.

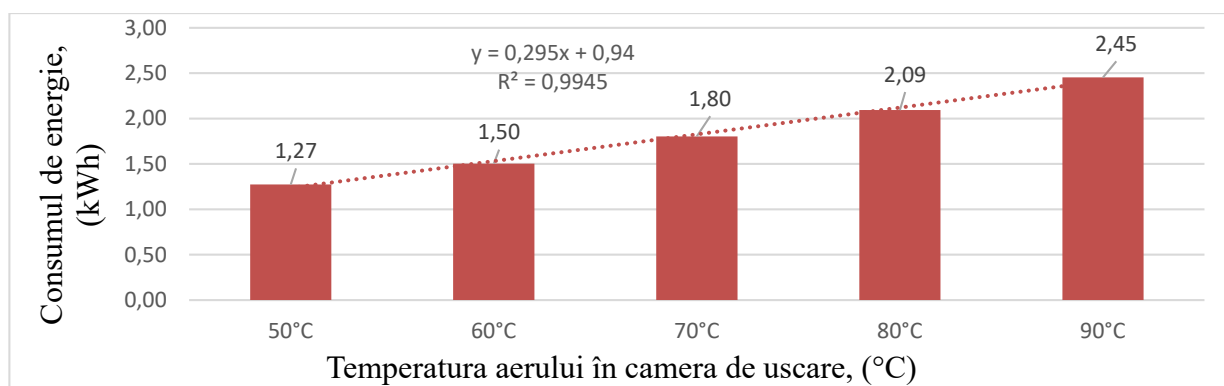


Fig. 3.33. Consumul de energie ale rezistențelor electrice la diferite temperaturi ale aerului

- *Consumul de energie al ventilatorului centrifugal, inverterului și motorul electric:* este în funcție de viteza pe care o redă fluxului de aer, pentru 0,5 m/s este nevoie de 45 W pe când la 2,5 m/s de 317 W, figura 3.34.

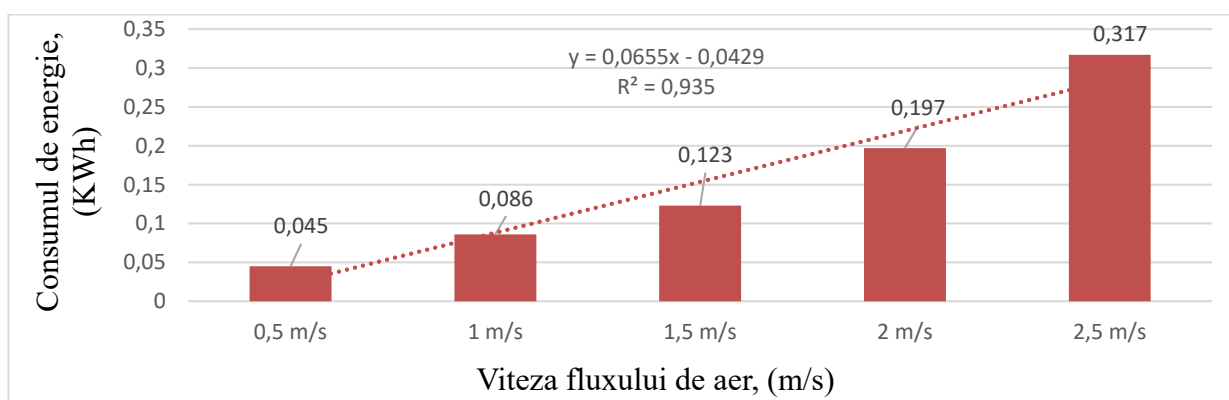


Fig.3.34. Consumul de energie al ventilatorului la diferite viteze ale aerului

- *Consumul de energie în funcție de grosimea rondelei de piersică:* s-a determinat consumul total de energie pentru uscarea a câte 1 kg de piersici feliate cu grosimile rondelor de 2, 4, 6, 8 și 10 mm, la temperatura aerului de 60°C și viteza aerului de 2,0 m/s, ca urmare pentru a usca 1 kg de rondele cu grosimea de 2 mm s-a consumat 6,64 kW de energie electrică, cu grosimea de 4 mm – 8,30 kW, 6 mm – 10,51 kW, 8 mm – 12,17 kW și pentru 10 mm – 13,83 kW, figura 3.35.

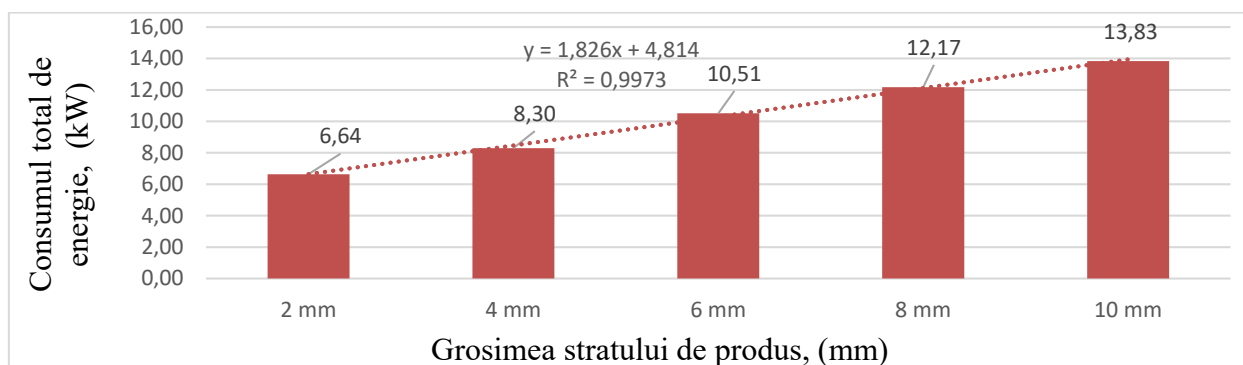


Fig.3.35. Consumul de energie necesar uscării produsului la diferite grosimi

Consumul de energie electrică pe domeniul de grosimi de la 2 – 10 mm este de la 6,64 – 13,83 kW, această diferență se datorează lucrului (energiei) consumat pentru transferul umidității din interiorul produsului spre exterior, și cu cât grosimea va fi mai mare va fi necesar de mai multă energie. Consumul de energie este în funcție liniară de grosimea produsului, mai mult ca atât s-a depistat o corelație, o dată cu mărirea grosimii cu 1 mm se consumă cu 0,8 - 1 kW mai mult de energie electrică.

- *Determinarea consumului total de energie electrică pentru uscarea prin metoda convecției:* masa 1 kg de piersici tăiați în rondele cu grosimea de 4 mm, uscați la temperatura aerului de la 50 - 90°C și viteza fluxului de 2 m/s figura 3.36

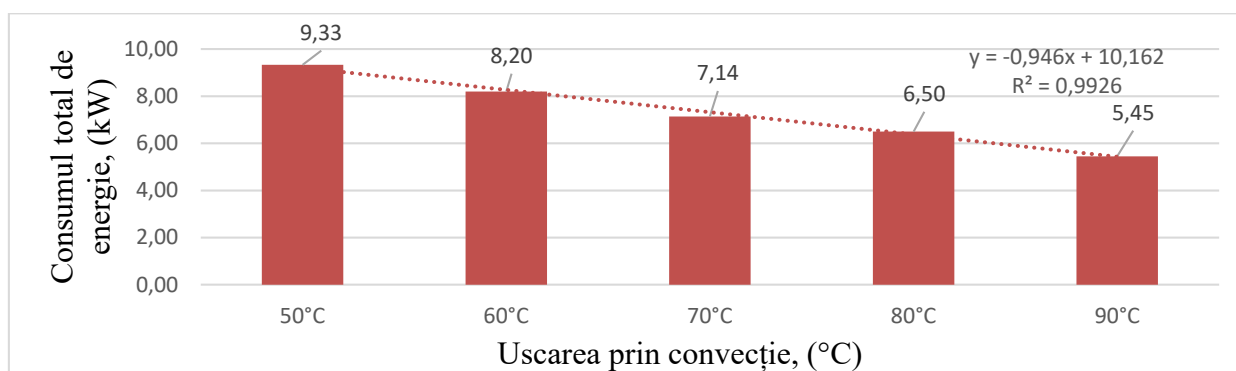


Fig.3.36. Consumul total de energie la uscarea piersicilor prin convecție, 50 - 90°C

II. Determinarea consumului total de energie electrică pentru metoda de uscare SHF:

- *Consumul de energie al magnetronului, microundei, și ventilatorului:* s-a utilizat magnetronului LG de 900 W la care s-a ales cinci regimuri de diferită intensitate și s-a măsurat perioada activă și pasivă, după care s-a determinat puterea magnetronului și consumul de energie la uscarea 1 kg de piersici feliați în rondele de 4 mm, și viteza aerului de 2 m/s la temperatura camerei, circa 25°C: astfel pentru 180 W s-a obținut un consum de 1,91 kW, 225 W – 1,86 kW, 270 W – 1,81 kW, 315 W – 1,67 kW și pentru 360 W s-a obținut 1,44 kW, figura 3.37.

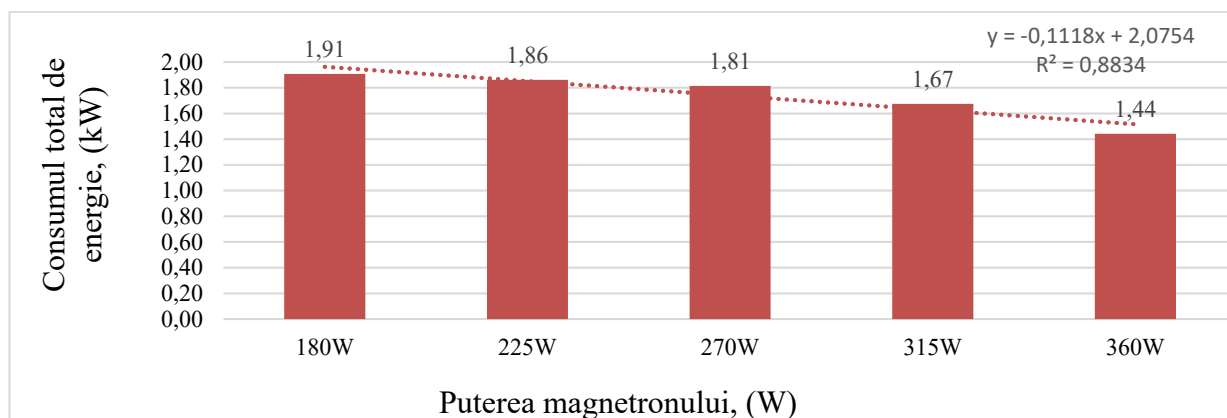


Fig.3.37. Consumul total de energie la uscarea piersicilor cu microunde 180 – 360 W

III. Determinarea consumului total de energie electrică pentru metoda combinată:

- Ca metodă de uscare s-a ales combinarea convecției și microundelor, pentru convecție s-a ales temperatura aerului de 60°C ca fiind o temperatură medie între 50 și 70°C și sa combinat cu trei regimuri de tratare ale microundelor 180, 225 și 270 W, un regim mai mic de 180 W va conduce la o durată îndelungată de uscare, respectiv se va majora consumul de energie electrică, pe când un regim mai intensiv de 270 W duce la provocări fizico - chimice nedorite ale piersicilor. Ca rezultat al uscării a 1 kg de piersici feliat în rondele de 4 mm la viteza aerului de 2 m/s la temperatura camerei s-a obținut un consum identic de 2,43 kW la combinarea convecției de 60°C cu 180 W și 225 W și un consum de 2,24 W la tratarea cu 60°C și 270 W, figura 3.38.

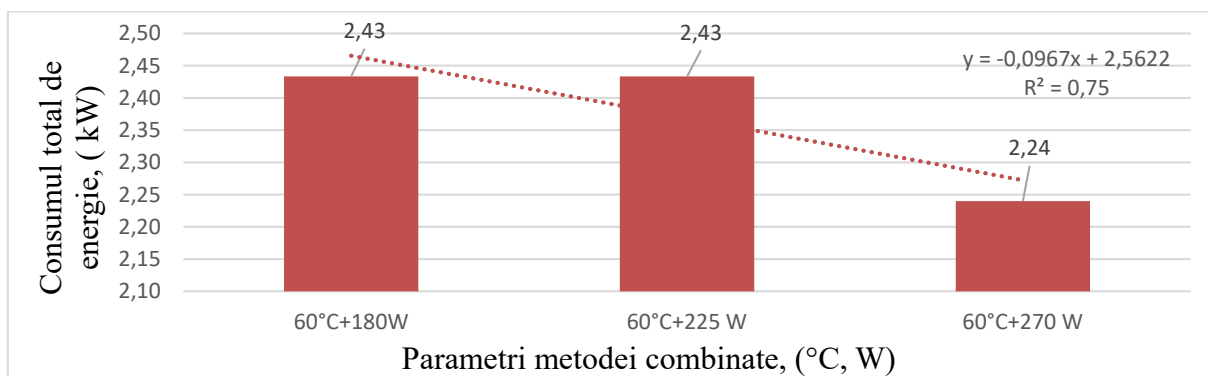


Fig.3.38. Consumul total de energie la uscarea piersicilor prin metoda combinată, Convecție + SHF

- S-a cercetat metoda combinată prin combinarea microundelor cu puterea magnetronului de 225W ca fiind unul mediu și temperaturile convecției de 50, 60 și 70°C deoarece la aceste valori produsul își păstrează proprietățile fizico - chimice. În urma uscării a 1 kg de piersici feliat în rondele de 4 mm la viteza aerului de 2 m/s la temperatura camerei s-a obținut un consum de energie de 2,50 kW pentru metoda 225W + 50°C, consumul de 2,44 kW pentru 225 W + 60°C și consumul de 2,37 kW la metoda 225 W+70°C, figura 3.39.

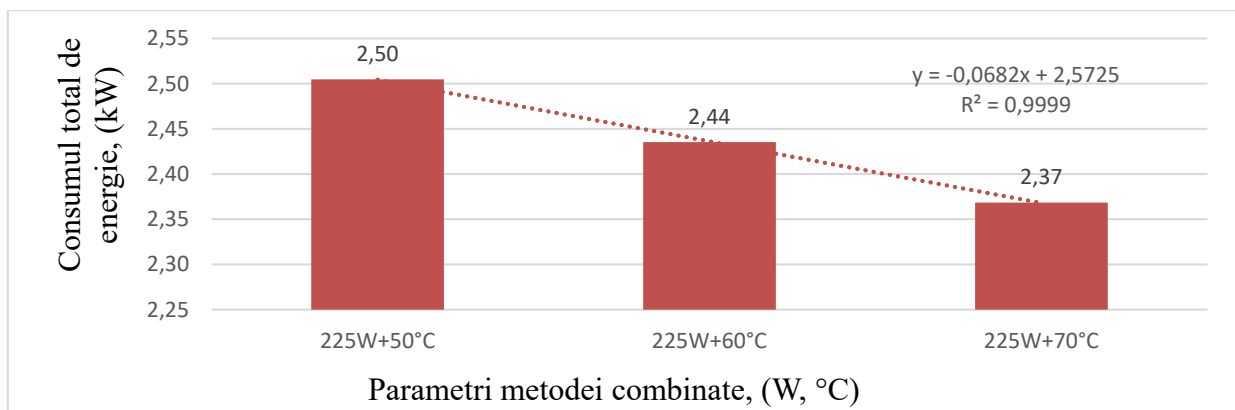


Fig.3.39. Consumul total de energie la uscarea piersicilor prin metoda combinată, SHF +Convecție

Consumul total de energie electrică pentru uscarea 1 kg de piersici tăiați în rondele cu grosimea de 4 mm, viteza aerului de 2 m/s, în mediu în funcție de metoda aplicată s-a determinat: pentru metoda convecției – 7,22 kW; SHF – 1,86 kW și metoda combinată – 2,40 kW; figura 3.40.

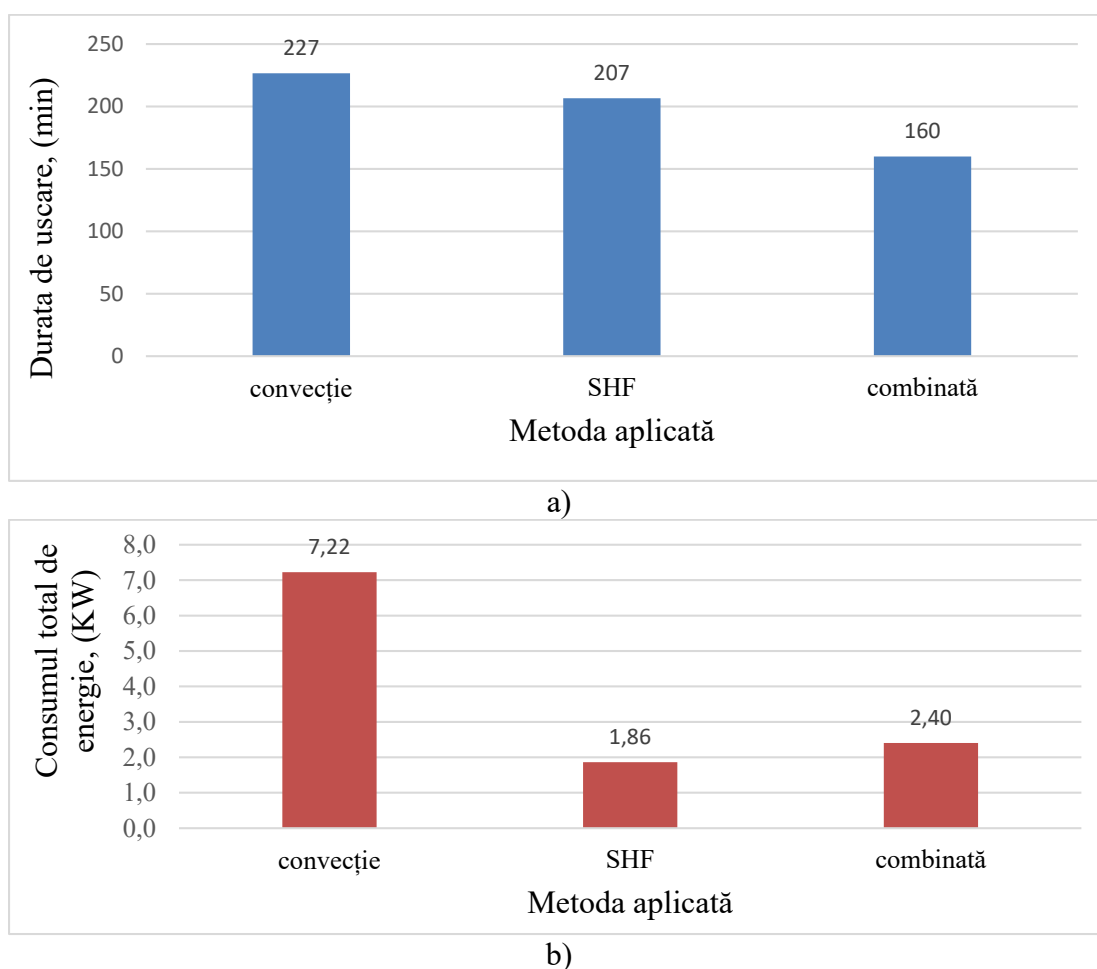


Fig.3.40. Consumul total de energie în funcție de metoda aplicată: (a) durata medie de procesare; (b) consumul mediu de energie la uscarea piersicilor

Consumul de energie electrică este în funcție directă de metoda de procesare, fie convecție, cu aplicarea microundelor sau combinarea simultană a convecției și microundelor. În alegerea unei metode optime de uscare a produselor vegetale din punct de vedere energetic, este important de atras atenție la durata totală de procesare și la consumul total de energie consumat. În funcție de dorințele agentului se poate de ales metoda cea mai rapidă de uscare sau cea mai econoamă energetic. Spre exemplu la metoda combinată 1 kg de piersici sa-u uscat timp de 160 minute, cu un consum de 2,40 kW pe când la aplicarea microundelor s-a obținut durata de procesare de 207 minute însă un consum de energie de 1,86 kW, de circa 1,3 ori mai puțin, acest consum redus este datorită funcționării doar a magnetronului în perioade cu excluderea rezistențelor electrice, (Țislinscaia et al., 2022; Popescu et al., 2022; Vișanu, 2022).

3.7. Modelarea matematică a procesului de uscare a fructelor de piersic

3.7.1. Modelarea matematică a transferului de masă și căldură pentru instalațiile cu microunde

Procesul de încălzire și deshidratare în instalații cu microunde este descrisă de sistemul de ecuații Maxwell și Lykov. În cele mai multe cazuri se ia dependența vectorului inducției electrice D de la tensionarea electrică E și inducției magnetice B de la vectorul H , pentru un mediu izotrop ecuația matematică poate fi scris (Peng, 2023), (Ulloa, 2022), (Eisenberg, 2020), ca:

$$D = \varepsilon E ; \quad B = \mu H ; \quad j = \sigma E \quad (3.1.)$$

unde ε, μ este permeabilitatea absolută dielectrică și magnetică a mediului;

σ – conductivitatea a mediului;

j – densitatea curentului conductivității.

Dezvoltarea sistemelor de ecuații.

În instalațiile cu microunde, aplicatoarele sunt de obicei folosite pentru procesarea dielectricilor imperfecte în care eterogenitatea structurală este mai mică decât lungimea de undă în mediu, ceea ce permite de a folosi ipoteza de omogenitate a obiectului. Pentru a percepe mai bine tabloul general al procesului de uscare cu SHF este necesar de rezolvat problema de bază al schimbului de masă și căldură în timpul uscării cu luare în considerație dinamica câmpului electric. Rezolvarea acestei probleme este posibilă prin determinarea distribuirii câmpului electric și magnetic. În acest caz sistemul de ecuații a transferului de masă și căldură și electrodinamicii poate fi rezolvat folosind sistemul Lykov și Maxwell și poate fi scris ca:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + v \nabla T = a \nabla^2 + \frac{\varepsilon^2}{c} \frac{\partial u}{\partial \tau} + \frac{Qv}{c\rho} \quad (3.2.)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} + v \nabla u = a_m \nabla^2 u + a_m \delta_T \nabla^2 T + \varepsilon \frac{\partial u}{\partial \tau} \quad (3.3.)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} + v \nabla p = a_p \nabla^2 p + \frac{\varepsilon}{c_b} \frac{\partial u}{\partial \tau} \quad (3.4.)$$

$$\operatorname{rot} H = j + \frac{\partial D}{\partial \tau} \quad (3.5.)$$

$$\operatorname{rot} E = -\frac{\partial B}{\partial \tau} \quad (3.6.)$$

$$\operatorname{div} D = 0 \quad (3.7.)$$

$$\operatorname{div} B = 0 \quad (3.8.)$$

unde T este temperatura absolută, °K;

u – conținut de umiditate, g/cm³;

v – viteza de transportare, m/s;

a – conductivitate termică, m²/s;

a_m – conductivitatea în masă, m²/s;

a_p – coeficient de difuzie, m²/s;

c_b – capacitate capilară-poroasă a corpului în raport cu aerul umed;

c – căldura specifică, J/kg°K;

ρ – densitatea produsului, kg/m³;

p – presiunea vaporilor de apă, Pa

Din sistemul Lykov, ecuațiile transferului de masă și căldură 3.2 – 3.4, s-a determinat cantitatea de căldură obținută din conversia energiei electrice în energie termică:

$$Q_v = 2\pi f \varepsilon' t g \delta E^2 \quad (3.9.)$$

unde f este frecvența Hz;

ε' - constanta dielectrică, descrie capacitatea materialului de a stoca energie electrică;

ε'' - pierderile dielectrice, indică capacitatea materialului de a disipa energia electrică în căldură.

Soluțiile de calcul.

Câmpurile electromagnetice din zone separate sunt conjugate la interfața dintre medii, folosind condițiile de frontieră s-a obținut:

$$\begin{aligned} [H_2 - H_1, n] &= 0 ; [n, E_2 - E_1] = 0 \\ n(D_2 - D_1) &= 0 ; n(B_2 - B_1) = 0 \end{aligned} \quad (3.10.)$$

unde n este vectorul unitate, dirijat dintr-un mediu în altul.

Condiția de limită pentru schimbul de căldură poate fi scrisă în modul următor:

$$\begin{aligned} \lambda \nabla T|_n + q(\tau) + 2j_n(\tau) &= Q \\ \lambda_m \nabla u_n + \delta_T \nabla T_n + \delta \nabla p_n + j_n(\tau) &= 0 \\ p_n &= 0 \end{aligned} \quad (3.11.)$$

în care q, j_n sunt densitatea fluxului de căldură și masă;

Procese termice într-un mediu încălzit pot fi descrise prin rezolvarea problemei valorii limită conform ecuației (3.2 – 3.4) și (3.11). Iar câmpul electromagnetic în cazul dat rezultă din rezolvarea ecuației (3.5 – 3.8) și (3.10). Modelul descris pentru uscarea cu microunde este un model generalizat (Ivanov et al., 2019).

În continuitatea modelului matematic precedent s-a propus de al orienta spre condițiile inițiale și de frontieră concrete ale procesului de uscare. Dacă în perioada de încălzire a produsului se neglijează evaporarea umidității atunci s-a scris ecuația conductivității termice sub următoarea formă:

$$v \cdot \frac{\partial T}{\partial y} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{Q_v}{c\rho} \quad (3.12.)$$

unde v este viteza de transfer în faza gazoasă, m/s;

Q_v – căldura termică internă, W/m³.

Pentru a asigura un randament înalt, produsul trebuie să fie bine aliniat cu generatorul SHF (reflexia din produs trebuie să fie minimă), această condiție este scrisă ca:

$$T(x, y, z)|_{y=0} = T_o \quad (3.13.)$$

$$\left. \frac{\partial T^{(x,y,z)}}{\partial x} \right|_{x=\pm R} = \mp \frac{\varphi}{\lambda_{np}} (T_n - T_p) \Big|_{x=R} \quad (3.14.)$$

$$\left. \frac{\partial T^{(x,y,z)}}{\partial z} \right|_{z=0;l} = \pm \frac{\varphi}{\lambda_{np}} (T_n - T_p) \Big|_{z=0;l} \quad (3.15.)$$

unde T_o – temperatura absolută inițială °K;

T_s – temperatura absolută la suprafața produsului °K;

T_a – temperatura absolută agentului de lucru °K.

Rezolvarea ecuațiilor de frontieră (3.13) - (3.15) prin metoda despărțirii variabilelor s-a scris în felul următor:

$$T = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{p=1}^{\infty} C_{mp}(y) \left[\cos(k_{zp} \cdot z) - \frac{\alpha}{\lambda_d k_{zp}} \sin(k_{zp} z) \right] \cdot \cos(k_{xm} x) \quad (3.16.)$$

unde coeficienții au fost determinați astfel:

$$C_{mp}(y) = A_{omp} l^{-\frac{\alpha}{v} k_{zp}^2 mpy} + \frac{1}{v} l^{-\frac{\alpha k^2}{v} mpy} \int_0^y B_{mp}(y) l^{\frac{\alpha k^2}{v} y} \cdot dy \quad (3.17.)$$

$$A_{omp} = \frac{1}{w} \int_l^0 \int_{-R}^R T_0 \left[\cos(k_{zp} \cdot z) - \frac{\alpha}{\lambda k_{zp}} \cdot \sin(k_{zp} z) \right] \cdot \cos(k_{xm} x) dx dz \quad (3.18.)$$

$$B_{mp} = \frac{2\alpha Q_v \sin(k_{xm} R)}{w \cdot b k_{xm} R [\varphi \beta^2 + k_{zp}^2]} \left\{ \left(\frac{\alpha}{\lambda} + 2\alpha^* \right) [1 - l^{-2\alpha^* l} \cdot \cos(k_{zm} l)] - \right. \\ \left. l e^{-2\alpha^* l} \frac{\sin}{k_{zp} l} (k_{zp} l) \left[2\alpha^* \frac{\alpha}{\lambda} - k_{zp}^2 \right] \right\} \quad (3.19.)$$

$$w = \frac{Rl}{2} \left[1 + \frac{\sin(K_{xm} R)}{k_{xm} R} \right] \left[1 + \left(\frac{\alpha}{\lambda \cdot k_{zp}} \right)^2 + \frac{2\alpha}{\lambda l k_{zp}^2} \right] \quad (3.20.)$$

unde k_{xm} și k_{zp} sunt rădăcinile ecuațiilor transcendente

$$(k_{xm}R)tg(k_{xm}R) = \frac{\alpha R}{a} \quad (3.21.)$$

$$tg(k_{zp}l) = \frac{\frac{2\alpha}{\lambda k_{zp}}}{1 - (\frac{\alpha}{\lambda k_{zp}})^2} \quad (3.22.)$$

Cu condiția că $d \ll l$ ecuație (3.21) și (3.22) oferă următoarele relații:

$$k_{xm}R = \sqrt{\frac{\alpha R}{a}}; \quad \pi; 2\pi; 3\pi \dots$$

$$k_{zp}l = (p - 1)\pi; \quad (p = 1, 2, \dots)$$

dacă: $2\alpha^*l \ll 1$ atunci

$$T = T_0 l^{\frac{-2\alpha y}{v \cdot C \rho R}} + \frac{Q_{v0}}{\alpha b} \cdot (1 - l^{\frac{-2\alpha y}{v \cdot C \rho R}}) \quad (3.23.)$$

În continuare se va analiza etapa de uscare continuă, în acest caz:

$$\nabla^2 T = 0$$

$$a \frac{\partial^2 P}{\partial X^2} = \frac{\partial^2 P}{\partial Y^2} = 0$$

Transferul de căldură pe axa y va avea loc datorită proprietăților produsului:

$$v \frac{\partial p}{\partial y} \gg a_p \frac{\partial^2 P}{\partial y^2}$$

$$v \frac{\partial u}{\partial y} = a_m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3.24.)$$

Pentru condițiile de frontieră date:

$$u(x, y, z)|_{y=0} = U_0 \quad (3.25.)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x}(x, y, z) \Big|_{x=\pm R}^{\rightarrow} = \frac{\beta}{\lambda_m} U(x, y, z) \Big|_{x=\pm R} \quad (3.26.)$$

$$\frac{\partial U}{\partial z}(x, y, z) \Big|_{z=0,l}^{\rightarrow} = \mp \frac{\beta}{\alpha_m} U(x, y, z) \Big|_{z=0, l} \quad (3.27.)$$

Rezolvarea sistemului de ecuații (3.24) – (3.27) va avea forma:

$$U = \sum_{i=1}^{\infty} \cdot \sum_{j=1}^{\infty} A_j(y) (\cos(k_{zj}z) - \frac{\beta}{\alpha_m k k_{zj}} \cdot \sin k_{zj}z \cdot \cos k_{xi}x) \quad (3.28.)$$

în care:

$$A_j = l^{\frac{\alpha_m k_j^2}{v}} \int_{-e}^0 \int_{-R}^R U_0 (\cos k_{zj}z) - \frac{\beta}{\alpha_m k_{zj}} \cdot \sin k_{zj}z \cdot x \cos(k_{xi}x) dx dz \quad (3.29.)$$

$$w_u = \frac{R}{2} l \left[1 + \frac{\sin(k_{xi}ZR)}{v k_{xi}R} \right] \cdot \left[1 + \frac{\beta}{\alpha_m k_{zj}} + 2 \frac{\beta}{\alpha_m l \cdot k_{zj}^2} \right] \quad (3.30.)$$

în care: $k^2 = K_{xi}^2 + K_{zj}^2$ unde K_{xi} și K_{zj} sunt rădăcinile ecuațiilor

$$K_{xj} R \operatorname{tg}(K_{xi} R) = \frac{\beta R}{\alpha_m} \quad (3.31.)$$

$$\operatorname{tg}(K_{zj} l) = \frac{\frac{2\beta}{\alpha_m k_{zi}}}{1 - \left(\frac{\beta}{\alpha_m k_{zj}}\right)^2} \quad (3.32.)$$

În condițiile în care: $d \ll l$ și $\frac{\beta d}{\lambda_m} \leq 0,01$ atunci distribuția conținutului de umiditate se va determina astfel:

$$U = U_0 l^{-\frac{2\beta}{v \cdot C \rho R}} \quad (3.33.)$$

Deshidratarea este una din cele mai enerointensive operații utilizate în industria alimentară, în acest context se atrage atenția la reducerea consumului de energie ce poate fi efectuat prin proiectarea noilor echipamente de uscare. În cazul tratării termice sub influența curenților de frecvență supra înaltă trebuie de ținut cont de forma și gabaritele camerei de uscare; poziția amplasării magnetronului și tăvii cu produs; de forma și geometria ghidajelor de microunde, etc.

În urma modelării matematice al transferului de temperatură și umiditate se poate de concluzionat că sporirea eficienței procesului de uscare poate fi realizată prin determinarea răspândirii uniforme a câmpului de temperaturi; orientarea tăvii cu produs perpendicular direcției de propagare ale microundelor; alegerea unei distanțe optime dintre magnetron și tava cu produs în scopul reducerii maxime al efectului de reflexie ale microundelor; și alegerea potrivită a formei produsului, o suprafață mai mare va fi mai intensiv tratată, etc, (Ivanov et al., 2022).

3.7.2. Modelarea matematică a consumului de energie în procesul de uscare a fructelor de piersic

Piersicile fac parte din categoria fructelor cu conținut mare de umiditate, în jur de 90%, pentru a usca acest tip de produs este necesar de a înlătura o cantitate enormă de umiditate. Conținutul total de umiditate este reprezentat de cel de la suprafața și cel din interiorul produsului.

Umiditatea de la suprafața produsului în timpul procesului este evaporată în prima parte a uscării prin transferul de umiditate de la suprafața produsului, însă cea mai mare parte de energie se consumă la evaporarea apei din interiorul produsului. Din acest motiv pentru a intensifica acest transfer al umidității din interiorul produsului spre exterior se vor aplica microundele. Modelul matematic este bazat pe metoda Brandon care ne permite să obținem dependența funcțională neliniară a parametrilor de ieșire și a factorilor procesului.

Lucrul pentru separarea unui mol de apă, pentru un proces reversibil izotermic, este exprimat ca (Lykov 1968.):

$$A = RT \ln \frac{P_p}{P_{nas}} = RT \ln \varphi \quad (3.34.)$$

unde φ este presiunea parțială a vaporilor care este egală cu raportul dintre presiunea de vaporii a materialului la acest conținut de umiditate U , și presiunea de vaporii a apei P_{nas} (presiunea de vaporii saturată la temperatura T)

Diferențierea ec.(3.34) față de T , găsim cantitatea totală de căldură, indispensabilă pentru deshidratarea produsului, ecuația (3.35).

$$Q = RT^2 \left(\frac{\partial \ln P_p}{\partial T} - \frac{\partial \ln P_{nas}}{\partial T} \right) = Q_1(u) - Q_0 \quad (3.35.)$$

unde $Q_1(u)$ reprezintă căldura necesară pentru evaporarea apei din interiorul produsului;

Q_0 - căldura necesară pentru evaporarea apei de pe suprafața produsului.

În verificarea ipotezei din ecuației (3.35) se va obține ecuația (3.36):

$$Q_1(u) = RT^2 \frac{\partial \ln P_{par}}{\partial T} \quad (3.36.)$$

unde R este constanta gazului (vaporilor de apă), 461,58 J/kg K;

T – temperatura absolută, °K.

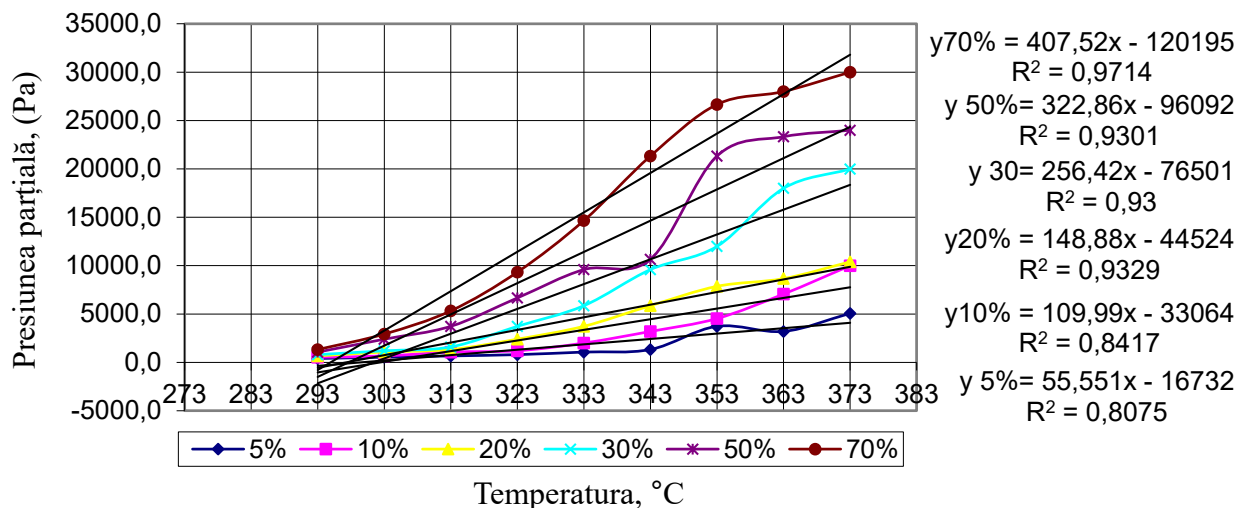


Fig.3.41. Dependența presiunii parțiale de temperatură la diferite conținuturi de umiditate

Dacă substituim dependențele funcționale $P = f(T)$ în ecuația (3.36), s-a obținut valoarea calculată $Q_1(u)$ ce semnifică căldura necesară pentru evaporarea unui procent concret, 5 – 70% de umiditate din interiorul produsului ec.(3.37):

$$Q_1(5\%) = RT^2 \frac{\partial \ln(55,551 \cdot T - 16732)}{\partial T} \quad (3.37.)$$

$$Q_1(10\%) = RT^2 \frac{\partial \ln(109.99 \cdot T - 33064)}{\partial T}$$

$$Q_1(20\%) = RT^2 \frac{\partial \ln(148.88 \cdot T - 44524)}{\partial T}$$

$$Q_1(30\%) = RT^2 \frac{\partial \ln(256.42 \cdot T - 76501)}{\partial T}$$

$$Q_1(50\%) = RT^2 \frac{\partial \ln(322.86 \cdot T - 96092)}{\partial T}$$

$$Q_1(70\%) = RT^2 \frac{\partial \ln(407.52 \cdot T - 120195)}{\partial T}$$

În urma determinării dependenței presiunii parțiale de temperatură la diferite conținuturi de umiditate și prin intercalarea ecuației 3.36. și 3.37 se obține cantitatea de căldură necesară pentru evaporarea umidității de la suprafața produsului pentru diferite conținuturi de umiditate, 5 – 70%, figura 3.42.

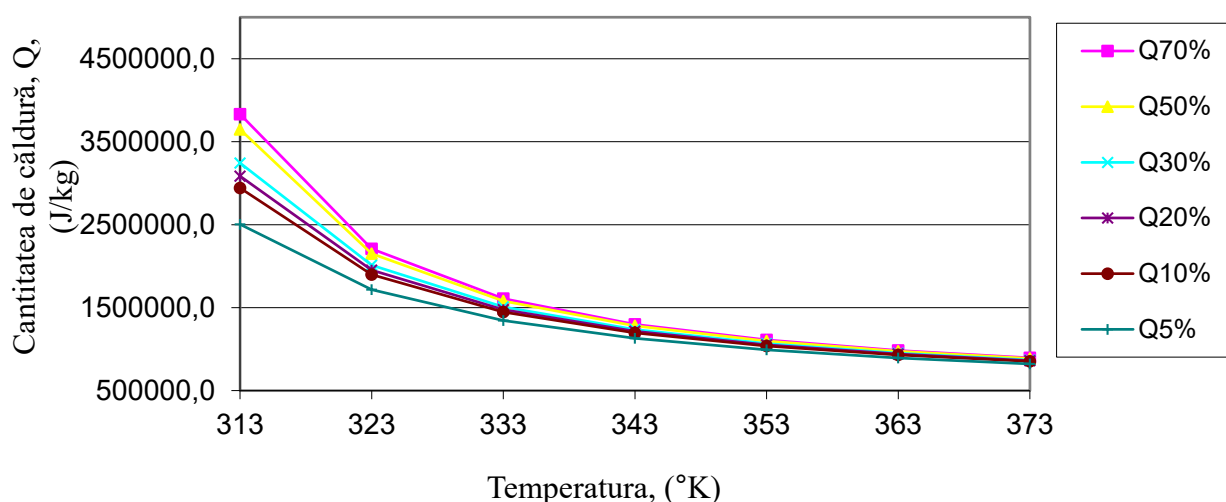


Fig.3.42. Căldura necesară evaporării umidității din interiorul produsului la diferite conținuturi de umiditate

Al doilea constituent al ecuației 3.35 reprezintă cantitatea de căldură necesară pentru evaporare umidității de pe suprafața produsului, ec. 3.38:

$$Q_0 = RT^2 \frac{\partial \ln P_{nas}}{\partial T} \quad (3.38.)$$

Substituind aceste valori ai vaporilor saturați, poate fi destul de bine aproximat cu formula dată:

$$P_{nas} = 4.96 \cdot 10^{-2} (T - 273)^{3.1546}, \text{ Pa} \quad (3.39.)$$

În acest caz ecuația 3.38 ia forma:

$$Q_0 = RT^2 \frac{\partial \ln(4.96 \cdot 10^{-2} (T - 273)^{3.1546})}{\partial T}, \text{ Pa} \quad (3.40.)$$

Conform expresiei 3.40 se obține cantitatea de căldură necesară pentru evaporarea umidității de pe suprafața produsului, figura 3.43.

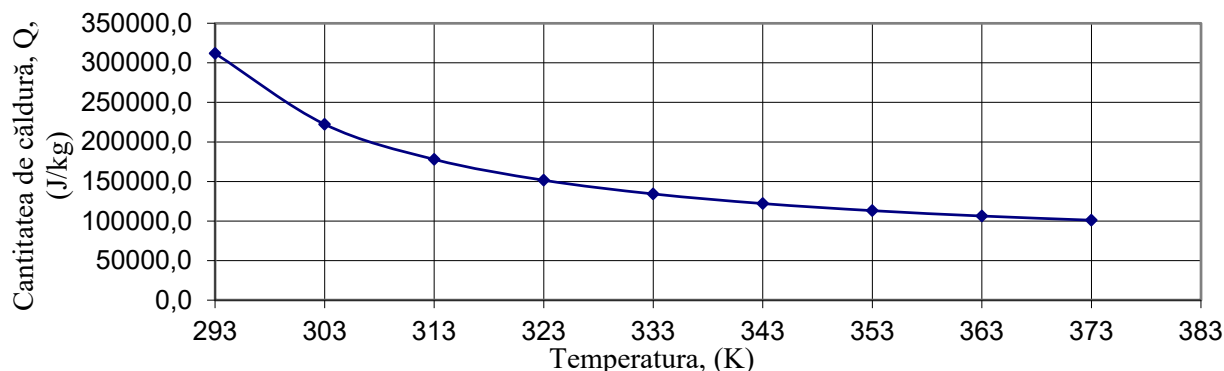


Fig.3.43. Căldura necesară pentru evaporarea umidității de pe suprafața produsului

După ce s-a determinat cantitatea necesară de căldură necesară pentru evaporarea umidității de pe suprafața și din interiorul produsului determinăm cantitate totală de căldură necesară pentru deshidratarea produsului, figura 3.44.

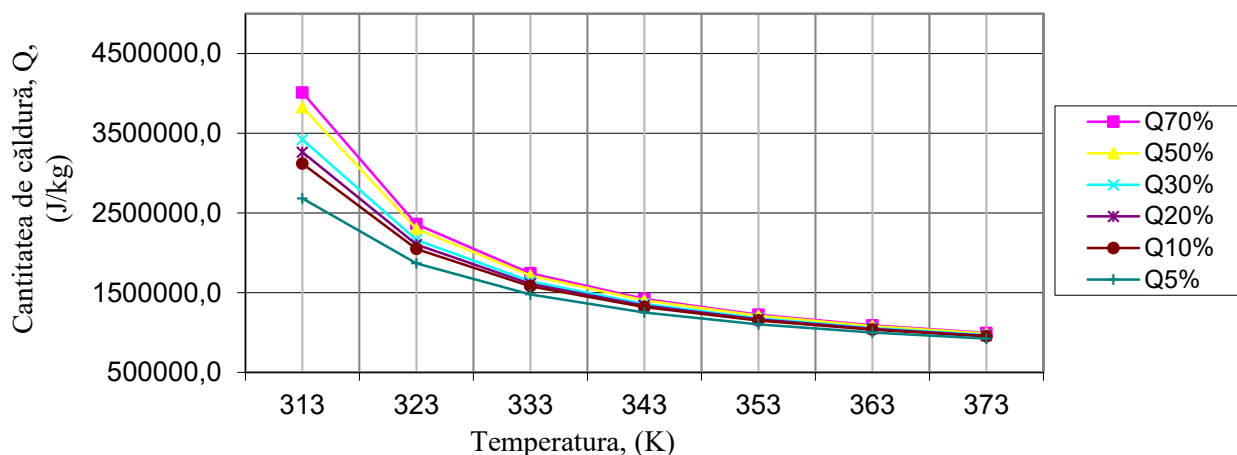


Fig.3.44. Cantitate maximă de căldură necesară pentru evaporarea umidității din interior și exteriorul produsului

Relația matematică dintre Q, consumul de căldură și temperatură pentru diferite umidități a fost calculată și prezentată după cum urmează:

$$Q_{(70\%)} = 2.0 \cdot 10^9 e^{(-0.021 \cdot T)} \quad (3.41.)$$

$$Q_{(50\%)} = 1.9 \cdot 10^9 e^{(-0.021 \cdot T)}$$

$$Q_{(30\%)} = 1.0 \cdot 10^9 e^{(-0.019 \cdot T)}$$

$$Q_{(20\%)} = 9 \cdot 10^8 e^{(-0.019 \cdot T)}$$

$$Q_{(10\%)} = 8.5 \cdot 10^8 e^{(-0.019 \cdot T)}$$

$$Q_{(5\%)} = 4.5 \cdot 10^8 e^{(-0.017 \cdot T)}$$

Relația funcțională primită va forma o bază a modelului matematic pentru optimizarea procesului de tratare termică ce are loc într-o instalație s-au cameră de uscare unde se utilizează așa parametri ca sursa internă de căldură a tensiunii câmpului electromagnetic, a umidității, a factorilor de funcționare electro-fizici - tangenta pierderii dielectrice și capacitatea inductivă, precum și timpul de încălzire.

$$Q_v = f_1(E)f_2(W)f_3(T)f_4(tg\delta)f_5(\varepsilon)f_6(\tau), Pa \quad (3.42.)$$

Relația matematică obținută se bazează pe forme neliniare de legături ale factorilor externi X_i , soluția unor astfel de modele este posibilă folosind metoda lui Brandon, (Bondar', 1973). Pentru o construcție mai precisă a dependenței funcționale a funcției $f_i X_i$ în expresie ar trebui plasată în ordine descrescătoare influența lui X_i , adică pentru a utiliza factori de clasificare. Dependențele funcționale derivate ne-au permis să elaborăm modelul dat - furnizarea optimă de energie a sursei interne de căldură în funcție de intensitatea câmpului electromagnetic, a umidității, a parametrilor electrici - tangenta unghiului de pierdere dielectrică și permitivitate, precum și ca timp de încălzire. Acest model matematic ia în considerare o dependență funcțională neliniară a principalilor factori variați de la parametrul de bază.

$$Q = 1265981 \cdot (-0.013T + 2.0216) \cdot (0.98E^{0.00829}) * \\ * (0.0009 \cdot W + 0.92227) \cdot (0.0015t + 0.9633) \cdot (-0.009tg + 1.006) * \\ * (-0.0009\varepsilon + 1.0009) \quad (3.43.)$$

în care Q reprezintă energia necesară pentru realizarea uscării, J/Kg

W - umiditate, %

T - temperatura, $^{\circ}K$

ε - permitivitatea dielectrică relativă

$tg\delta$ - tangenta unghiului de pierdere dielectric

E - intensitatea câmpului electromagnetic, W/m

t - durata de timp, s

Modelul matematic al procesului de uscare elaborat în baza rezolvării ecuațiilor diferențiale ale fenomenelor de transfer permite optimizarea procesului și dirijarea automată a parametrilor acestuia (temperatura produsului; temperatura, viteza, umiditatea aerului, intensitatea câmpului electromagnetic, etc.) în funcție de durata procesului și umiditatea produsului. Pentru rezolvarea unor alte probleme, cu care se confruntă uscarea, și anume reducerea consumului de energie și intensificarea procesului, s-a propus procesarea produselor vegetale, în cazul nostru a fructelor de piersici utilizând microundele. Datorită mecanismului de funcționare al curenților de frecvență supra înaltă permit reducerea esențială a rezistențelor transferului de masă, de umiditate, în produs,

ceea ce reduce în continuare și consumul de energie la deplasarea acestuia la suprafață. Studiul cineticii procesului de uscare a fructelor de piersic tratate cu ajutorul microundelor, a demonstrat o reducere semnificativă a consumului de energie.

Concluziile la capitolul 3

1. Centrul camerei de uscare prezintă poziția optimă pentru amplasarea tăvii cu produs, pe parcursul uscării sa obținut viteza uniformă și constantă a agentului termic, la înălțimea de 150 mm s-a obținut variația vitezei aerului $\pm 0,1 - 0,2$ m/s față de cea inițială.
2. La uscarea cu aplicarea microundelor s-a determinat influența ghidajelor de microunde asupra distribuirii câmpului de temperaturi în interiorul camerei de uscare, utilizarea magnetronului cu două ghidaje duce la acoperirea a 90% din suprafața camerei de uscare.
3. La uscarea prin convecție s-a stabilit că temperatura optimă de uscare este cuprinsă între 50 - 70°C cu durata de uscare 270 – 185 minute, viteza aerului de 2 m/s, și grosimea produsului 4 mm, pentru uscarea a 1 kg de piersici la condițiile date este nevoie de un consum de 7,0 – 8,0 kW de energie electrică.
4. La uscarea cu microunde interes prezintă microundele la puterea de 180, 225 și 270 W, durata de uscare reprezintă 260, 200 și respectiv 160 de minute, la viteza aerului de 2 m/s și grosimea produsului de 4 mm pentru uscarea 1 kg de piersici proaspeți este nevoie de un consum de energie în jur de 1,8 – 2,0 kW de energie.
5. La uscarea prin metoda combinată la 60°C și puterea de 180, 225 și 270W, durata de uscare sunt 200, 160 și 120 minute respectiv, viteza aerului de 2 m/s și grosimea produsului de 4 mm, pentru uscarea 1 kg de piersici proaspeți este nevoie de un consum de energie de circa 2,5 - 3 kW de energie.
6. S-a elaborat modelul matematic care descrie transferul de temperatură, $T = T_0 l^{\frac{-2\alpha y}{v \cdot C \rho R}} + \frac{Q_{v0}}{\alpha b}$ și umiditate $U = U_0 l^{-\frac{2\beta}{v \cdot C \rho R} y}$ în instalațiile cu microunde. S-a stabilit că sporirea eficienței procesului de uscare poate fi realizată prin determinarea răspândirii uniforme a câmpului de temperaturi; orientarea tăvii cu produs perpendicular direcției de propagare ale microundelor; alegerea unei distanțe optime dintre magnetron și tava cu produs în scopul reducerii efectului de reflectare ale microundelor; modelul II arată cantitatea de căldură necesară în procesul de uscare pentru a extrage o cantitate anumită de umiditate din cea inițială, fie în % sau grame, din produs, cu ajutorul modelului dat se poate prognoza care vor fi cheltuielile de energie pentru uscarea diferitor produse la diferite instalații.

4. INFLUENȚA PROCEDEELOR DE DESHIDRATARE ASUPRA CALITĂȚII FRUCTELOR DE PIERSIC

4.1. Analiza senzorială a mostrelor de piersici uscate prin diferite metode

În calitate de materie primă s-au utilizat fructele de piersic autohtone recoltate din Republica Moldova, roada 2015 - 2022. Pentru stabilirea condițiilor optime de uscare din punct de vedere a calității și valorii biologice a fructelor de piersic s-au utilizat metodele: convecția forțată; aplicarea microundelor și metoda combinată (convecție și microunde) (Deseatnicova, et al., 2022). În continuare sunt prezentate mostre de piersici uscate până la umiditatea de $18 \pm 1\%$ prin metoda convecției forțate la diferite temperaturi ale agentului termic, ($50 - 90^{\circ}\text{C}$), la diferite grosimi ale produsului ($2 - 10 \text{ mm}$) și la diferite viteze ale aerului, ($0,5 - 2,5 \text{ m/s}$). Pentru determinarea parametrilor optimi de uscare ai convecției forțate inițial s-a efectuat analiza senzorială. Prima probă s-au analizat feliile de piersici uscate cu diferite grosimi, de la 2 la 10 mm., figura 4.1.

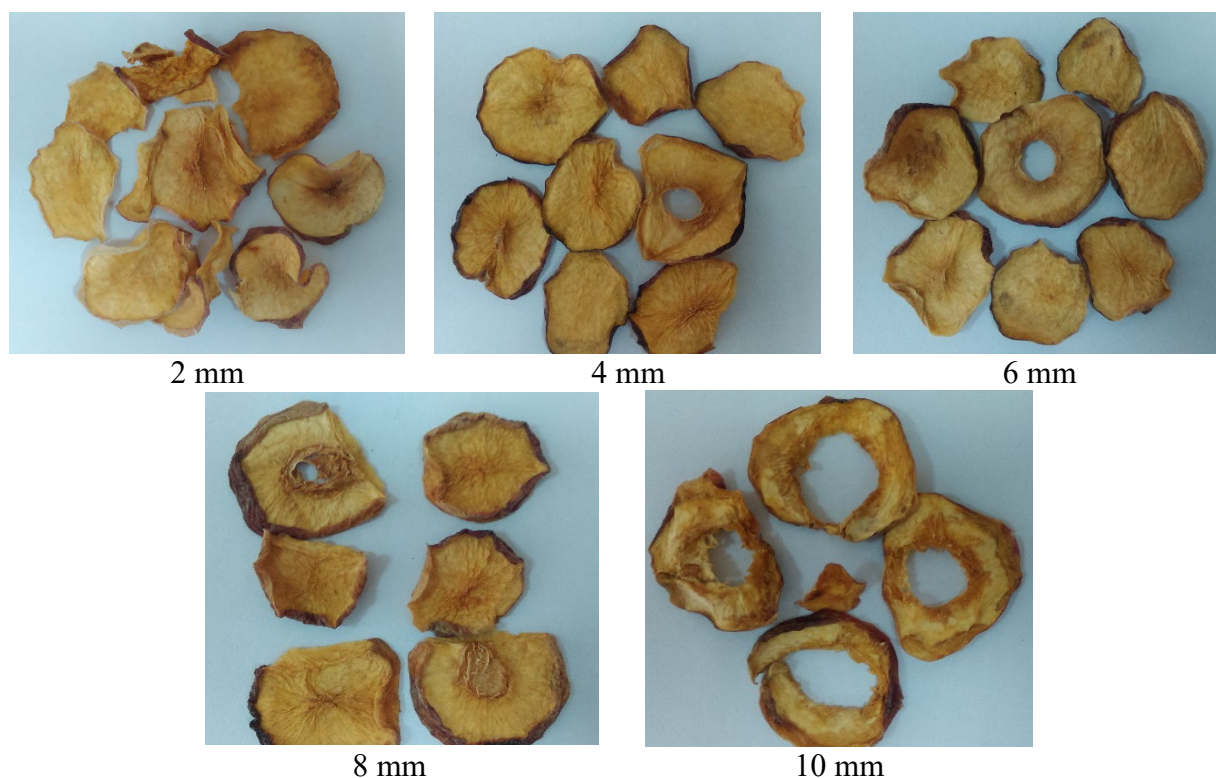


Fig.4.1. Mostre deshidratate ale rondelilor de piersică cu diferite grosimi, ($t_a = 60^{\circ}\text{C}$, $v_a = 2,0 \pm 0,1 \text{ m/s}$)

În urma analizei senzoriale efectuate în cadrul departamentului IM, a mostrelor deshidratate a rondelilor de piersici cu diferite grosimi s-au determinat următoarele caracteristici: formă, suprafață, culoare, gust și miros, tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate cu diferite grosimi

Denumirea indicatorilor	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm	10 mm
Formă	Felii – fructe tăiate în formă de sectoare (discuri) paralele, cu dimensiuni și grosimi neregulate,				
	Grosimea dată este prea subțire, produs fragil, fărâmicos tipic chipsurilor	Grosimea potrivită, uniformă.	Grosimea mărită, uniformă	Grosimea mare, neuniformă, zbârcită.	Grosimea prea mare, neuniformă, zbârcită, neatrăgătoare.
Suprafață	Rugosă, fragilă, încrețită, tipică fructelor uscate subțiri,	Rugosă, suprafața netedă fără încrețituri, tipică fructelor uscate în felii.		Rugosă, prezența mare a fibrelor	Rugosă, prezența excesivă a fibrelor,
Culoare	Galben oranj deschis		Galben oranj	Galben oranj închis	Galben oranj închis – nuanțe brune
Gust și miros	Nu se identifică gust și miros străin, s-au impurități minerale organoleptic perceptibile,				
	Gust acru dulcișor, miros ușor de piersici	Gust și miros mai pronunțat, plăcut, acru-dulcișor	Gust acru-dulcișor, miros mai pronunțat, plăcut	Gust acru-dulcișor cu miros pronunțat	Gust acru-dulcișor miros mai pronunțat ușor de copt

Conform rezultatelor obținute s-a constatat că proba cu grosimea de 4 mm a obținut din maxim 20 de puncte calificativul foarte bun cu media 19,44 puncte, urmat de proba cu grosimea de 2 mm, 18,0 puncte cu calificativul bun, figura 4.2.

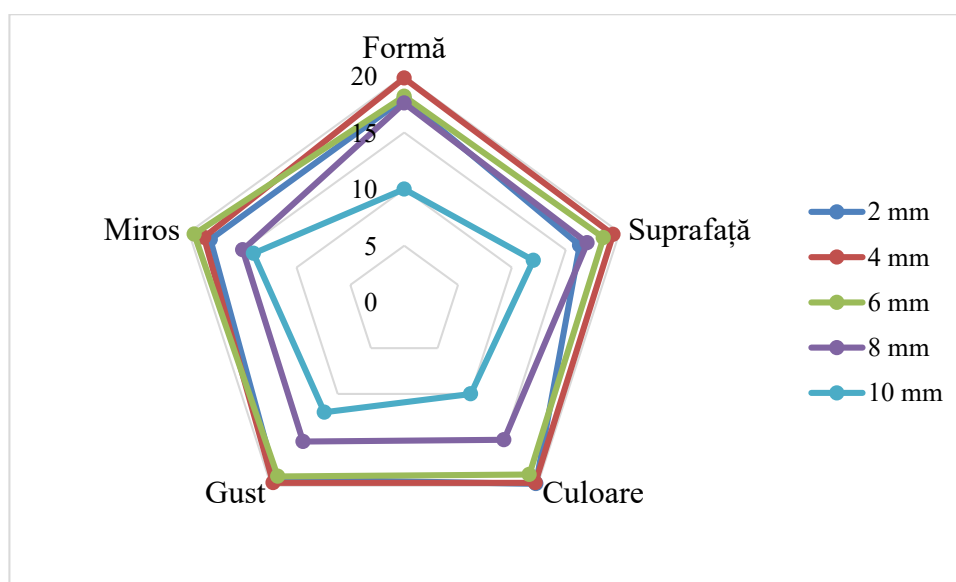


Fig.4.2. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate cu diferite grosimi

Influența vitezei agentului termic de uscare asupra indicilor senzoriali a rondelilor deshidratate ale fructului de piersic este prezentată în figura 4.3, tabelul 4.2.

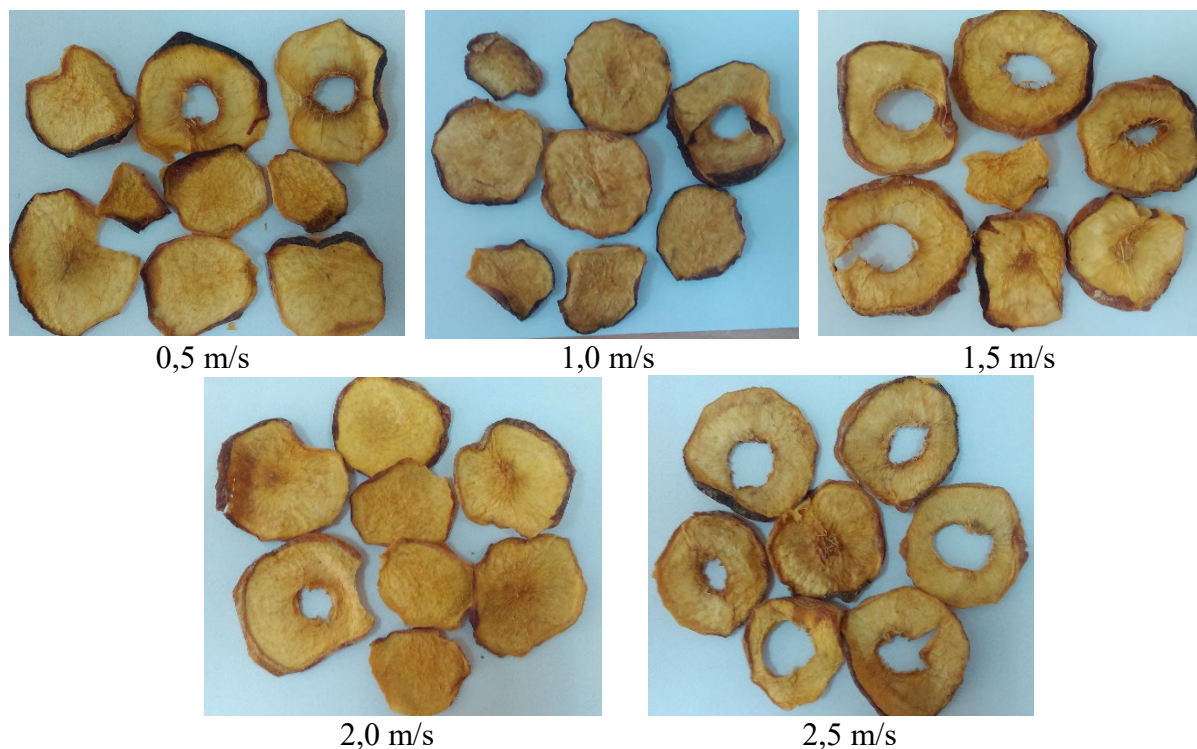


Fig.4.3. Mostre de piersici deshidratate la diferite viteze ale aerului,
 $(t_a = 60 \pm 0,5^\circ\text{C}, \delta_p = 4 \pm 0,5 \text{ mm})$

Tabelul 4.2. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate la diferite viteze ale aerului

Denumirea indicatorilor	0,5 m/s	1,0 m/s	1,5 m/s	2,0 m/s	2,5 m/s
Formă	Felii cu diferite forme și grosimi.				
Suprafață	Rugoasă, elastică, tipică fructelor uscate				Rugoasă, puțin mai plastică, cu mici urme de formare a crustei.
Culoare	Galben oranj puțin închis		Galben oranj deschis tipic fructelor uscate natural		Galben oranj puțin închis
Gust și miros	Nu se identifică gust și miros străin, s-au impurități minerale organoleptic perceptibile, gust acru dulcișor, plăcut, amestecabil ușor.				Se identifică prezența fibrelor, produsul devine mai aspru în amestecare.

Conform analizei senzoriale probele uscate la viteza aerului de 2 m/s a obținut 19,66 de puncte cu calificativul foarte bun, urmat de proba uscată la viteza de 1,5 m/s cu 18,0 de puncte și proba cu viteza aerului de 2,5 m/s cu calificativul bun cu 17,34 puncte. În cazul dat viteza aerului de la 1,50 – 2,50 m/s prezintă calificative ridicate, punctajul acumulat practic nu diferă, deci pot fi aplicate în uscare, figura 4.4.

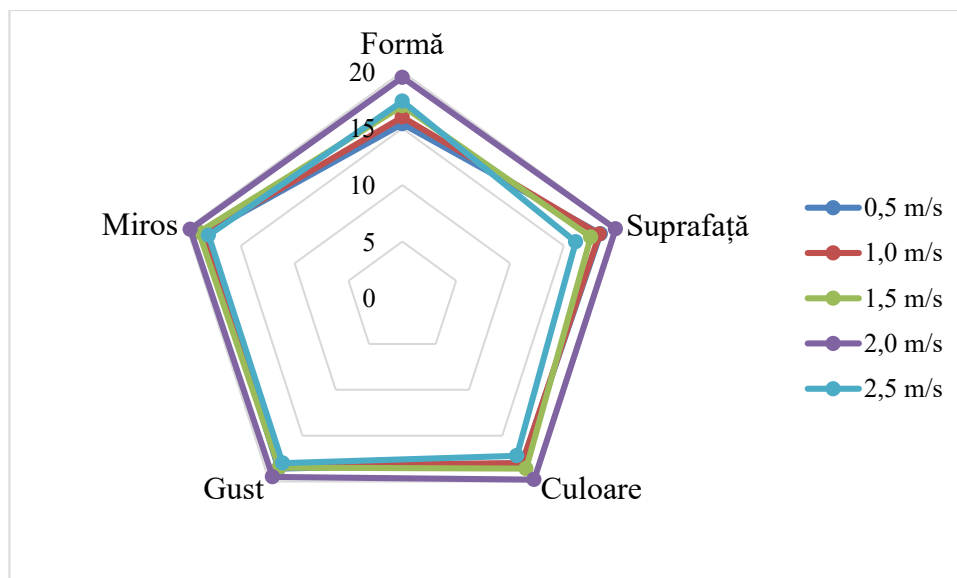


Fig.4.4. Analiza senzorială a feliiilor de piersici uscate la diferite viteze ale aerului

În procesul de uscare a piersicilor în deosebi prin metoda convecției forțate unul din cei mai importanți factori este temperatura și anume alegerea temperaturii optime duce la obținerea unui produs calitativ, figura 4.5.

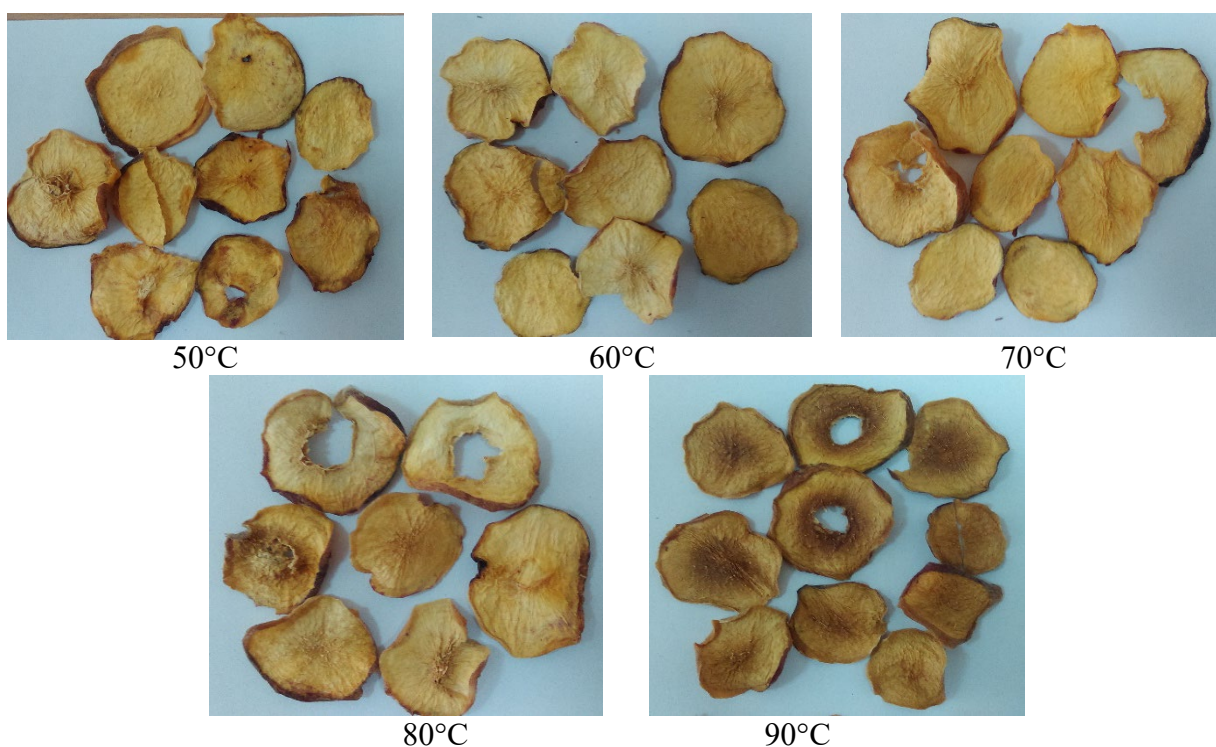


Fig.4.5. Mostre de piersici deshidratate la diferite temperaturi ale aerului, ($v_a=2,0 \pm 0,1$ m/s, $\delta_p = 4 \pm 0,5$ mm)

În urma realizării procesului de uscare a rondelilor de piersici la diferite temperaturi ale agentului termic de la 50°C - 90°C, probele uscate sau supus analizei senzoriale a cărei rezultate sa-u descris în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate la diferite temperaturi

Denumirea indicatorilor	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C
Formă	Felii cu forme și grosimi diferite			Felii cu diferite forme și grosimi, cu intensificarea zbârciturilor.	Felii cu diferite forme și grosimi, zbârcituri intense.
Suprafață	Rugosă, elastică, tipică fructelor uscate.			Rugosă, încrețită, plastică, tipică fructelor uscate.	Rugosă, încrețită, cu formarea stării sticloase. structură aspră, dură.
Culoare	Galben oranj închise	Galben oranj	Galben oranj deschis	Galben închis oranj - maro	Galben - oranj, brun.
Gust și miros	Nu se identifică gust și miros străin, s-au impurități minerale organoleptic perceptibile, gust acru dulcișor, plăcut, amestecabil ușor.				
	Gust și miros plăcut nativ piersicilor deshidratați			Se identifică gust și miros de copt, și prezența semnificativă a fibrelor alimentare din produs.	

În urma analizei organoleptice proba uscată la 70°C a obținut valoarea maximă de 19,74 de puncte, urmat la o foarte mică diferență de punctaj, proba uscată la temperatura de 60°C, care a acumulat 19,02 de puncte, ambele probe au obținut calificativul de foarte bun. Locul trei la obținut proba de piersici uscată la temperatura de 50°C cu 18 de puncte și calificativul bun. Concluzionând se poate de afirmat că utilizarea valorilor temperaturii mai mici de 60°C și valorile mai înalte a temperaturii de 70°C diminuează aspectul exterior al produsului uscat, la temperaturile de 80 și 90°C are loc o intensificare a procesului de brunificare și ca urmare o schimbare radicală a culorii, figura 4.6.

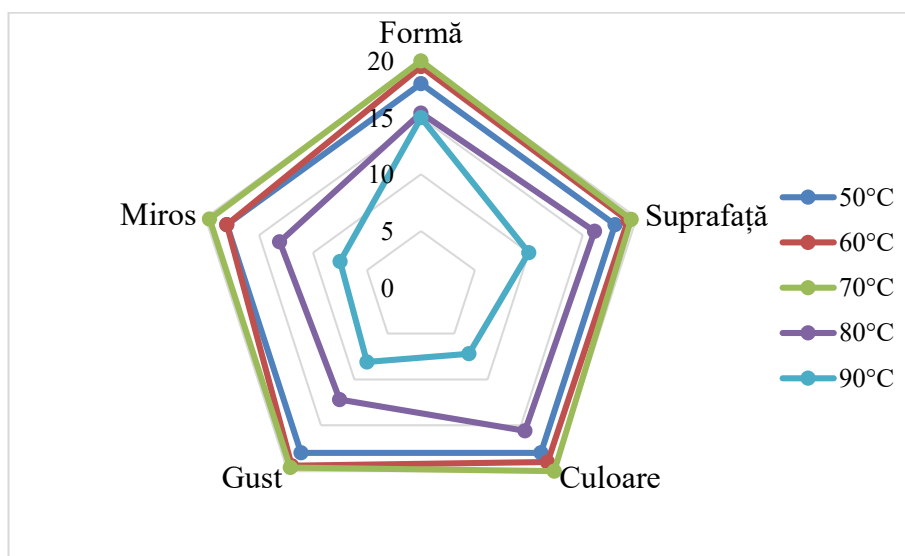


Fig.4.6. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate la diferite temperaturi ale aerului

În cercetare pentru intensificarea procesului de uscare s-au aplicat microundele, prin schimbarea aportului de energie s-a redus considerabil durata de uscare, care la rândul său a

influențat asupra aspectului interior și exterior al produsului uscat. În continuare se prezintă mostrele uscate de piersici la diferite puteri ale magnetronului 180 - 360 W, figura 4.7.

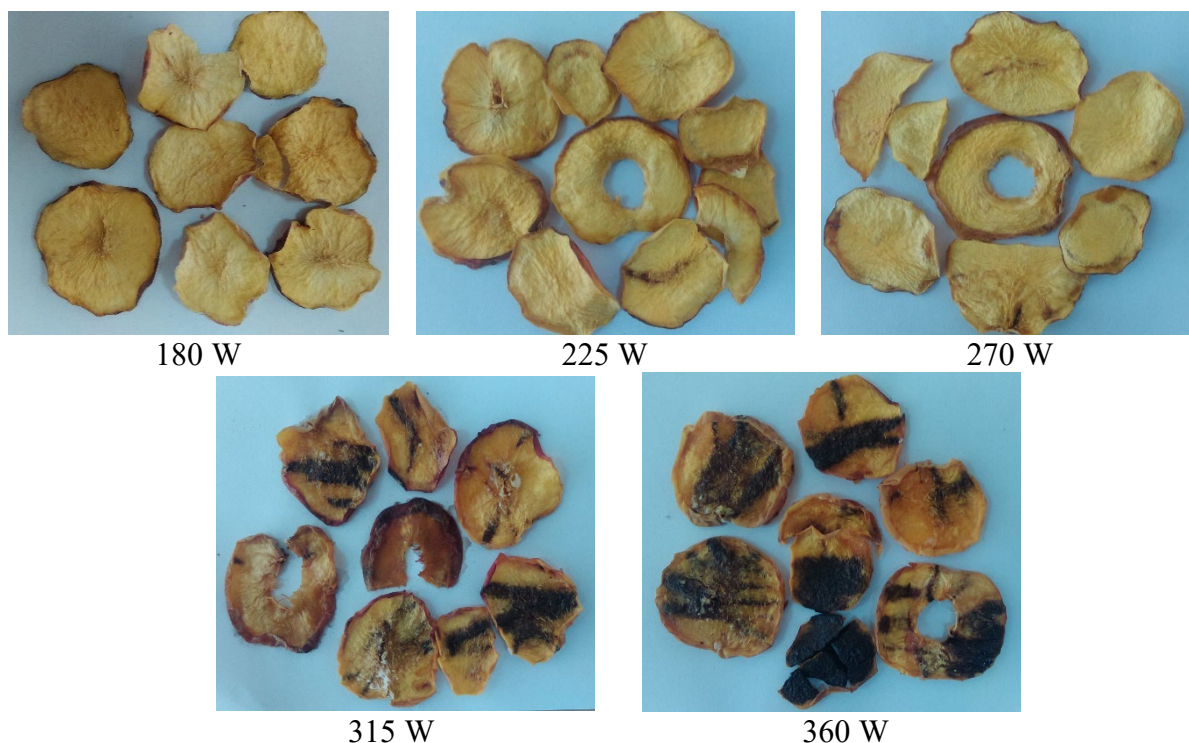


Fig.4.7. Mostre de piersici deshidratate la diferite puteri ale magnetronului 180 – 360 W, ($v_a = 2,0 \pm 0,1$ m/s, $\delta_p = 4 \pm 0,5$ mm)

Pentru determinarea regimului optim de uscare al piersicilor cu folosirea microundelor s-au supus probele uscate analizei senzoriale, tabelul 4.4.

Tabelul 4.4. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate la diferite regimuri SHF

Denumirea indicatorilor	180 W	225 W	270 W	315 W	360 W
Formă	Felii cu forme și grosimi diferite				
Suprafață	Rugoasă, elastică, tipică fructelor uscate			Rugoasă, sticloasă, dură carbonizată	
Culoare	Galben oranj	Galben deschis		Brună închisă, cafenie, negru carbonizat în interiorul produsului	
Gust și miros	Nu se identifică gust și miros străin, s-au impurități minerale organoleptic perceptibile, gust acru dulcișor, miros plăcut de piersici.				
	Gust dulcișor, plăcut, amestecabil ușor, produs cu structură moale, elastică			Gust acru dulcișor, cu nuanțe de copt, pe alocuri gust și miros de ars.	Gust și miros a produs ars, amar.

Conform analizei senzoriale calificativul foarte bun a primit proba uscată la puterea magnetronului de 270 W cu punctajul de 19,86 puncte și 225 W cu 19,24 de puncte, practic ambele probe sunt identice după formă, culoare, miros și gust. Proba uscată la puterea magnetronului de 180 W a obținut 18 puncte cu calificativul bun. Probele obținute în urma tratării la puterea de 315

și 360 W au obținut calificativul necorespunzător și nesatisfăcător din motivul unui câmp prea intensiv ce a cauzat arderea și deteriorarea produsului, figura 4.8.

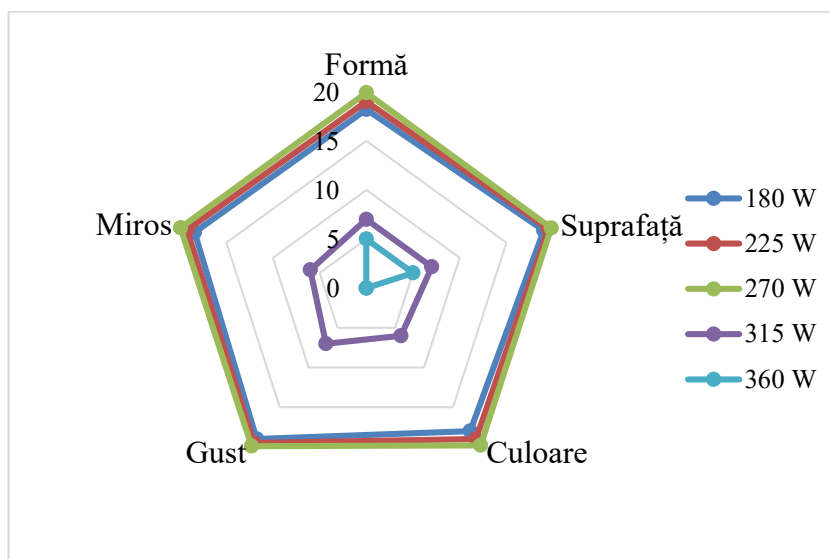
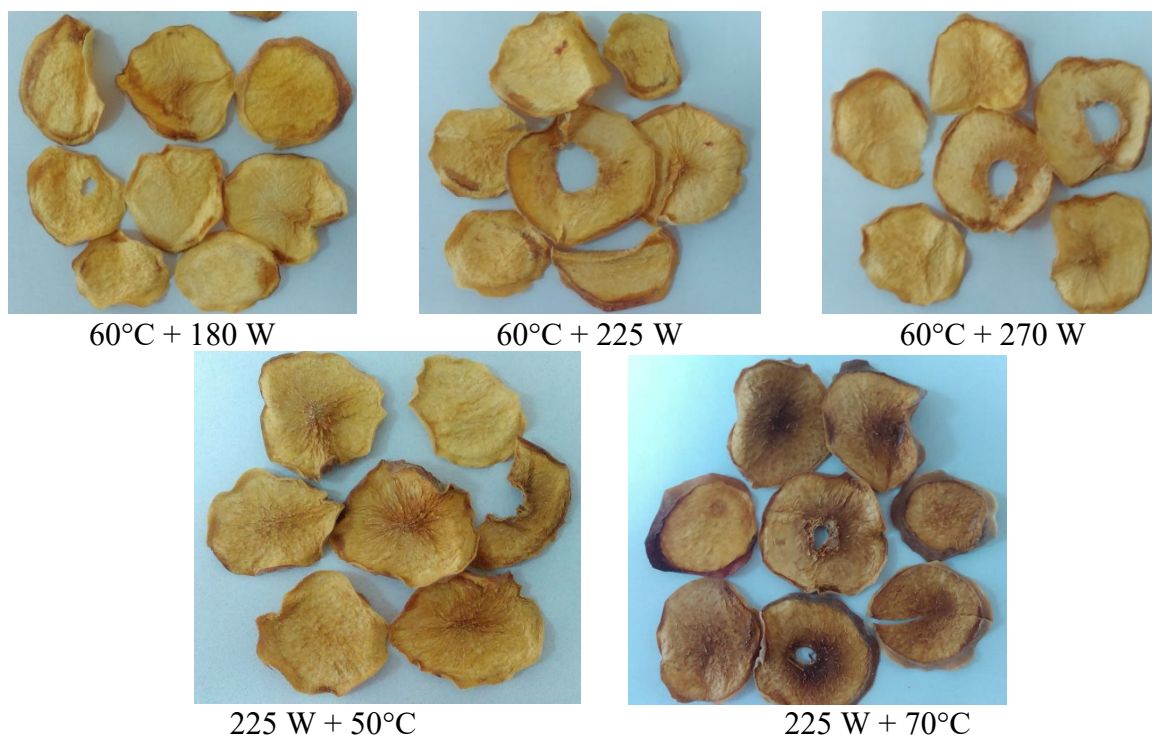


Fig.4.8. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate la diferite regimuri ale microundelor

Uscarea piersicilor prin metoda combinată a avut ca scop urmărirea comportamentului produsului pe parcursul uscării prin metoda convecției la 60°C și puterea magnetronului de 180, 225 și 270W, s-au ales anume aceste trei regimuri ca fiind optime pentru uscare. La fel s-a cercetat uscarea piersicilor prin combinarea microundelor cu puterea magnetronului de 225 W ca fiind un regim optim și convecție la 50 și 70°C, rezultatele sunt prezentate în figura 4.9.



**Fig.4.9. Mostre de piersici deshidratate prin metoda combinată,
($v_a = 2,0 \pm 0,1$ m/s, $\delta_p = 4 \pm 0,5$ mm)**

În determinarea regimului optim de uscare pentru metoda combinată, formată din aplicarea microundelor și convecției, în urma deshidratării fructelor de piersic mostrele obținute au fost supuse analizei senzoriale, tabelul 4.5.

Tabelul 4.5. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate prin metoda combinată

Denumirea indicatorilor	60°C și 180 W	60°C și 225 W	60°C și 270 W	225 W și 50°C	225 W și 70°C
Formă	Felii – fructe tăiate în formă de sectoare (discuri) paralele, cu dimensiuni și grosimi neregulate,				
Suprafață	Rugoasă, elastică, tipică fructelor uscate				Rugoasă, aspră, dură, crăpăcioasă
Culoare	Galben deschis			Galben – oranj deschis, spre centru oranj închis	Brun închis, cafeniu
Gust și miros	Nu se identifică gust și miros străin, s-au impurități minerale organoleptic perceptibile, gust acru dulcișor, miros plăcut de piersici.				
				Gust acru dulcișor, percepere a fibrelor, miros de piersici	Gust și miros a produs copt, tare în degustație

În urma analizei senzoriale s-au obținut următoarele rezultate: calificativul foarte bun au primit toate trei probe pentru metoda combinată a convecției și microunde. Piersicile deshidratate la temperatura de 60°C sub acțiunea microundelor cu puterea magnetronului de 270 W a primit punctajul maxim de 20, pentru puterea magnetronului de 225 W – 19 puncte și pentru 180 W – 18,48 de puncte. Calificativul foarte bun a primit și proba deshidratată prin metoda combinată a aplicării microundelor și a convecției. La puterea magnetronului de 225 W în combinare cu uscarea la temperatura de 50°C s-a obținut 19,20 de puncte, pe când regimul cu puterea de 225W și temperatura de 70°C care a primit calificativul nesatisfăcător – 7 puncte, figura 4.10.

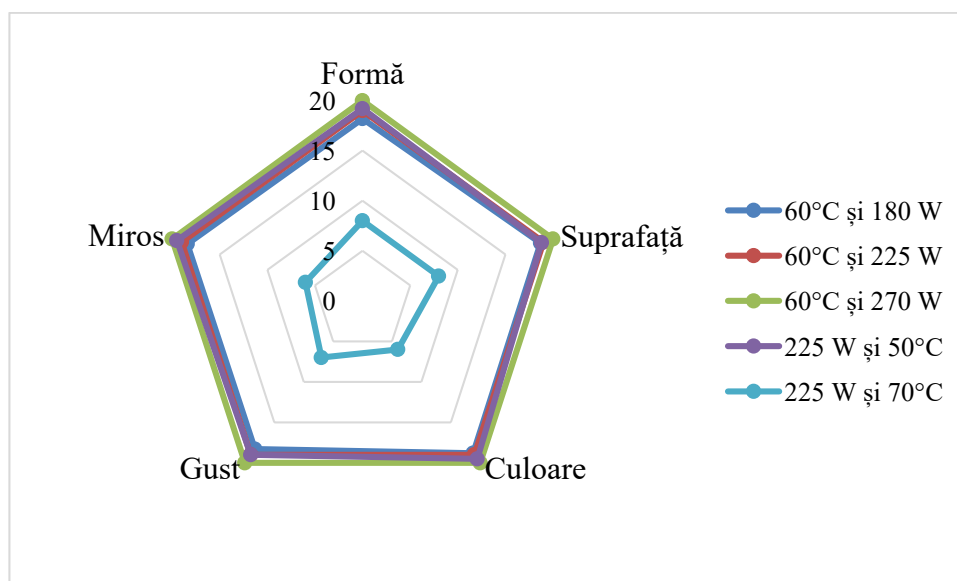


Fig.4.10. Analiza senzorială a feliilor de piersici uscate prin metoda combinată

4.2. Modelarea matematică a procesului de uscare a fructelor de piersic în funcție de parametri de calitate ai produsului finit

Metoda de evaluare a nivelului de calitate constă în compararea indicatorilor unici de calitate ai produsului evaluat cu indicatorii unici de calitate corespunzători eșantionului de bază. În același timp, se calculează indicatori relativi de calitate pentru fiecare dintre indicatori. O proprietate de calitate separată se caracterizează printr-o dimensiune absolută și constituie un singur indice de calitate. Valoarea absolută a i - indicele unic de calitate a produsului P_i se poate modifica într-un oarecare interval valoric maximal $P_i^{\max}$ și minimal $P_i^{\min}$. Aprecierea calității produsului se bazează pe compararea valorii indicelui unic de calitate P_i cu valoarea de bază corespunzătoare P_i^{baz} . Dependența dintre valoarea curentă și de bază indicelui unic de calitate a piersicilor uscate este reprezentată prin egalitatea (Gerasimov 2007, Sestopal 2008):

$$K_i = f(P_i / P_i^{\text{baz}}) \quad (4.1.)$$

unde: K_i indice de calitate a produsului, relativ adimensional;

P_i - valoarea indicilor de calitate al produsului evaluat;

P_i^{baz} - valoarea indicilor de calitate al eșantionului de bază.

La metoda complexă de apreciere a calității au fost evidențiați și coeficienții corespunzători de ponderabilitate - M_i a indicilor de calitate corespunzători. Coeficientul de ponderabilitate se percepe în calitate de careva funcții de la probabilitatea de realizare de fiecare i - indice unic de calitate a piersicilor și valorii de bază. Metoda complexă reprezintă metoda de apreciere a nivelului calității produsului cu utilizarea indicelui de calitate generalizat.

$$K = f(K_i, M_i) \quad (4.2)$$

În urma procesul de uscare a piersicilor prin metoda convecției forțate sa-u utilizat: temperaturile de 50, 60, 70, 80 și 90°C; vitezele aerului de 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 și 2,5 m/s; și diferite grosimi ale rondelilor de produs ca 2, 4, 6, 8, și 10 mm; ulterior probele obținute au fost supuse analizei senzoriale unde s-au analizat și s-au determinat indicii de calitate ca forma, suprafața, culoarea, gustul și mirosul. Punctaj maxim și minim precum și coeficienții de calitate și cei de ponderabilitate sunt prezentați în tabelul 4.6.

Tabelul 4.6. Indicii de calitate folosiți în modelarea matematică

Nr.	Indicii de calitate	P_i min	P_i max	P_i bază	P_i	K_i	M_i
1	Formă	5	20	20	20	1	0,1
2	Suprafață	5	20	20	20	1	0,1
3	Culoare	5	20	20	20	1	0,4
4	Gust și miros	5	20	20	20	1	0,4
Valoarea totală a indicilor de calitate							I

Indicele de calitate unic a piersicilor uscați s-a determinat prin formula:

$$K_i = 1 - \left[C_i - C_i \frac{P_i}{P_i^{baz}} \right] \quad (4.3.)$$

unde

$$C_i = \frac{P_i^{baz}}{P_i^{max} - P_i^{min}} \quad (4.4.)$$

Pentru obținerea indicelui de calitate generalizat s-a determinat media aritmetică ponderată a totalității indicilor relativi:

$$K = \frac{\sum_i^n M_i}{\sum_i^n M_i / K_i} \quad (4.5.)$$

Pentru alcătuirea modelului matematic sub formă de polinom s-a utilizat metoda Brandon. Metoda dată poate fi utilizată atunci, când pe baza studiului preventiv este cunoscut cu o precizie oarecare, caracterul calitativ al acționării fiecărui factor X_i asupra parametrului y . Această metodă admite ca funcție aproximată și are forma (Bondari 1973):

$$\hat{y} = \lambda \cdot f_1(X_1) \cdot f_2(X_2) \cdot \dots \cdot f_n(X_n) = \lambda \cdot \prod_{i=1}^n f_i(X_i) \quad (4.6.)$$

Pentru convecția forțată indicele de calitate generalizat ale cărui valori numerice pot fi determinate conform următorului model matematic:

$$K_{convecție} = 0,765 * (-0,0011t^2 + 0,1332t - 2,8589) * (-0,1857v^2 + 0,52v + 0,8152) * (0,0114\delta + 0,956) \quad (4.7.)$$

unde: $K_{convecție}$ – valori numerice, 0 – 1;

t – temperatura aerului, °C;

v – viteza aerului, m/s;

δ – grosimea feliei, mm.

Modelul matematic elaborat permite prezicerea și controlul calității produsului uscat pentru diverse moduri în funcție de temperatura și viteza agentului termic și grosimea produsului.

Verificarea modelului matematic la compatibilitate

Verificarea modelului matematic a avut loc conform criteriilor statistici (criteriul Fisher).

Ecuția are sens atunci când dispersia mediei parametrului la ieșire $S_y^2 > S_{rem}^2$

$$S_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{u=1}^N (y_u - \bar{y})^2 \quad (4.8.)$$

unde: S_y^2 este dispersia mediei parametrului la ieșire;
 y_u – valoarea experimentală a parametrului la ieșire;
 $\bar{y}$ – valoarea medie a parametrului la ieșire (K).

Dispersia remanentă s-a determinat cu ajutorul ecuației 4.9:

$$S_{rem}^2 = \frac{m}{f} \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2 \quad (4.9.)$$

unde: $f = N \cdot m^{-1}$ - numărul gradelor de libertate;
 N – numărul de repetări;
 m – numărul de repetări paralele;
 N – numărul total al experiențelor.

În acest caz valorile dispersiilor trebuie să difere esențial și criteriul semnificativ (criteriul Fisher) va reprezenta raportul dispersiilor:

$$F = \frac{S_y^2}{S_{rem}^2} > 1 \quad (4.10.)$$

$$S_{rem}^2 = 0,054; \quad S_y^2 = 0,065; \quad F = \frac{S_y^2}{S_{rem}^2} > 1,20$$

Gradul de corelație reprezintă 90% al procesului real cu modelul matematic prezentat, criteriul Fisher = 1,20, figura 4.11.

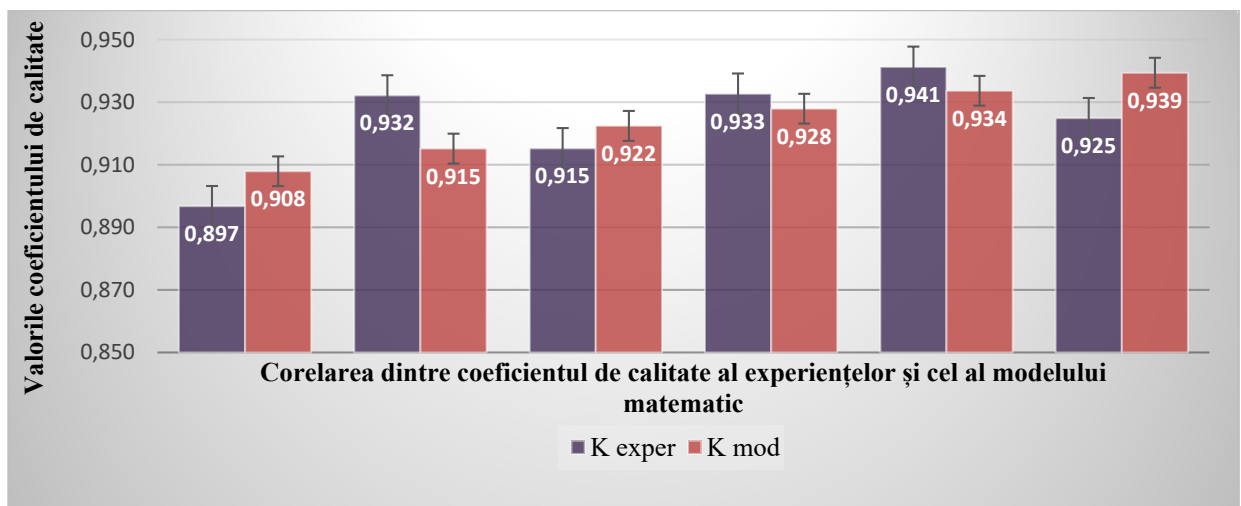


Fig.4.11. Similitudinea modelului matematic la uscarea prin convecție forțată

În continuare se repetă aceeași ordine al modelării matematice pentru uscarea fructelor de piersic prin metoda utilizării microundelor.

Modelul matematic al aplicării microundelor în procesul de uscare a piersicilor

$$K_{SHF} = 0,624 * (-9 \cdot 10^{-5} \cdot W^2 + 0,0424W - 3,2987) * (-0,0205\delta^2 + 0,1378\delta + 0,7262) \quad (4.11.)$$

$$S_{rem}^2 = 0,144; \quad S_y^2 = 0,178; \quad F = \frac{S_y^2}{S_{rem}^2} > 1,24$$

unde: W este puterea magnetronului, W;

δ – grosimea feliei, mm.

Model matematic este adecvat datelor experimentale în corelație de 90%, figura 4.12.

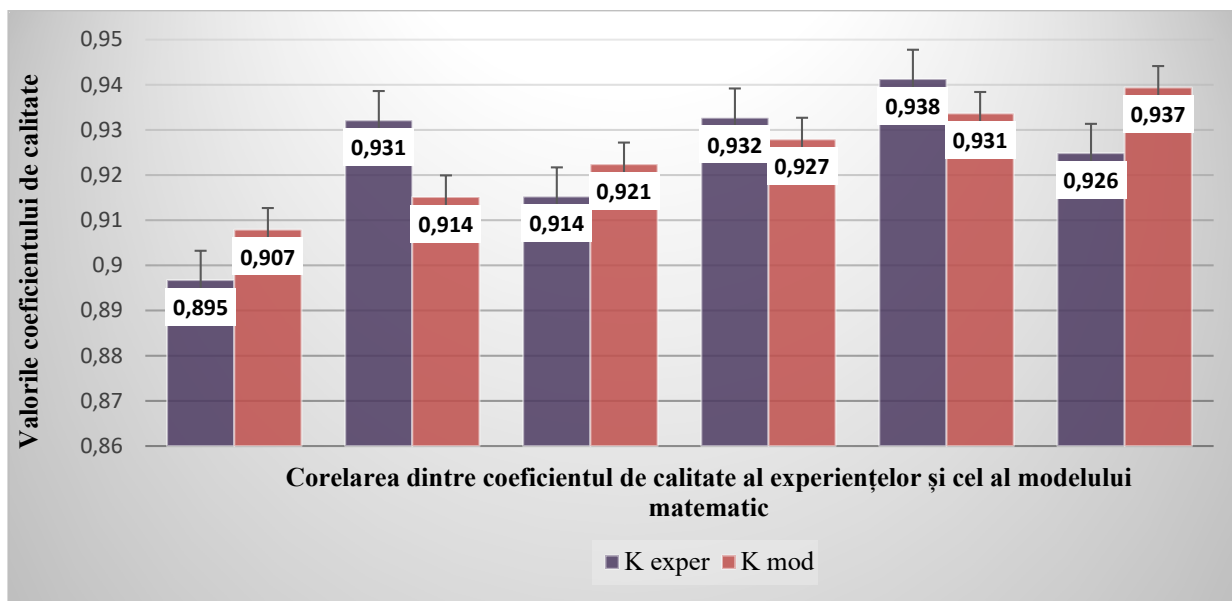


Fig.4.12. Similitudinea modelului matematic la uscarea cu microunde

Modelul matematic pentru metoda combinată de uscare a piersicilor:

$$K_{con+SHF} = 1,2 * (-0,0038t^2 + 0,4123t - 10,21) * (-6 \cdot 10^{-5}W^2 + 0,0258W - 1,883) * (-0,0743\delta^2 + 0,2296\delta + 0,7698) * (0,0236v + 1,0166) \quad (4.12.)$$

$$S_{rem}^2 = 0,1650; \quad S_y^2 = 0,194; \quad F=0,47, \quad F = \frac{S_y^2}{S_{rem}^2} > 1,18$$

unde: t este temperatura, °C;

W - puterea magnetronului, W;

v – viteza aerului, m/s;

δ – grosimea feliei, mm.

Modelul matematic al uscării piersicilor prin metoda combinată este în corelație de circa 90% cu rezultatele obținute în urma analizei senzoriale, figura 4.13.

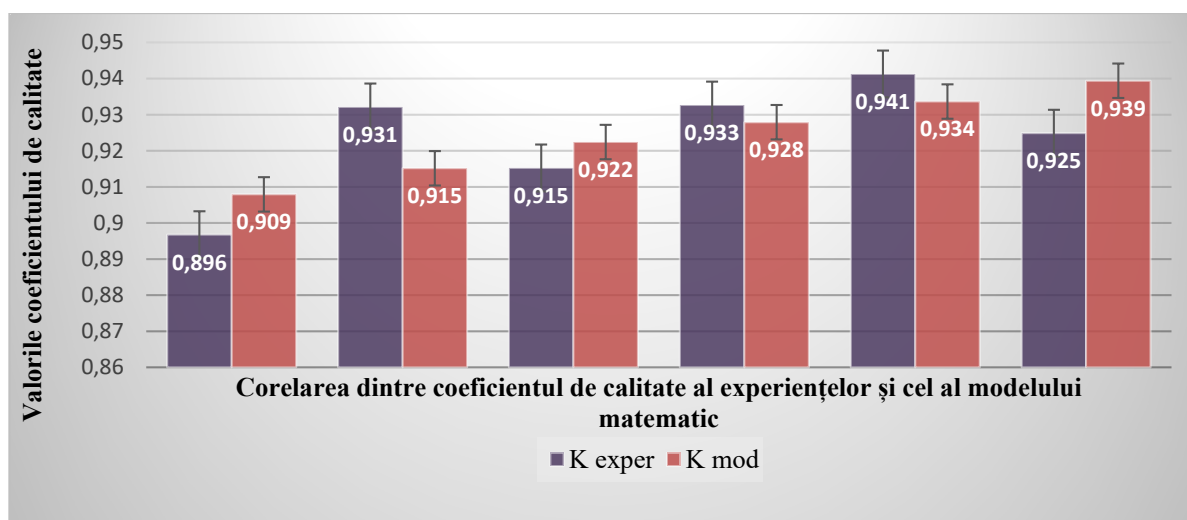


Fig.4.13. Similitudinea modelului matematic la uscarea prin metoda combinată

4.3. Modificarea aspectului fructelor de piersici în funcție de temperatura de uscare

Datorita faptului că piersicul proaspăt este un produs bogat în glucide s-a determinat în mostrele deshidratate conținutul de mono- și dizaharide în special: fructoză, glucoză și zaharoză. S-a examinat influența a diferitor valori ale temperaturii asupra conținutului total de mono și dizaharide. Scopul cercetărilor a fost efectuat pentru identificarea temperaturii optime în păstrarea conținutului maxim de mono și dizaharide în compoziția chimică a piersicilor deshidratate. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 4.7.

Tabelul 4.7. Modificarea mono și dizaharidelor piersicilor în dependență de temperatura aerului de uscare

Temperatura °C	Fructoza g/100g*	Glucoza g/100g*	Zaharoza g/100g*	Suma g/100g*
50	14,35	16,48	25,15	55,96
60	15,34	20,15	31,56	67,05
70	12,38	14,26	17,76	44,40
80	12,31	11,52	24,59	48,42
90	10,12	9,53	18,87	38,52

* - $P \leq 0,05$

Conform rezultatelor obținute în urma deshidratării prin metoda convecției forțate, la temperatura agentului termic de $60 \pm 0,5^\circ\text{C}$ s-a obținut conținutul maxim sumar de mono și dizaharide, de circa 67,05 g/100 g, în comparație cu tratarea la temperatura de 50°C fiind 55,96 g/100 g. Este evident că uscarea piersicilor la temperaturi ridicate ca 70 - 90°C conduce la reducerea conținutului total de glucide în rezultatul procesului de caramelizare și reacției Maillard. Totodată majorarea concentrației de mono și dizaharide la temperatura $60 \pm 0,5^\circ\text{C}$ prezintă un efect specific care trebuie efectuate a studiilor speciale în domeniu chimiei alimentare (Tatarov 2017).

4.4. Conținutul și activitatea antioxidantă ale polifenoli în fructele de piersic în funcție de temperatura uscării

Determinarea conținutului total de polifenoli și activității antioxidante s-a examinat în procesul de deshidratare a piersicilor. Scopul cercetărilor a fost aprecierea influenței condițiilor de uscare a piersicilor asupra valorii biologice și activității antioxidante a probelor uscate. S-a determinat conținutul total de polifenoli în piersicii care au fost uscate prin trei metode: convecție, microunde și metoda combinată: convecție + microunde (Sharma et al., 2015).

Inițial s-a determinat conținutul total de polifenoli în piersicile proaspete care a fost de circa 4,66 mg AG/g de produs. Antioxidanții din grupa polifenolilor se conțin în cantități relativ majorate în materii prime, inclusiv în piersici. În tabelul 4.8. sunt prezentate date despre modificarea conținutului polifenolilor în piersicile uscate prin convecție la temperatura de la 50 până la 80°C. Din datele prezentate în tabelul 4.8, rezultă că în procesul de uscare concentrația polifenolilor în piersici se modifică neesențial valorile fiind în limitele 14,61 - 14,00.mg AG/g piersici.

Tabelul 4.8. Conținutul total de polifenoli și activitatea antioxidantă în piersicile uscate prin convecție la diferite temperaturi ale aerului*

Temperatura	Conținut polifenoli mg AG/g planta	Activitatea antioxidantă, DPPH, %
50°C	14,61	93,69
60°C	14,41	92,50
70°C	14,22	91,52
80°C	14,00	90,81

* - $P \leq 0,05$

Activitatea antioxidantă a polifenolilor din piersici este manifestată de către flavonoide. Ele prin interacțiunea cu oxigenul molecular dezactivează oxigenul. În același timp blocând procesul de oxidare, flavonoidele pierd activitatea antioxidantă și se transformă în compuși de culoare întunecată. Procesul de degradare oxidativă a flavonoidelor se desfășoară în două etape.

Prima etapă constă în inactivarea oxigenului. În continuare are loc reacția de polimerizare a moleculelor cu formarea compușilor polimerizați insolubili, de culoare întunecată, care reprezintă derivații melaninei (Queiroz, et al., 2008; Tatarov 2017). Activitatea antioxidantilor se apreciază prin timpul în care concentrația radicalilor DPPH se reduce cu 50% și se exprimă prin indice EC_{50} . S-a determinat activitatea antioxidantă a polifenolilor în piersicile proaspete, valoarea indicelui DPPH a constituit circa 80%. Activitatea antioxidantă a polifenolilor la piersicile deshidratate a fost practic constată, indicele DPPH s-a obținut 91 – 94% (Mahn et al., 2017; Cheaib et al., 2018). Rezultatele obținute pentru piersicile uscate prin convecție sunt reprezentate în figura 4.14.

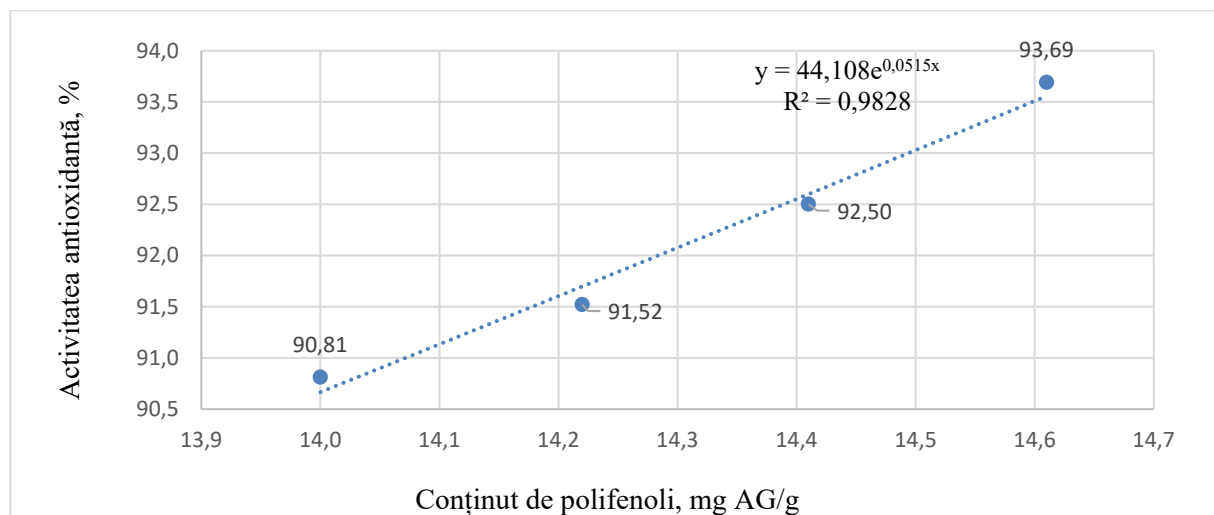


Fig.4.14. Dependența activității antioxidante a polifenolilor variază în limitele 91 – 94%

În cercetarea s-au utilizat diferite aporturi de energie, s-a analiza conținutul de polifenoli a mostrelor de piersici uscate la aplicarea microundelor cu magnetronul de 900W, pentru diferite regimuri termice: 180, 225 și 270W, tabelul 4.9.

Tabelul 4.9. Conținutul total de polifenoli și activitatea antioxidantă în piersicile uscate cu microunde la diferite puteri ale magnetronului*

Puterea magnetronului	Conținut polifenoli mg AG/g planta	Activitatea antioxidantă, DPPH, %
270W	45,02	76,62
225W	42,37	74,71
180W	28,89	55,87

* - $P \leq 0,05$

Sa observat o dependență exponențială dintre conținutul total de polifenoli și activitatea antioxidantă cu o precizie de 0,993 figura 4.15.

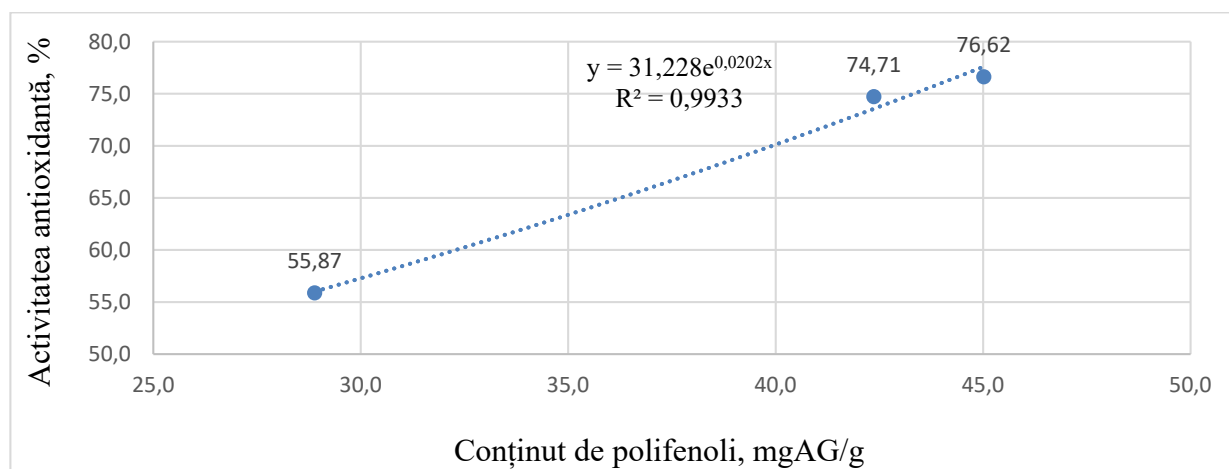


Fig.4.15. Corelația dintre activitatea antioxidantă și conținutul total de polifenoli în probele de piersici uscate

A fost analizat conținutul total de polifenoli și activitatea antioxidantă a mostrelor de piersici deshidratate prin metoda combinată, convecție și cu microunde, tabelul 4.10.

Tabelul 4.10. Conținutul total de polifenoli și activitatea antioxidantă în piersicile uscate prin metoda combinată*

Regimul combinat	Conținut total de polifenoli mg AG/g planta	Activitatea antioxidantă, DPPH, %
60°C și 270W	40,25	77,87
60°C și 225W	35,31	71,75
60°C și 180W	32,63	64,13

* - $P \leq 0,05$

Dependența exponențială dintre conținutul total de polifenoli și activitatea antioxidantă este valabilă și în cazul utilizării metodei combinate de tratare termică, figura 4.16.

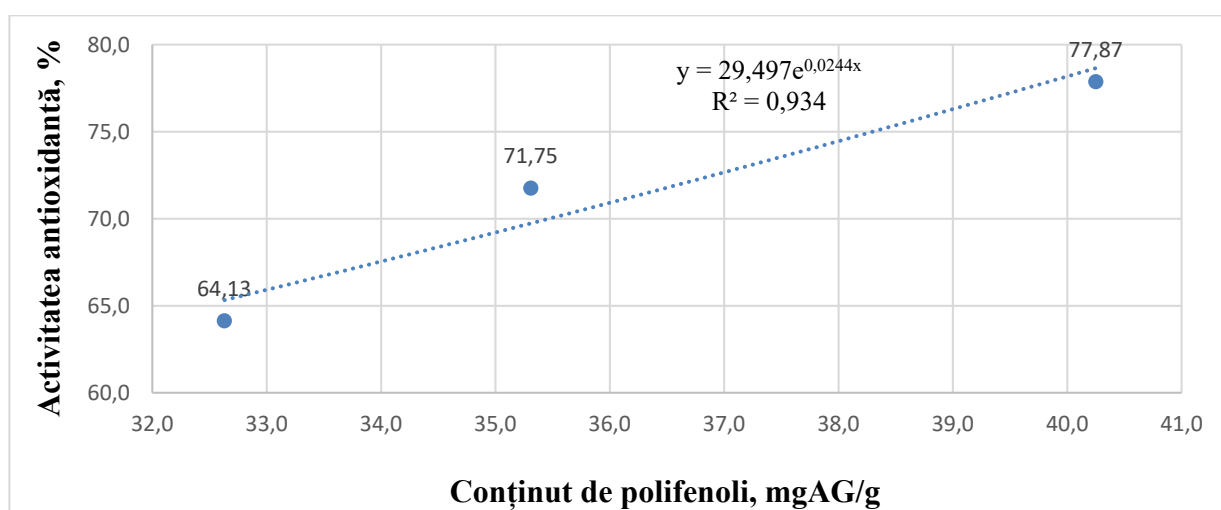


Fig.4.16. Corelația dintre activitatea antioxidantă și conținutul total de polifenoli în probele de piersici uscate

Analiza corelației activității antioxidante și conținutului total de polifenoli se atestă o dependență exponențială cu precizia înaltă a rezultatelor 0,95, 0,98 și 0,99. La rândul său conținutul de polifenoli este influențat de temperatură și regimurile termice ale microundelor, în așa mod că o dată cu creșterea temperaturii scade conținutul de polifenoli, o dependență invers proporțională, tabelul 4.7, însă la aplicarea microundelor dependența este direct proporțională, tabelul 4.8. Efectul negativ al temperaturii majorate asupra diminuării conținutului de polifenoli este descris în literatură (Deng et al., 2020; Eyenga et al., 2020).

Concluzii la capitolul 4

1. S-a determinat influența a diferitor procedee de uscare cu diferite aporturi de energie asupra calității piersicilor; piersicii au fost supuși analizei senzoriale unde s-au identificat parametri optimi de uscare pentru a obține piersici uscați cu culoare, formă, suprafață, miros și gust atractiv. Pentru convecție parametri optimi reprezintă, grosimea feliei de 4 mm, viteza aerului de 2 m/s, și temperatura de 60 și 70°C; la aplicarea microundelor, grosimea produsului de 4 mm, viteza aerului de 2 m/s, puterea magnetronului de 225 și 270W; pentru metoda combinată grosimea produsului de 4 mm, viteza aerului de 2 m/s, temperatura aerului de 60°C și puterea magnetronului de 225 și 270W.
2. S-a elaborat modelul matematic a procesului de uscare a fructelor de piersic pentru trei metode: convecție, microunde și combinată, în funcție de parametri de calitate ai produsului finit, formă, suprafață, culoare, gust și miros. Similitudinea rezultatelor modelului matematic și cele experimentale reprezintă 90 – 94%.
3. S-a determinat că la uscarea piersicilor prin convecție la temperatura de 60°C, grosimea produsului de 4 mm și viteza aerului de 2 m/s s-a obținut conținutul maxim de zahăr de 67,05 g/100g de produs.
4. S-au determinat valorile maxime a conținutului total de polifenoli și activității antioxidante în probele uscate de piersică:
 - la uscarea prin convecție la temperatura de 50°C s-a determinat 14,61 mgAG/g plantă, și activitatea antioxidantă 93,69 %;
 - la aplicarea microundelor cu puterea magnetronului de 270W s-a obținut conținutul total de polifenoli - 45,02 mgAG/g plantă, și 76,62 % de radical inhibat de DPPH;
 - pentru metoda combinată, temperatura optimă reprezintă 60°C în combinație cu puterea magnetronului de 270W, pentru care s-a obținut conținutul total de polifenoli de 40,25 mgAG/g plantă, și activitatea antioxidantă DPPH - 77,87 %.

CONCLUZII GENERALE

În urma cercetărilor teoretice și experimentale efectuate în cadrul tezei au condus la formularea următoarelor concluzii:

1. S-a proiectat și s-a elaborat instalația pentru cercetări experimentale a procesului de uscare a fructelor prin metoda combinată, în câmp electromagnetic concomitent cu deshidratare prin convecție. Aparatul este dotat cu un sistem electronic și un soft pentru monitorizarea și înregistrarea temperaturii, umidității, modificarea masei fructului în procesul de uscare, viteza aerului, parametrii câmpului electromagnetic, etc., nr. brevetului de invenție MD 1295 Z 2019.07.31, subcapitol 2.3 (Bernic et al., 2018).
2. S-au determinat particularitățile teoretice ale proceselor de transfer de masă și căldură în procesul de uscare a persicilor prin metoda combinată. Au fost stabilite relații funcționale matematice a consumului de energie în dependență de umiditatea fructelor și parametrii procesului de uscare, subcapitol 3.7 (Țislinscaia et al., 2021; Ivanov et al., 2022).
3. S-a determinat că viteza difuziei umidității din centru la suprafața fructelor tăiate sub formă de placă cu demisiuni limitate, aranjate paralel fluxului de aer și perpendicular acțiunii microundelor, depinde de câmpul electromagnetic cu acțiunea microundelor la frecvență 2450 MHz, în regim de impulsuri cu durata de 7,5 - 10 secunde și intervalul de pauză timp de $\Delta\tau = 20 - 22,5$ secunde, subcapitol 3.4 (Vișanu et al., 2022).
4. S-a constatat că uscarea persicilor cu aplicarea metodei combinate prin convecție și microunde duce la reducerea duratei de uscare cu 40 - 60 de minute, în cazul în care parametrul echivalent al fructului sub formă de placă, cu grosimea, de 4 mm, temperatura aerului de 60 – 65°C, viteza aerului de $2 \pm 0,1$ m/s, tratate cu microunde la puterea magnetronului de 180 – 270 W, rezultă un consum de energie circa 3 kW pentru uscarea 1 kg de fructe de piersic, subcapitol 3.6 (Țislinscaia et al., 2021; Țislinscaia et al., 2022).
5. În urma aprecierii calității persicilor uscate prin metoda combinată s-a constatat că umiditatea finală constituie 16 – 18 %. Conținutul de glucoza, fructoza și zaharoza în piersicile uscate la temperatura 50 - 60°C constituie circa 55 -67 %. Conținutul total de polifenoli variază în limitele de 14,0 – 14,6 mg AG/g și activitatea antioxidantă determinată prin metoda DPPH a fost 71 -78 %, subcapitol 4.3 (Deseatnicova et al., 2022; Vișanu et al., 2022).
6. S-a determinat existența corelației funcționale ($R^2 = 0,96$) dintre activitatea antioxidantă și conținutul total de polifenoli în fructe de piersic uscate. Datorita acestei corelații ridicate viteza reacției de oxidare a fost redusă, prin urmare, aspectul suprafeței mostrelor de piersici uscate a fost identic culorii fructelor native, subcapitol 4.4 (Deseatnicova et al., 2022).
7. Pentru aprecierea consumului de energie totală a procesului de uscare a persicilor și calitatea persicilor deshidratate, au fost elaborate trei modele matematice. Modelul I prezintă transferul de temperatură și umiditate în procesul de uscare a persicilor. Modelul II prezintă dependența consumului de căldură în funcție de volumul evaporării apei din produs. Modelul matematic III prezintă dependența calității piersicilor uscate de parametrii procesului de uscare, subcapitol 3.7 (Ivanov et al., 2022), subcapitol 4.2.

RECOMANDĂRI

Recomandări tehnice privind instalația de cercetare:

Consum sporit de energie, pierderi de căldură (căldura cedată prin pereții camerei de uscare, prin produsul uscat, la operațiile de încărcare/descărcare, la reciclare, cu evacuarea gazului de ardere): înlocuirea energiei electrice cu altă sursă de energie mai ecoomă, regenerabilă; izolare eficientă; recircularea parțială a agentului termic; posibilitatea adaptării la un circuit închis; automatizarea instalației, tenului electric pentru menținerea temperaturii constante; utilizarea temperaturilor $\leq 70^{\circ}\text{C}$; utilizarea vitezelor aerului $\leq 3,5 \text{ m/s}$; spațiul camerei de uscare să fie utilizat la 90 – 95%.

Lucru manual sporit (la încărcare / descărcare produsului): automatizarea instalației.

Curentul de aer unidirecțional (va însemna contact numai din partea de trecere a curentului de aer, celelalte laturi ajung numai parțial a fi încălzite): orientarea fluxului de aer perpendicular pe suprafața cea mai mare a produsului sau așezarea produsului cu suprafața cea mai mare perpendicular spre fluxul de aer în camera de uscare.

Crearea turbulențelor de aer în instalație (distribuirea unui câmp neuniform de temperatură): evitarea schimbării mărimilor și formei geometrice a secțiunilor de trecere a curentului de aer.

Lipsa controlului temperaturii și umidității aerului/produsului (în timpul uscării produsul este supus doar controlului tactil și vizual): dotarea cu senzori de temperatură, umiditate, viteză, masa pentru aer și produs, conectarea la calculator, monitorizarea și înregistrarea datelor momentan.

Recomandări tehnice privind tehnologia de uscare:

Contact neuniform (uscarea neuniformă - suprafețele situate în curentul efectiv de aer primesc o proporție ridicată de energie și se vor usca mai rapid decât celelalte suprafețe): aranjarea produsului într-un singur strat, alegerea potrivită a formei produsului, rondele.

Deformare – (acolo unde are loc contracția produsului, suprafața expusă curentului de aer se contractă mai întâi, cauzând deformare): alegerea unei grosimi corespunzătoare (pentru rondele 3-4 mm); produsul supus uscării să fie totalmente pe tavă.

Ciclu lung (acolo unde are loc contracția, structura poroasă se va închide încetinind trecerea vaporilor de apă): alegerea soiurilor potrivite pentru uscare (piersici cu sâmbure aderent); alegerea potrivită a perioadei de recoltare în funcție de perioada de maturitate; alegerea produselor cu fermitate înaltă, piersici $\geq 1 \text{ kgf/cm}^2$.

Formarea crustei (suprafețele, contractându-se împiedică eliberarea vaporilor de apă din produs lăsând o masă umedă sub crustă): alegerea vitezei și temperaturii agentului de uscare potrivite 2 - 3 m/s și 50 - 70°C respectiv.

Recomandări tehnice privind metodologia de uscare:

Se recomandă pentru procesul de uscare a piersicilor: Se aleg piersici copti, fermitatea 1 – 1,2 kgf/cm², soiul Redhaven, diametrul 75 – 100 mm, cu sâmburele ușor aderent de la pulpă; după pregătirea piersicilor pentru uscare se recomandă de a fi tăiați în runde cu grosimea de 3 - 4 mm, uscarea piersicilor prin convecție forțată la temperatura aerului de 60 - 70°C, grosimea produsului de 3 - 4 mm, viteza agentului termic de 2 - 2,5 m/s, umiditatea finală a produsului 16 - 18%. Pentru uscarea cu microunde la puterea magnetronului de 180 – 270 W, grosimea produsului 3 - 4 mm, viteza aerului de 2 - 2,5 m/s și umiditatea finală a produsului 16 - 18%. La uscarea combinată, convecție la temperatura aerului de 60°C, puterea magnetronului de 180 – 270 W, grosimea feliilor de 3 - 4 mm, viteza agentului termic de 2 – 2,5 m/s, și umiditatea finală a produsului 16 – 18%.

BIBLIOGRAFIE

- AGRAWAL, A., și SARVIYA, R.M. A Review of Research and Development Work on Solar Dryers with Heat Storage. *International Journal of Sustainable Energy* 35 (6), 2016: pp.583–605. <https://doi.org/10.1080/14786451.2014.930464>.
- AHMED, D.-N. Comparative study of effect of different drying methods on nutritional quality of peach cultivars during storage, februarie, 2014.
- AHMED, D.-N., *, J., SINGH, H., et al. Different Drying Methods: Their Applications and Recent Advances 4 (ianuarie), 2013: pp.34–42.
- AKOY, E. Experimental characterization and modeling of thin-layer drying of mango slices. *International Food Research Journal* 21 (ianuarie), 2014: pp.1911–17.
- AKOY, E., și HOERSTEN, D. Microwave Drying of Mango Slices at Controlled Temperatures. *International Journal of Innovation and Applied Studies* 12 (iulie), 2015: pp.2028–9324.
- ALTEMIMI, A., AZIZ, S.N., AL-HIIPHY, A.R.S., et al. Critical review of radio-frequency (RF) heating applications in food processing. *Food Quality and Safety* 3 (2), 2019: pp.81–91. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyz002>.
- BARCIKOWSKI, W., și NOBEL, P.S. Water relations of cacti during desiccation: distribution of water in tissues. *Botanical Gazette* 145 (1), 1984: pp.110–15.
- BARRETO, C., FARIAS, R., ZANDONÁ, R., et al. Influence of the Period of Peach Tree Chemical Thinning on Fruit Quality. *Journal of Agricultural Science* 11 (august), 2019: pp.141. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n14p141>.
- BAUMAN, I., BOBIĆ, Z., ĐAKOVIĆ, Z., et al. Time and Speed of Fruit Drying on Batch Fluid-Beds. *Sadhana* 30 (5), 2005: pp.687–98. <https://doi.org/10.1007/BF02703515>.
- BERNIC, M. Aspecte teoretice ale fenomenelor de transfer în procesele de uscare, 2008. <http://repository.utm.md/handle/5014/1675>.
- BERNIC, M.P., LUPASHKO, A.S., IVANOV, L.D., et al. Teoreticheskoe obosnovanie impul'snogo podvoda vnutrennego istochnika tepla v processah sushki vlazhnykh materiallov. *Naukovi praci [Odes'koï nacional'noi akademii harchovih tehnologii]*, nr. 39(2), 2011: pp.26–30.
- BERNIC, M., ȚISLINSCAIA, N., RĂDUCAN, M., VIȘANU, V., BALAN, M., MELENCIUC, M. Peaches drying specifics. "Euro-Aliment 2017" Galați University Press 2017. – p.80-81- ISSN, 1843-5114. <http://www.euroaliment.ugal.ro/old-site/Programme-EA17.pdf>
- BERNIC M., ȚISLINSCAIA N., BALAN M., VIȘANU V., MELENCIUC M. *Instalația de uscare a fructelor și legumelor*. Brevet de invenție MD 1295 Z 2019.07.31 Nr. depozit s 2018 0014. Data depozit 2018 03.06. Publicat 2018.12.31, BOPI nr. 12/2018
- BERNIC, M., ȚISLINSCAIA, N., BALAN, M., VIȘANU, V., MELENCIUC, M. *Dispozitiv pentru distribuirea uniformă a fluxului de aer în uscătorul-tunel*. HOTĂRÂRE pozitivă de acordare nr. 9884 din 2021.09.24. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ro&user=i11ANuQAAAAJ&citation_for_view=i11ANuQAAAAJ:EkHepimYqZsC
- BERNIC, M., ȚISLINSCAIA, N., VIȘANU, V., BALAN, M., MELENCIUC, M. Researches in the drying field of peaches /proceedings of internațional conference " Euro-Aliment 2019" ch.: Galați University Press 2019. – p.66 – ISSN, 1843–5114. https://www.researchgate.net/publication/336916308_RESEARCHES_IN_THE_DRYING_FIELD_OF_PEACHES
- BIRD, R.B., STEWART, W.E., și LIGHTFOOT, E.N. *Transport Phenomena*. New York: Wiley, 1960.
- BIRLA, S.L., WANG, S., TANG, J., et al. Characterization of Radio Frequency Heating of Fresh Fruits Influenced by Dielectric Properties. *Journal of Food Engineering* 89 (4), 2008: pp.390–98. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.05.021>.
- BOBIĆ, Z., BAUMAN, I., și ĆURIĆ, D. Rehydration Ratio of Fluid Bed-Dried Vegetables. *Sadhana* 27 (3), 2002: pp.365–74. <https://doi.org/10.1007/BF02703657>.

- BONDAR' A.G. Matematicheskoye modelirovaniye v khimicheskoy tekhnologii. Kiyev, Vishcha shkola, 1973-279 s.
- BONNET, F., MELICH, M., PUECH, L., et al. On Condensation and Evaporation Mechanisms in Disordered Porous Materials. *Langmuir* 35 (15), 2019: pp.5140–50. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b04275>.
- BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M.E., și BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *LWT - Food Science and Technology* 28 (1), 1995: pp.25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- BROWN, G.O. Henry Darcy and the Making of a Law: HENRY DARCY AND THE MAKING OF A LAW. *Water Resources Research* 38 (7), 2002: pp.11-1-11–12. <https://doi.org/10.1029/2001WR000727>.
- Catalog BNRM, f.a. Data accesării 4 iunie 2021. http://catalog.bnm.md/opac/bibliographic_view/841437;jsessionid=56FB5CE58482E4BCA4CBE786FD9ACDC3.
- CELUCH, M., și KOPYT, P. Modeling microwave heating in foods. În *Development of Packaging and Products for Use in Microwave Ovens*, pp.305–48, 2009. <https://doi.org/10.1533/9781845696573.4.305>.
- CHANGRUE, V., ORSAT, V., și RAGHAVAN, G.S.V. Osmotically dehydrated microwave-vacuum drying of strawberries. *Journal of Food Processing and Preservation* 32 (5), 2008: pp.798–816. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00215.x>.
- CHANGRUE, Viboon, VIJAYA RAGHAVAN, G.S., GARIÉPY, Y., et al. Microwave Vacuum Dryer Setup and Preliminary Drying Studies on Strawberries Carrots. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 41 (2), 2006: pp.36–44. <https://doi.org/10.1080/08327823.2006.11688555>.
- CHEAIB, D., EL DARRA, N., RAJHA, H.N., et al. Systematic and Empirical Study of the Dependence of Polyphenol Recovery from Apricot Pomace on Temperature and Solvent Concentration Levels. *The Scientific World Journal* 2018 (ianuarie), 2018: pp.e8249184. <https://doi.org/10.1155/2018/8249184>.
- CHEGINI, G.R., BAKHSHIANI, M., și BAKHSHIANI, M. A Novel Alternative Method for Modeling the Effects of Air Temperature and Slice Thickness on Quality and Drying Kinetics of Tomato Slices: Superposition Technique. *Drying Technology - DRY TECHNOL* 26 (mai), 2008: pp.759–75. <https://doi.org/10.1080/07373930802046427>.
- CONSTANT, T., MOYNE, C., și PERRÉ, P. Drying with Internal Heat Generation: Theoretical Aspects and Application to Microwave Heating. *AIChE Journal* 42 (2), 1996: pp.359–68. <https://doi.org/10.1002/aic.690420206>.
- CORADI, P.C., HELMICH, J.C., FERNANDES, C.H.P., et al. Drying kinetics, mathematical modeling and volumetric shrinkage of sunflower seeds (*helianthus annuus* l.). *Energia na agricultura* 30 (3), 2015: pp.319. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n3p319-330>.
- CORREIA, A.F.K., LORO, A.C., ZANATTA, S., et al. Effect of Temperature, Time, and Material Thickness on the Dehydration Process of Tomato. *International Journal of Food Science* 2015, 2015a: pp.970724. <https://doi.org/10.1155/2015/970724>.
- . Effect of Temperature, Time, and Material Thickness on the Dehydration Process of Tomato. *International Journal of Food Science* 2015 (iunie), 2015b: pp.e970724. <https://doi.org/10.1155/2015/970724>.
- COȘCIUG, L., și DUPOUY, E. Ghid metodic pentru lucrări de laborator la disciplina ”Controlul tehnno-chimic al produselor alimentației publice” pentru studenții specialității 541.1 „Tehnologia și managementul alimentației publice”, 2007. <http://repository.utm.md/handle/5014/16051>.
- CUNNIFF, P., și AOAC INTERNATIONAL, G. Official methods of analysis of AOAC International. Sixteen edition, 5th revision, 1999. Current through: March 1999 revision.

- v. 1: Agricultural chemicals, contaminants, drugs.- v. 2: Food composition, additives, natural contaminants. Gaithersburg, MD (USA) AOAC International, 1999.
- DADALI, G., APAR, D., și ÖZBEK, B. Microwave Drying Kinetics of Okra. *Drying Technology* 25 (mai), 2007: pp.917–24. <https://doi.org/10.1080/07373930701372254>.
- DARICI, S., și ŞEN, S. Experimental Investigation of Convective Drying Kinetics of Kiwi under Different Conditions. *Heat and Mass Transfer* 51 (8), 2015: pp.1167–76. <https://doi.org/10.1007/s00231-014-1487-x>.
- DARVISHI, H., și HAZBAVI, E. Mathematical Modeling of Thin-Layer Drying Behavior of Date Palm, 2012, 10.
- DATTA, A. Status of Physics-Based Models in the Design of Food Products, Processes, and Equipment. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 7 (ianuarie), 2008: pp.121–29. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2007.00030.x>.
- DATTA, A. K. Porous media approaches to studying simultaneous heat and mass transfer in food processes. II: Property data and representative results. *Journal of food engineering* 80 (1), 2007: pp.96–110.
- DATTA, A. K., și NI, H. Infrared and hot-air-assisted microwave heating of foods for control of surface moisture. *Journal of Food Engineering* 51 (4), 2002: pp.355–64.
- DATTA, A., și RAKESH, V. *An introduction to modeling of transport processes: Applications to biomedical systems*, 2009.
- DATTA, Ashim K. *Handbook of microwave technology for food application*. CRC Press, 2001.
- DAUDA, H., ARIAHU, C., și IGBABUL, B. *Effect of temperatures on the drying kinetics of hot pepper*, 2020.
- DAVIM, ANDRADE, OLIVEIRA, C., et al. Development of Fruit Jams and Juices Enriched with Fructooligosaccharides. *International Journal of Fruit Science* 15 (ianuarie), 2015. <https://doi.org/10.1080/15538362.2014.948749>.
- DEMAKHIN, A., și KIRKIN, A. An air-drying installation. *Chemical and Petroleum Engineering - CHEM PETROL ENG-ENGL TR* 23 (octombrie), 1987: pp.499–500. <https://doi.org/10.1007/BF01148911>.
- DEMIRAY, E., și TULEK, Y. Drying Characteristics of Garlic (*Allium Sativum* L) Slices in a Convective Hot Air Dryer. *Heat and Mass Transfer* 50 (6), 2014: pp.779–86. <https://doi.org/10.1007/s00231-013-1286-9>.
- DEMIREL, F., și İSMAİL, O. Investigation of the effect of a hybrid drying method on the color quality of nectarine slices and energy consumption. *Studia universitatis babes-bolyai chemia* 62 (1), 2017. <https://doi.org/10.24193/subbchem.2017.1.21>.
- DENG, L.-Z., MUJUMDAR, A.S., YANG, W.-X., et al. Hot Air Impingement Drying Kinetics and Quality Attributes of Orange Peel. *Journal of Food Processing and Preservation* 44 (1), 2020: pp.e14294. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14294>.
- DEUMIER, F., FRÉNOT, J.-C., și LONGO, P. Method for drying food products, Publicat, 2013.
- DESEATNICOVA Olga, COVALIOV Eugenia, **VISANU Vitali**, TISLINSKAIA Natalia. Impact of drying proceses on peach quality. *International Conference Modern Technologies In The Food Industry – 2022*. Ch.: UTM, 2022. ISBN. ISBN 978-9975-45-851-1
- DI BLASI, C. Multi-Phase Moisture Transfer in the High-Temperature Drying of Wood Particles. *Chemical Engineering Science* 53 (2), 1998: pp.353–66. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(97\)00197-8](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(97)00197-8).
- DINCOV, D.D., PARROTT, K.A., și PERICLEOUS, K.A. Heat and Mass Transfer in Two-Phase Porous Materials under Intensive Microwave Heating. *Journal of Food Engineering*, 2004. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300940759>.
- DJENDOUBI, N. Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. *Food and Bioproducts Processing* 90 (iulie), 2012: pp.433–41.

- EISENBERG, R. *Maxwell Equations for Material Systems*, 2020. <https://doi.org/10.20944/preprints202011.0201.v1>.
- ELAVARASAN, E., KUMAR, Y., MOURESH, R., et al. Study of Drying Kinetics of Tomato in a Solar Dryer. În , pp.349–58, 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4795-3_33.
- EL-BELTAGY, A., GAMEA, G.R., și ESSA, A.H.A. Solar Drying Characteristics of Strawberry. *Journal of Food Engineering* 78 (2), 2007: pp.456–64. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.015>.
- EMADI, B., ABOLGHASEMI, R., AGHKHANI, M.H., et al. *Physical and Mechanical Properties of Peach*, f.a.
- ENSMINGER, A.H., ed. *Foods & nutrition encyclopedia*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 1994.
- ERBAY, Z., și ICIER, F. A Review of Thin Layer Drying of Foods: Theory, Modeling, and Experimental Results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 50 (5), 2010: pp.441–64. <https://doi.org/10.1080/10408390802437063>.
- ESPINOZA, H.B., SALAZAR, P.N., ROMERO, I.T., et al. Physical-Chemical Characteristics of The Downy Peach Grown in the Colonia Tovar, Aragua State, Venezuela 2 (4), 2015: pp.8.
- EYENGA, M., FOTSO YOUOVOP, J., L. NGONDI, J., et al. Temperature Dependent Studies on Nutritional, Total Polyphenols, Flavonoids Content and Antioxidant Activities of Aframomum Citratum (C.Pereira) K.Schum and Tetrapleura Tetraptera (Schum. & Thonn.) Taub. Fruits. *BASE*, ianuarie, 2020. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.18732>.
- FANG, S., WANG, L.-P., și WU, T. Mathematical Modeling and Effect of Blanching Pretreatment on the Drying Kinetics of Chinese Yam (Dioscorea Opposita). *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly* 21 (4), 2015: pp.511–18. <https://doi.org/10.2298/CICEQ140816007F>.
- FAOSTAT, 2021. Data accesării 29 iunie 2021. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- FENG, H., TANG, J., și CAVALIERI, R.P. 2002. Dielectric properties of dehydrated apples as affected by moisture and temperature. *Trans. ASAE*, f.a., 129–35.
- . Heat and Mass Transport in Microwave Drying of Porous Materials in a Spouted Bed. *AIChE Journal* 47 (7), 2001: pp.1499–1512. <https://doi.org/10.1002/aic.690470704>.
- FLOURY, J., BAIL, A.L., și PHAM, Q.T. A Three-Dimensional Numerical Simulation of the Osmotic Dehydration of Mango and Effect of Freezing on the Mass Transfer Rates. *Journal of Food Engineering* 85 (1), f.a.: pp.1–11.
- GARCIA, E., și BARRETT, D.M. Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. În *Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Science, Technology, and Market*, pp.267–303, 2002.
- GEÇER, M.K. Biochemical Content in Fruits of Peach and Nectarine Cultivars. *Turk J Agric For*, 2020., 6.
- GEKAS, V., și LAMBERG, I. Determination of Diffusion Coefficients in Volume-Changing Systems—Application in the Case of Potato Drying. *Journal of Food Engineering* 14 (4), 1991: pp.317–26. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(91\)90021-J](https://doi.org/10.1016/0260-8774(91)90021-J).
- GERASIMOV B.I. Upravleniye kachestvom. – M.: Knorus, 2007. – 272 s.
- GERMER, S.P.M., QUEIROZ, M.R., AGUIRRE, J.M., et al. Process Variables in the Osmotic Dehydration of Sliced Peaches. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 30 (4), 2010: pp.940–48. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000400016>.
- GHANEM, T.H. Dielectric properties of liquid foods affected by moisture contents and temperatures. *Misr Journal of Agricultural Engineering* 27 (2), 2010: pp.688–98. <https://doi.org/10.21608/mjae.2010.105937>.
- GHAREHBEGLOU, P., ASKARI, B., HOMAYOUNI, A., et al. Investigating of drying kinetics and mathematical modeling of turnip. *Agricultural Engineering International : The CIGR e-journal* 16 (septembrie), 2014: pp.194 – 204.
- GÎDEI, I., COJOCARU, I., și CARTOFEANU, V. Surse regenerabile de energie utilizate în instalații de uscare, 2016., 4.

- GOLISZ, E., JAROS, M., și KALICKA, M. Analysis of convectional drying process of peach. *Technical Sciences*, f.a., 11.
- GONZALEZ-AGUILAR, G.A., RUIZ-CRUZ, S., SOTO-VALDEZ, H., et al. Biochemical Changes of Fresh-Cut Pineapple Slices Treated with Antibrowning Agents. *International Journal of Food Science and Technology* 40 (4), 2005: pp.377–83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00940.x>.
- GÓRNICKI, K., KALETA, A., BRYŚ, A., et al. Modelling of Drying Curves of Spruce, Beech, Willow and Alder Particles. *Drvna industrija* 68 (1), 2017: pp.11–16. <https://doi.org/10.5552/drind.2017.1602>.
- HALDER, A., DATTA, A.K., și SPANSWICK, R.M. Water Transport in Cellular Tissues during Thermal Processing. *AIChE Journal* 57 (9), 2011: pp.2574–88. <https://doi.org/10.1002/aic.12465>.
- HASSINI, L., AZZOUZ, S., PECZALSKI, R., et al. Estimation of Potato Moisture Diffusivity from Convective Drying Kinetics with Correction for Shrinkage. *Journal of Food Engineering* 1 (79), 2007: pp.47–56. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.025>.
- 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), 2006: pp.77–87. <https://doi.org/10.1080/07373930500538725>.
- HAZERVAZIFEH, A., NIKBAKHT, A.M., și NAZARI, S. Industrial Microwave Dryer — An Effective Design to Reduce Non-Uniform Heating — 14 (4), 2021: pp.12.
- HE, Q., și LUO, Y. Enzymatic browning and its control in fresh-cut produce. *Stewart Postharvest Review* 3 (decembrie), 2007: pp.1–7. <https://doi.org/10.2212/spr.2007.6.3>.
- HG1523/2007, f.a. Data accesării 15 iunie 2021. https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=111725&lang=ro.
- HII, C.L., ONG, S.P., YAP, J.Y., et al. Hybrid drying of food and bioproducts: a review. *Drying Technology* 39 (11), 2021: pp.1554–76. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1914078>.
- HO, J.C., CHOU, S.K., CHUA, K.J., et al. Analytical study of cyclic temperature drying: Effect on drying kinetics and product quality. *Scopus*, ianuarie, 2002. <https://scholarbank.nus.edu.sg/handle/10635/59540>.
- HUANG, P.L. A Review of: “Modern Drying Technology, Second Enhanced Edition Editors: Yongkang Pan, Xizhong Wang and Xiangdong Liu”. *Drying Technology* 25 (12), 2007: pp.2057–58. <https://doi.org/10.1080/07373930701729271>.
- HUDINA, M. Contents of sugars and organic acids in the cultivars of peach (*Prunus persica* L.) and nectarine (*Prunus persica* var. *nucipersica* Schneid.), august, 2022.
- IOANNOU, I., și GHOU, M. Prevention of enzymatic browning in fruit and vegetables, 2013.
- IORDĂNESCU, O.A., ALEXA, E., RADULOV, I., et al. Minerals and Amino Acids in Peach (*Prunus Persica* L.) Cultivars and Hybrids Belonging to World Germoplasm Collection in the Conditions of West Romania. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, Conference Agriculture for Life, Life for Agriculture, 6 (ianuarie), 2015: pp.145–50. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.051>.
- ISMAIL, N., SOEPARMAN, S., DENNY, W., et al. The influence of pores size and type of aggregate on capillary heat and mass transfer in porous. *Journal of Applied Engineering Science* 17 (ianuarie), 2019: pp.8–17. <https://doi.org/10.5937/jaes17-18090>.
- ISMAIL, O., KIPCAK, A.S., DOYMAZ, İ., et al. Thin-Layer Drying Kinetics of Nectarine Slices Using IR, MW and Hybrid Methods, 2017., pp 92 - 100.
- IZLI, N., IZLI, G., și TASKIN, O. Drying Kinetics, Colour, Total Phenolic Content and Antioxidant Capacity Properties of Kiwi Dried by Different Methods. *Journal of Food Measurement and Characterization* 11 (1), 2017: pp.64–74. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9372-6>.

- JANJAI, S., LAMLERT, N., INTAWEE, P., et al. Solar Drying of Peeled Longan Using a Side Loading Type Solar Tunnel Dryer: Experimental and Simulated Performance. *Drying Technology* 27 (martie), 2009: pp.595–605. <https://doi.org/10.1080/07373930802716383>.
- JANOWICZ, M., și LENART, A. The Impact of High Pressure and Drying Processing on Internal Structure and Quality of Fruit. *European Food Research and Technology* 244 (8), 2018: pp.1329–40. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3047-y>.
- JEON, S., KIM, J., și YANG, D. Design of Large-Scale Microwave Cavity for Uniform and Efficient Plastic Heating. *Polymers* 14 (3), 2022: pp.541. <https://doi.org/10.3390/polym14030541>.
- JHA, A., RAJAMANICKAM, G., și CHINNASWAMY, A. Shrinkage and porosity effects on heat and mass transfer during potato drying. *Journal of Food Engineering* 144 (ianuarie), 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.08.004>.
- JIANG, H., ZHANG, M., MUJUMDAR, A.S., et al. Changes of Microwave Structure/Dielectric Properties during Microwave Freeze-Drying Process Banana Chips. *International Journal of Food Science & Technology* 49 (4), 2014: pp.1142–48. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12410>.
- JOARDDER, M.U.H., KARIM, A., KUMAR, C., et al. *Porosity: establishing the relationship between drying parameters and dried food quality*. Springer, 2015a.
- JOARDDER, M.U.H., BROWN, R.J., KUMAR, C., et al. Effect of Cell Wall Properties on Porosity and Shrinkage of Dried Apple. *International Journal of Food Properties* 18 (10), 2015c: pp.2327–37. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.980945>.
- JOARDDER, M.U.H. (OMAR), KARIM, M., KUMAR, A., C., et al. *Effect of cell wall properties of plant tissue on porosity and shrinkage during drying*, 2014.
- . *Porosity: Establishing the Relationship between Drying Parameters and Dried Food Quality*. Springer, 2015. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23045-0>.
- JOHNSON, A.C., și ALI AL MUKHAINI, E.M. Drying Studies on Peach and Strawberry Slices. Ed. Yildiz. *Cogent Food & Agriculture* 2 (1), 2016. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1141654>.
- KADER, A., și CHORDAS, A. Evaluating the Browning Potential of Peaches. *Hilgardia* 38 (3), 1984: pp.14–15.
- KARAASLAN, S., EKINCI, K., ERTEKIN, C., et al. Thin Layer Peach Drying in Solar Tunnel Drier. *Erwerbs-Obstbau* 63 (1), 2021: pp.65–73. <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00536-4>.
- KARATHANOS, V.T., și BELESSIOTIS, V.G. Application of a Thin-Layer Equation to Drying Data of Fresh and Semi-Dried Fruits. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74 (4), 1999: pp.355–61. <https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0473>.
- KATEKAWA, M., și SILVA, M. Drying rates in shrinking medium: Case study of banana. *Brazilian Journal of Chemical Engineering - BRAZ J CHEM ENG* 24 (octombrie), 2007. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322007000400009>.
- KAYA, A., AYDIN, O., și DINCER, I. Experimental and Numerical Investigation of Heat and Mass Transfer during Drying of Hayward Kiwi Fruits (*Actinidia Deliciosa* Planch). *Journal of Food Engineering* 88 (3), 2008: pp.323–30. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.017>.
- KIRANOUDIS, C.T., MAROULIS, Z.B., și MARINOS-KOURIS, D. Heat and Mass Transfer Model Building in Drying with Multiresponse Data. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 38 (3), 1995: pp.463–80. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(94\)00166-S](https://doi.org/10.1016/0017-9310(94)00166-S).
- KUMAR, C., KARIM, A., JOARDDER, M.U.H., et al. Modeling Heat and Mass Transfer Process during Convection Drying of Fruit. În *Proceedings of the 4th International Conference on Computational Methods*, ed. Gu și Saha, pp.1–8. Australia: Queensland University of Technology, 2012. <https://eprints.qut.edu.au/55423/>.

- KUMAR, C., KARIM, M.A., și JOARDDER, M.U. Intermittent drying of food products: A critical review. *Journal of Food Engineering* 121, 2014: pp.48–57.
- LARUE, J.H., și JOHNSON, R.S., ed. *Peaches, plums, and nectarines: growing and handling for fresh market*. Publication / Cooperative Extension, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources 3331. Oakland, Calif: Cooperative Extension, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 1989.
- LAYNE, D.R., și BASSI, D., ed. *The peach: botany, production and uses*. Wallingford, Oxfordshire, UK ; Cambridge, MA: CABI, 2008.
- LEE, C.Y., și WHITAKER, J.R., ed. *Enzymatic Browning and Its Prevention*. Vol. 600. ACS Symposium Series. Washington, DC: American Chemical Society, 1995. <https://doi.org/10.1021/bk-1995-0600>.
- IVANOV, L., și VIȘANU, V. Electrodynamics, mass and heat transfer limit problem for microwave sistem, 2019.
- IVANOV, L.; VISANU, V.; TISLINSKAIA, N.; BALAN, M.; MELENCIUC, M. The mathematical model of mass and heat transfer for microwave installations. In: Proceedings of the International Conference Modern Technologies in the Food Industry–2022 MTFI – 2022. Ch.: UTM, 2022, p. 33. ISBN. ISBN 978-9975-45-851-1 (PDF). https://mtfi.utm.md/files/Materialele_Conferintei_MTFI-2022.pdf.
- LI, Z.Y., WANG, R.F., și KUDRA, T. Uniformity Issue in Microwave Drying. *Drying Technology* 29 (6), 2011: pp.652–60. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.521963>.
- LIU, C.M., WANG, Q.Z., și SAKAI, N. Power and Temperature Distribution during Microwave Thawing, Simulated by Using Maxwell's Equations and Lambert's Law. *International Journal of Food Science & Technology* 40 (1), 2005: pp.9–21. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00904.x>.
- LIU, G., CHEN, J., LIU, M., et al. Shrinkage, Porosity and Density Behaviour during Convective Drying of Bio-Porous Material. *Procedia Engineering* 31, 2012: pp.634–40. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1078>.
- LYKOV, A.V. Systems of Differential Equations of Heat and Mass Transfer in Capillary-Porous Bodies (Review). *International Journal of Heat and Mass Transfer* 18 (1), 1975: pp.1–14. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(75\)90002-2](https://doi.org/10.1016/0017-9310(75)90002-2).
- LYKOV, A.V. *Teorija teploprovodnosti*. M.: Vysshaja shkola, 1967. https://www.studmed.ru/lykov-av-teoriya-teploprovodnosti_013ac7f0a66.html.
- LYKOV, A.V.. *Teorija sushki*. 2-lea ed. M.: Jenergiya, 1968.
- LYKOV, A.V., și MIHAJLOV, Ju.A. *Teorija perenosa jenerгии i veshhestva*. Minsk: AN BSSR, 1959. https://www.studmed.ru/lykov-av-mihaylov-yua-teoriya-perenosa-energii-i-veschestva_33e5abc6095.html.
- MAHN, A., și RUBIO, M.P. Evolution of Total Polyphenols Content and Antioxidant Activity in Broccoli Florets during Storage at Different Temperatures. *Journal of Food Quality* 2017 (octombrie), 2017: pp.e3742183. <https://doi.org/10.1155/2017/3742183>.
- MAICAN, E. *Sisteme de energii regenerabile*. București 2015. Editura PRINTECH 134.
- MARINOS-KOURIS, D., și MAROULIS, Z. 4 Transport Properties in the Drying of Solids. *Handbook of Industrial Drying*, noiembrie, 2006. <https://doi.org/10.1201/9781420017618.ch4>.
- MASKAN, M. Drying, Shrinkage and Rehydration Characteristics of Kiwifruits during Hot Air and Microwave Drying. *Journal of Food Engineering* 48 (2), 2001a: pp.177–82. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00155-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00155-2).
- . Drying, Shrinkage and Rehydration Characteristics of Kiwifruits during Hot Air and Microwave Drying. *Journal of Food Engineering* 48 (2), 2001b: pp.177–82. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00155-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00155-2).

- MCMINN, W.A.M., și MAGEE, T.R.A. Studies on effect of temperature on moisture sorption characteristics of potatoes. *Journal of Food Process Engineering* 22 (ianuarie), 2007: pp.113–28. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1999.tb00475.x>.
- MÉHAUTÉ, B. Flow in a Porous Medium: Law of Darcy. În *An Introduction to Hydrodynamics and Water Waves*, Méhauté, pp.89–97. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1976. https://doi.org/10.1007/978-3-642-85567-2_9.
- MEISAMI-ASL, E., RAFIEE, S., KEYHANI, A., et al. Mathematical Modeling of Kinetics of Thin-Layer Drying of Apple (Var. Golab). *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, septembrie, 2009. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1185>.
- MENGES, H., și ERTEKIN, C. Modelling of air drying Hacıhaliloglu-type apricots. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86 (ianuarie), 2006: pp.279–91. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2340>.
- METHAKHUP, S., CHIEWCHAN, N., și DEVAHASTIN, S. Effects of Drying Methods and Conditions on Drying Kinetics and Quality of Indian Gooseberry Flake. *LWT - Food Science and Technology* 38 (6), 2005: pp.579–87. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.012>.
- MOHAMMADI, M., și KAZEMI, H. Changes in Peroxidase and Polyphenol Oxidase Activities in Susceptible and Resistant Wheat Heads Inoculated with *Fusarium Graminearum* and Induced Resistance. *Plant Science* 162 (4), 2002: pp.491–98. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00538-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00538-6).
- MOSES, J.A., NORTON, T., ALAGUSUNDARAM, K., et al. Novel Drying Techniques for the Food Industry. *Food Engineering Reviews* 6 (3), 2014: pp.43–55. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9078-7>.
- MOVAGHARNEJAD, K., și POUYA, S. The Effect of the Drying Method on the Quality of Dried Kiwi Slices. *International Journal of Health and Medicine* 2 (1), 2017: pp.1. <https://doi.org/10.24178/ijhm.2017.2.1.01>.
- MÜHLBAUER, W., și MÜLLER, J. Drying kinetics. În, pp.53–61, 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818162-1.00002-X>.
- MUJAFFAR, S., și BYNOE, S. *Investigations into hot air and microwave drying of the west indian bay leaf (Pimenta racemosa)*, 2019.
- MUJUMDAR, P.A.S. Research and Development in Drying: Recent Trends and Future Prospects. *Drying Technology* 22 (1–2), 2004: pp.1–26. <https://doi.org/10.1081/DRT-120028201>.
- NASRALLAH, S.B., și PERRÉ, P. Detailed Study of a Model of Heat and Mass Transfer during Convective Drying of Porous Media. *Undefined*, 1988. /paper/Detailed-study-of-a-model-of-heat-and-mass-transfer-Nasrallah-Perr%C3%A9/c715ac418340760587812293b2c6b88654dc96fb.
- NI, H., DATTA, A.K., și TORRANCE, K.E. Moisture transport in intensive microwave heating of biomaterials: a multiphase porous media model. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 42 (8), 1999: pp.1501–12.
- NÚÑEZ-DELICADO, E., SERRANO-MEGÍAS, M., PÉREZ-LÓPEZ, A.J., et al. Polyphenol Oxidase from Dominga Table Grape. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (15), 2005: pp.6087–93. <https://doi.org/10.1021/jf050346z>.
- ONWUDE, D.I., HASHIM, N., JANIUS, R.B., et al. Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables: A Review: Thin-Layer Models of Fruits and Vegetables.... *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 15 (3), 2016: pp.599–618. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12196>.
- ORSAT, V., YANG, W., CHANGRUE, V., et al. Microwave-Assisted Drying of Biomaterials. *Food and Bioproducts Processing* 85 (septembrie), 2007: pp.255–63. <https://doi.org/10.1205/fbp07019>.

- ÖZDEMİR, M. Foods Browning and Its Control. *Undefined*, 1997. /paper/Foods-Browning-and-Its-Control-%C3%96zdemir/65c05450e65f82f54e6db6f003c603348c0b9433.
- PAL-1. ATAGO U.S.A., Inc., f.a. Data accesării 4 iunie 2021. <https://atagousa.corecommerce.com/PAL-1-p176.html>.
- PATNAIK, M., și BASAK, U. Enzymatic antioxidant activities in eight wild edible fruits of Odisha, ianuarie, 2015.
- PENG, H. Maxwell equations derived from (Coulomb's Law + velocity), Maxwell-type Gravity derived from (Newton Law + velocity), Spin-Electromagnetism derived from (Coulomb' Law + spin) by Universal Mathematical Field Theory (UMFT), 2023. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.19184252.v2>.
- PÉREZ-LÓPEZ, A., CHÁVEZ-FRANCO, S.H., VILLASEÑOR-PEREA, C.A., et al. Respiration Rate and Mechanical Properties of Peach Fruit during Storage at Three Maturity Stages. *Journal of Food Engineering* 142, f.a.: pp.111–17.
- PERUSSELLO, C.A., KUMAR, C., CASTILHOS, F. DE, et al. Heat and mass transfer modeling of the osmo-convective drying of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*). *Applied Thermal Engineering* 63 (1), 2014: pp.23–32.
- PESTAÑO, L.D.B., BAUTISTA, J.P.T., LEGUIAB, R.JR.H., et al. Mathematical Modeling of the Drying Kinetics of Thinly-Sliced Saba (*Musa Balbasiana*) Using Hot-Air Dryer. Ed. Kumoro, Hadiyanto, Roces, Yung, Rong, Lothongkum, Phong, Hussain, Daud, și Nam. *MATEC Web of Conferences* 156, 2018: pp.02004. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815602004>.
- Piersic. În *Wikipedia*, 2018. <https://ro.wikipedia.org/w/index.php?title=Piersic&oldid=12402588>.
- PLUMB, O.A., SPOLEK, G.A., și OLMSTEAD, B.A. Heat and Mass Transfer in Wood during Drying. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 28 (9), 1985: pp.1669–78. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(85\)90141-3](https://doi.org/10.1016/0017-9310(85)90141-3).
- POPA S., Manziuc V., Braghiș A., Cumpanici A. *Producerea piersicilor*. Chișinău, 2016.
- PRAKASH, O., și KUMAR, A. *Solar Drying Technology: Concept, Design, Testing, Modeling, Economics, and Environment*. Springer, 2017.
- QUEIROZ, C., MENDES LOPES, M.L., FIALHO, E., et al. Polyphenol Oxidase: Characteristics and Mechanisms of Browning Control. *Food Reviews International* 24 (4), 2008: pp.361–75. <https://doi.org/10.1080/87559120802089332>.
- QUINTARD, M., și WHITAKER, S. Theoretical Analysis of Transport in Porous Media. În *Handbook of Porous Media, Second Edition*, ed. Vafai și Hadim, pp.1–52. CRC Press, 2000. <https://doi.org/10.1201/9780824741501.pt1>.
- RAJARATHNAM, S. *Advances in Preservation and Processing Technologies of Fruits and Vegetables*. New India Publishing, 2011.
- ROCKLAND, L.B., și BEUCHAT, L.R., ed. *Water Activity: Theory and Applications to Food*. CRC Press Taylor & Francis Group, 2020.
- ROKNUL AZAM, S.M., ZHANG, M., LAW, C.L., et al. Effects of drying methods on quality attributes of peach (*Prunus persica*) leather. *Drying Technology* 37 (3), 2019: pp.341–51. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1454942>.
- ROSTI, M.E., PRAMANIK, S., BRANDT, L., et al. The Breakdown of Darcy's Law in a Soft Porous Material. *Soft Matter* 16 (4), 2020: pp.939–44. <https://doi.org/10.1039/C9SM01678C>.
- SADIN, R., CHEGINI, G.R., și SADIN, H. The effect of temperature and slice thickness on drying kinetics tomato in the infrared dryer. *Heat and Mass Transfer* 50 (martie), 2014. <https://doi.org/10.1007/s00231-013-1255-3>.
- SAFAROV, J., și SHAXNOZA, S. Technology of Drying Medicinal Plants in Water-Heating Drying Installation. *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal* 9 (august), 2017: pp.1–3. <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2017.09.555771>.

- SAKARE, P., PRASAD, N., THOMBARE, N., et al. Infrared Drying of Food Materials: Recent Advances. *Food Engineering Reviews* 12 (septembrie), 2020. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09237-w>.
- SAPEI, L., TARIGAN, E., HWA, L., et al. Drying Kinetics of Curcuma xanthorrhiza Roxb. *KnE Life Sciences* 3 (septembrie), 2017: pp.110. <https://doi.org/10.18502/cls.v3i5.983>.
- SCHRAUD, A., și DRESSLER, W. Device for cleaning and heat recovery from the exhaust gases in heat treatment and drying installations, mai, 2021.
- SCHWEIZER, B. Darcy's Law and Groundwater Flow Modelling. PDF. *Snapshots of Modern Mathematics from Oberwolfach; No. 7/2015*, 2015. <https://doi.org/10.14760/SNAP-2015-007-EN>.
- SHARMA, K., KO, E.Y., ASSEFA, A.D., et al. Temperature-Dependent Studies on the Total Phenolics, Flavonoids, Antioxidant Activities, and Sugar Content in Six Onion Varieties. *Journal of Food and Drug Analysis* 23 (2), 2015: pp.243–52. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2014.10.005>.
- SHEN, L., GAO, M., FENG, S., et al. Analysis of Heating Uniformity Considering Microwave Transmission in Stacked Bulk of Granular Materials on a Turntable in Microwave Ovens. *Journal of Food Engineering* 319 (aprilie), 2022: pp.110903. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110903>.
- SHYNKARYK, M.V., JI, T., ALVAREZ, V.B., et al. Ohmic Heating of Peaches in the Wide Range of Frequencies (50 Hz to 1 MHz). *Journal of Food Science* 75 (7), 2010: pp.E493–500. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01778.x>.
- SILVA, P., RESENDE, O., FERREIRA JUNIOR, W., et al. Drying kinetics of Brazil nuts. *Food Science and Technology*, aprilie, 2021. <https://doi.org/10.1590/fst.64620>.
- SILVA, W.P. DA, SILVA, C.M.D.P.S. E, FARIAS, V.S.O., et al. Diffusion Models to Describe the Drying Process of Peeled Bananas: Optimization and Simulation. *Drying Technology* 30 (2), 2012: pp.164–74. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.628554>.
- Simularea matematică computerizată a fenomenelor de transfer în produse vegetale umede la tratarea cu microunde. *Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare*. Data accesării 4 iunie 2021. <https://ancd.gov.md/ro/content/simularea-matematic%C4%83-computerizat%C4%83-fenomenelor-de-transfer-%C3%AEn-produce-vegetale-umede-la>.
- SIPAHIOGLU, O., și BARRINGER, S.A. Dielectric Properties of Vegetables and Fruits as a Function of Temperature, Ash, and Moisture Content. *Journal of Food Science* 68 (iulie), 2006: pp.234–39. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb14145.x>.
- SLATTERY, J.C. Foundations for Simultaneous Momentum, Energy, and Mass Transfer. În *Interfacial Transport Phenomena*, ed. Slaterry, pp.669–917. New York, NY: Springer, 1990. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2090-7_5.
- SOYSAL, Y., ARSLAN, M., și KESKIN, M. Intermittent Microwave-Convective Air Drying of Oregano. *Food Science and Technology International = Ciencia y Tecnología de Los Alimentos Internacional*, 2009a. <https://agris.fao.org/agrissearch/search.do?recordID=US201301698996>.
- SOYSAL, Y., AYHAN, Z., EŞTÜRK, O., et al. Intermittent Microwave-Convective Drying of Red Pepper: Drying Kinetics, Physical (Colour and Texture) and Sensory Quality. *Biosystems Engineering* 103 (4), 2009b: pp.455–63. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.05.010>.
- SRIKIATDEN, J., și ROBERTS, J.S. Moisture Transfer in Solid Food Materials: A Review of Mechanisms, Models, and Measurements. *International Journal of Food Properties* 10 (4), 2007: pp.739–77. <https://doi.org/10.1080/10942910601161672>.
- STADTMAN, E.R. Protein oxidation and aging. *Science* 257 (5074), 1992: pp.1220–24.
- SESTOPAL, B., I. Upravleniye kachestvom. M Knorus, 2007, 272p.

- WHITAKER, T. H. J. BARRE, și HAMDY M. Y.. Theoretical and Experimental Studies of Diffusion in Spherical Bodies with a Variable Diffusion Coefficient. *Transactions of the ASAE* 12 (5), 1969: pp.0668–72. <https://doi.org/10.13031/2013.38924>.
- TANG, J. Dielectric properties of foods. *The Microwave Processing of Foods*, iulie, 2005, 22–40. <https://doi.org/10.1533/9781845690212.1.22>.
- TANG, J., FENG, H., și LAU, M. Microwave heating in food processing. *Advances in Bioprocessing Engineering*, mai, 2002. https://doi.org/10.1142/9789812706584_0001.
- TARTAKOVSKY, D.M., și DENTZ, M. Diffusion in Porous Media: Phenomena and Mechanisms. *Transport in Porous Media* 130 (1), 2019: pp.105–27. <https://doi.org/10.1007/s11242-019-01262-6>.
- TATAROV, P. *Chimia produselor alimentare*. Chișinău: s.n., 2017.
- THIPNATE, P., și SUKHONTHARA, S. Control of Enzymatic Browning in Apple and Potato Purees by Using Guava Extract. *Science, Engineering and Health Studies*, septembrie, 2015, 59–68.
- TIWARI, S., TIWARI, G.N., și AL-HELAL, I.M. Development and Recent Trends in Greenhouse Dryer: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 65 (noiembrie), 2016: pp.1048–64. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.070>.
- TONAY YÜKSEL, A. THE EFFECT OF MICROWAVE OUTPUT POWER ON DRYING KINETICS OF YOGHURT AND MATHEMATICAL MODELING OF DRYING CURVES. *Latin American Applied Research - An international journal* 51 (martie), 2021: pp.127–31. <https://doi.org/10.52292/j.laar.2021.633>.
- ȚISLINSCAIA, N., BERNIC, M., MALEZHYK, I., et al. Mathematical Model of Drying Process Velocity Factor, 2016. <http://repository.utm.md/handle/5014/6894>.
- ȚISLINSCAIA, N., LUPAȘCO, A., și BERNIC, M. *Modelarea matematică a fenomenelor de transfer în procesele de uscare*. Universitatea Tehnică a Moldovei, 2020. <http://repository.utm.md/handle/5014/14943>.
- ȚISLINSCAIA, Natalia; VIȘANU, Vitali; BALAN, Mihail; MELENCIUC, Mihail. Practical Developments Regarding Drying Peaches through Hybrid Method, 2021. <http://repository.utm.md/handle/5014/17711>.
- ȚISLINSCAIA, Natalia; POPESCU, Victor; VIȘANU, Vitali; TOFAN, Grigore; BALAN, Mihail; MELENCIUC, Mihail. Metodă de deshidratare a fructelor cu consum redus de energie . In: *Intellectus*, 2022, nr. 1, pp. 113-117. ISSN 1810-7079. DOI: 10.56329/1810-7087.22.1.12
- UMAROV, G., AVEZOV, R., și AKHMADALIEV, A. Testing of solar fruit drying installations 8:5 (ianuarie), 1972.
- VASILY, E. *Establishing Food Security and Alternatives to International Trade in Emerging Economies*. IGI Global, 2017.
- VEGA-GÁLVEZ, A., LEMUS-MONDACA, R., BILBAO-SAINZ, C., et al. Effect of Air Drying Temperature on the Quality of Rehydrated Dried Red Bell Pepper (Var. Lamuyo). *Undefined*, 2008. /paper/Effect-of-air-drying-temperature-on-the-quality-of-Vega-G%C3%A1lvez-Lemus-Mondaca/13130d1e9e56ffe262364e687a283ceb0deb68c8.
- VIȘANU, VITALI. Peaches convective drying. *Journal of Engineering Science*, Vol. XXV, no. 3 (2018), pp. 100 – 110, ISSN 2587-3474, DOI: 10.5281/zenodo.2557337. https://jes.utm.md/wp-content/uploads/sites/20/2019/02/JES-2018-3_100-110.pdf.
- VIȘANU, Vitali; ȚISLINSCAIA, Natalia; DODON, Adelina; BALAN, Mihail; MELENCIUC, Mihail. Determinarea parametrilor tehnici optimi la uscarea prin convecție și cu aplicarea microundelor în procesul deshidratării piersicilor. In: *Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos”*, 2022, nr. 2(65), pp. 37-44. ISSN 1857-0461. DOI: 10.52673/18570461.22.2-65.01

- WANG, Jianhui, JIANG, W., WANG, B., et al. PARTIAL PROPERTIES OF POLYPHENOL OXIDASE IN MANGO (MANGIFERA INDICA L. CV. „TAINONG”) PULP. *Journal of Food Biochemistry* 31 (1), 2007: pp.45–55. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2007.00097.x>.
- WANG, Jun, și SHENG, K. Far-Infrared and Microwave Drying of Peach. *LWT - Food Science and Technology* 39 (3), 2006a: pp.247–55. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.02.001>.
- . Far-Infrared and Microwave Drying of Peach. *LWT - Food Science and Technology* 39 (3), 2006b: pp.247–55. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.02.001>.
- WANG, N., și BRENNAN, J.G. A Mathematical Model of Simultaneous Heat and Moisture Transfer during Drying of Potato. *Journal of Food Engineering* 24 (1), 1995: pp.47–60. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)P1607-Y](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)P1607-Y).
- WATERMAN, P.G., și MOLE, S. *Analysis of phenolic plant metabolites*. Methods in ecology. Oxford ; Boston: Blackwell Scientific, 1994.
- WESSEL, M. Immersion pumps in dry installation 23 (ianuarie), 1994: pp.18+21.
- WHITAKER, S. *Simultaneous Heat, Mass, and Momentum Transfer in Porous Media: A Theory of Drying*. *Adv. Heat Transfer*. Vol. 13, 1977. [https://doi.org/10.1016/S0065-2717\(08\)70223-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2717(08)70223-5).
- . Flow in Porous Media I: A Theoretical Derivation of Darcy’s Law. *Transport in Porous Media* 1 (1), 1986: pp.3–25. <https://doi.org/10.1007/BF01036523>.
- 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).
- YAMSAENG SUNG, R., și MOREIRA, R.G. Modeling the Transport Phenomena and Structural Changes during Deep Fat Frying: Part I: Model Development. *Journal of Food Engineering* 53 (1), 2002: pp.1–10. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00134-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00134-0).
- ZAREIN, M., SAMADI, S., și GHOBADIAN, B. Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 14 (iunie), 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.06.002>.
- ZHANG, J., și DATTA, A.K. Mathematical modeling of bread baking process. *Journal of Food Engineering* 75 (1), 2006: pp.78–89.
- ZHANG, J., DATTA, A.K., și MUKHERJEE, S. Transport processes and large deformation during baking of bread. *AIChE Journal* 51 (9), 2005: pp.2569–80.
- ZHANG, M., TANG, J., MUJUMDAR, A.S., et al. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. Review. Scopus, 2006. octombrie 2006. <https://scholarbank.nus.edu.sg/handle/10635/68453>.
- ZHANG, Min, JIANG, H., și LIM, R.-X. Recent Developments in Microwave-Assisted Drying of Vegetables, Fruits, and Aquatic Products—Drying Kinetics and Quality Considerations. *Drying Technology* 28 (11), 2010: pp.1307–16. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.524591>.
- ZHU, A., și SHEN, X. The Model and Mass Transfer Characteristics of Convection Drying of Peach Slices. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 72 (mai), 2014: pp.345–51. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.01.001>.
- ZOHRABI, S., SEIIEDLOU, S., și ALIPASANDI, A. Study some physical and mechanical properties of three cultivars of peach in maturation stages. *World Sci. J.* 1 (ianuarie), 2013: pp.108–17.

CONTRIBUȚII PROPRII ÎN TEZĂ

1. Articole în reviste științifice

1. VIȘANU VITALI., Peaches convective drying. *Journal of Engineering Science*, Vol. XXV, no. 3 (2018), pp. 100 – 110, ISSN 2587-3474, DOI: 10.5281/zenodo.2557337. https://jes.utm.md/wp-content/uploads/sites/20/2019/02/JES-2018-3_100-110.pdf.
2. ȚISLINSCAIA, Natalia; POPESCU, Victor; VIȘANU, Vitali; TOFAN, Grigore; BALAN, Mihail; MELENCIUC, Mihail. Metodă de deshidratare a fructelor cu consum redus de energie . In: *Intellectus*, 2022, nr. 1, pp. 113-117. ISSN 1810-7079. DOI: 10.56329/1810-7087.22.1.12
3. VIȘANU, Vitali; ȚISLINSCAIA, Natalia; DODON, Adelina; BALAN, Mihail; MELENCIUC, Mihail. Determinarea parametrilor tehnici optimi la uscarea prin convecție și cu aplicarea microundelor în procesul deshidratării piersicilor. In: *Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos”*, 2022, nr. 2(65), pp. 37-44. ISSN 1857-0461. DOI: 10.52673/18570461.22.2-65.01
4. POPA, Sergiu; VIȘANU, Vitali; BALAN, Mihail; MELENCIUC, Mihail; MALAI, Cristian. Sistem pentru deshidratarea fructelor cu eficiență energetică înaltă. In: *Știința Agricolă*, 2022, nr. 1, pp. 97-102. ISSN 1857-0003. DOI: 10.55505/sa.2022.1.14
5. POPESCU, Victor; TÎRȘU, Mihail; ȚISLINSCAIA, Natalia; VIȘANU, Vitali; BALAN, Mihail; MELENCIUC, Mihail. Sporirea eficienței procesului de uscare a fructelor tratate cu SHF. In: *Problemele Energeticii Regionale*, 2022, nr. 3(55), pp. 130-139. ISSN 1857-0070. DOI: 10.52254/1857-0070.2022.3-55.10

2. Articole în lucrările conferințelor și altor manifestări științifice

1. BERNIC, M., ȚISLINSCAIA, N., ZAVIALOV, V., VIȘANU, V., BALAN, M., MELENCIUC, M. *Dryng-efficient method of peaches storage*. /proceedings of internațional conference ” Modern technologies in the food industry” ch.: Tehnica info 2016. – p.19 – 24 – ISBN, 978-9975-87-138-9; http://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/6842/MTFI_2016_pg19-24.pdf?sequence=1&isAllowed=y
2. BERNIC, M., ȚISLINSCAIA, N., RĂDUCAN, M., VIȘANU, V., BALAN, M., MELENCIUC, M. Peaches drying specifics. ”Euro-Aliment 2017” Galați University Press 2017. – p.80-81- ISSN, 1843-5114. <http://www.euroaliment.ugal.ro/old-site/Programme-EA17.pdf>
3. BERNIC, M., ȚISLINSCAIA, N., DESEATNICOVA, O. VIȘANU, V., BALAN, M., MELENCIUC, M., Peaches drying process particularities. ”Biotechnologies, present and perspectives” Suceava University Press 2018. – p.11- ISSN, 2068-0819.
4. IVANOV LEONID, VIȘANU VITALI. Electrodynamics, mass and heat transfer limit problem for microwave system. Modern Technologies, in the Food Industry-2018. http://www.repository.utm.md/bitstream/handle/5014/3666/Conf_Tehnol_2018_pg23_24.pdf?sequence=1&isAllowed=y
5. BERNIC, M., ȚISLINSCAIA, N., VIȘANU, V., BALAN, M., MELENCIUC, M. Researches in the drying field of peaches /proceedings of internațional conference ” Euro-Aliment 2019” ch.: Galați University Press 2019. – p.66 – ISSN, 1843-5114. https://www.researchgate.net/publication/336916308_RESEARCHES_IN_THE_DRYING_FIELD_OF_PEACHES
6. ȚISLINSCAIA, Natalia; VIȘANU, Vitali; BALAN, Mihail; MELENCIUC, Mihail. Practical developments regarding drying peaches through hybrid method. In: *Intelligent Valorisation of Agro-Food Industrial Wastes*, 7-8 octombrie 2021. Chișinău: Tipografie „MS Logo” SRL, 2021, R, p. 26. ISBN 978-9975-3464-2-9.

7. IVANOV, L.; VISANU, V.; TISLINSKAIA, N.; BALAN, M.; MELENCIUC, M. The mathematical model of mass and heat transfer for microwave installations. In: *Proceedings of the International Conference Modern Technologies in the Food Industry–2022 MTFI – 2022*. Ch.: UTM, 2022, p. 33. ISBN. ISBN 978-9975-45-851-1 (PDF). https://mtfi.utm.md/files/Materialele_Conferintei_MTFI-2022.pdf.
8. DESEATNICOVA Olga, COVALIOV Eugenia, VISANU Vitali, TISLINSKAIA Natalia. Impact of drying proces on peach quality. *International Conference Modern Technologies In The Food Industry – 2022*. Ch.: UTM, 2022. ISBN. ISBN 978-9975-45-851-1

3. Brevete de invenție și alte obiecte de proprietate intelectuală (OPI)

1. BERNIC, Mircea, LUPAȘCO, Andrei, ȚISLINSKAIA, Natalia, IVANOV, Leonid, BALAN, Mihail, MELENCIUC, Mihail, VIȘANU, Vitali. *Dispozitiv pentru distribuirea uniformă a aerului în uscătorul tunel*. Brevet de invenție MD 935 Z 2016.02.29; https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ro&user=i11ANuQAAAAJ&cstart=20&pagesize=80&citation_for_view=i11ANuQAAAAJ:gjMakFHDy7sC
2. Universitatea Tehnică a Moldovei, BERNIC, Mircea, ȚISLINSKAIA, Natalia, BALAN, Mihail, POPESCU, Victor, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail, EMILIANOV Ion. *Instalație de prelucrare prin electropasmoliză a produselor vegetale*. MD 1244 din 15.09.2018. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ro&user=i11ANuQAAAAJ&cstart=20&pagesize=80&citation_for_view=i11ANuQAAAAJ:WA5NYHcadZ8C
3. BERNIC, Mircea, ȚISLINSKAIA, Natalia, BALAN, Mihail, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail. *Instalație de uscare pentru fructe și legume*. MD 1295 Z 2019.07.31. <http://cris.utm.md/bitstream/5014/71/1/Brevet-202018200014.pdf>
4. BERNIC, Mircea, ȚISLINSKAIA, Natalia, BALAN, Mihail, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail. *Dispozitiv pentru distribuirea uniformă a fluxului de aer în uscătorul-tunel*. HOTĂRÂRE pozitivă de acordare nr. 9884 din 2021.09.24. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ro&user=i11ANuQAAAAJ&citation_for_view=i11ANuQAAAAJ:EkHepimYqZsC
5. VIȘANU, Vitali, ȚISLINSKAIA, Natalia, BALAN, Mihail, MELENCIUC, Mihail, GÎDEI, Igor., ȚURCANU, Dinu, POPESCU, Victor. *Procedeu de uscare a piersicilor prin metoda convecției forțate*. Cerere BI nr. 2243 din 2021.09.27. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ro&user=DQKIkmIAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=DQKIkmIAAAAJ:7T2F9Uy0os0C
6. BERNIC, Mircea, ȚISLINSKAIA, Natalia, BALAN, Mihail, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail. *Instalație de uscare a produselor granulate în strat de suspensie*. Brevet de invenție MD 1481 Y, A23N 12/08. Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. depozit s 2019 0094. Data depozit 02.09.2019. Publicat 31.01.2021. In: BOPI. 2021, nr. 1, pp. 51-52.
7. VIȘANU, Vitali, ȚISLINSKAIA, Natalia, BALAN, Mihail, MELENCIUC, Mihail, GÎDEI, Igor., ȚURCANU, Dinu, POPESCU, Victor. *Procedeu de uscare a piersicilor cu aplicarea microundelor*. Cerere BI nr. 2244 din 2021.09.27.
8. BALAN, Mihail, ȚISLINSKAIA, Natalia, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail, ȚURCANU, Dinu, POPESCU, Victor. *Instalație de uscare modulară*. Cerere BI nr. 2245 din 2021.09.27.

ANEXE

Anexa 1

A P R O B

Administrator S.R.L. „Viomarix-Plus”

Guțan Mariana

ACT

de implementare a rezultatelor tezei de doctor în tehnică
„Elaborări teoretice și practice privind procesul de uscare a piersicilor
cu folosirea microundelor”
a dlui Vișanu Vitali

Membrii consiliului tehnic ai S.R.L. „Viomarix-Plus” au încheiat prezentul act care confirmă că în baza rezultatelor tezei de doctor în tehnică «Elaborări teoretice și practice privind procesul de uscare a piersicilor cu folosirea microundelor» elaborată de dl. Vișanu Vitali, întreprinderea S.R.L. „Viomarix-Plus” a implementat în producere o instalație de uscare în bază de pelete pentru fructe și legume cu capacitatea de 1500 kg materie primă.

În rezultatul implementării, a fost instalat un sistem de generare a căldurii la instalația de uscare descrisă anterior, care a contribuit la reducerea consumului de energie cu 17%, constituind 58 kW/h.

Director S.R.L. „Viomarix-Plus”

Guțan Marcel



Obiecte de proprietate intelectuală și distincții

Anexa 2




REPUBLICA MOLDOVA
 Agenția de Stat pentru
 Proprietatea Intelectuală

BREVET
 DE INVENȚIE
 DE SCURTĂ DURATĂ
 Nr. 1249

Eliberat în temeiul Legii nr. 50/2008 privind protecția invențiilor

Titlul: **Instalație de uscare a produselor granulate în strat de suspensie**

Titulari: **BERNIC Mireea, MD; ȚISLINSKAIA Natalia, MD; BALAN Mihail, MD; POPESCU Victor, MD; VIȘANU Vitali, MD; MELENCIUC Mihail, MD**

Data depozit: **2017.09.20**
 Durata brevetului: **6 ani**

Descrierea invenției, revendicările și desenele constituie parte integrantă a prezentului brevet de invenție de scurtă durată


Director General
 CHIȘINĂU


REPUBLICA MOLDOVA
 Agenția de Stat pentru
 Proprietatea Intelectuală

BREVET
 DE INVENȚIE
 DE SCURTĂ DURATĂ
 Nr. 1481

Eliberat în temeiul Legii nr. 50/2008 privind protecția invențiilor

Titlul: **Instalație de uscare a produselor granulate în strat de suspensie**

Titulari: **UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD; BERNIC Mireea, MD; ȚISLINSKAIA Natalia, MD; BALAN Mihail, MD; VIȘANU Vitali, MD; MELENCIUC Mihail, MD**

Data depozit: **2019.09.02**
 Durata brevetului: **6 ani**

Descrierea invenției, revendicările și desenele constituie parte integrantă a prezentului brevet de invenție de scurtă durată


Director General
 CHIȘINĂU

AGENȚIA DE STAT PENTRU PROPRIETATEA INTELECTUALĂ A REPUBLICII MOLDOVA
 DIRECȚIA BREVETE
 F-01-BI-026-I-04-0307
 STATE AGENCY ON INTELLECTUAL PROPERTY OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA
 PATENTS DIRECTION
 AGPI
 IDNO 1015601000112

nr. **14175**
 din **2021.10.15**

BALAN Mihail,
 or. Orhei, s. Trebujeni,
 MD-3552, Republica Moldova

HOTĂRÂRE
 nr.9901 din 2021.10.15

În urma examinării dosarului cererii de brevet de invenție de scurtă durată:

(21) Nr. depozit: s 2021 0006
 (22) Data depozit: 2021.02.15
 (54) Titlu: **Procedeu de uscare a semințelor de struguri**

și în temeiul art. 52(3) din Legea nr. 50/2008 privind protecția invențiilor, Direcția Brevete, Secția Examinare

HOTĂRÂȘTE

Acordarea brevetului de invenție de scurtă durată conținând următoarele date:

(13) Y
 (51) Int.Cl: **A23B 9/00 (2006.01)**
A23B 9/06 (2006.01)
A23B 9/08 (2006.01)
F26B 17/10 (2006.01)

(21) s 2021 0006
 (22) 2021.02.15
 (71)(73) UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD
 (72) BERNIC Mireea, MD; ȚISLINSKAIA Natalia, MD; BALAN Mihail, MD; VIȘANU Vitali, MD; MELENCIUC Mihail, MD; SANDU Andrei-Victor, RO; PATRAȘ Antoaneta, RO
 (54) **Procedeu de uscare a semințelor de struguri**

(57) **Rezumat**

Invenția se referă la industria alimentară, și anume la un procedeu de uscare a semințelor de struguri.

Procedeu, conform invenției, include aducerea semințelor de struguri într-o stare de strat suspendat de către un flux de aer cu o viteză de 11,4 m/s și un debit de 420 m³/h, reținerea acestora cu microunde cu o frecvență de 2450 MHz emise de un generator de microunde cu puterea de 600W și autosepararea treptată a semințelor uscate din stratul suspendat în funcție

Str. Andrei Doga nr. 24/1, MD-2024, Chișinău, Republica Moldova
 Tel: (+373-72) 400-511, (+373-22) 400-514 Fax: (+373-22) 440-119
 www.agpi.gov.md, e-mail: office@agpi.gov.md

AGENȚIA DE STAT PENTRU PROPRIETATEA INTELECTUALĂ A REPUBLICII MOLDOVA
 DIRECȚIA BREVETE
 F-01-BI-026-I-04-0307
 STATE AGENCY ON INTELLECTUAL PROPERTY OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA
 PATENTS DIRECTION
 AGPI
 IDNO 1015601000112

nr. **7695**
 din **2021.06.07**

BALAN Mihail,
 s. Trebujeni, or. Orhei,
 MD-3552, Republica Moldova

HOTĂRÂRE
 nr.9910 din 2021.06.07

În urma examinării dosarului cererii de brevet de invenție de scurtă durată:

(21) Nr. depozit: s 2020 0142
 (22) Data depozit: 2020.11.11
 (54) Titlu: **Instalație de uscare a produselor granulate în strat suspendat**

și în temeiul art. 52(3) din Legea nr. 50/2008 privind protecția invențiilor, Direcția Brevete, Secția Examinare

HOTĂRÂȘTE

Acordarea brevetului de invenție de scurtă durată conținând următoarele date:

(13) Y
 (51) Int.Cl: **A23N 12/00 (2006.01)**
F26B 3/347 (2006.01)
F26B 17/10 (2006.01)

(21) s 2020 0142
 (22) 2020.11.11
 (71)(73) UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD
 (72) BERNIC Mireea, MD; ȚISLINSKAIA Natalia, MD; BALAN Mihail, MD; VIȘANU Vitali, MD; MELENCIUC Mihail, MD; SANDU Andrei-Victor, RO; ȚURCANU Dina, MD
 (54) **Instalație de uscare a produselor granulate în strat suspendat**

(57) **Rezumat**

Invenția se referă la tehnica de uscare, în special la instalații de uscare a produselor granulate în strat suspendat, și poate fi utilizată la întreprinderile industriei alimentare, laboratoare și centre de cercetare.

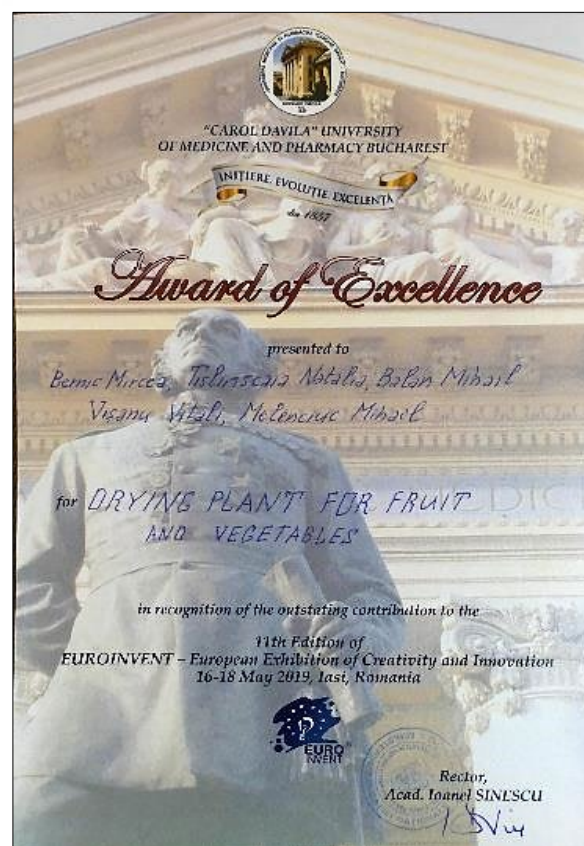
Instalația, conform invenției, conține o carcasă (1) și un tub (6). Pe carcasă (1) este montat rigid un panou de comandă (3) pentru acționarea unui inverter (2), un ventilator (4) de aspirație a aerului prin intermediul unui filtru (11), și un generator de microunde (13) cu o cameră de uscare (14), montat pe un suport (8). Pe ventilator (4) este montat tubul (6), de

Str. Andrei Doga nr. 24/1, MD-2024, Chișinău, Republica Moldova
 Tel: (+373-72) 400-511, (+373-22) 400-514 Fax: (+373-22) 440-119
 www.agpi.gov.md, e-mail: office@agpi.gov.md

Premii speciale, distincții și medalii

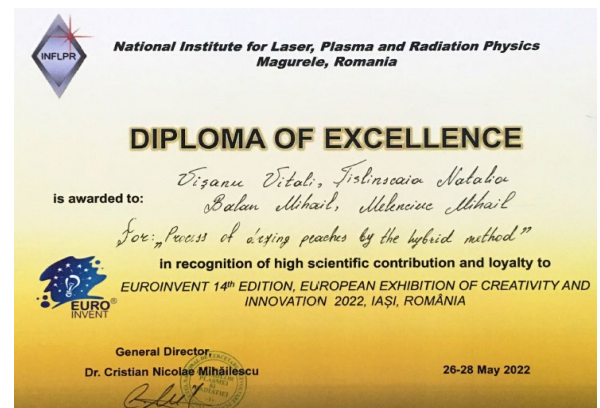
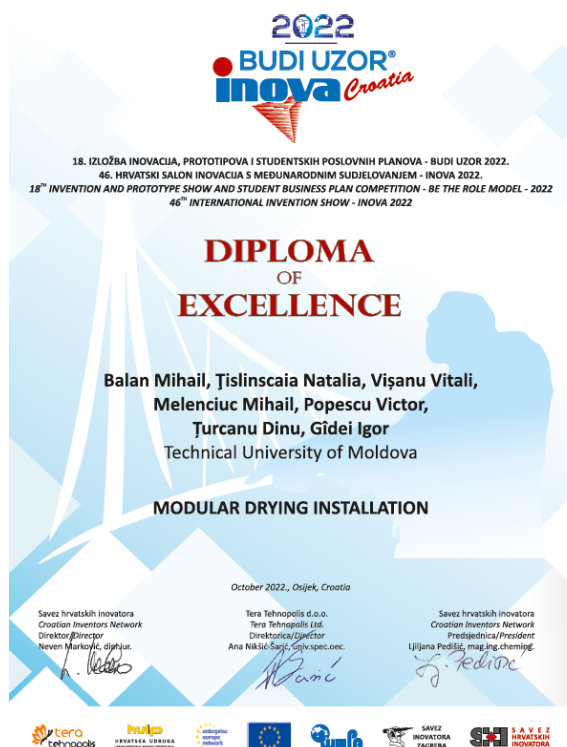














DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII

Subsemnatul Vișanu Vitali, 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.

Vișanu Vitali

Semnătura _____

Data ____/____/____

CV-ul CANDIDATULUI



europass



**Vitali
Visanu**

DATE OF BIRTH:
28/04/1989

CONTACT

Nationality: Moldovan

Gender: Male

or. Sangerei, str. Stefan Cel
Mare 85, Chisinau, str.
Studentilor 5
2045 Chisinau, Moldova

vitali.visanu@pmi.utm.md
visanuvitali@gmail.com

(+373) 069675995

Facebook: [https://
www.facebook.com/](https://www.facebook.com/)

WORK EXPERIENCE

01/09/2014 – CURRENT – Chisinau, Moldova

Lecturer in mechanical engineering
Technical University of Moldova

Preparing curricula for higher education; preparation of courses, seminars and laboratory works for the given disciplines; preparation for participation in scientific and creative conferences and symposium.

14/03/2011 – CURRENT – Chisinau, Moldova

Mechanical engineer in the food industry
Technical University of Moldova

Maintaining in good working order the existing technical equipment, in case of need to repair the equipment; adoption and preparation of facilities for laboratory or research work within the Mechanical Engineering department.

16/04/2012 – 01/09/2012 – Chisinau, Moldova

Mechanical operator at the beer bottling line
Efes Vitanta Moldova Brewery

Theoretical and practical skills in the beer bottling process, knowledge of the construction and the principle of operation of the equipment in the technological line in the beer bottling section.

EDUCATION AND TRAINING

01/09/2015 – 01/09/2019 – Chisinau, str. studentilor 9/9, Chisinau, Moldova

PhD - Food Industry processes and equipment
Technical University of Moldova, doctoral school of Food Science

01/09/2012 – 23/01/2014 – Chisinau, str. Studentilor 9/8, Chisinau, Moldova

Master - Engineering and engineering activities
Technical University of Moldova

01/09/2008 – 21/06/2012 – Chisinau, str. Studentilor 9/8, Chisinau, Moldova

Licensed Engineer - Engineering and engineering activities
Technical University of Moldova

<https://utm.md>

PROFESSIONAL SKILLS

2011 – CURRENT

Engineering abilities

As professional competencies: the ability to describe processes and devices used in the food industry, describes phenomena of mass and heat transfer; modeling and optimization of processes in the food industry, the possibility of 3D design of technological equipment; description of the construction and operation of the technological equipment in the food industry, application of calculations in the process of designing the technological equipment, assembly, disassembly, operation and diagnosis of the technological equipment; description of advanced non-traditional food processing methods.

ORGANISATIONAL SKILLS

Organizational managerial skills

In the last 5 years, responsible for the operation of technological equipment; responsible for organizing the internship for students of the 3rd and 4th academic year, full-time and 4-5 part-time; secretary in the evaluation committee and organization of the license exam; member of the team for professional orientation, member of the team responsible for the accreditation of the IM and MIFSC specialty.

LANGUAGE SKILLS

MOTHER TONGUE(S): Romanian

OTHER LANGUAGE(S):

English

Listening C1	Reading C1	Spoken production B2	Spoken interaction B2	Writing B1
-----------------	---------------	----------------------------	-----------------------------	---------------

Russian

Listening C2	Reading C1	Spoken production B2	Spoken interaction B2	Writing A2
-----------------	---------------	----------------------------	-----------------------------	---------------

DIGITAL SKILLS

Microsoft Office Teams

Microsoft Office / Google Drive / Microsoft Excel / Microsoft Powerpoint / Microsoft Teams / Microsoft Word / Outlook / Zoom

Social Group

Facebook / Skype / LinkedIn / Google Gmail / Mail

Informational means of communication in education

Moodle learning platform

Engineering projection tools

AutoCAD / CorelDRAW / SolidWorks



CONFERENCES AND SEMINARS

- > Ukraine, Kyiv, Food Technologies University State
- **Food Quality and Safety, 2019**
> Republic of Moldova, Chisinau, Technical University of Moldova
- **Modern Technologies In the Food Industry, 2014, 2016, 2018**
> Romania, Galati, Dunarea de Jos University
- **EuroAllment - Mutatis Mutandis In Food, 2017, 2019**
> Romania, Suceava, Stefan Cel Mare University
- **Biotechnologies, Present an Perspectives, 2017**

PUBLICATIONS

- **Recovery of wine-making waste**
2020 <http://repository.utm.md/handle/5014/8632>
- **Researches In the drying field of peaches**
2019 <http://cris.utm.md/bitstream/5014/305/1/InstalatiedeuscareafrectelorPosterconferinta.pdf>
- **Study of the drying process of sugar sorghum**
2018 <http://www.repository.utm.md/handle/5014/354>
- **Study of the process of drying peaches**
2018 http://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/351/Conf_UTM_2017_I_pg531-532.pdf?sequence=1
- **PEACHES CONVECTIVE DRYING**
2018 <http://repository.utm.md/handle/5014/706>
- **Electrodynamics, mass and heat transfer limit problem for microwave sistem**
2018 <http://www.repository.utm.md/handle/5014/3666>
- **Application of microwaves In the process of drying peaches**
2017 http://81.180.74.21/bitstream/handle/5014/1966/Conf_UTM_2016_II_pg103_104.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- **Plums drying process auxiliary operations mechanization**
2016 http://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/6893/MTFI_2016_pg95-98.pdf?sequence=1
- **Drying-efficient method of peaches storage**
2016 http://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/6842/MTFI_2016_pg19-24.pdf?sequence=1&isAllowed=y



INVENTION SALONS

- EuroInvent, 2018, 2019, 2020
Romania, Iasi
- Inventica 2019, 2020
Romania, Iasi
- InfoInvent, 2015, 2017, 2019
Republica Moldova, Chisinau
- ProInvent, 2018, 2019
Romania, Cluj - Napoca
- Ugal Invent, 2015, 2019
Romania, Galati

HONOURS AND AWARDS

- Medals of gold - 3 (2020), -3 (2019), -1 (2018) – EuroInvent
- Medals of gold - 2 (2019) – Inventica
- Medals of gold - 2 (2019), silver - 2 (2019/2015), bronze - 1 (2017)
– InfoInvent
- Medals of gold - 1 (2019), bronze - 1 (2015) – Ugal Invent
- Medals of gold - 1(2018) – ProInvent

CREATIVE WORKS

- „Device for uniform distribution of air in the tunnel dryer”
Patent of Invention MD 935 Z
- „Container for metered release of liquids” MD 4550
- „Installation for drying granular products in suspension layer”
MD 1249
- „Plant for electropasmolysis processing of plant products”
MD 1244
- „Drying plant for fruits and vegetables ” MD 4550
- AGEPI databases
<http://www.db.agepi.md/inventions/Statsearch?name=VISANU%20Vitali>



PROJECTS

03/01/2020 – 2024

- **Institutional Project 20.80009.5107.09**

Institutional Project 20.80009.5107.09. Improvement of food quality and safety by biotechnology and food engineering. Project director dr. Hab., Univ. Prof. STURZA Rodica;

01/07/2020 – 30/06/2021

- **National Project SARS-Co V-2, 20.70086.29/COV**

Project, Development of variable speed ventilation box for procedures generating aerosols with high risk of infection with SARS-Co V-2, 01.07.2020 - 30.06.2021.

01/01/2019 – 31/12/2019

- **Project "Young Researchers" SToVE 19.80012.50.14A**

Project "Young Researchers" SToVE 19.80012.50.14A, "Computerized mathematical simulation of transfer phenomena in wet plant products in microwave treatment", (Financing contract 21 TC of 24 May 2019). Project director dr., Associate professor GUȚU Marin;

2018 – 2019

- **Project: Contract No. 2II.**

Project: Contract No. 2II. Development and operation of the Innovation Incubator "Politehnica" and development of its infrastructure by strengthening the capacities for promoting and disseminating TUM innovations. Director: Mircea BERNIC, Dr. hab.

2014 – 2019

- **Institutional Project 15.187.05.04F**

Institutional Project 15.187.05.04F, "Increasing the effectiveness of dehydration processes of plant products using non-traditional methods of energy intake." Project director dr. Hab., Univ. Prof. BERNIC Mircea

DRIVING LICENCE

- Driving Licence: A
- Driving Licence: B
- Driving Licence: C

HOBBIES AND INTERESTS

- Sport (volleyball, basketball, football)
- Nature walks, tent trips, fishing ...