

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlul de manuscris
C.Z.U. 66.047.31.5:663.26(043)

BALAN MIHAIL

**PROCESUL DE USCARE A SEMINTELOR DE STRUGURI ÎN
STRAT SUSPENDAT**

253.05 Procese și aparate în industria alimentară

Teză de doctor în științe inginerești

Conducător științific:

BERNIC Mircea dr. hab, prof. univ.

ȚISLINSKAIA Natalia

dr., conf. univ. _____

Consultant științific:

STURZA Rodica

dr. hab., prof. univ. _____

TATAROV Pavel

dr. hab., prof. univ. _____

POPESCU Liliana

dr., conf. univ. _____

Autor:

BALAN Mihail _____

CHIȘINĂU, 2022

© Balan Mihail, 2022

MULȚUMIRI

O etapă importantă în viața mea a fost marcată de colaborarea strânsă pe care am avut-o cu regretatul Mircea Bernic, prof. univ., dr. hab. în cadrul domeniului de cercetare, dar și în calitate de conducător al tezei de doctorat.

La finalizarea acestei etape, îi aduc cel mai înalt omagiu coordonatorului meu științific care m-a ghidat mereu spre direcții noi de cercetare, spre descoperirea tărâmurilor tainice de invenții și idei, care mi-a dat sfaturi de neprețuit atunci, când stăteam la cumpene și care m-a îndrumat atunci, când mi-a fost greu.



Vă mulțumesc mult stimate domnule profesor pentru sprijinul pe care l-am avut din partea dumneavoastră, pentru curajul pe care mi l-ați insuflat atunci când a fost nevoie, pentru succesele pe care le-am obținut împreună, pentru munca asiduă pe care ați dedicat-o de-a lungul timpului, dar mai ales pentru formarea mea ca om.

Îmi pare foarte rău că ați plecat dintre noi atât de repede. Aș fi dorit ca succesul obținut prin depășirea acestei etape să-l împart cu dumneavoastră, dar timpul este prea crud ca să mai pot schimba ceva.

Dedic această teză regretatului Bernic Mircea, prof. univ., dr. hab.

CUPRINS

ADNOTARE	6
Lista tabelelor	9
Lista figurilor	11
Lista abrevierilor	13
INTRODUCERE	14
1 ASPECTE TEORETICE ALE PROCESULUI DE USCARE ÎN STRAT SUSPENDAT	22
1.1 Noțiuni teoretice ale procesului de uscare a produselor horticoale sămânțoase	22
1.2 Aerodinamica particulei aflată în strat suspendat	31
1.3 Tehnica și tehnologiile moderne de uscare ale semințelor de struguri	36
1.4 Direcții de perfecționare ale proceselor de uscare a semințelor de struguri	47
1.5 Caracteristica semințelor de struguri	50
Concluzii la capitolul 1	54
2 MATERIALE ȘI METODE DE CERCETARE	55
2.1 Semințele de struguri ca obiect de studiu	55
2.1.1 Proprietățile termofizice ale semințelor de struguri utilizate pentru simularea 3D	55
2.1.2 Metodologia determinării proprietăților aerodinamice ale semințelor de struguri	56
2.1.3 Determinarea proprietăților fizico-mecanice ale semințelor de struguri	62
2.1.4 Microscopia electronică a semințelor de struguri	63
2.2 Instalația de laborator pentru studiul cineticii procesului de uscare	64
2.3 Determinarea indicilor de calitate ale semințelor de struguri	65
2.3.1 Pregătirea probelor de semințe de struguri	65
2.3.2 Metode fizico-chimice de determinare a indicilor de calitate a semințelor de struguri	66
2.3.3 Metode de determinare a stabilității oxidative a uleiului extras din semințe de struguri	66
2.4 Modelarea matematică a datelor experimentale	68
2.5 Prelucrarea statistică a datelor experimentale	70
Concluzii la capitolul 2	72
3 OPTIMIZAREA PROCESULUI DE USCARE A SEMINȚELOR DE STRUGURI ÎN STRAT SUSPENDAT	73
3.1 Modelarea matematică a mișcării semințelor de struguri aflate în strat suspendat	73
3.2 Simularea 3D a mișcării semințelor de struguri în tub aerodinamic	79
3.3 Standul experimental de determinare a proprietăților aerodinamice	83

3.4 Modelarea matematică a procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri	85
3.5 Simularea 3D a procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri	87
3.6 Standul experimental pentru studiul cineticii procesului de uscare în strat suspendat	89
3.7 Determinarea proprietăților fizico-mecanice ale semințelor de struguri	93
Concluzii la capitolul 3	97
4 CINETICA PROCESULUI DE USCARE ÎN STRAT SUSPENDAT A SEMINȚELOR DE STRUGURI	98
4.1 Cinetica procesului de uscare prin convecție a semințelor de struguri	98
4.2 Cinetica procesului de uscare a semințelor de struguri în câmp SHF	100
4.3 Cinetica procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri, asistată de convecție	103
4.4 Cinetica procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri, asistată de SHF	105
4.5 Studiul indicilor de calitate a probelor de semințe de struguri uscate prin diferite metode	109
4.5.1 Analiza caracteristicilor fizice a semințelor de struguri	109
4.5.2 Analiza calității uleiului din semințe de struguri	111
4.6 Realizarea tehnică a procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri	115
4.6.1 Consumul energetic pentru tehnologia uscării în strat suspendat	116
4.6.2 Consumul energetic pentru tehnologia uscării convenționale	118
Concluzii la capitolul 4	121
CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI	123
BIBLIOGRAFIE	126
ANEXE	141
Declarația privind asumarea răspunderii	160
CV-ul candidatului	161

ADNOTARE

Balan Mihail, „Procesul de uscare a semințelor de struguri în strat suspendat”, Teză de doctor în vederea conferirii titlului științific de doctor în științe inginerești, or. Chișinău, Republica Moldova, 2022.

Structura tezei: teza este constituită din introducere, patru capitole, concluzii și recomandări, bibliografie din 228 titluri, 3 anexe, 112 pagini de text de bază, 37 figuri, 46 tabele.

Cuvinte cheie: semințe de struguri, instalație de uscare, convecție, microunde, strat suspendat, simulare 3D, cinetica procesului de uscare, ulei din semințe de struguri.

Scopul lucrării: Uscarea semințelor de struguri în strat suspendat, modelarea matematică a procesului de uscare, proiectarea și elaborarea instalației, studiul cineticii procesului de uscare.

Obiectivele cercetării: 1. Analiza direcțiilor și tehnicilor noi de uscare a produselor agroalimentare; 2. Studiul semințelor de struguri ca obiect de cercetare; 3. Elaborarea modelului matematic pentru procesul de uscare a semințelor de struguri aflate în strat suspendat; 4. Simularea computerizată 3D a procesului de uscare în strat suspendat pentru semințele de struguri; 5. Studiul cineticii procesului de uscare pentru semințele de struguri; 6. Proiectarea și elaborarea echipamentului pentru uscarea în strat suspendat.

Noutatea și originalitatea științifică: În urma cercetărilor procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri, au fost constatate următoarele: s-a redus durata de uscare a semințelor de struguri pentru convecție cu 60 min, pentru SHF cu 45 min; a fost redus consumul de energie pentru convecție cu 12%, pentru SHF cu 31%. Această metodă permite selectarea automată a semințelor deja uscate din masa totală de semințe și înlăturarea acestora din zona de prelucrare termică, micșorând astfel durata de tratare termică, și indicii de aciditate.

Rezultatele obținute: A fost elaborată metoda de tratare termică a materiei prime sămânțoase în strat suspendat. S-a constatat, că metoda inovativă de uscare în strat suspendat pentru semințe de struguri este eficientă din punct de vedere calitativ și energetic. A fost demonstrat, că uscarea în strat suspendat reduce maxim durata de tratare termică a semințelor de struguri; reduce indicii de aciditate ai uleiului obținut din semințe de struguri deshidratate în strat suspendat, ceea ce influențează pozitiv calitatea lui. Din punct de vedere energetic metoda uscării în strat suspendat presupune micșorarea cheltuielilor până la 31% față de metoda clasică de uscare, ceea ce prezintă un indice important pentru implementarea tehnologiei date.

Semnificația teoretică: Au fost obținute noi rezultate științifice referitor la uscarea semințelor de struguri în strat suspendat, care eficientizează procesul de uscare, prin micșorarea duratei de tratare termică și sporirea indicilor de calitate ai semințelor.

Valoarea aplicativă se referă la aplicarea metodei inovative de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri și stabilirea parametrilor optimi ai procesului tehnologic.

Implementarea rezultatelor științifice: A fost proiectată și elaborată instalația de laborator pentru uscarea în strat suspendat a semințelor de struguri, în baza căreia au fost obținute șase brevete de invenții: MD 1249 din 15.02.2018; MD 1278 din 30.03.2018; MD 1278 din 31.03.2019; MD1481 din 07.06.2021; Hotărâre acordare brevet nr. 9901, din 15.10.2021; Hotărâre acordare brevet nr. 9902, din 15.10.2021 și au fost depuse patru cereri de brevet: nr. 2142 din 2020.11.11; nr. 2243 din 27.09.2021; nr. 2244 din 27.09. 2021; nr. 2245 din 27.09.2021. De asemenea rezultatele obținute au fost implementate pentru modernizarea instalației de uscare a semințelor de struguri din cadrul întreprinderii S.C. AZAMET-GRUP S.R.L..

АННОТАЦИЯ

Балан Михаил, „Процесс сушки косточек винограда во взвешенном слое” диссертация на соискание ученой степени доктора инженерных наук г.Кишинев, Республика Молдова 2022 г.

Структура диссертации: диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и рекомендаций, библиографии из 228 наименований, 3 приложений, 112 страниц основного текста, 37 рисунков, 46 таблиц.

Ключевые слова: виноградные косточки, сушильная установка, конвекция, микроволны, взвешенный слой, 3D-моделирование, кинетика процесса сушки, масло из виноградных косточек.

Цель работы: Сушка виноградных косточек во взвешенном слое, математическое моделирование процесса сушки, проектирование и разработка установки, исследование кинетики процесса сушки.

Задачи исследования: 1. Анализ новых направлений и технологий сушки агропродовольственных товаров; 2. Изучение косточек винограда как объекта исследования; 3. Разработка математической модели процесса сушки косточек винограда во взвешенном слое; 4. Компьютерное 3D моделирование процесса сушки виноградных косточек во взвешенном слое; 5. Изучение кинетики процесса сушки виноградных косточек; 6. Проектирование и разработка оборудования для сушки во взвешенном слое.

Новизна и научная оригинальность. В результате исследований процесса сушки виноградных косточек во взвешенном слое установлено: время сушки виноградных косточек при конвекции сократилось на 60 мин, при СВЧ на 45 мин; энергозатраты на конвекцию снижены на 12 %, на СВЧ на 31 %. Этот метод позволяет автоматически выделять из общей массы высушенные косточки и удалять их из зоны термической обработки, что позволяет сократить время термической обработки и показатели кислотности.

Полученные результаты. Разработан метод термической обработки косточек во взвешенном слое. Установлено, что инновационный способ сушки во взвешенном слое виноградных косточек эффективен с точки зрения качества и энергии. Показано, что сушка во взвешенном слое значительно сокращает продолжительность термической обработки косточек винограда; снижает кислотность масла, полученного из обезвоженных косточек винограда во взвешенном слое, что положительно влияет на его качество. С энергетической точки зрения метод сушки во взвешенном слое предполагает снижение затрат до 31% по сравнению с классическим методом сушки, что является важным показателем для реализации данной технологии.

Теоретическая значимость: получены новые научные результаты по сушке косточек винограда во взвешенном слое, что позволяет упростить процесс сушки, за счет сокращения продолжительности термической обработки и повышения качественных показателей косточек.

Практическое значение докторской диссертации относится к применению инновационного метода сушки виноградных косточек во взвешенном слое и установлению оптимальных параметров технологического процесса.

Внедрение научных результатов. Была спроектирована и разработана лабораторная установка для сушки во взвешенном слое косточек винограда, на основании которой получено шесть патентов на изобретения: MD 1249 от 15.02.2018; MD 1278 от 30.03.2018; MD 1278 от 31.03.2019; MD 1481 от 07.06.2021; Решение о выдаче патента №. 9901 от 15.10.2021; Решение о выдаче патента №. 9902 от 15.10.2021 и поданы четыре заявки на изобретения: №. 2142 от 11.11.2020; №. 2243 от 27.09.2021; №. 2244 от 27.09.2021; № 2245 от 27.09.2021. Также полученные результаты были внедрены для модернизации установки по сушке виноградных косточек в рамках S.C. AZAMET-GRUP S.R.L..

SUMMARY

Balan Mihail, “The process of drying grape seeds in suspended layer”, the thesis for the degree of Doctor in engineering sciences, Chisinau, Republic of Moldova, 2022.

The thesis structure: the thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions and recommendations, a bibliography of 228 titles, 3 appendices, 112 pages of basic text, 37 figures, 46 tables.

Keywords: grape seed, drying plant, convection, microwave, suspended layer, 3D simulation, kinetics of drying process, grape seed oil.

The purpose of the paper: Drying of grape seeds in a suspended layer, mathematical modeling of the drying process, design and elaboration of the installation, study of the kinetics of the drying process.

The research objectives: 1. Analysis of new directions and techniques for drying agri-food products; 2. The study of grape seeds as a research object; 3. Elaboration of the mathematical model for the drying process of the suspended grape seeds; 4. Computerized 3D simulation of the suspended layer drying process for grape seeds; 5. Study of the kinetics of the drying process for grape seeds; 6. Design and development of equipment for drying in a suspended layer.

The novelty and scientific originality. Following the researches of the process of drying the grape seeds in a suspended layer, the following were found: the drying time of the grape seeds for convection was reduced by 60 min, for SHF by 45 min; energy consumption for convection was reduced by 12%, for SHF by 31%. This method allows the automatic selection of already dried seeds from the total seed mass and their removal from the heat processing area, thus reducing the heat treatment time, and acidity indices.

The results obtained. The method of heat treatment of the seed raw material in a suspended layer was developed. It has been found that the innovative method of drying in a suspended layer for grape seeds is efficient in terms of quality and energy. It has been shown that drying in a suspended layer greatly reduces the duration of heat treatment of grape seeds; reduces the acidity of the oil obtained from dehydrated grape seeds in a suspended layer, which positively influences its quality. From an energy point of view, the suspended layer drying method involves a reduction of costs by up to 31% compared to the classic drying method, which is an important index for the implementation of this technology.

Theoretical significance: New scientific results have been obtained regarding the drying of grape seeds in a suspended layer, which streamlines the drying process, by reducing the duration of heat treatment and increasing the quality indices of the seeds.

The applicative value of the paper refers to the application of the innovative method of suspension drying of grape seeds and the establishment of optimal parameters of the technological process.

Implementation of scientific results. The laboratory installation for the drying in a suspended layer of the grape seeds was designed and elaborated, based on which six patents of inventions were obtained: MD 1249 from 15.02.2018; MD 1278 of 30.03.2018; MD 1278 of 31.03.2019; MD1481 from 07.06.2021; Patent granting decision no. 9901, dated 15.10.2021; Patent granting decision no. 9902, of 15.10.2021 and four patent applications were filed: no. 2142 of 11.11.2020; no. 2243 of 27.09.2021; no. 2244 of 27.09.2021; no. 2245 of 27.09.2021. Also, the results obtained were implemented for the modernization of the grape seed drying plant within the S.C. AZAMET-GRUP S.R.L..

Lista tabelelor

Tabelul 2.1	Proprietățile termofizice ale semințelor de struguri în raport cu alte produse	55
Tabelul 2.2	Variația coeficientului "c" în dependență de diametrul echivalent al seminței	58
Tabelul 2.3	Valorile factorului de formă a produsului	59
Tabelul 2.4	Vitezele de plutire pentru diverse produse horticoale sămânțoase	60
Tabelul 2.5	Valorile coeficientului α în funcție de diametrul echivalent al semințelor	60
Tabelul 2.6	Lungimi echivalente ale coturilor de tub cu unghiul de 90°	61
Tabelul 2.7	Valorile coeficientului de corecție ale lungimii coturilor cu unghiuri mai mici de 90°	61
Tabelul 2.8	Proprietățile fizico-mecanice ale semințelor de struguri	62
Tabelul 2.9	Parametrii tehnologici de uscare a semințelor de struguri	65
Tabelul 3.1	Parametrii tubului 1	74
Tabelul 3.2	Parametrii obținuți după (3.2) pentru tubul 1	74
Tabelul 3.3	Parametrii tubului 2	75
Tabelul 3.4	Parametrii obținuți după (3.3) pentru tubul 2	75
Tabelul 3.5	Parametrii tubului 3	75
Tabelul 3.6	Parametrii obținuți după (3.4) pentru tubul 3	75
Tabelul 3.7	Parametrii tubului 4	76
Tabelul 3.8	Parametrii obținuți după (3.5) pentru tubul 4	76
Tabelul 3.9	Parametrii tubului 5	76
Tabelul 3.10	Parametrii obținuți după (3.6) pentru tubul 5	76
Tabelul 3.11	Parametrii tubului 6	77
Tabelul 3.12	Parametrii obținuți după (3.7) pentru tubul 6	77
Tabelul 3.13	Parametrii tubului 7	77
Tabelul 3.14	Parametrii obținuți după (3.8) pentru tubul 7	77
Tabelul 3.15	Parametrii tubului 8	78
Tabelul 3.16	Parametrii obținuți după (3.9) pentru tubul 8	78
Tabelul 3.17	Forța critică de strivire pentru semințe până la uscarea în strat suspendat	93
Tabelul 3.18	Forța de strivire la care este supusă sămânța până la uscarea în strat suspendat	93
Tabelul 3.19	Forța critică de strivire pentru semințe după uscarea în strat suspendat	94
Tabelul 3.20	Forța de strivire la care este supusă sămânța după uscarea în strat suspendat	94
Tabelul 4.1	Caracteristica regimurilor de uscare pentru semințele de struguri uscate prin metoda clasică	102
Tabelul 4.2	Caracteristica regimurilor de uscare pentru semințele de struguri uscate în strat suspendat	107
Tabelul 4.3	Valori de referință pentru cinetica procesului de uscare în strat suspendat	108

Tabelul 4.4	Indicii de calitate ai semințelor de struguri uscate prin convecție	109
Tabelul 4.5	Indicii de calitate ai semințelor de struguri uscate în strat suspendat, cu aplicarea convecției	109
Tabelul 4.6	Indicii de calitate ai semințelor de struguri uscate cu aplicarea microundelor (SHF)	110
Tabelul 4.7	Indicii de calitate ai semințelor de struguri uscate în strat suspendat, cu aplicarea microundelor (SHF)	110
Tabelul 4.8	Rezultatele analizei senzoriale ai uleiului extras din semințe de struguri uscate prin diferite metode	111
Tabelul 4.9	Indicii de calitate ai uleiului extras din semințe de struguri uscate prin convecție	112
Tabelul 4.10	Indicii de calitate ai uleiului extras din semințe de struguri uscate în strat suspendat, cu aplicarea convecției	112
Tabelul 4.11	Indicii de calitate ai uleiului extras din semințe de struguri uscate cu aplicarea SHF	113
Tabelul 4.12	Indicii de calitate ai uleiului extras din semințe de struguri uscate în strat suspendat cu aplicarea SHF	114
Tabelul 4.13	Consumul energetic pentru tehnologia de uscare în strat suspendat cu aplicarea convecției	116
Tabelul 4.14	Consumul energetic pentru tehnologia de uscare în strat suspendat cu aplicarea microundelor (SHF)	117
Tabelul 4.15	Consumul energetic pentru tehnologia de uscare convențională prin convecție	118
Tabelul 4.16	Consumul energetic pentru tehnologia de uscare convențională prin microunde (SHF)	119
Tabelul 4.17	Diferența consumului de energie dintre instalația de uscare în strat suspendat și instalația de uscare clasică	120

Lista figurilor

Fig. 1.1	Reprezentarea soluției numerice pentru ecuațiile lui Maxwell la o mulțime de electroni	30
Fig. 1.2	Combinarea CFD-DEM cu modelul de uscare	35
Fig. 1.3	Schema uscătorului hibrid cu pompă de căldură, asistat de radio frecvență	38
Fig. 1.4	Schema uscătorului hibrid în pat fluidizat, asistat de pompa de căldură	40
Fig. 1.5	Schema uscătorului cu microunde în vid, dotat cu trei zone de uscare	43
Fig. 1.6	Schema-concept al uscătorului în pat fluidizant asistat de microunde	44
Fig. 1.7	Schema-concept al uscătorului în pat rotativ cu jet de presiune	46
Fig. 1.8	Structura boabelor de struguri	52
Fig. 1.9	Compoziția chimică a semințelor de struguri	53
Fig. 2.1	Forțele care acționează asupra seminței de struguri aflată în strat suspendat	56
Fig. 2.2	Instalația de uscare tip tunel	64
Fig. 3.1	Repartizarea celor 6 puncte pe înălțimea tubului aerodinamic	74
Fig. 3.2	Parametrii variabili ai tubului aerodinamic pentru strat suspendat	79
Fig. 3.3	Parametrii geometrici optimi ai tubului aerodinamic pentru simulare 3D	80
Fig. 3.4	Simularea 3D a câmpului de viteză a aerului prin tubul aerodinamic 4	81
Fig. 3.5	Simularea 3D a câmpului de presiune a aerului prin tubul aerodinamic 4	82
Fig. 3.6	Instalația pentru studiul proprietăților aerodinamice: a) proiectată în 3D; b) proiectată în condiții de laborator.	83
Fig. 3.7	Simularea 3D pentru procesul de uscare în strat suspendat asistat de microunde (SHF)	87
Fig. 3.8	Simularea 3D pentru procesul de uscare în strat suspendat asistat de convecție	88
Fig. 3.9	Instalație pentru uscarea semințelor de struguri în strat suspendat	89
Fig. 3.10	Tubul aerodinamic pentru stratul suspendat	90
Fig. 3.11	Instalație de laborator pentru uscarea semințelor de struguri în strat suspendat	91
Fig. 3.12	Zona inferioară C a tubului 6	92
Fig. 3.13	Zona superioară A a tubului 6	92
Fig. 3.14	Analiza microscopică a suprafeței semințelor de struguri uscate prin metoda convențională	95
Fig. 3.15	Analiza microscopică a suprafeței semințelor de struguri uscate în strat suspendat	96
Fig. 4.1	Curbele scăderii conținutului de umiditate, uscarea prin convecție	98
Fig. 4.2	Curbele vitezei procesului de uscare prin convecție	99
Fig. 4.3	Curbele scăderii conținutului de umiditate, uscarea prin SHF	100
Fig. 4.4	Curbele vitezei procesului de uscare prin SHF	101

Fig. 4.5	Aspectul semințelor de struguri uscate prin convecție (a) și cu aplicarea microundelor (b)	102
Fig. 4.6	Curbele scăderii conținutului de umiditate, uscarea în strat suspendat, asistată de convecție	103
Fig. 4.7	Curbele vitezei procesului de uscare în strat suspendat, asistat de convecție	104
Fig. 4.8	Curbele scăderii conținutului de umiditate, uscarea în strat suspendat, asistată de SHF	105
Fig. 4.9	Curbele vitezei procesului de uscare în strat suspendat, asistat de SHF	106
Fig. 4.10	Aspectul semințelor de struguri uscate în strat suspendat prin convecție (a) și uscate în strat suspendat cu aplicarea microundelor (b)	107
Fig. 4.11	Instalația de uscare în strat suspendat proiectată de autor	115

Lista abrevierilor

- A - proiecția seminței de struguri pe direcție perpendiculară a curentului de aer, [m²];
- C_e - costul total al energiei consumată de instalație, [lei];
- CFD - dinamica computerizată a fluidelor (computational fluid dynamics);
- C_h - costul energiei consumată de instalație într-o oră, [lei/h].
- DEM - metoda elementelor discrete (discrete element method);
- ε - permitivitatea electrică, [F/m];
- FBD - uscarea în pat fluidizant;
- F_d - forța dinamică cu care curentul de aer acționează asupra seminței, [N];
- H - înălțimea tubului aerodinamic (camerei de uscare), [m];
- IAQ - calitatea aerului interior;
- IR - unde infraroșii, [Hz];
- L - lungimea tubului, [m];
- P - probabilitatea, [%];
- p - presiunea din tub, [Pa];
- PDA - pierderi și deșeuri alimentare;
- PID - controlor proporțional integral derivat;
- RF - radio frecvență, [Hz];
- SHF - frecvență supraînaltă, [MHz];
- t - temperatura produsului, [°C];
- u - umiditatea produsului, [%];
- UPC - uscător cu pompă de căldură;
- v_p - viteza de plutire a seminței de struguri, [m/s];
- v_a - viteza agentului termic de uscare, [m/s];
- $\frac{du}{dt}$ - viteza procesului de uscare, [%/min];
- α - unghiul de înclinare față de orizontală a laturii tubului, [°];
- μ - permeabilitatea magnetică, [H/m];
- τ - durata procesului, [min];
- 3D - tridimensional;
- 2D - bidimensional;

INTRODUCERE

Actualitatea și importanța temei abordate

Sectorul agroalimentar include o serie de industrii specializate, cum ar fi cea a conservelor, cărnii, vinificației etc. Aceste industrii transformă materiile prime agricole în produse cu valoare adăugată. Industria de prelucrare a fructelor și legumelor este segmentul cel mai mare pe piața mondială, care are o creștere rapidă și care comercializează diverse produse precum sucuri, dulceturi, produse din carne, produse de patiserie, produse deshidratate etc. Cu toate acestea, prelucrarea acestor alimente generează o cantitate mare de deșeuri, care spre regret sunt utilizate neeficient.

Datorită creșterii numărului de populație la nivel mondial, utilizarea irațională a resurselor naturale generează risipă și stagnează aprovizionarea cu produse alimentare din cauza deficitului de resurse, acesta fiind în continuă creștere. Economia circulară oferă diverse instrumente de raționalizare pentru valorificarea deșeurilor, acestea fiind unele dintre cele mai bune alternative pentru atenuarea consumului excesiv de materii prime și reducerea deșeurilor. Diminuarea pierderilor și risipei de produse alimentare, fiind valorificată prin utilizarea ei ca materie primă oferă compuși bioactivi, enzime și nutrienți, care servesc în calitate de adaos în procesul de producere în industria alimentară, farmaceutică și cosmetologică. Lipsa de materii prime pentru procesul de producție a produselor alimentare la nivel mondial a generat un dezechilibru de mediu economic și social, determinând exploatarea nelimitată a resurselor naturale, creșterea costului produselor alimentare și de asemenea creșterea zilnică a numărului de persoane care suferă de deficit alimentar [1].

Potrivit Programului Alimentar Mondial, aproximativ 250 de milioane de oameni suferă de insuficiență alimentară extremă în întreaga lume, ceea ce încalcă obiectivul principal, care presupune ca până în 2030 problema insuficienței produselor alimentare să fie redusă la zero [2]. Modelul actual al economiei este bazat pe modelul revoluției industriale, care presupune asigurarea constantă de produse cu o durată de păstrare ridicată, stimulând astfel procesul de producere pentru a satisface nevoile constante ale consumatorului. Produsele secundare ale industriei agroalimentare (coji, semințe de struguri, tescovină etc.) sunt utile datorită conținutului lor de compuși bioactivi (fenoli, lipide, carotenoide, polifenoli și acizi grași), fibre și enzime ce prezintă interes pentru producerea alimentelor funcționale și medicamentelor, precum și antioxidanți care pot fi utilizați în industria cosmetologică [3].

Aceste produse secundare reprezintă pierderi și deșeuri alimentare (PDA), care se referă la declinul lor succesiv în lanțul de aprovizionare cu produse alimentare pentru consum [4]. Generarea de PDA la nivel mondial este mult mai mare în țările dezvoltate. Potrivit lui Van der Werf și Gilliland [5], în țările dezvoltate PDA ocupă un volum de 198,9 kg/an pe cap de locuitor.

În Statele Unite, PDA acoperă 40% din întregul lanț de producție alimentară [6]. Africa de Nord și Asia de Vest și Centrală reprezintă 32% din volumul global de PDA [7]. Continentul european reprezintă o treime din PDA generată la nivel mondial, în timp ce în America Latină, PDA este estimat la 15% din producția totală de alimente, ceea ce reprezintă 6% din PDA la nivel mondial. Prin urmare, generarea și acumularea de PDA implică un impact semnificativ asupra biodiversității, sănătății umane și schimbărilor climatice [8, 9]. Pentru gestionarea corectă a acestor subproduse este necesară o schimbare decisivă pentru sistemul de producere din domeniul agroalimentar.

Adoptarea modelelor și instrumentelor economiei circulare prezintă o opțiune eficientă pe termen mediu și lung pentru reutilizarea sau recuperarea resurselor naturale și a produselor secundare derivate din procesul de producere [10].

Scopul de bază este reutilizarea subproduselor ca materie primă pentru obținerea produselor noi benefice pentru sănătate cu valoare adăugată și crearea tehnologiilor durabile de extragere a componentelor nutritive [11].

Potrivit raportului demografic, populația mondială se ridică la 7625 de milioane de oameni, cu o rată anuală de creștere de aproximativ 74 de milioane de oameni [12]. Organizația Națiunilor Unite (ONU) a estimat că până în anul 2050 populația va ajunge la 9,2 miliarde de oameni. Creșterea populației generează, de asemenea, mai multe resurse naturale și consum de alimente. În ciuda acestui fapt, resursele actuale sunt limitate pentru a furniza hrana necesară populației în creștere și generarea de cantități mari de deșeuri. Aceste deșeuri sunt transportate la gropile de gunoi sanitare în fiecare an, reducând terenul disponibil pentru agricultură, provocând prejudicii sănătății și mediului înconjurător. Ca răspuns la această problemă, utilizarea sau reutilizarea deșeurilor ar facilita aprovizionarea cu alimente a populației în creștere, reducând utilizarea irațională a resurselor de consum uman [13].

Economia circulară limitează utilizarea excesivă a materiilor prime și energiei, evitând astfel generarea inutilă de deșeuri. Ea presupune un sistem, în care produsele sunt prelucrate în așa mod, încât generarea de deșeuri să fie minimă sau eliminată în totalitate, implementând un sistem, în care produsul este conceput pentru a-i oferi o a doua viață utilă, cu valoare adăugată și, de asemenea, cu reducerea energiei și consumului de materie primă [14].

Risipa alimentară generează în prezent principala problemă pentru resursele naturale, provocând instabilitate mediului și daune aduse sănătății publice. Pe parcursul a mai mulți ani soluția a fost să le aruncăm în calitate de deșeu sau să le ardem în alt mod pentru a reduce cantitatea de deșeuri acumulată pe terenurile respective. Din cauza acestei probleme, unele țări din întreaga lume au dezvoltat și implementat tehnologii pentru a genera utilizarea eficientă și valorificarea deșeurilor agroalimentare, evitând astfel aruncarea acestora la gropile de gunoi și reducerea cantității lor [15].

De-a lungul timpului, comerțul și industria agroalimentară s-a caracterizat prin inovații tehnologice, care implementează procese de producere cu eficacitate sporită, urmărind reducerea costurilor și creșterea competitivității pe piața globală. Scopul principal urmărește satisfacerea nevoilor pentru diferite segmente de consumatori prin implementarea noilor tehnologii [16].

Procesele de producție ale sectorului agricol în industria agroalimentară presupun transformarea materiei prime în produs finit și distribuția ulterioară către consumator. Una din tehnologiile, care se încadrează în procesul de prelucrare a deșeurilor agroindustriale este uscarea. Uscarea este un proces tehnologic, care presupune îndepărtarea apei pentru a preveni dezvoltarea microorganismelor, care pot provoca procesul de descompunere și diminuează reacțiile adverse în prezența apei [17].

Principiul uscării este eliminarea conținutului de apă din alimente prin deshidratare. Aceasta are loc prin circularea aerului cald, oprirea enzimelor și a activității microorganismelor. Procesul de uscare a produselor agroalimentare presupune transformarea fazei lichide ce se conține în produs, în fază gazoasă. Eliminarea umidității din produs este posibilă prin utilizarea agentului termic (aer cald). Tehnicile de uscare a produselor agroalimentare au fost aplicate cu mult timp în urmă prin moduri convenționale, cum sunt uscarea la soare sau eoliană. Aceste metode la momentul actual sunt utilizate, deoarece sunt considerate mai eficiente din punct de vedere economic, pentru că este aplicată energia naturală, care dispune de un potențial nelimitat. Dezavantajele acestor metode sunt: instabilitatea parametrilor tehnologici ce depind de condițiile meteorologice și care afectează viteza de uscare; durată sporită de tratare termică; degradarea semnificativă a nutrienților și a compușilor bioactivi [18].

Tradițional instalațiile de uscare sunt utilizate în marea majoritate pentru un singur tip de deshidratare cu aplicarea unui singur tip de transfer al căldurii către produs. De exemplu, instalația de uscare tip tunel prevede uscarea cu aer cald sau convectivă, unde în camera de uscare sunt amplasate cărucioarele, în care tavele cu produs sunt etajate [19].

O dată cu progresul tehnologiilor de uscare, instalațiile din domeniu au fost modernizate prin îmbunătățirea caracteristicilor tehnice față de uscătoarele tradiționale și sporirea indicilor de calitate a produsului finit. De exemplu, deshidratarea prin liofilizare dă posibilitatea de a obține un produs uscat cu indici de calitate sporiți. Un alt exemplu este uscătorul cu pompă de căldură, care are posibilitatea de a funcționa la un randament mai avansat în comparație cu uscătorul de tip tunel, deoarece căldura latentă de la produsele umede poate fi recuperată și utilizată pe tot parcursul procesului tehnologic. Încă un exemplu ar fi uscătorul cu abur supraîncălzit, care este capabil să prevină oxidarea produsului, datorită lipsei oxigenului din camera de uscare.

Progresul rapid al tehnologiilor de uscare și, desigur, cerințele consumatorilor pentru produse de o calitate înaltă la preț rezonabil, dictează necesitatea combinării a mai multor tehnici de uscare, ce au la bază dezvoltarea potențialului uscătoarelor hibride. Instalațiile de uscare hibride oferă posibilitatea de a optimiza cinetica de uscare și calitatea produsului finit, păstrând compușii nutritivi și biologici activi.

Au fost testate diferite metode pentru a dezvolta tehnici noi de uscare în scopul reducerii conținutului de umiditate, minimizarea degradării componentelor bioactive cauzată de modificări biochimice și prevenirea diminuării valorii nutritive în timpul procesului de uscare [20].

Tehnologiile de uscare trebuie să întrunească un șir de cerințe: asigurarea calității produsului, consum de energie redus, capacitate de producere avansată, asigurarea directivelor pentru durabilitatea mediului etc.

Tehnologiile și tehnicile moderne de uscare tind să asigure unul sau mai multe dintre următoarele criterii de eficiență:

- Sporirea calității produsului;
- Reducerea consumului de energie pe parcursul procesului de uscare;
- Capacitate de încărcare sporită a instalațiilor de uscare;
- Productivitate înaltă în raport cu consumul de energie;
- Diminuarea și stagnarea emisiilor de gaze cu efect de seră în mediul înconjurător;
- Obținerea unor noi produse cu proprietăți și caracteristici speciale;
- Posibilitatea combinării a două sau mai multe operații tehnologice în aceeași instalație;
- Monitorizarea și controlul parametrilor tehnologici pe parcursul procesului;
- Reducerea implicării factorului uman pe parcursul procesului tehnologic de uscare [20].

Noile tehnologii de uscare a produselor agroalimentare sunt bazate pe combinarea metodelor existente de deshidratare și obținerea unor metode hibride:

- Uscarea cu pompa de căldură asistată de radio frecvență;
- Uscarea convectivă asistată de raze infraroșii;
- Uscarea în pat fluidizant, asistată de pompa de căldură;
- Uscarea prin convecție și liofilizare în pat fluidizant cu pompa de căldură;
- Uscarea cu microunde în mediu vidat;
- Uscarea cu microunde și abur supraîncălzit etc [21].

Dezvoltarea tehnologiilor de uscare în ultimele decenii a fost foarte rapidă, fiind accentuată pe procesul de tratare termică, metode de deshidratare, echipamente și calitatea produsului finit. Aceste metode au principii de lucru diferite, și respectiv avantaje și dezavantaje specifice [21].

În prezent o societate bine dezvoltată atât din punct de vedere economic, cât și social, nu poate exista fără un sistem energetic eficient, dar poate gestiona acest sistem, ținând vectorul spre eficientizarea tehnologiilor de producere și implementarea lor în practică. Gestionarea eficientă a complexului agro-industrial poate fi asigurată atât prin modernizarea proceselor tehnologice existente, cât și prin elaborarea și implementarea noilor metode de procesare bazate pe eficiență înaltă. Aceasta poate atinge rentabilitatea maximă, dacă este încadrată în sistemul economiei circulare. Un subprodus agroindustrial sunt semințele de struguri, care se obțin obținute în urma procesării strugurilor.

Una din problemele principale ale proceselor de uscare ale produselor oleaginoase este durata mare de tratare termică a lor, care ca consecință, duce la diminuarea indicilor de calitate. Problema dată se acutizează pentru cazul uscării produselor oleaginoase, care sunt bogate în acizi grași, și care sunt receptivi proceselor de oxidare. Pentru astfel de produse, în special cele horticoale sămânțoase, cum sunt și semințele de struguri, este benefică metoda inovativă de uscare în strat suspendat cu aplicarea microundelor. Aplicarea curenților cu frecvență supraînaltă, intensifică esențial procesul, asigurând o calitate sporită a semințelor uscate. Această metodă permite selectarea automată ale particulelor deja uscate din masa totală de semințe și înlăturarea acestora din zona de prelucrare termică, asigurând astfel o reducere maximă a duratei de tratare termică, deci și a condițiilor favorabile de oxidare a acizilor grași. Pentru a asigura procesul inovativ de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri, este necesar de analizat profund particularitățile tehnologice ale lui. Metoda uscării în strat suspendat presupune aflarea semințelor de struguri într-un tub vertical cu secțiune transversală variabilă, fiind supuse unui debit de aer, care le menține în strat suspendat în timpul procesului de uscare [22]. Industria agroalimentară generează o cantitate sporită de deșeuri care pot fi reutilizate pentru produse alimentare, medicinale și cosmetologice. A fost demonstrat, că reutilizarea pierderilor de alimente poate fi aplicată pe viitor la scară industrială, în procese tehnologice cu un consum redus de energie. De asemenea, utilizarea eficientă a potențialului subproduselor în formă de hrană pentru populație, evită consumul excesiv de materii prime.

Scopul lucrării a vizat uscarea semințelor de struguri în strat suspendat, modelarea matematică a procesului de uscare, proiectarea și elaborarea instalației, studiul cineticii procesului de uscare.

În vederea atingerii scopului expus, au fost stabilite următoarele **obiective principale și specifice**:

Obiectivul 1: Analiza direcțiilor și tehnicilor noi de uscare a produselor agroalimentare.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 1:

- studiul procesului de uscare ale produselor horticoale sămânțoase;
- analiza aerodinamicii particulei aflată în strat suspendat;
- studiul tehnologiilor moderne de uscare a semințelor de struguri.
- evaluarea compoziției chimice, valorii nutritive și biologice a semințelor de struguri.

Obiectivul 2: Studiul semințelor de struguri ca obiect de cercetare.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 2:

- studiul proprietăților termo-fizice ale semințelor de struguri;
- studiul proprietăților aerodinamice ale semințelor de struguri;
- analiza proprietăților fizico-mecanice ale semințelor de struguri;
- analiza calității și stabilității uleiurilor obținute din semințe de struguri uscate în strat suspendat.

Obiectivul 3: Elaborarea modelului matematic pentru procesul de uscare a semințelor de struguri aflate în strat suspendat.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 3:

- modelarea matematică a mișcării semințelor de struguri aflate în strat suspendat;
- modelarea matematică a procesului de uscare în strat suspendat al semințelor de struguri.

Obiectivul 4: Simularea computerizată 3D a procesului de uscare în strat suspendat pentru semințele de struguri.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 4:

- simularea 3D al comportării semințelor de struguri aflate în strat suspendat;
- simularea 3D a procesului de uscare în strat suspendat al semințelor de struguri.

Obiectivul 5: Studiul cineticii procesului de uscare pentru semințele de struguri.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 5:

- studiul cineticii procesului de uscare prin convecție;
- studiul cineticii procesului de uscare cu SHF;
- studiul cineticii procesului de uscare în strat suspendat cu aplicarea convecției;
- studiul cineticii procesului de uscare în strat suspendat cu aplicarea SHF;
- analiza indicilor de calitate ale semințelor de struguri și uleiului extras din ele.

Obiectivul 6: Proiectarea și elaborarea echipamentului pentru uscarea în strat suspendat.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 6:

- elaborarea instalației de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri;
- implementarea rezultatelor experimentale la nivel de producere.

Ipoteza de cercetare. În procesul de uscare prin metodele clasice, pe suprafața semințelor de struguri apar microfisuri, care contribuie la oxidarea fracției lipidice. Uscarea în strat suspendat a semințelor de struguri, conduce la diminuarea duratei de uscare și previne apariția microfisurilor datorită efectului de autoseparare din zona de tratare termică a lor.

Sinteza metodologiei de cercetare. Metodologia de cercetare a inclus următoarele: modelarea computerizată 3D, proiectarea instalației în softul Solid Works, asamblarea echipamentului de uscare în strat suspendat în condiții de laborator și în condiții industriale (S.C. AZAMET-GRUP S.R.L.), studiul cineticii de uscare în vederea optimizării procedurii și metode de analiză fizico-chimice și analitice privind calitatea produselor. Drept suport metodologic au servit cercetările efectuate în cadrul proiectelor:

1. **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.

2. **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.

3. **19.80012.50.14A**. ”Simularea matematică computerizată a fenomenelor de transfer în produse vegetale umede la tratarea cu microunde”, director de proiect, dr., conf. univ., Guțu Marin.

4. **20.80009.5107.09** ”Ameliorarea calității și siguranței alimentelor prin biotehnologie și inginerie alimentară”, director de proiect, dr. hab., prof. univ., Sturza Rodica.

5. **2 SOFT/1.2/83** ”Valorificarea inteligentă a deșeurilor industriale agroalimentare (INTEL-WASTES)”, director de proiect, dr. hab., prof. univ., Sturza Rodica.

Aprobarea rezultatelor. Rezultatele obținute în cadrul tezei au fost prezentate și discutate în cadrul conferințelor și simpozioanelor științifice de talie internațională din țară și străinătate: Simpozionul Internațional și Conferința „Euro-Aliment”, anii 2017 și 2019, Galați, România; Simpozionul Internațional „InventCor”, anul 2020, Deva, România; Simpozionul International „Infoinvent”, anii 2017, 2019 și 2021, Chișinău, Republica Moldova;

Simpozionul International „EuroInvent”, anii 2018, 2019, 2020 și 2021, Iași, România; Simpozionul International „Inventica”, anii 2019, 2020 și 2021, Iași, România; Simpozionul International „EuroInvent”, anii 2018, 2019, 2020 și 2021, Iași, România; Simposiumul Internațional și Conferința ”Inovation and Creative Education Fair for Youth ICE - USV – III-rd Edition,, anii 2020 și 2021, Suceava, România; Simpozionul Internațional „ProInvent”, anii 2018, 2019, 2020 și 2021, Cluj-Napoca, România; (Anexa 2)

Sumarul capitolelor tezei.

Lucrarea este structurată în patru capitole, introducere, concluzii generale și recomandări, bibliografie și anexe.

În **Introducere** sunt prezentate actualitatea și importanța temei abordate, noutatea științifică a lucrării, valoarea teoretică și aplicativă a rezultatelor obținute; este indicat scopul și sunt formulate obiectivele și problemele de cercetare.

În **Capitolul 1 - Aspecte teoretice ale procesului de uscare în strat suspendat** sunt analizate aspectele teoretice ale procesului de uscare a produselor horticoale sămânțoase - pe de o parte, și studiate tehnicile și tehnologiile noi de uscare - pe de altă parte.

Sunt prezentate aspecte legate de procesul tehnologic de uscare a produselor horticoale sămânțoase, sunt prezentate diferite viziuni ale savanților asupra procesului de deshidratare, sunt relatate argumente, care confirmă eficiența procesului de uscare în scopul conservării de lungă durată a produsului deshidratat

Sunt prezentate tehnicile și tehnologiile moderne de uscare a semințelor de struguri, sunt descrise diferite metode hibride de uscare, care presupun direcții noi de perfecționare a proceselor de deshidratare.

În **Capitolul 2 - Materiale și metode de cercetare** sunt descrise materialele și metodele de determinare ale proprietăților aerodinamice ale semințelor de struguri și ale proprietăților fizico-mecanice; este descris standul experimental pentru determinarea proprietăților aerodinamice, pentru studiul cineticii procesului de uscare în strat suspendat; sunt descrise metodele de analiză ale indicilor de calitate a semințelor de struguri și uleiului extras.

Capitolul 3 - Optimizarea procesului de uscare a semințelor de struguri în strat suspendat. În acest capitol este abordată mișcarea semințelor de struguri în strat suspendat, s-a recurs la modelarea matematică și simularea 3D; a fost modelat matematic procesul de uscare în strat suspendat al semințelor de struguri, care a servit ca bază pentru simularea 3D al procesului de uscare în strat suspendat și studiul distribuției câmpului de temperaturi în zona de uscare.

În **Capitolul 4 - Cinetica procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri** este prezentată cinetica procesului de uscare a semințelor de struguri cu aplicarea convecției și cu aplicarea microundelor (SHF), cinetica procesului de uscare în strat suspendat cu aplicarea convecției și cinetica procesului de uscare în strat suspendat cu aplicarea microundelor (SHF); ulterior au fost analizați indicii de calitate ai semințelor de struguri și ai uleiului extras; este argumentată realizarea tehnică a instalației de uscare în strat suspendat al semințelor de struguri și efectul economic al implementării.

1. ASPECTE TEORETICE ALE PROCESULUI DE USCARE ÎN STRAT SUSPENDAT

1.1 Noțiuni teoretice ale procesului de uscare a produselor horticoale sămânțoase

Problemele stringente cu care se confruntă industria vinicolă a Republicii Moldova, este valorificarea eficientă a deșeurilor obținute în urma procesării strugurilor, cum ar fi: levurile, piatra de vin, tescovina, semințele de struguri etc.[23]. Procesarea acestor deșeuri permite obținerea unei game largi de produse valoroase (oenomelanina naturală [24], colorantul antocianic natural [25], uleiul din semințe de struguri [26], făina din semințe de struguri [27], antioxidant proantocianidin [28], alcool etilic [29], bioetanolul [30], acidifiantii naturali [31], absorbantii naturali [32], taninuri [33], etc.) pentru diverse ramuri ale economiei: industria farmaceutică, cosmetologică, alimentară etc. Soluționarea problemei poate fi realizată prin crearea tehnologiilor non-reziduale, care asigură stabilitate ecologică și plus valoare pentru întreprinderile din domeniu [34].

Interes deosebit prezintă semințele de struguri. În majoritatea cazurilor procesarea lor presupune uscarea inițială a acestora. Gradul de păstrare a substanțelor valoroase depinde de parametrii tehnologici a regimului de uscare. Tradițional, în procesul de uscare, fluidul din interiorul camerei de lucru servește în calitate de agent termic și transportă umiditatea de la produs evacuând-o din instalație, nu și în cazul uscării în strat suspendat, unde acesta are funcția de a forma și a menține patul suspendat pentru suspendarea semințelor de struguri la o înălțime anumită, într-un debit de aer, cu o valoare a vitezei de plutire constantă.

Procesul de uscare a produselor horticoale sămânțoase, cum sunt semințele de struguri, a fost pe larg studiat de savanții: Lâcov A.V., Rudobashta S.P., Kalashnikova N.V., Voljentssev A.V. și alții [35]. Conform savantului Lâcov A.V. procesul de uscare, urmărește ca obiectiv mărirea duratei de păstrare a produselor alimentare perisabile crude contrar deteriorării prin reducerea conținutului de umiditate și, prin urmare, reducerea activității apei. Un alt obiectiv ar fi reducerea costurilor și dificultăților de ambalare, manipulare, transport și depozitare prin transformarea materialului într-un solid uscat, reducând astfel masa și, în majoritatea cazurilor, volumul acestuia. De asemenea savantul afirmă, că uscarea este una dintre cele mai vechi metode de conservare a produselor agroalimentare, ceea ce este un indice decisiv pentru aplicarea acestui proces tehnologic în practică. Procesul de uscare este o operație complexă, care implică transferul tranzitor de căldură și masă. Căldura latentă transferată în produs sporește evaporarea apei, ce provoacă modificări fizice (contractie și cristalizare), chimice și biochimice (modificări de culoare, textură, miros sau alte proprietăți ale produsului solid) [36, pp. 3–6].

Conform afirmațiilor savantului Rudobașta S.P., transportul de umiditate în interiorul solidului poate avea loc prin oricare dintre următoarele mecanisme de transfer de masă: debitul capilar; difuzia lichidului, dacă solidul umed se află la o temperatură sub punctul de fierbere al lichidului; difuzia vaporilor, dacă lichidul vaporizează în interiorul materialului; difuzia suprafeței; difuzie termică și diferențe de presiune hidrostatică, când ratele de vaporizare interne depășesc viteza de transport a vaporilor prin solid în jurul său [35, pp. 71–81].

Uscarea produselor horticoale sămânțoase în strat fluidizant este descrisă de Kalashnikova N.V. și Voljentssev A.V., ca metodă specifică de contactare a particulelor solide cu aerul. Semințele în strat fluidizat, în mod individual, se pot deplasa cu un consum mult mai redus de energie compartiv cu semințele suspendate de fluxul de aer. Termenul ”fluidizare” se datorează mobilității semințelor în strat fluidizat similar unui lichid cu viscozitate ridicată [36].

Formarea stratului de semințe în stare fluidizată este limitată de anumite condiții și stări caracteristice. Inițial, semința formează așa-numitul „strat fix”, care se caracterizează prin absența mișcării semințelor, care alcătuiesc stratul și un contact strâns între ele. Spre deosebire de un strat fluidizat fix, „stratul fluidizat în mișcare”, este un sistem de particule în contact reciproc, dar care se mișcă ca un piston în raport cu pereții tubului aerodinamic [37, pp. 11–13]. Există o anumită viteză a aerului la care stratul de semințe se extinde atât de mult, încât particulele se pot mișca în acest strat. Această condiție este denumită „debit de fluidizare” sau „strat fluidizant”. În afara punctului de fluidizare, patul este denumit „pat fluidizat în fază densă” sau pur și simplu „pat fluidizat”. Stratul fluidizat fix are o suprafață limită superioară definită. Această suprafață este luată în considerare ca parte a patului fluidizat. Ea poate fi localizată în interiorul stratului și apoi poate fi considerată în afara conexiunii cu suprafața limită superioară. Când viteza agentului de uscare depășește ușor valoarea necesară pentru debitul de fluidizare, se observă „fluidizarea treptată”. În această stare, cunoscută sub denumirea de „starea minimă de fluidizare”, particulele din strat sunt amestecate puțin sau deloc [38].

Dacă viteza aerului crește ușor, stratul se extinde și particulele solide încep să se amestece. Această stare de pat este cunoscută sub numele de „strat fluidizant turbulent”. Dacă viteza aerului crește semnificativ, atunci stratul se extinde intensiv și densitatea acestuia scade în consecință. Semințele sunt apoi preluate de flux și transportate. Această stare este cunoscută sub numele de „strat fluidizat dispersat” [39].

Dacă comparăm această stare cu un strat fluidizat într-o fază densă, atunci un strat într-o fază agitată nu are limită superioară; particulele solide, adică semințele se mișcă în raport cu pereții limitați ai tubului aerodinamic, iar concentrația particulelor solide din masa de aer devine mult mai mică. Cele expuse formează ipoteza că trecerea de la un strat fluidizant fix de semințe, la starea unei faze agitate a stratului fluidizant are loc treptat. În realitate, există abateri de la comportamentul ideal al semințelor în strat fluidizat.

Aceste probleme au fost studiate și de alți savanți: Syahrul S. [24], Hovmand S. [40], Wang J. [41], Ranjbaran M. [42], Jajcevic D. [43], Franks F.G.E. [44], Kaensup W. [45], Wongwiset S. [46].

Potrivit lui S. Syahrul, uscarea se referă la îndepărtarea umidității sau a lichidului dintr-un solid umed prin transformarea fazei lichide în fază gazoasă. În majoritatea operațiilor de uscare, apa este lichidul evaporat și aerul este mediul de uscare. Uscarea poate fi considerată una dintre cele mai importante și mai frecvente operații unitare aplicată într-un diapazon larg de tehnologii, de la industria alimentară la sectorul farmaceutic. În aplicații practice, uscarea este un proces care necesită un aport ridicat de energie, din cauza evaporării căldurii latente a apei și a eficienței energetice relativ scăzute a procesului de uscare. În acest sens, este esențial să se efectueze o analiză termică eficientă a uscării în pat fluidizat pentru a asigura reducerea consumului de energie și condițiile optime de procesare. Uscarea în pat fluidizat, presupune menținerea produsului într-un strat fluidizat al mediului de uscare. Acest tip de uscare poate avea loc ca proces discontinuu sau continuu. La uscarea discontinuă uscătorul este încărcat cu material umed, are loc decurgerea procesului de uscare și când materialul este suficient de uscat este îndepărtat din echipament. Funcționarea discontinuă este preferată la scară mică de producție și pentru materiale sensibile la căldură, cum ar fi culturile (de exemplu, semințe de struguri, porumb, grâu). La uscarea discontinuă, parametrii procesului sunt ușor menținuți, iar produsul este uscat uniform datorită omogenității de tratare termică a stratului fluidizat. La uscare continuă, materialul umed intră în uscător asemeni unui flux continuu, iar materialul uscat este, de asemenea, descărcat continuu. Deși este asigurat echilibrul stării de funcționare, calitatea uscării materialelor umede poate părea a fi neuniformă din cauza unui grad ridicat de amestecare a semințelor și perioade diferite de repaus individual pentru fiecare sămânță. În literatura de specialitate, s-au făcut multe studii asupra aspectelor de uscare în strat fluidizat ale produselor umede, fiind analizate de diverși cercetători [24, 35, 37, 39]. Pentru a obține performanța optimă a unui uscător, este important să fie specificate corect: operația tehnologică, condițiile inițiale și materialul care trebuie uscat. Condițiile de funcționare, cum sunt viteza aerului de uscare, temperatura aerului de uscare și conținutul de umiditate al materialului, influențează în mod direct calitatea produsului uscat.

În opinia S. Hovmand viteza este atribuită, ca un parametru-cheie pentru straturile fluidizate cu semințe, care sunt formate de o masă de aer cu o viteză anumită.[40, pp. 1743–1744].

După Wang. J. uscarea este procesul de îndepărtare termică a substanțelor volatile (umiditate) pentru a produce un produs solid. Este un proces complex, care implică căldură simultană, fenomene de transfer de masă și impuls. Sunt utilizate modele matematice ale proceselor de uscare pentru proiectarea noilor tehnologii de uscare sau îmbunătățirea existentă, sau chiar pentru controlul procesului de uscare. Metoda de uscare în strat fluidizant este utilizată în practică pentru modelarea procesului de uscare a produselor horticoale sămânțoase [41, p. 593].

Potrivit lui Ranjbaran M. uscarea este o metodă importantă de conservare în produsele alimentare, chimice și industriile farmaceutice [42]. Există mai multe tehnici de uscare cum ar fi uscarea în pat fluidizat, uscarea cu microunde, uscarea solară, uscarea prin sublimare, uscarea cu ultrasunete etc. Dintre metodele de uscare a produselor horticoale sămânțoase, uscarea în strat fluidizat a fost una dintre cele mai reușite tehnici. În timpul uscării în strat fluidizat, particulele solide (semințele) sunt antrenate în mișcare de către un curent de aer, unde are loc transferul de căldură și masă între fazele gazoase și cele solide. Comparativ cu alte tehnici de uscare, întregul strat este uscat omogen. Metoda de uscare convectivă, presupune o durată sporită de uscare în comparație cu uscarea în pat fluidizat. Metoda de uscare cu microunde, dispune de durată de uscare redusă. Microundele pătrund în produsul alimentar umed, dispun moleculele de apă să vibreze și să genereze căldură. Dezavantajul tehnicilor de uscare în strat fix cu microunde este uscarea neomogenă a materialelor. Penetrarea de microunde în interiorul unui material depinde de proprietățile produsului horticol sămânțos din stratul respectiv. Combinația uscării în strat fluidizat cu metoda de încălzire prin microunde pentru uscarea semințelor umede poate eficientiza utilizarea avantajelor ambelor metode de uscare. În timpul uscării în strat fluidizat cu microunde, încălzirea omogenă are loc în interiorul stratului. Anterior investigațiile au arătat că microundele combinate cu uscarea în strat fluidizat sunt mai eficiente din punct de vedere economic și energetic, comparativ cu uscarea în strat fluidizat prin convecție [42].

În opinia lui Jajcevic D. uscarea produselor horticoale sămânțoase este aplicată pe scară largă [43]. Procesul de uscare a produselor sămânțoase depinde de mai mulți factori, cum ar fi: distribuția mărimii semințelor, densitatea și porozitatea, rezistența mecanică a lor și conținutul de umiditate. La rândul său, produsul finit la fel este necesar să corespundă unor parametri, așa ca: uniformitatea uscării sale, conținutul de umiditate, conținutul de substanță uscată și alți parametri, care influențează direct calitatea produsului obținut ulterior din semifabricatul uscat.

De obicei, parametrii cheie pentru un mediu de semințe în strat fluidizat pot fi: temperatura semințelor, temperatura agentului termic, umiditatea relativă a stratului fluidizat și distribuția semințelor în acest strat [43].

După Franks, F.G.E. uscarea artificială a semințelor este larg răspândită pentru a se asigura că acestea sunt conservate, prin reducerea conținutului de apă, care permite stocarea produselor pentru perioade lungi de timp. Prin intermediul simulării CFD se poate de optimizat forma și construcția camerei de uscare. Aceasta reflectă pozitiv calitatea uscării produsului final, duce la atingerea unei uscări uniforme și la reducerea consumului de energie [44].

Potrivit lui Kaensup W. și Wongwises S., uscarea în strat fluidizat combinat cu microunde presupune aplicarea unui câmp de microunde pentru a fi eficientizat în comparație cu uscarea convectivă [45]. Pentru ambele tipuri de uscare, s-a constatat că gradul de uscare depinde de temperatura și viteza aerului de intrare. Deci uscarea în strat fluidizat cu aplicarea microundelor, eficientizează procesul de transfer de masă și căldură, în comparație cu metoda clasică de uscare. Energia microundelor este utilizată pe scară largă pentru mai multe domenii aplicative, care presupun transferul de masă și căldură. Microundele sunt unde electromagnetice, sunt mecanismele care dirijează încălzirea materialelor dielectrice. Când un solid umed este încălzit folosind energia microundelor, temperatura acestuia poate atinge punctul de fierbere al lichidului. Încălzirea cu microunde, sporește rapid procesul de uscare fără a supraîncălzi atmosfera. Uscarea în pat fluidizat este fundamental diferită de uscarea convențională. Combinarea microundelor cu uscătorul care usucă semințele de struguri în strat fluidizat are un impact considerabil asupra vitezei procesului de uscare, în special la temperatura scăzută a aerului de intrare. Temperatura înaltă a aerului de intrare și / sau viteza aerului determină o efectivitate mare a procesului de uscare [45]. Uscarea este un proces obișnuit în procesarea termică a fructelor și legumelor, mai ales pentru a preveni deteriorarea lor postrecoltare, pentru a delimita creșterea și deteriorarea microbiană și pentru a reduce costurile de păstrare [46]. La momentul actual, majoritatea tehnicilor de uscare existente sunt în continuu analizate, optimizate sau integrate pentru a reduce consumul de energie și pentru a spori calitatea produsului. Dintre acestea, fluidizarea este o metodă efectivă în uscarea semințelor de struguri, datorită amestecării intensive ale semințelor și randamentului ridicat în transferul de căldură și masă [47, pp. 403–406]. Metodele experimentale sunt aplicate în mod tradițional pentru a cerceta procesele de uscare. Totodată, costurile pentru partea experimentală sunt foarte mari. Ca o soluție alternativă, ar fi abordările de calcul, care pot fi utilizate cu costuri relativ mici, fie pentru a optimiza procesele existente, fie pentru a dezvolta o nouă metodă de analiză, astfel sporind cercetarea aprofundată a mecanismelor complexe de uscare [48, pp. 2–4].

Au fost stabilite mai multe metode avansate de calcul pentru uscare. Una din ele ar fi dinamica computerizată a fluidelor (CFD), este una din cele mai utilizate metode și este un instrument puternic pentru capacitatea sa de analiză aprofundată a fluxului de aer, transferului de masă și schimbului de căldură în procesele de uscare [49]. Cercetările experimentale de laborator referitor la uscarea semințelor de struguri urmăresc procesul de simulare CFD, deoarece simularea presupune utilizarea parametrilor fizici (porozitate, masă volumică, căldură specifică, conductivitate) atât pentru produs, cât și pentru aerul utilizat ca agent de uscare. Prin simularea CFD a procesului de uscare a semințelor de struguri, este posibil de analizat în mod grafic evoluția câmpurilor de temperatură și a umidității în fiecare punct al stratului de produs. Gradul de precizie al modelului matematic, obținut prin simulare CFD, rezultă din diferențele de temperatură și umiditate ale semințelor de struguri, care au fost determinate în condiții de laborator. O importantă pondere în aceste diferențe sunt ipotezele simplificatoare pe care modelul matematic le-a construit, considerând că acest proces este complex cu un număr mare de parametri fizici, fiind ca variabile dependente, care variază simultan și în timp scurt [50, pp. 3–7]. Utilizarea tehnologiei „Computational Fluid Dynamics” a făcut posibilă proiectarea și simularea unei particole uscate echivalentă cu semințele de struguri, pentru a obține o distribuție uniformă a temperaturii în semință și a reduce consumul de energie [51, pp. 2–9]. Cu toate acestea, CFD este dificil să ia în considerare natura discretă a materialului sămânțos. În ultima perioadă, metoda elementelor discrete (DEM) este din ce în ce mai utilizată pentru a studia fluxurile granulare în diferite medii [52]. În astfel de modele DEM, traiectoria fiecărei semințe este descrisă de legile mișcării lui Newton și este capabilă să ia în considerare forțele rezultate interacțiunilor gravitaționale, sămânță - sămânță și sămânță - perete [53]. Când efectul unui fluid interstițial este semnificativ, cum ar fi în paturile fluidizate, modelele DEM pot fi combinate cu CFD pentru a investiga fluxurile de amestec gaz - solid și transferul de căldură și masă în acesta [48]. DEM a fost dezvoltat de Cundall și Strack [54] și constă dintr-o soluție aproximativă a ecuației de mișcare pentru rezultatul unei propagări perturbate de la o sămânță la alta creată în condiții limită. Utilizând stațiile de proiectare moderne, programul de simulare repetă calculele de milioane de ori pe parcursul unei secunde pentru fiecare componentă a sistemului în parte. Principalul avantaj al abordărilor combinate CFD-DEM este acela de a genera informații detaliate la scară mică, inclusiv traiectoria semințelor și forțele care acționează asupra lor individual. Multe studii au demonstrat că aplicarea CFD-DEM este eficientă pentru a examina fluxul și transferul de căldură [55, pp. 1–3]. Uscarea în pat fluidizat implică transferul simultan de căldură și masă pentru evaporarea și îndepărtarea apei din semințe în mediul exterior [52]. Prin urmare, utilizarea CFD-DEM este potrivită pentru modelarea procesului de uscare prin încorporarea modelelor adecvate de transfer de masă și căldură.

Uscarea este cel mai frecvent proces de conservare a tuturor tipurilor de produse agroalimentare. Cu toate acestea, optimizarea procesului de uscare este destul de complexă, deoarece fenomenele de transfer de căldură și masă apar simultan în timpul procesului de uscare. În plus, în timpul procesului de uscare apar reacții chimice și biochimice, care pot influența semnificativ calitatea produsului uscat. Cea mai răspândită metodă de uscare a semințelor este metoda convectivă, care, în funcție de tipul de agent de uscare și de echipamentul utilizat, poate fi împărțită în: uscare artificială naturală (solar-aer) și gaz-aer (aer încălzit). Uscarea naturală (solar-aer) este utilizată mai rar. Principalul dezavantaj al uscării naturale este dependența de condițiile meteorologice. Uscarea artificială este cea mai utilizată în agricultură. În această metodă, aerul exterior încălzit în schimbătoare de căldură este utilizat ca agent de uscare [56]. În uscarea artificială a semințelor cu un diametru echivalent mic (mai mic de 1,5 mm) și o suprafață specifică de evaporare ridicată, viteza procesului este determinată în principal de condițiile de schimb de căldură și umiditate între suprafața seminței de struguri și mediu. Transferul de umiditate, datorită gradientului de umiditate, care este decisiv pentru uscarea semințelor mici cu o suprafață specifică ridicată, nu limitează rata de uscare. Conductivitatea termică și a umidității în timpul uscării poate afecta negativ începutul procesului atunci, când temperatura suprafeței este mai mare decât temperatura straturilor interioare și fluxul de căldură este direcționat în interiorul semințelor [57].

Procesele de uscare a produselor agroalimentare, în particular oleaginoase, sunt procese complexe, bazate pe legitățile termodinamice. Fluxurile (de temperatură, umiditate, concentrație, presiune ș.a.) sunt funcții ale transferului de substanță, de energie sau de impuls, pentru cazul în care gradientii care le provoacă diferă de zero. În prezența gradientului de concentrație, apar fluxurile de difuziune (fenomenul de difuzie), în prezența diferenței de temperatură – fluxul de căldură (fenomenul conductibilității termice) și în prezența diferenței de viteze – fluxul impulsului sau a cantității de mișcare – fenomenul viscozității (legea lui Newton) [58, pp. 86–89].

În procesul de uscare a produselor complexe eterogene, cum sunt cele agroalimentare, transferul de masă are loc nu numai datorită difuziei sau conductibilității termice în parte, dar și ca rezultat al interacțiunii acestor fenomene. Astfel, la încălzirea artificială a produsului, eliminarea umidității este consecința difuziei termice. La rândul său, aportul difuziei termice asupra procesului este influențat și de efectul de adsorbție. Acest fenomen influențează esențial viteza fluxului de umiditate. Toate aceste fenomene stau la baza apariției forțelor motrice (gradientul de temperatură, de masă, de presiune ș.a.) ale transferului de căldură și de masă în procesul de uscare. Pentru a intensifica procesul transferului de căldură și masă este necesar de aplicat o sursă de căldură care are un potențial avansat comparativ cu sursele existente [59].

Încălzirea prin impuls în câmp electromagnetic sporește esențial transferul de masă și căldură. Aceasta a fost demonstrată prin analiza câmpurilor electromagnetice, unde au fost abordate aspecte relevante pentru sistemele de câmp electromagnetic din acceleratoare de particule. S-au analizat ecuațiile lui Maxwell și semnificația lor fizică. S-a constatat că în spațiul liber există soluții pentru aceste ecuații, prin reprezentarea propagării câmpurilor electromagnetice ca unde. S-au utilizat potențialele electromagnetice și a fost demonstrată utilizarea lor pentru a simplifica calculul câmpurilor în prezența surselor de unde. De asemenea s-a făcut referire la teorema lui Poynting, care relevă expresii pentru densitate și fluxul de energie într-un câmp electromagnetic. Pentru a scrie ecuațiile lui Maxwell au fost abordate proprietățile undelor electromagnetice [60, p. 15]:

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho, \quad (1.1)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = 0, \quad (1.2)$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (1.3)$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}. \quad (1.4)$$

Câmpurile \vec{B} (densitatea fluxului magnetic) și \vec{E} (puterea câmpului electric) determină forța pe o particulă cu sarcina q și cu viteza \vec{v} (Ecuația de forță a lui Lorentz):

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \cdot \vec{B}), \quad (1.5)$$

Dislocarea electrică \vec{D} și intensitatea magnetică \vec{H} sunt legate de densitatea câmpului electric și fluxul magnetic prin consecutivitatea relațiilor:

$$\vec{D} = \varepsilon \cdot \vec{E}, \quad (1.6)$$

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}. \quad (1.7)$$

Permitivitatea electrică ε și permitivitatea magnetică μ depind de mediul în care se află. Valorile acestor mărimi în vid sunt constante fizice fundamentale.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}, \quad (1.8)$$

$$\varepsilon_0 = -\frac{1}{\mu_0 c^2}, \quad (1.9)$$

unde: c - este viteza luminii în vid, [km/s];

ε_0 - constanta dielectrică în vid, [F/m];

μ_0 - constanta dielectrică în vid, [N/A²].

Permitivitatea și permeabilitatea unui material caracterizează comportamentul lui pentru câmpurile electrice și magnetice. În modelele simplificate, acestea sunt considerate constante.

Totuși, în realitate, permitivitatea și permeabilitatea pot avea o dependență complicată de câmpurile prezente. Permitivitatea relativă ϵ_r și permeabilitatea relativă μ_r sunt frecvent utilizate. Acestea sunt mărimi adimensionale, definite de [60, p. 15] :

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}, \quad \mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}. \quad (1.10)$$

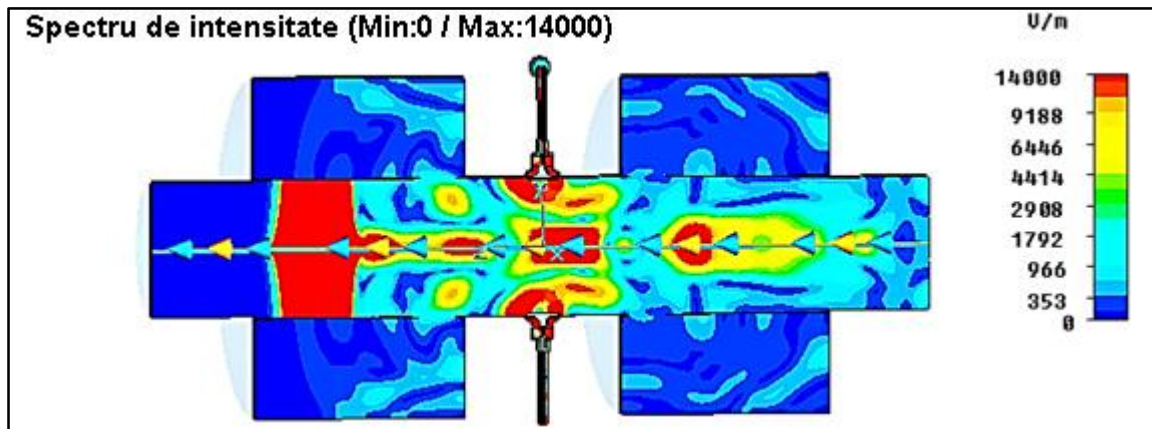


Fig.1.1. Reprezentarea soluției numerice pentru ecuațiile lui Maxwell la o mulțime de electroni [60, 61]

Prin spectrul de culori este prezentată distribuția puterii câmpului electric. Mulțimea de electroni (fig.1.1) se deplasează de la dreapta la stânga: locația mulțimii de electroni corespunde regiunii mari de intensitate a câmpului spre partea stângă. Cantitățile ρ și \vec{J} sunt, respectiv, densitatea sarcinii electrice (sarcina pe unitate de volum) și densitatea curentului electric. Ecuațiile (1.2) și (1.4) sunt independente de ρ și \vec{J} și sunt în general menționate ca ecuații „omogene”; alte două ecuații, (1.1) și (1.3) sunt dependente pe ρ și \vec{J} , și sunt în general menționate ca ecuații „neomogene”. Densitatea sarcinii electrice și densitatea curentului electric pot fi privite ca surse de câmpuri electromagnetice. Când sunt specificate densitatea sarcinii electrice și densitatea curentului electric (ca funcții în spațiu, și la general în timp), se pot integra ecuațiile lui Maxwell (1.1) - (1.3) pentru a găsi câmpuri electrice și magnetice posibile în sistem. De obicei, totuși, soluția care se găsește prin integrare nu este unică: de exemplu, după cum urmează, există multe modele posibile de câmp electromagnetic care pot exista într-o cavitate (sau lungime de undă) de geometrie dată.[60, p. 16]. Un exemplu de soluție numerică la ecuațiile lui Maxwell în contextul unui accelerator de particule este prezentat în figura 1.1. Nu au fost luate în considerare astfel de tehnici aici, dar s-a bazat pe soluțiile analitice care pot fi obținute în situații idealizate. Proprietățile importante ale câmpurilor electromagnetice, cum ar fi frecvența oscilației, pot fi adesea exprimate în termeni de indici de mod. Soluțiile pentru ecuațiile lui Maxwell duc la o bogată diversitate de fenomene, inclusiv la câmpurile din jurul sarcinii și curenților în anumite condiții de bază [62, pp. 302–306].

1.2 Aerodinamica particulei aflată în strat suspendat

Procesul de uscare este benefic pentru prelucrarea termică a semințelor de struguri. Uscarea în strat fluidizat este adesea aplicată în acest scop, totodată este o practică obișnuită în procesarea alimentelor, în principal pentru a preveni deteriorarea post-recoltare, pentru a restricționa creșterea și deteriorarea microbiană și pentru a reduce costurile de procesare [63]. Este una dintre cele mai importante și frecvent utilizate operațiuni unitare într-o varietate de procese industriale, de exemplu, procese pentru industria alimentară, farmaceutică și altele [64]. Metoda elementelor discrete (DEM), este deseori aplicată împreună cu dinamica calculului fluidelor (CFD), care s-a dovedit a fi un instrument eficient pentru analiza fluxurilor granulare de produs. La momentul actual, când există o gamă foarte largă de industrii, simulările DEM și CFD-DEM sunt utilizate și aplicate cu succes pentru a eficientiza proiectarea și optimizarea proceselor tehnologice. Neajunsul este că DEM este o metodă eficientă din punct de vedere a calculelor computerizate, datorită faptului că rezolvă și simulează eficient contactul dintre particule și, astfel, face dificilă aplicarea la sisteme de mari dimensiuni cu mai multe particule [65]. În condiții reale, procesul de uscare necesită un aport ridicat de energie din cauza căldurii latente ridicate și a evaporării apei. Pentru eficientizarea sa energetică, sunt aplicate multe tehnici și metode noi de uscare. În același timp, majoritatea tehnicilor de uscare existente sunt permanent analizate, optimizate sau integrate pentru a reduce consumul de energie și pentru a îmbunătăți calitatea produsului. Dintre acestea, ucare în strat suspendat este o metodă eficientă pentru uscarea semințelor de struguri, datorită amestecării intensive a semințelor și eficienței ridicate referitor la transferul de căldură și masă [66]. Metodele experimentale sunt aplicate în mod tradițional pentru a investiga procesele de uscare. Reeșind din acestea, costurile pentru experimente sunt foarte mari. Ca o soluție alternativă, metodele de calcul pot fi utilizate cu costuri relativ mici, fie pentru a optimiza metodele existente, fie pentru a dezvolta o nouă metodă, care ar permite analiza detaliată a proceselor complexe de uscare [67]. Au fost analizate mai multe metode de calcul avansate pentru procesul uscare. Dinamica computațională a fluidelor (CFD) este una din metodele cele mai utilizate și este un instrument puternic pentru capacitatea sa de analiză aprofundată a fluxului, transferul de masă și schimbul de căldură în sistemele cu mai multe componente [68–70]. Cu toate acestea, CFD este dificil să ia în considerare natura discretă a semințelor [71]. În ultima perioadă, metoda elementelor discrete (DEM) este din ce în ce mai utilizată pentru a studia fluxurile de granule în diferite sisteme [71, 72]. În astfel de modele DEM, mișcarea fiecărei semințe este descrisă de legile mișcării lui Newton și este posibil de luat în considerare forțele rezultate gravitației, interacțiunilor semință - semință și semință - perete, punților capilare sau unui câmp electrostatic [73]. Când efectul unui fluid interstițial este semnificativ, cum ar fi în paturile fluidizate într-un flux de aer, modelele DEM pot fi combinate cu

CFD pentru a analiza fluxurile mixte gaz-solid și transferul de căldură și masă în acestea [71]. Principalul avantaj al metodelor combinate CFD-DEM este de a genera informații detaliate la scară egală cu mărimea seminței de struguri, inclusiv traiectoria semințelor și forțele ce acționează asupra lor individual. Multe studii au demonstrat că metoda CFD-DEM este destul de eficientă pentru a examina fluxul și transferul de căldură în sistemele suspendate de un flux de aer [54, 73, 77]. Uscarea în strat fluidizat presupune transferul simultan de căldură și masă pentru procesul de evaporare și îndepărtarea apei din semințe în mediul de uscare [64]. Prin urmare, metoda combinată din CFD-DEM poate fi aplicată pentru modelarea procesului de uscare prin încorporarea modelelor corespunzătoare de transfer de căldură și masă [78, 79]. Până în prezent, o astfel de metodă CFD-DEM nu a fost dezvoltată cu metoda simplă de uscare, care necesită mai puțini parametri [80–83]. Mediul de curgere solid - gazos pentru uscarea semințelor este considerat ca un sistem cuplat al unei faze gazoase continue pentru mediul de uscare (aer fierbinte) și o fază solidă discretă pentru semințe. Faza solidă este descrisă de DEM, propus inițial de Cundall și Strack [84]. Se consideră că o semință are două tipuri de mișcare: mișcare de translație și mișcare de rotație. Semințele pot interacționa cu semințele și / sau pereții vecini în mișcare, prin care se schimbă impulsul și energia. Mișcarea unei semințe este determinată de legile de mișcare ale lui Newton. La timpul t , ecuațiile principale pentru mișcarea de translație și rotație a seminței i cu raza R_i , masa m_i și momentul de inerție I_i pot fi scrise ca:

$$m_i d\mathbf{v}_i / dt = \sum_j (\mathbf{f}_{e,ij} + \mathbf{f}_{d,ij}) + \mathbf{f}_{pf,i} + m_i \mathbf{g}, \quad (1.11)$$

$$I_i d\boldsymbol{\omega}_i / dt = \sum_j (\mathbf{T}_{t,ij} + \mathbf{T}_{r,ij}). \quad (1.12)$$

unde: v_i - este viteza de translație ai seminței, [m/s];

ω_i - este viteza de rotație ai seminței, [m/s];

$f_{pf,i}$ și $m_i g$ - sunt forța de interacțiune sămânță - fluid și forța gravitațională, [N];

$f_{e,ij}$ și $f_{d,ij}$ - forța elastică și forța de amortizare, [N].

Cuplul de forțe, care acționează asupra seminței i datorită seminței j include două componente: $\mathbf{T}_{t,ij}$ care este generată de forța tangențială și determină rotirea particulei i și $\mathbf{T}_{r,ij}$, care este cunoscut sub numele de cuplu de forță la rostogolire prin frecare, fiind generat de forța normală asimetrică, care încetinește rotația relativă dintre semințele ce se află în contact [85, 86]. În caz că sămânța i ar suferi interacțiuni multiple, forțele de interacțiune individuale și cuplurile de forță vor influența toate semințele care interacționează cu sămânța i . Deaceea, nu se ia în considerare nici o forță care ar putea influența în mod direct sporirea conținut de umiditate. Cele mai multe ecuații pentru determinarea forțelor și cuplurilor au fost bine stabilite, după cum au fost analizate de Zhu [73]. Ecuațiile forțelor și cuplurilor de forțe sunt bine documentate în studiile anterioare [87]. Schimbul de căldură are loc prin transferul de căldură prin convecție cu fluidul înconjurător, transferul de căldură prin conducție

către semințe sau pereții tubului de uscare și transferul de căldură prin radiații în mediu. Ecuația bilanțului energetic pentru semința i poate fi scrisă ca:

$$m_i c_{p,i} dT_i / dt = \sum_j Q_{i,j} + Q_{i,f} + Q_{i,rad} + Q_{i,wall} + Q_{i,lh}, \quad (1.13)$$

unde: $Q_{i,j}$, $Q_{i,f}$, $Q_{i,rad}$ - sunt ratele de schimb de căldură prin conducție, convecție și, respectiv radiații, [kJ];

$Q_{i,wall}$ și $Q_{i,lh}$ - reprezintă rata de schimb a căldurii prin conducție între semințe și perete și, respectiv, căldura latentă pentru evaporarea apei, [kJ];

$c_{p,i}$ - este capacitatea de căldură a semințelor [kJ/K].

Ecuația (1.13) a fost stabilită pe baza echilibrului termic pentru semințe [88, 89]. Căldura latentă a vaporizării apei dintr-o semință poate fi exprimată în funcție de conținutul de umiditate al ei, dat de [90]:

$$Q_{i,lh} = h_{fg} [1 + a \exp(b Y_{i,H_2O})], \quad (1.14)$$

unde: h_{fg} este căldura latentă de vaporizare a apei libere, [kJ/kg].

Conținutul de umiditate este descris ca o componentă chimică în particulă, iar ecuația de conservare este scrisă astfel [91]:

$$m_i dY_{i,H_2O} / dt = S_{i,H_2O}, \quad (1.15)$$

unde: Y_{i,H_2O} - este fracția de masă a umidității din sămânța i , [kg];

S_{i,H_2O} - este rata de schimb a umidității cu mediul de uscare înconjurător, [kg].

Modelul de evaporare a apei, dezvoltat de Chen și colegii săi [81], asemănător cu o reacție chimică este adoptat pentru uscarea particulelor relativ sferice, deoarece necesită mai puțini parametri ai modelului. Reeșind din aceasta avem că:

$$S_{i,H_2O} = -h_m A (\rho_{v,s} - \rho_{v,\infty}), \quad (1.16)$$

unde: $\rho_{v,s}$ și $\rho_{v,\infty}$ - reprezintă concentrațiile de vapori la suprafața dintre sămânță și mediu, și respectiv în mediul de uscare, [kg/m³];

h_m - este coeficientul de transfer de masă, [kg/s];

A - este suprafața [m²].

Prin calculul numărului Sherwood (S_h) se poate determina h_m . Pentru o sămânță de formă relativ sferică:

$$S_h = 2 + 0.6 Re^{1/2} Sc^{1/3}, \quad (1.17)$$

unde: Re și Sc sunt valorile criteriilor Reynolds și Schmidt.

Concentrația de vapori la suprafața dintre sămânță și mediu poate fi obținută din concentrația de vapori saturați conform următoarei ecuații [82]:

$$\rho_{v,s} = \exp(-\Delta E_v / RT) \rho_{v,sat}(T_s), \quad (1.18)$$

unde: ΔE_v - este energia relativă de activare a evaporării în funcție de conținutul de umiditate, [kJ];

T - este temperatura absolută a semințelor uscate, [K].

ΔE_v poate fi exprimat ca rezultat al energiei de echilibru $\Delta E_{v,b}$ și funcția diferenței de conținut de umiditate $f(X - X_b)$, adică $\Delta E_v = \Delta E_{v,b} f(X - X_b)$. Concentrațiile de vapori pentru intervalul de temperatură de 0 ~ 200°C poate fi calculat conform următoarei ecuații [92]:

$$\begin{aligned} \rho_{v, sat}(T_s) = & 4,844 \cdot 10^{-9} (T_s - 273)^4 - 1,4807 \cdot 10^{-7} \cdot (T_s - 273)^3 + \\ & + 2,6572 \cdot 10^{-5} (T_s - 273)^2 - 4,8613 \cdot 10^{-5} (T_s - 273) + 8,342 \cdot 10^{-3}. \end{aligned} \quad (1.19)$$

unde: $\rho_{v, sat}$ - este concentrația de vapori saturați [kg/m³];

T_s - temperatura suprafeței, [K].

Deci ecuația (1.16) poate fi exprimată ca:

$$S_{i, H_2O} = -h_m A [\exp(-\Delta E_v / RT) \rho_{v, sat}(T_s) - \rho_{v, \infty}]. \quad (1.20)$$

Pentru semințele de struguri, temperatura T este presupusă la fel ca și temperatura suprafeței T_s .

Faza continuă este modelată în conformitate cu modelul convențional utilizat pe scară largă cu două fluide [93]. Ecuațiile de conservare a masei și a impulsului în termeni de variabile medii locale într-o celulă de calcul sunt date ca [76, 87, 90, 92, 94]:

$$\partial(\rho_f \epsilon_f \mathbf{u}) / \partial t + \nabla \cdot (\rho_f \epsilon_f \mathbf{u}) = 0, \quad (1.21)$$

$$\partial(\rho_f \epsilon_f \mathbf{u}) / \partial t + \nabla \cdot (\rho_f \epsilon_f \mathbf{u}) = -\nabla p - F_{fp} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \rho_f \epsilon_f \mathbf{g}. \quad (1.22)$$

Ecuația energetică corespunzătoare pentru transferul de căldură și ecuația de transport a umidității sunt [95]:

$$\partial(\rho_f \epsilon_f c_{pf} T_f) / \partial t + \nabla \cdot (\rho_f \epsilon_f \mathbf{u} c_{pf} T_f) = \nabla \cdot (k_e \nabla T_f) + Q, \quad (1.23)$$

$$\partial(\rho_f \epsilon_f Y_{H_2O, f}) / \partial t + \nabla \cdot (\rho_f \epsilon_f \mathbf{u} Y_{H_2O, f}) = \nabla \cdot (\epsilon_f \Gamma_m \nabla Y_{H_2O, f}) + S_{H_2O}. \quad (1.24)$$

Viteza fluidului, densitatea, presiunea și forța de interacțiune volumetrică fluid-particulă sunt reprezentate de u , ρ_f , p și respectiv F_{fp} . Forța de interacțiune a fluidului particulelor volumetrice este dată ca suma forței de tracțiune și a gradientului de presiune:

$$F_{fp} = \sum_{i=1}^{k_v} (f_{d,i} + f_{pg,i}) / \Delta V \cdot \boldsymbol{\tau}, \quad (1.25)$$

$$\boldsymbol{\tau} = \mu_f \left[(\nabla \mathbf{u}) + (\nabla \mathbf{u})^{-1} \right] - \frac{2}{3} \mu_f (\nabla \cdot \mathbf{u}) \boldsymbol{\delta} \quad \text{și} \quad (1.26)$$

$$\epsilon_f = 1 - \sum_{i=1}^{k_v} V_i / \Delta V. \quad (1.27)$$

Relațiile (1.26), (1.27) reprezintă tensorul fluidității vâscoase și respectiv porozitatea locală.

unde: V_i - este volumul particulei, [m³];

i și k_v - este numărul de semințe calculat din celula de volum ΔV ;

k_e - este conductivitatea termică a fluidului, [kJ/kg·K];

Q - este schimbul de căldură din mediul de uscare într-o celulă CFD, [kJ].

Schimbul de căldură într-o celulă CFD, din mediul de deshidratare poate fi determinat de:

$$Q = (\sum_{i=1}^{k_v} Q_{f,i} + Q_{f,wall} + Q_{f,rad}) / \Delta V \cdot c_{pf} \quad (1.28)$$

unde: T_f - reprezintă temperatura mediului de uscare, [K].

$Y_{H2O,f}$ - este fracția masică a vaporilor din mediul de uscare, [kg];

S_{H2O} - este schimbul de vapori între mediul de uscare și semințele dintr-o celulă CFD, [kg];

Γ_m - reprezintă coeficientul de difuzie al umidității.

Pentru o simulare cu rezultat mai clar, se poate de combinat metoda elementelor discrete DEM, cu dinamica computerizată a fluidelor CFD, aceasta fiind bine reflectată în [76]. Combinarea CFD-DEM cu modelul de uscare este ilustrată în figura 1.2. La fiecare etapă de timp, parametrii caracteristici fiecărei particole, cum ar fi poziția, viteza, temperatura și conținutul de umiditate, sunt produse de DEM, care apoi este utilizată pentru a evalua porozitatea, forțele de interacțiune particulă-fluid, fluxul de căldură și evaporarea umidității într-o celulă de calcul.

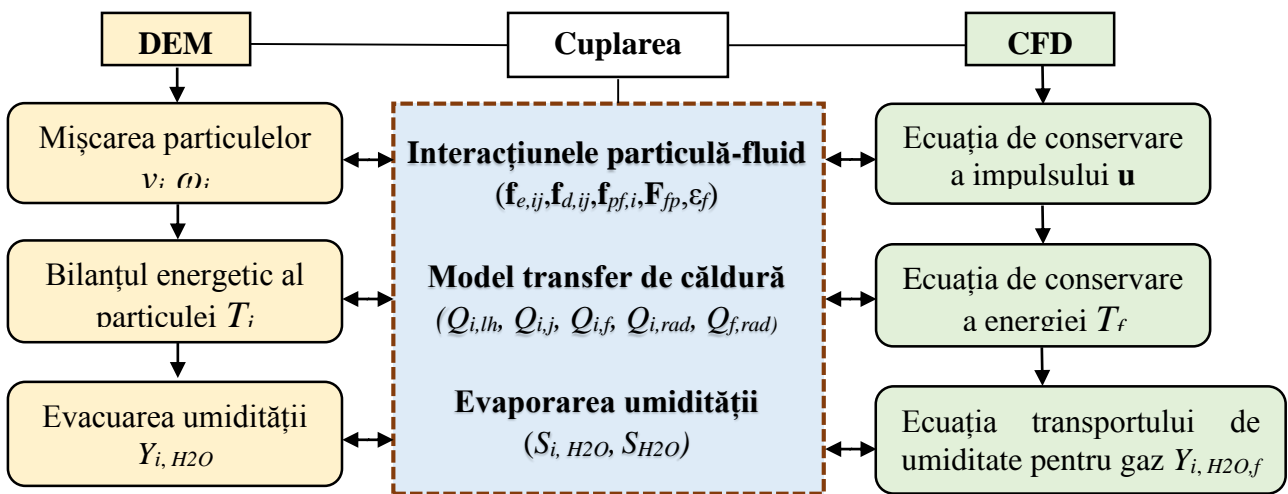


Fig.1.2. Combinarea CFD-DEM cu modelul de uscare

Informațiile sunt apoi utilizate de CFD pentru a determina fluxul fluidului, câmpul de temperatură și transferul de umiditate, dar și pentru a găsi forțele de interacțiune particulă-lichid, transferul de căldură între mediul de uscare și particule sau perete și pentru a găsi viteza de evaporare a umidității. Încorporarea forțelor rezultate, a fluxurilor de căldură și a evaporării umidității în DEM reproduce informațiile referitor la poziția, viteza, temperatura și conținutul de umiditate al particulelor individuale pentru următoarea etapă. În cazul de față, parametrii inițiali pentru uscarea semințelor de struguri sunt obținuți în conformitate cu experimentele efectuate de Cil și Topuz [96]. Pentru a simplifica un material de uscare cu dimensiuni mici (semințe de struguri) a fost propusă forma sferică lui cu diametrul de 0,004 m, aceasta fiind dimensiunea limită pentru etapa respectivă de elaborare a modelului procesului de uscare.

1.3 Tehnica și tehnologiile moderne de uscare ale semințelor de struguri

Uscarea este un proces indispensabil în multe industrii alimentare. Dezvoltarea tehnologiilor moderne de uscare este stimulată de cererea sporită pe piața internațională de a produce produse de calitate. Îmbunătățirea calității majorității produselor alimentare se traduce printr-o creștere semnificativă a valorii lor de piață. Dezvoltarea recentă a noilor tehnologii de uscare hibridă pentru a îmbunătăți calitatea alimentelor este în concordanță cu tendința actuală de îmbunătățire a calității cu impact redus asupra mediului. Numeroase tehnologii emergente sunt enumerate și discutate în detaliu [97].

Sunt identificate potențialele domenii de aplicare pentru aceste tehnologii de uscare hibridă în îmbunătățirea calității produselor. Este bine cunoscut faptul că procesul de deshidratare influențează în mod direct calitatea produsului finit. La moment, cercetările din domeniu sunt focusate pentru îmbunătățirea tehnologiilor de uscare, atât din punct de vedere economic, cât și calitativ, pentru a produce produse de calitate mai bună la o durată scurtă de timp și respectiv cu costuri reduse de energie [98].

În ultimii ani, accentul ingineresc a fost focusat pe optimizarea procesului de proiectare și funcționare a uscătoarelor pentru a obține produsul alimentar uscat cu caracteristicile dorite. Chiar dacă s-au făcut mai mulți pași în dezvoltarea tehnologiei de uscare, rămân multe de realizat în studiul noilor sisteme hibride prin care tehnologiile de uscare pot fi combinate între ele pentru a dezvolta sisteme de uscare de generație nouă. În acest subcapitol au fost descrise câteva evoluții recente în tehnologiile de uscare hibridă de interes pentru industria alimentară. În continuare vom enumera și discuta noile tehnologii emergente de uscare hibridă [99].

Deși obiectivul principal al uscării produselor agroalimentare este conservarea, în funcție de tehnologia de uscare utilizată, materia primă se poate manifesta diferit, cu variații semnificative în ceea ce privește calitatea produsului. Prin urmare, trebuie acordată o atenție sporită alegerii unei instalații de uscare corespunzătoare, având în vedere corelarea dintre produsul final și uscător. Pierderea legăturii dintre produs și tehnologia de uscare ar avea ca rezultat consecințe nedorite, care ar duce adesea la pierderi financiare considerabile [100].

Pe măsura intensificării cercetărilor în direcția uscării produselor alimentare în instalații hibride, crește sortimentul produselor uscate. Atunci când o singură metodă de uscare nu poate face față cerințelor stricte de calitate înaintate către produs, necesitatea de noi metode de uscare hibridă devine esențială. Prin urmare, principala motivație în dezvoltarea tehnologiilor de uscare hibridă este satisfacerea cerințelor consumatorilor cu produs calitativ și stabilitate înaltă la depozitare [101].

Sistem de uscare cu pompa de căldură. În ultimii ani a existat un interes tot mai mare de a aplica tehnologia de uscare cu ajutorul pompei de căldură asupra produselor alimentare și agroalimentare în care sunt necesare condiții de uscare la temperatură scăzută și uscare bine controlată pentru a spori calitatea produselor alimentare. Produsele alimentare de înaltă valoare biologică, care sunt extrem de sensibile la căldură, sunt adesea liofilizate. Acesta este un proces de uscare foarte costisitor [102]. Prin urmare, a existat un mare interes în privirea sistemului de uscare a pompei de căldură ca un sistem de înlocuire pentru produsele liofilizate. Efectuând un studiu comparativ al metodelor de deshidratare, se constată că utilizarea pompei de căldură în cadrul instalației de uscare oferă produse de o calitate sporită, cu un consum redus de energie. Acest lucru este valabil în special pentru produsele alimentare, care necesită un mediu de uscare cu control al parametrilor tehnologici, cum ar fi temperatura, umiditatea etc [103].

Produsele alimentare sensibile la căldură, care necesită uscare la temperaturi scăzute, pot profita de tehnologia dată, deoarece temperatura de uscare a metodei respective, poate fi reglată de la 20 la 100°C. Cu un control sensibil al parametrilor, este, de asemenea, posibil ca tehnologia de uscare cu pompa de căldură să producă condiții de liofilizare la presiune atmosferică [104].

În ceea ce privește uscarea alimentelor, tehnologia de uscare cu pompa de căldură oferă o alternativă pentru îmbunătățirea calității produsului prin reglarea controlată a condițiilor de uscare.

Uscarea prin radiofrecvență. Metoda dată de uscare presupune un proces simplu și precis, totodată este utilizat în industria alimentară, fiind disponibil pentru o gamă largă de operații tehnologice, cum ar fi preîncălzirea, sterilizarea, tratarea termică, post-coacerea și controlul umidității. Dezavantajul transferului de căldură în procesul de uscare tradițional, unde este utilizat numai aer fierbinte, în special pe durata de scădere a umidității, poate fi înlăturat prin combinarea încălzirii prin radiofrecvență cu uscarea prin convecție [105]. Radiofrecvența generează căldură pe întreg volumul în interiorul materialului umed prin mecanismele combinate de rotație bipolară și efecte de conductivitate, care accelerează procesul de uscare [106]. Un uscător tradițional prin convecție asistat de radiofrecvență, este alcătuit dintr-un sistem de uscare convectiv, căruia i se anexează un sistem de generare a radiofrecvenței, care este capabil să transmită energie de radiofrecvență materialului de uscare în diferite perioade ale procesului de uscare. Produsele agroalimentare care sunt mai dificil de uscat aplicând doar metoda tradițională de uscare prin convecție, pot fi tratate prin uscarea convectivă asistată de radiofrecvență [107].

Uscarea cu pompă de căldură asistată de radiofrecvență. Această metodă de uscare combină efectul frecvenței radio cu ajutorul pompei de căldură prin recircularea căldurii [108]. Un astfel de sistem are potențial de aplicare în industria alimentară.

Limitarea ratelor relativ scăzute de transfer de căldură în uscarea convectivă, în special spre perioada de scădere a vitezei de uscare, poate fi depășită prin introducerea unei generări de căldură volumetrică, cum ar fi tehnologia cu radio frecvență, denumită în continuare RF [109]. Câmpul RF generează căldură volumetrică în interiorul materialului cu molecule polare, cum ar fi apa, prin mecanismele combinate de rotație bipolară și conducere ionică. Generarea de căldură internă accelerează procesul de uscare datorită gradului unidirecțional de temperatură și umiditate și a acumulării de presiune internă [110].

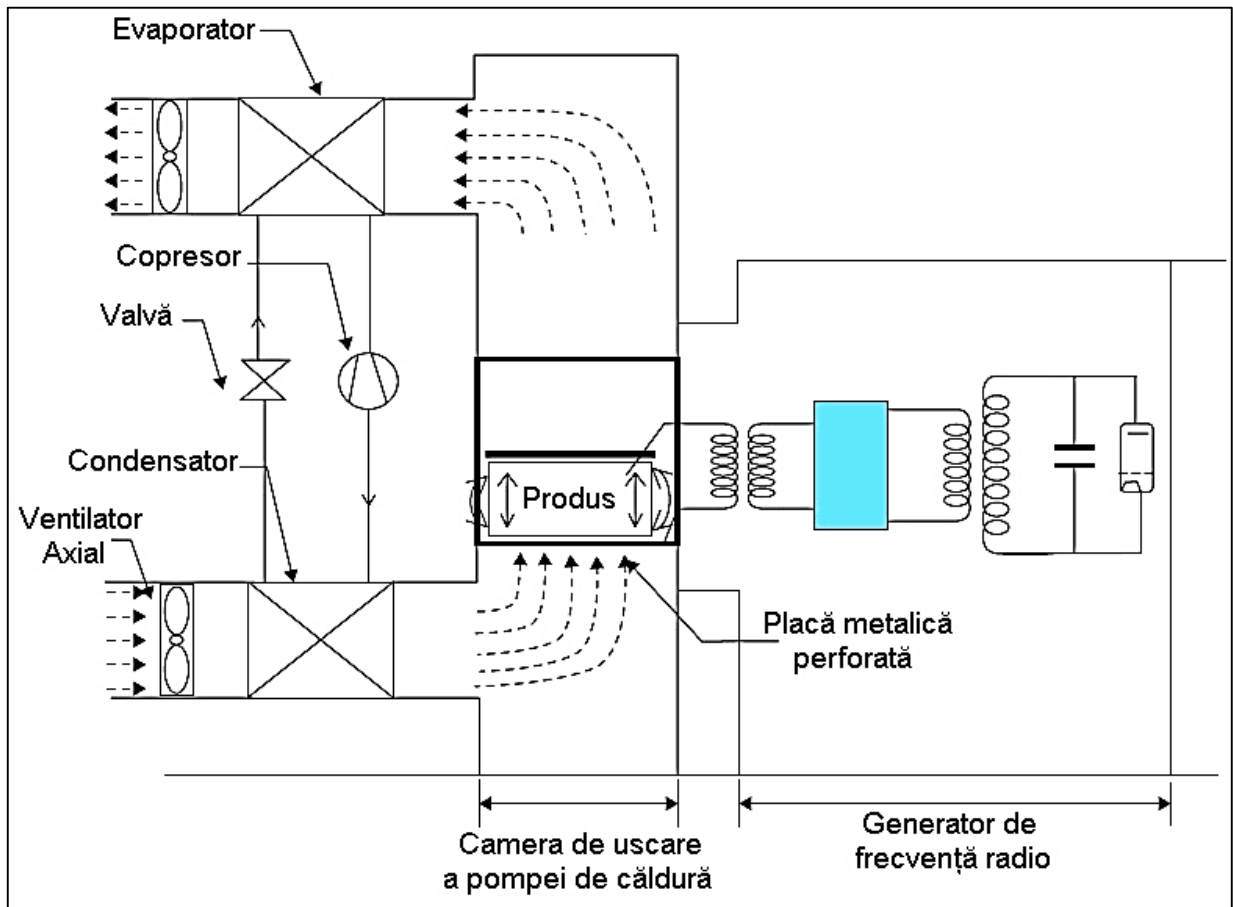


Fig.1.3. Schema uscătorului hibrid cu pompă de căldură, asistat de radio frecvență [111]

În figura 1.3 este prezentată o schemă a unui uscător cu pompă de căldură (UPC) asistat de radiofrecvență (UPC asistat de RF). Un astfel de uscător hibrid este potrivit pentru produsele horticoale sămânțoase. Este dificil de uscat prin încălzire convectivă, în special produsele agroalimentare care au o peliculă de ceară la suprafață precum ardei iute, cireșe și roșii etc. În ceea ce privește calitatea produsului, se pare că UPC asistat de RF reduce degradarea culorii, crăparea suprafeței și contracția diferențială a produsului. În ceea ce privește consumul de energie, s-a observat că uscarea asistată de RF îmbunătățește rata specifică de extracție a umidității și coeficientul de performanță al sistemului cu pompă de căldură [112].

Uscarea convectivă asistată de raze infraroșii. Pentru uscarea produselor sensibile la căldură, se poate aplica o metodă combinată de uscare radiant-convectivă. Un sistem de uscare UPC cu infraroșu poate fi utilizat pentru îndepărtarea rapidă a umidității de pe suprafața exterioară în timpul perioadei inițiale de uscare, urmat de uscarea intermitentă pentru restul duratei procesului de uscare. Acest mod de funcționare asigură o rată de uscare inițială mai rapidă.

Prin urmare, un UPC asistat în infraroșu (IR) ar oferi avantajul compactității, simplității și comodității de control și costuri reduse ale echipamentului [113]. De asemenea, există posibilitatea de a reduce cheltuielile de energie și de sporit calitatea produsului datorită timpului redus de prelucrare în camera de uscare. Pentru un astfel de sistem UPC asistat de IR, este important să existe un sistem de control pentru funcționarea IR, pentru a obține rezultatele dorite în ceea ce privește cinetica procesului de uscare și calitatea produsului, precum și pentru a asigura procesul tehnologic. Un exemplu bun de verificare al feedback-ului, când sursa de IR este întreruptă, arată că temperaturile măsurate în cameră sunt excesiv de ridicate, ceea ce poate duce la supraîncălzirea produsului. Pentru experiment a fost proiectat un sistem de feedback prin cuplarea unui controler PID la lămpile IR și prin introducerea unui ac de termocuplu de tip „T” la bioproduct, semnalele de feedback au fost trimise controlerului [114]. În comparație cu IR-ul care funcționează în mod intermitent, prin programarea preventivă a diferitelor temperaturi pentru produsul supus uscării, s-ar putea realiza o reducere mai mare a timpului de uscare și îmbunătățirea culorii produsului. Întreruperea sursei de IR în cazul depășirii temperaturii de uscare în cameră s-a dovedit a fi o soluție eficientă în prevenirea supraîncălzirii produsului alimentar.

Uscarea în pat fluidizat. Procesul de uscare în pat fluidizat în continuare numit FBD, s-a regăsit în multe domenii de aplicații pentru uscarea produselor sămânțoase obținute în urma prelucrării primare din domeniul industriei alimentare [115]. Dacă ne referim la uscarea pulberilor cu granulozitatea cuprinsă în intervalul de 50-2000 μm , metoda uscării în pat fluidizat concurează cu succes cu alte tipuri de uscătoare tradiționale, de exemplu, uscător-rotativ, uscător-tunel, uscător cu transportor, uscător cu tave etc. Avantajele uscării în pat fluidizat sunt [116]: transferul intensiv de masă și căldură între particule de produs și aer; dirijarea din exterior pe interior a temperaturii produsului, ceea ce face ca procesul de uscare în pat fluidizant să fie ideal, fiind menținută temperatura de procesare pentru particulele solide sensibile; eficiență înaltă a procesului de uscare. Dezavantajele uscării în pat fluidizant sunt: acest sistem este apt să usuce o gamă limitată de produse; este limitat în prelucrarea termică a produselor sămânțoase cu dimensiuni geometrice mari; sistemul dat este limitat pentru prelucrarea particulelor de formă alungită [117].

Uscarea în strat fluidizant, asistată de pompa de căldură. În cadrul Institutului Norvegian de Tehnologie, recent au fost proiectate instalații de uscare hibride în pat fluidizat care sunt compuse dintr-un sistem de uscare cu ajutorul pompei de căldură [118], prezentat în figura 1.4. Camera de uscare este alimentată cu materie primă prin conductele de intrare și evacuează produsul uscat prin conductele de ieșire.

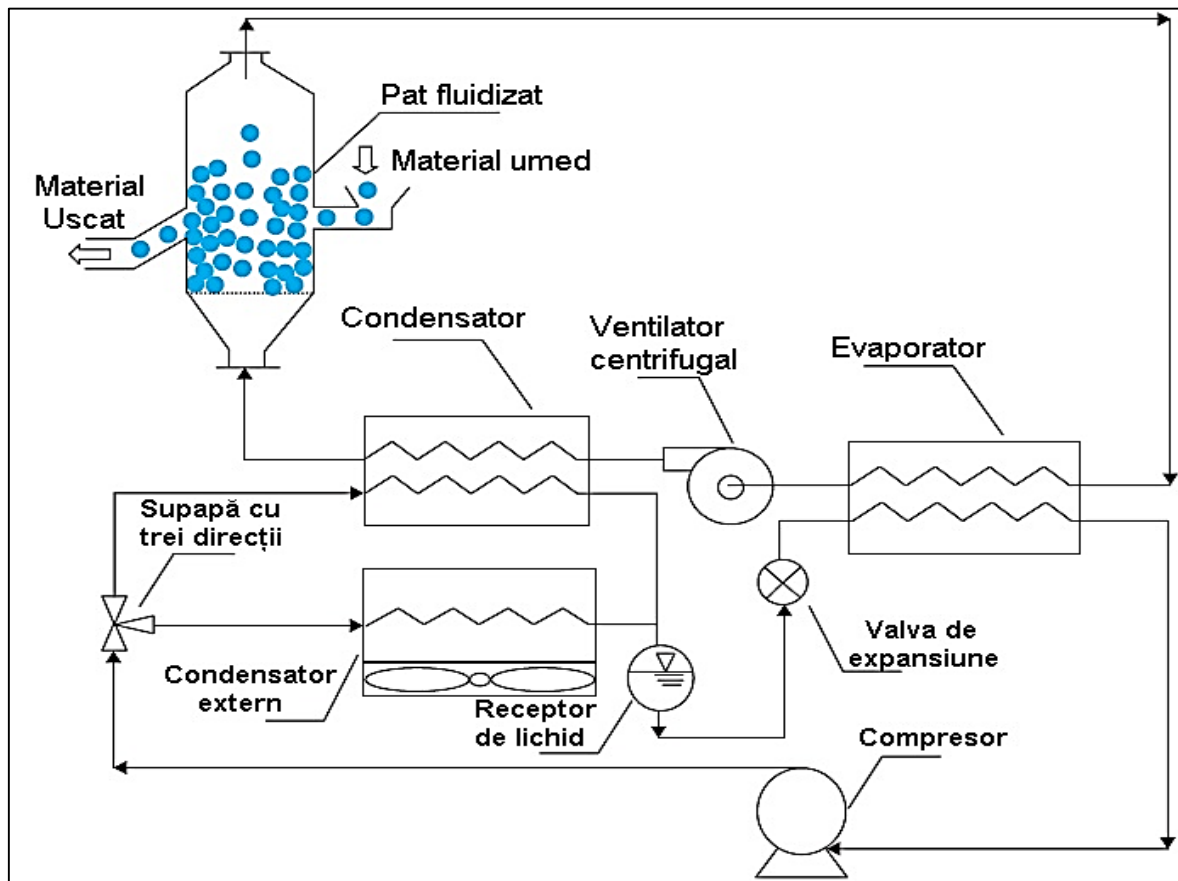


Fig. 1.4. Schema uscătorului hibrid în strat fluidizat, asistat de pompa de căldură [119]

Temperatura de lucru necesară este asigurată prin ajustarea capacității condensatorului, în timp ce umiditatea necesară a aerului este menținută prin reglarea capacității compresorului prin controlul frecvenței turației motorului electric. Potrivit lui Alves-Filho și Strommen [120], aceste setări pot asigura regimuri de uscare de la 20°C la 60°C cu o umiditate a aerului cuprinsă între 20% și 90%. Cu astfel de posibilități de reglare, produsele agroalimentare sensibile la căldură pot fi supuse procesului de uscare convectivă sau combinată cu pompa de căldură.

Uscarea prin convecție și liofilizare în pat fluidizant cu pompa de căldură. În practica internațională este posibilă divizarea acestor două operații (uscare prin convecție și uscare prin congelare). Această metodă este destul de avantajoasă pentru uscarea produselor agroalimentare, deoarece procesul de liofilizare provoacă o contracție minimă, care duce la mărirea randamentului la

uscare, în timp ce uscarea prin aer convectiv poate fi aplicată pentru a spori randamentul la uscare. Prin urmare, combinarea metodelor de uscare, de exemplu liofilizarea la 5°C, urmată de uscare convectivă la 20-30°C, permite controlul parametrilor de calitate precum porozitatea, ratele de rehidratare, rezistența, textura, culoarea, gustul etc [121].

Astfel de experimente au fost efectuate la departamentul „Inginerie Mecanică” al Universității Norvegiene de Știință și Tehnologie, pe diverse produse agroalimentare sensibile la regim de temperatură, cum ar fi fructele și legumele, și au arătat că această metodă nouă de uscare hibridă cu pat fluidizat oferă o calitate sporită a produsului, dar la un cost mai ridicat. Chiar dacă la moment au loc lucrări experimentale cu acest uscător hibrid, uscătorul cu pompă de căldură în pat fluidizat în două etape a atras atenția unor entități care se ocupă cu prelucrarea produselor agroalimentare din Norvegia [122]. Acest sistem în două etape include două paturi fluidizate consecutive. Adică două pompe de căldură furnizează aer condiționat independent fiecărei camere de uscare. Camerele de uscare sunt conectate în serie, astfel încât să primească un produs cu umiditate ridicată și să transmită produsul semiuscat către următoarea cameră de uscare, din care deja se capătă produsul finit uscat. Un astfel de uscător hibrid în două trepte este foarte flexibil, deoarece permite înghețarea independentă și uscarea convectivă. Avantajele uscării în pat fluidizat în mai multe etape în comparație cu uscarea în pat fluidizat asistat de pompa de căldură presupune mărirea calității produsului finit și o eficiență energetică sporită [123], dar din păcate cu cost sporit de producere.

Recent, a fost utilizată o metodă de uscare cu pat fluidizat care încorporează abur supraîncălzit ca mediu de uscare pentru uscarea orezului. S-a observat că, atunci când se utilizează uscarea cu abur supraîncălzit, stabilitatea orezului crește și are valori mai mari decât cele obținute din uscarea cu aer cald. Cu toate acestea, a existat o oarecare depreciere a culorii în ceea ce privește culoarea albă a sa. Principala cauză a schimbării rapide a culorii se datorează parțial condensării aburului pe suprafața exterioară a orezului [124].

Uscarea cu microunde. Mecanismele fizice care fac parte din procesele de încălzire și uscare cu microunde sunt diferite de cele ale metodelor de uscare tradiționale. Microundele pot pătrunde în materiale dielectrice și pot genera căldură internă. Căldura internă generată stabilește o presiune de vapori în interiorul produsului și „pompează” ușor umiditatea la suprafață. Acest efect de pompă a umidității duce la forțarea ei spre suprafață și previne apariția întăririi carcasi produsului [125]. Viteza de uscare și indicii de calitate a produsului sunt ulterior îmbunătățite. Datorită acestui avantaj unic, uscarea cu microunde a fost utilizată în mai multe industrii, de exemplu industria lemnului, hârtiei, textilelor, alimentelor și ceramicii.

Totodată, progresul tehnologiei de uscare cu microunde la nivel industrial a fost relativ lent datorită investiției sale inițiale ridicate de capital și a eficienței energetice scăzute în comparație cu tehnologiile convenționale de uscare [126].

Pentru a îmbunătăți aspectele economice ale uscării cu microunde, este necesar să se încorporeze elemente de conservare a energiei. S-a demonstrat, că folosind deshidratarea cu microunde, timpul de uscare, de exemplu pentru măr, poate fi redus semnificativ, iar produsele au o calitate mai bună. Încorporarea tehnologiei cu microunde, cu uscătoarele tradiționale, poate da naștere unei tehnologii de uscare mai viabilă din punct de vedere comercial [127]. Principalele avantaje ale procesului de uscare cu microunde pot fi [128]:

- mărirea randamentului pentru procesele de transfer de masă și căldură;
- mărirea gradientilor interni de umiditate, care sporesc randamentul de uscare;
- creșterea vitezei de uscare fără temperaturi ridicate ale suprafeței produsului;
- sporirea indicilor de calitate a produsului.

La momentul actual, instalațiile de uscare industriale cu microunde pot fi viabile din punct de vedere comercial, fiind destinate pentru diferite ramuri ale industriei alimentare care necesită o durată redusă de uscare, un randament mai mare în ceea ce privește consumul de energie și respectiv o metodă bună în ceea ce privește sporirea indicilor de calitate [129]. Recent, cercetătorii de la Laboratorul de tehnologie a alimentelor uscate de la Universitatea de Stat din Washington au elaborat o instalație de uscare cu vid cu aplicarea microundelor [130].

Uscarea cu microunde în mediu vidat. În figura 1.5 este prezentată o schemă simplificată a acestei instalații. Procesul de uscare cu microunde în vid are loc în recipiente mari din oțel inoxidabil în condiții de vid. În interior, vasul conține un transportor, un generator de microunde și o sursă de căldură radiantă. Există trei zone în instalație. Deoarece produsul alimentar este transportat prin intermediul transportorului, acesta pătrunde în fiecare zonă, unde este instalată câte o sursă de microunde de diferită putere [131].

În prima zonă, produsul este supus unui nivel ridicat de energie cu microunde de 12 kW la 2450 Hz sau 30 kW la 915 Hz în condiții de vid de aproximativ 1,3 - 4,0 kPa. În această zonă produsul suferă o deshidratare rapidă din cauza nivelului ridicat de energie a microundelor. În a doua zonă produsul este supus unui nivel moderat de energie a microundelor de 6 kW cu 2450 Hz. Zona finală poate fi sau nu însoțită de energia microundelor, chiar mai mică pentru a asigura echilibrul conținutului de umiditate. În această zonă, produsul este răcit și în cele din urmă transportat pentru ambalarea finală a lui [132].

Utilizarea vidului în metoda de uscare cu microunde diminuează gradul de oxidare a produsului și scade temperatura punctului de fierbere al apei din produsul supus procesului de uscare, făcând posibilă uscarea rapidă la temperaturi sub 55 °C. Uscarea la temperatură mai mică permite produselor agroalimentare să minimizeze degradarea indicilor de calitate precum culoarea, aroma și valoarea nutrițională.

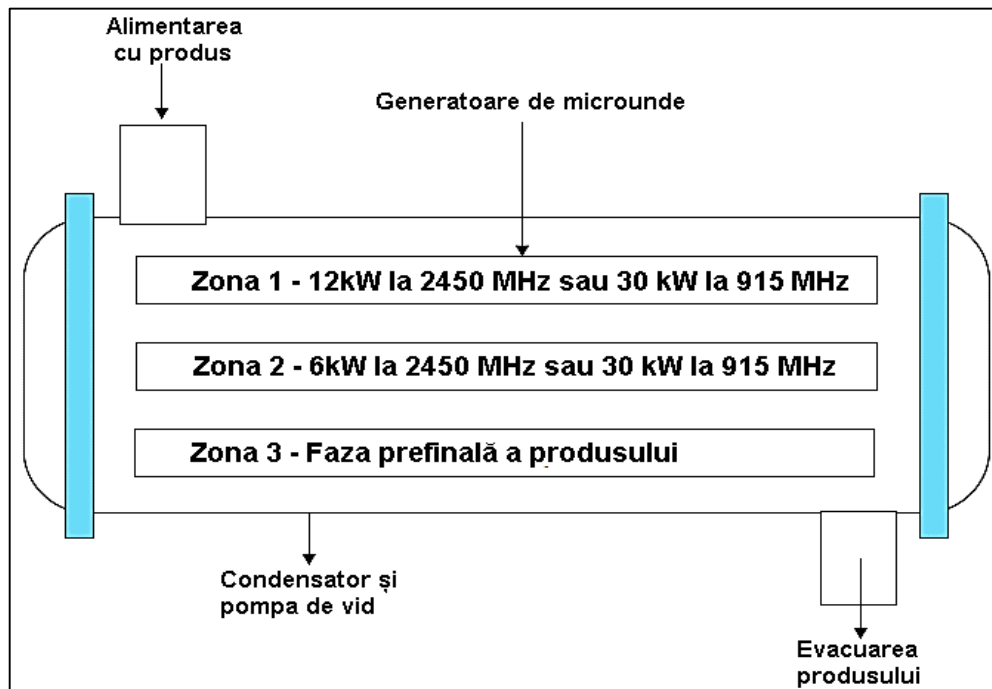


Fig.1.5. Schema uscătorului cu microunde în vid, dotat cu trei zone de uscare [111]

Creșterea subtilă a energiei cu microunde în diferite zone este o altă caracteristică distinctă a acestui uscător hibrid. Când produsul deține un grad de umiditate sporit în primele etape de uscare, este capabil să sufere un impact termic ridicat fără o degradare semnificativă a indicilor de calitate. Pe măsură ce umiditatea este eliminată, produsul este mai susceptibil la schimbări ai indicilor de calitate [133]. Prin urmare, utilizarea energiei cu microunde asigură uscarea rapidă, reducând în același timp probabilitatea de scădere a indicilor calității.

De asemenea, este de remarcat faptul că acest uscător încălzește alimentele în mod uniform și astfel le păstrează forma și aspectul plăcut. Mai mult ca atât, s-a constatat că tehnologia de deshidratare în vid cu aplicarea microundelor sporește calitatea produselor agroalimentare. Această metodă are un potențial imens în ramura industriei alimentare, și anume la tratarea termică a produselor agroalimentare [134]. Recent au fost evaluate mai multe tehnologii de uscare și anume, procesul de uscare pe tăvi, uscarea în pat fluidizant, uscarea combinată a cuptorului cu microunde și convecție și uscarea prin congelare. În materialul ce urmează vom descrie câteva tehnologii noi de uscare, dezvoltate recent, care sunt potrivite pentru produsele agroalimentare.

Majoritatea direcțiilor de cercetare și dezvoltare, care au fost efectuate pentru aceste tehnologii, sunt încă în faza incipientă. Reeșind din toate acestea, merită să fie menționate pentru a fi prezentate mai multe metode disponibile, care trebuie luate în considerare în alegerea celei mai practice și eficiente tehnologii de uscare pentru gama largă de produse agroalimentare [135].

În figura 1.6 este prezentată schema unei instalații experimentale pentru uscarea cu microunde în pat fluidizant.

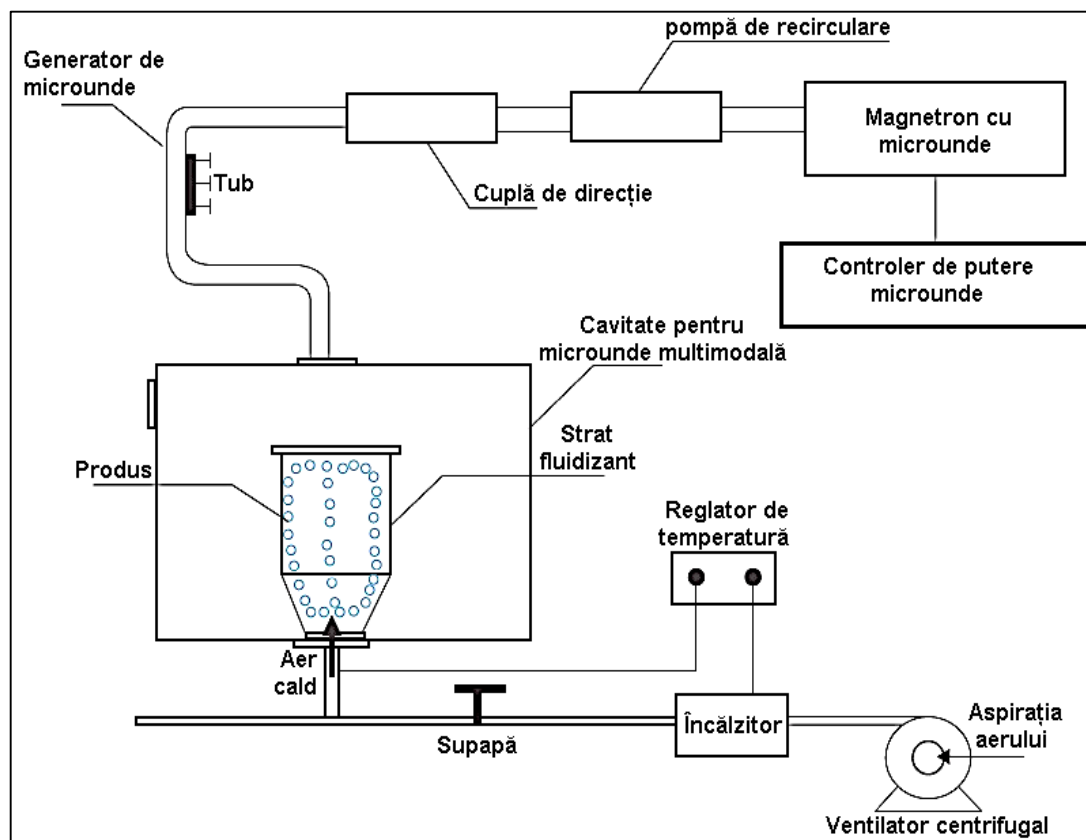


Fig.1.6. Schema-concept al uscătorului în pat fluidizant asistat de microunde [111]

Din experimentele efectuate, s-a observat, că uscarea combinată cu microunde și patul fluidizant la un nivel de putere de 4 W/g a fost de cel puțin 5 ori mai rapidă decât uscarea pe tavă atunci când s-au folosit temperaturi ale aerului între 50 °C și 70 °C.

Uscarea cu microunde și abur supraîncălzit. Uscătorul cu microunde și aburul supraîncălzit sunt niște tehnologii de uscare bine stabilite. Avantajele uscării prin microunde au fost menționate anterior. Pentru uscarea cu abur supraîncălzit ar fi următoarele avantaje:

- este o metodă de uscare, care nu dăunează mediului înconjurător și totodată asigură un consum redus de energie;
- uscarea produselor agroalimentare prin așa metodă, poate avea un randament destul de mare, uneori poate fi cu până la 50% mai mare decât randamentul unei metode tradiționale de uscare [135].

Este cunoscut că, aburul este un agent termic mai bun în comparație cu aerul uscat în distrugerea tuturor microorganismelor ce se regăsesc în produsele alimentare [136]. În general, se știe că ambele sunt mai energointensive decât uscătoarele tradiționale și, prin urmare, sunt luate în considerare numai în unele industrii de nișă îngustă, unde produsele agroalimentare sunt considerate a fi de mare valoare. A fost studiată tehnologia combinată de uscare prin microunde cu abur supraîncălzit. Din experimentele efectuate, s-a constatat că, în comparație cu uscarea prin microunde, randamentul de uscare prin metoda combinată a fost mai mare. Rezultatul este micșorarea duratei de uscare, și în același timp atingerea conținutului de umiditate dorit [137]. Conform [138] există un potențial bun pentru utilizarea unui astfel de sistem hibrid pentru a produce produse de calitate sporită.

Uscarea cu reglarea presiunii. Un mod foarte efektiv de a spori calitatea produselor alimentare care sunt sensibile la căldură și de a atinge uscarea dorită a produsului, este acela de a utiliza un sistem de reglare a presiunii. Diapazonul presiunii de lucru este de obicei de la vid, la aproape o atmosferă. Un sistem vidat total, poate fi destul de costisitor de construit din cauza necesității unor materiale mai puternice și a unei etanșetăți sporite pentru a preveni scurgerile de depresiune. Prin urmare, sistemul dat, este recomandat să funcționeze sub condiții de presiune joasă. Perioada de funcționare la presiune mai mică decât cea atmosferică poate fi continuă la un nivel fix, intermitent sau cu un model ciclic prescris. Modul de utilizare a modelului dat de variație a presiunii depinde în principiu de cinetica procesului de uscare a produsului și de proprietățile sale termice. Cercetătorii [139] au recomandat un mecanism de uscare prin reglarea presiunii pentru produsele agroalimentare. Experimentele lor de uscare a unei substanțe gelatinoase pentru a obține o peliculă omogenă au fost efectuate recent folosind un nou proces: deshidratarea prin decompresie succesivă. Acest proces implică o serie de cicluri în timpul cărora această substanță gelatinoasă este plasată în aer, fiind supusă la o presiune dată apoi supus unei căderi de presiune instantanee sub vid (7 – 90 kPa). Această procedură se repetă până când se obține conținutul de umiditate dorit. Un studiu comparativ între metoda inovativă de uscare prin reglarea presiunii și metodele convenționale a arătat, că reducerea duratei de uscare ar putea fi de până la 480 și 700 de minute în comparație cu sistemele de uscare cu aer cald și vid. De asemenea s-a studiat metoda succesivă a influenței presiunii asupra cineticii de uscare, precum și degradarea culorii a două bioproduse, și anume cartoful și morcovul [140]. Parametrii investigați includ durata ciclului, valorile presiunii și temperatura camerei de uscare pe parcursul uscării, culoarea produsului și modificările porozității.

Rezultatele experimentale au arătat că valoarea presiunii are un impact pozitiv asupra reducerii duratei de uscare. În condițiile de uscare unde presiunea în camera de lucru este mai mică decât cea atmosferică, s-a redus impactul asupra schimbării de culoare a produsului.

Astfel, integrarea unui sistem de variație a presiunii la orice instalație de uscare prin convecție ar îmbunătăți semnificativ calitatea produsului și, în același timp, ar reduce durata de uscare, ceea ce ar duce la mărirea eficacității procesului tehnologic de uscare a produselor agroalimentare.

Uscarea în pat rotativ cu jet de presiune. Pentru asigurarea acestui tip de deshidratare a fost implementat principiul uscării intermitente într-un nou sistem de pat rotativ cu jet de presiune. Cercetătorii au studiat cinetica uscării porumbului folosind un pat rotativ cu jet. O schemă a configurării lor este prezentată în figura 1.7. Pe scurt, patul rotativ cu jet de presiune este format atunci, când jetul de aer se deplasează circular în regiunea inelară dintre peretele camerei de lucru și canalul central al ei [141].

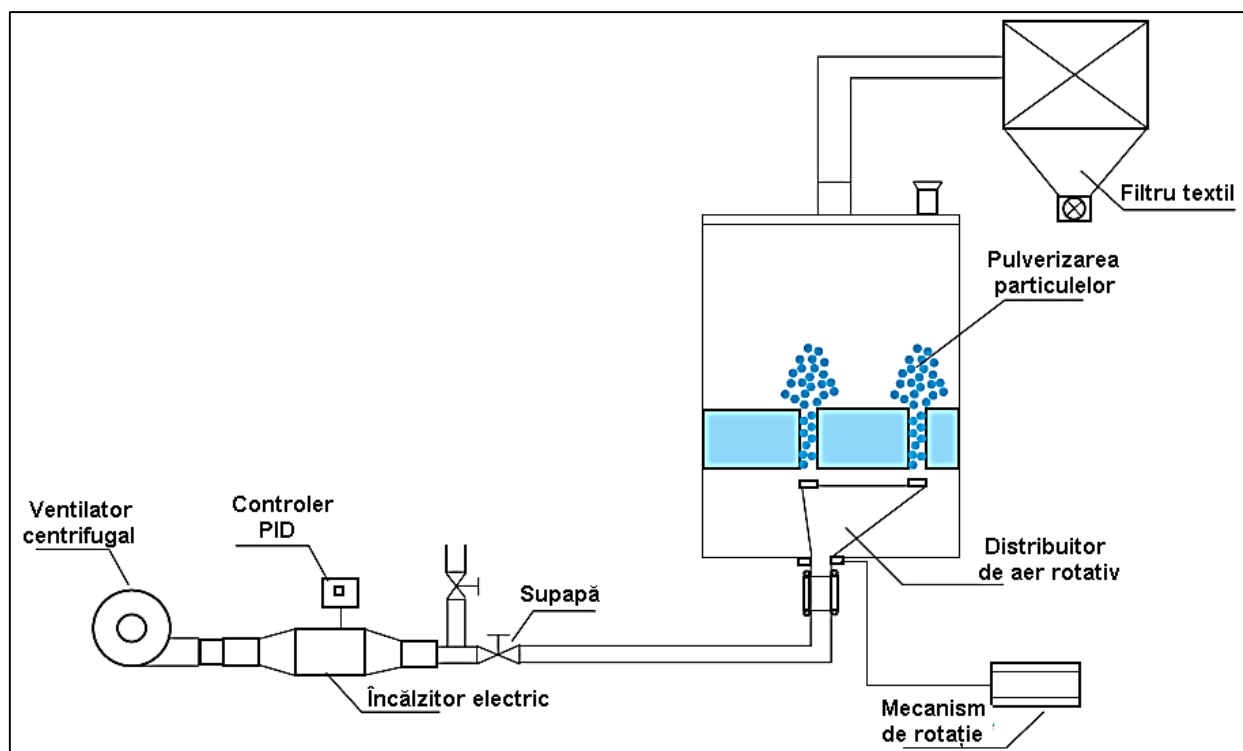


Fig. 1.7. Schema-concept al uscătorului în pat rotativ cu jet de presiune [111]

A fost observată, o deteriorare mecanică minimă a structurii interne a produsului, datorită uzurii reduse cauzată de coliziunile inter-particule. În ceea ce privește economia de energie, uscarea intermitentă efectuată prin metoda dată a dus la o economie substanțială de energie de până la 37 %, în comparație cu un uscător cu strat fluidizat convențional [141].

1.4 Direcții de perfecționare ale proceselor de uscare a semințelor de struguri

Procesul de uscare presupune îndepărtarea apei, care de obicei este însoțită de căldura din produsele agroalimentare, rezultând produse uscate solide. Într-un produs alimentar proaspăt există două tipuri de umiditate, în primul rând apa legată, care este caracterizată de lichidul reținut în microstructura părții solide și în al doilea rând apa liberă, care este reprezentată de excesul de apă delimitată. Apa legată este reprezentată de o soluție lichidă reținută într-o matrice solidă. Aceasta duce la coexistența unor procese termice complexe în timpul uscării produselor alimentare proaspete. În primul rând, energia este transferată de la agentul de uscare fierbinte la produsul proaspăt. În al doilea rând, are loc o evaporare a apei libere și, în cele din urmă, particule de apă legată în structura celulară sunt supuse difuziei [142].

Îndepărtarea umidității din produsul proaspăt inhibă creșterea bacteriilor și proliferarea acestora crescând durata de valabilitate a produsului. Mai mult, activitatea enzimatică, proprietățile senzoriale și creșterea microbiană sunt, de asemenea, afectate de procesul de uscare [143].

Mecanismul de uscare constă în îndepărtarea apei de umectare (perioadă de timp constantă) urmată de eliminarea internă a apei legate (perioada de timp în scădere). Chiar dacă are loc evaporarea apei de pe suprafață, este important să se vaporizeze și apa legată, deoarece numai după perioada de scădere a vitezei de uscare rezultă un produs uscat [144].

Procesul de uscare este cunoscut drept cel mai bun mod de conservare a fructelor, legumelor și produselor horticoale sămânțoase. Mai mult ca atât proprietățile de aromă și textură ale materiei prime sunt modificate, obținându-se niște produse noi cu proprietăți speciale, cum ar fi gustări care pot fi o alternativă mai sănătoasă la alte produse comerciale [145].

Deasemenea, înlăturarea apei previne evoluția microorganismelor și alterarea chimică și biochimică, care au un impact negativ asupra produsului și duc la mărirea duratei de păstrare a produsului. Acest lucru are loc atunci, când activitatea apei este mai mică de 0,3. Respectiv, în funcție de metoda de eliminare a apei din produs, există diferite tipuri de procese de uscare, cum ar fi: uscarea termică, care se clasifică la rândul său în uscare cu mediul format de aer, uscare în mediu cu atmosferă modificată; mai este cunoscută deshidratarea osmotică în care se utilizează o soluție pentru îndepărtarea apei și în final deshidratarea mecanică, care folosește forța fizică pentru uscare [146].

Obiectivele principale care sunt asigurate de procesul de uscare sunt:

- conservarea produselor proaspete;
- transformarea produsului din stare proaspătă în stare uscată, menținând sau îmbunătățind calitatea produsului finit;

- micșorarea volumului și a greutateii produsului pentru a eficientiza transportul și procesul de depozitare;
- eficientizarea prelucrării termice a produsului, deoarece metodele tradiționale de uscare utilizează cantități enorme de energie, având un randament scăzut al procesului [147].

Eficiența energetică, calitatea alimentelor și timpul de uscare sunt principalii parametri, care necesită a fi optimizați în cadrul cercetărilor. În ansamblu, tehnicile de uscare își propun să dezvolte produse alimentare cu diverse caracteristici. Deși o mulțime de instalații de uscare (aproximativ 40 de tipuri diferite de uscătoare) au fost deja proiectate, dovedite și utilizate, nu toate sunt potrivite pentru a fi utilizate în industria alimentară. Cele mai populare tehnici de uscare aplicate, sunt pentru îndepărtarea umidității din fructe, legume și produse horticoale sămânțoase [148].

O parte dintre metodele și tehnicile noi de uscare, au apărut prin modificarea celor existente sau prin utilizarea tehnicilor cunoscute neaplicate anterior în uscarea produselor alimentare. Analiza punctelor slabe ale metodelor și tehnicilor de uscare aplicate pentru fructe, legume, produse horticoale sămânțoase duc la crearea de noi posibilități care ulterior vor îmbunătăți calitatea produselor uscate, utilizând diferite tehnici de uscare sau combinându-le între ele.

Pe parcursul timpului, au fost dezvoltate, utilizate și aplicate mai multe tehnici de uscare pentru deshidratarea produselor vegetale. Cu toate acestea, aceste metode, care sunt aplicate pe scară largă nu sunt lipsite de unele dezavantaje și respectiv, s-au efectuat un șir de cercetări ample pentru a delimita aceste aspecte negative, precum și pentru a micșora maxim posibil consumul de energie pe tot parcursul procesului de uscare.

Potrivit autorilor T. Kudra și A.S. Mujumdar [149], noile metode și tehnologii de uscare care ar putea fi acceptate de industria alimentară includ soluții care prevăd reducerea consumului de energie termică, cum ar fi de exemplu instalațiile de uscare care utilizează pompele de căldură [150]. Combinarea tehnologiilor existente tinde spre optimizarea costului produsului finit și la sporirea calității acestuia. Prin urmare, noile tehnologii de tratare termică a produselor presupun optimizarea procesului de uscare, prin menținerea controlului asupra fiecărui parametru tehnologic [151].

Tehnici de uscare prin radiații electromagnetice. O mulțime de metode convenționale de uscare utilizează aerul cald obținut prin încălzitor electric sau gaz de ardere pentru a asigura transferul de căldură între aerul fierbinte și produs, deseori prin convecție [101]. Cu toate acestea, există o mulțime de alte metode care utilizează spectrul de lungime de undă electromagnetică ca energie [152]. Undele electromagnetice de o anumită lungime cu o anumită frecvență, ajung la produs generând astfel căldură, ceea ce sporește viteza procesului de uscare [153].

Această metodă funcționează prin încălzire electrică indirectă, deoarece energia electrică este transformată mai întâi în radiație electromagnetică pentru ca ulterior să fie transformată în căldură pentru tratarea termică a produsului alimentar [154 - 156].

Uscarea cu ajutorul ferestrei de refracție. Metoda dată de uscare presupune trei tipuri de mecanisme de transfer de căldură: convecție, conducție și radiații. Toate aceste tipuri de transfer de căldură sunt necesare pentru a mări eficiența energetică pentru metoda dată de uscare [135]. Produsul expus uscării la fereastra de refracție trebuie să fie în stare lichidă sau semilichidă. Materialul destinat uscării, este aplicat pe o suprafață a benzii transportoare, în mod normal pe un plastic transparent cu infraroșu care atârână în zona apei circulante încălzite. Această metodă funcționează pe principiul refracției suprafeței apei, care creează o fereastră atunci, când energia infraroșie trece. Fereastra cu infraroșu se formează la contactul dintre materialul umed și plasticul transparent și permite transferul direct de energie în infraroșu, apoi către material. Studiile efectuate au concluzionat că timpul de uscare prin metoda dată este foarte scurt [157]. Deshidratarea cu ajutorul ferestrei de refracție are loc sub presiune atmosferică și temperaturi mai mici de 30 °C, fiind o metodă bună pentru produsele sensibile la căldură. Tehnologia dată a apărut ca o nouă posibilitate de a deshidrata produsele agroalimentare, păstrând astfel calitățile organoleptice, dar în același timp măbind randamentul și micșorând costurile energetice de producere [158].

Uscarea cu abur supraîncălzit la presiune scăzută. Avantajele acestei metode de uscare cu abur supraîncălzit la presiune scăzută se datorează reducerii temperaturii de funcționare din cauza presiunii reduse și a lipsei complete de oxigen, deoarece agentul de uscare este înlocuit de abur în loc de aer fierbinte, care este frecvent utilizat pentru schimbul de căldură și masă în metode tradiționale de uscare [159]. Procesul de uscare prin așa metodă, are loc în camera de uscare, care este izolată, în ea fiind abur supraîncălzit care este menținut cu ajutorul pompei cu vid. Deasemenea este instalat un captor de abur pentru a reduce excesul de condensat de abur din rezervor, care primește agentul de uscare de la cazan [160]. Prin utilizarea unui încălzitor echipat cu sistem de control al temperaturii, condensul inițial al aburului în timpul perioadei de pornire, este redus considerabil. Un ventilator electric cu turație variabilă este utilizat pentru a distribui aburul în camera de uscare [161].

Uscarea prin convecție asistată de microunde. În calitate de agent termic, aerul fierbinte este un mediu de uscare eficient pentru a deshidrata fructe, legume, produse horticoale sămânțoase etc. Totuși uscarea prin convecție are unele neajunsuri, care întrunesc durata îndelungată de uscare și formarea crustei pe suprafața exterioară a produsului datorită temperaturii ridicate [162].

Influența acestor probleme poate fi diminuată cu aplicarea uscării prin convecție asistată de microunde [163]. Respectiv, aerul fierbinte reduce umiditatea suprafeței produsului în timp ce energia microundelor elimină umiditatea legată din interiorul produsului prin încălzirea întregului volum de produs [164].

Totodată, există necesitatea unei analize în ceea ce privește etapa optimă, când microundele ar trebui să fie acționate în proces, indiferent dacă intensitatea procesului de uscare începe să scadă sau când intensitatea procesului de uscare scade deja la un conținut de umiditate foarte redus [165].

Uscarea convectivă în mediu de microunde sub vid. Suprapunerea metodei de uscare prin convecție cu uscarea prin microunde în vid duce la obținerea unor produse de o calitate înaltă, cu un cost redus referitor la procesarea termică, precum și un consum mai mic de energie [166]. Procesul constă din două etape: în prima etapă, produsul proaspăt este supus unei uscări preventive prin convecție, după care este urmată de a doua etapă în care se aplică produsului o uscare finală cu microunde, doar că sub vid [167-170].

Procesarea produselor agroalimentare prin convecție, diminuează considerabil umiditatea liberă din produsul proaspăt, fără a afecta compușii lor bioactivi, ceea ce este un aspect foarte important pentru calitatea finală a produsului [171-173]. Ulterior, are loc uscarea finală, prin aplicarea microundelor, care reduce conținutul de umiditate în produs la nivelul dorit [174].

Combinarea acestor două metode de uscare au fost raportată ca cea mai eficientă decât oricare dintre metodele aplicate separat [175]. Impactul pozitiv asupra calității a fost observat la un număr mare de tipuri de produse: vișine, cireșe, coajă de portocală, sfeclă roșie, coacăză neagră, dovleac, prune, etc [176].

1.5 Caracteristica semințelor de struguri

La momentul actual în Republica Moldova, ramura viticulturii nu și-a pierdut relevanța, iar strugurii reprezintă în continuare o sursă de materie primă. De asemenea, cercetările au constatat că beneficii unice în domeniul nutriției, cosmeticii și tratării multiplelor maladii, posedă și semințele de struguri. Aceste beneficii adesea sunt neglijate. Semințele de struguri sunt bogate în antioxidanți puternici și compuși naturali biologici activi așa cum sunt calciu și potasiu, conțin cantități mari de vitamina E. Proprietățile sporite antioxidante ale semințelor din struguri ajută la distrugerea radicalilor liberi din organism, care, la rândul său, ajută să evite îmbătrânirea prematură. Tocoferolul, care este vitamina E, joacă un rol important în procesele vitale, care au loc permanent în organismul uman.

Nu mai puțin valoroși sunt și acizii grași, conținutul cărora în semințe poate ajunge până la 70 %. În urma procesării primare, din struguri se obțin peste 7 % semințe. În Republica Moldova se obțin anual cca. 18-20 mii tone semințe de struguri. Prelucrarea industrială a semințelor de struguri reflectă o serie de operații tehnologice specifice inclusiv și procesul de uscare. Procesul de uscare reprezintă o metodă eficientă de procesare a produselor vegetale în scopul păstrării cât mai îndelungate a acestora. Dar de cele mai multe ori, atunci când procesul tehnologic este însoțit de tratări termice, temperaturile înalte și durata îndelungată de tratare influențează negativ păstrarea substanțelor biologice active din produs sau chiar diminuează calitatea acestora [177].

Un alt neajuns al metodelor actuale de uscare, în special a produselor horticoale sămânțoase este lipsa posibilității de a asigura condiții individuale de uscare pentru fiecare sămânță în parte, ceea ce duce la un proces de uscare neuniform al produsului finit. Semințele de struguri sunt considerate un produs secundar din industria vitivinicolă, care se obține în urma prelucrării primare a strugurilor, și care reprezintă o sursă bună de antioxidanți naturali, care înlocuiesc antioxidanții sintetici pentru a fabrica produse alimentare asigurându-le o durată de valabilitate mai mare. Mai mult decât atât, semințele de struguri prezintă beneficii care promovează sănătatea în ceea ce privește sistemul cardiovascular, atenuarea stresului, agentul neuroprotector și activitățile asupra tumorii, inflamației, îmbătrânirii și a altor boli degenerative.

Reeșind din toate acestea, studiul și valorificarea compușilor lor prezintă un mare interes. Semințele de struguri sunt o sursă de materie primă, care este disponibilă la nivel mondial, fiind niște compuși bioactivi, care prezintă proprietăți antioxidante. Compușii fenolici reprezintă o parte importantă ai acestor bioactivi, ei fiind conturați în ultimii ani prin importanța lor. Întrucât semințele de struguri sunt prezente ca și un deșeu sau subprodus al procesului de prelucrare primară a strugurilor, ele au un cost redus, fiind ulterior utilizate în calitate de materie primă. Valorificarea lor ar putea oferi mai multe avantaje din punct de vedere economic, pentru ramurile industriei alimentare din acest domeniu [178].

Semințele de struguri prezintă o sursă valoroasă de materie primă secundară obținută în urma prelucrării primare a strugurilor și sunt destinate preponderent fabricării uleiului alimentar, și antioxidanților naturali. Considerate ca fiind un subprodus rezultat din industria vinului, ele sunt o sursă bogată în compuși biologici activi, care pot fi utilizate pentru fabricarea unei game variate de produse noi cu un rol important în economie. Semințele de struguri ocupă aproximativ 15 % din deșeurile solide produse în industria vinificației și sunt recunoscute ca produse care necesită o analiză mai aprofundată asupra valorii lor [177].

În dependență de soiul de struguri, sămânța ocupă între 2 % și 6 % din masa boabelor și de la 1 % până la 4 % din masa strugurilor. Sămânța de struguri ocupă între 20 - 25 % din masa tescovinei (fig. 1.8); semințele de struguri conțin de la 40 % până la 65 % substanțe uscate și au un conținut de lipide cuprins între 12 % și 22 % [179].

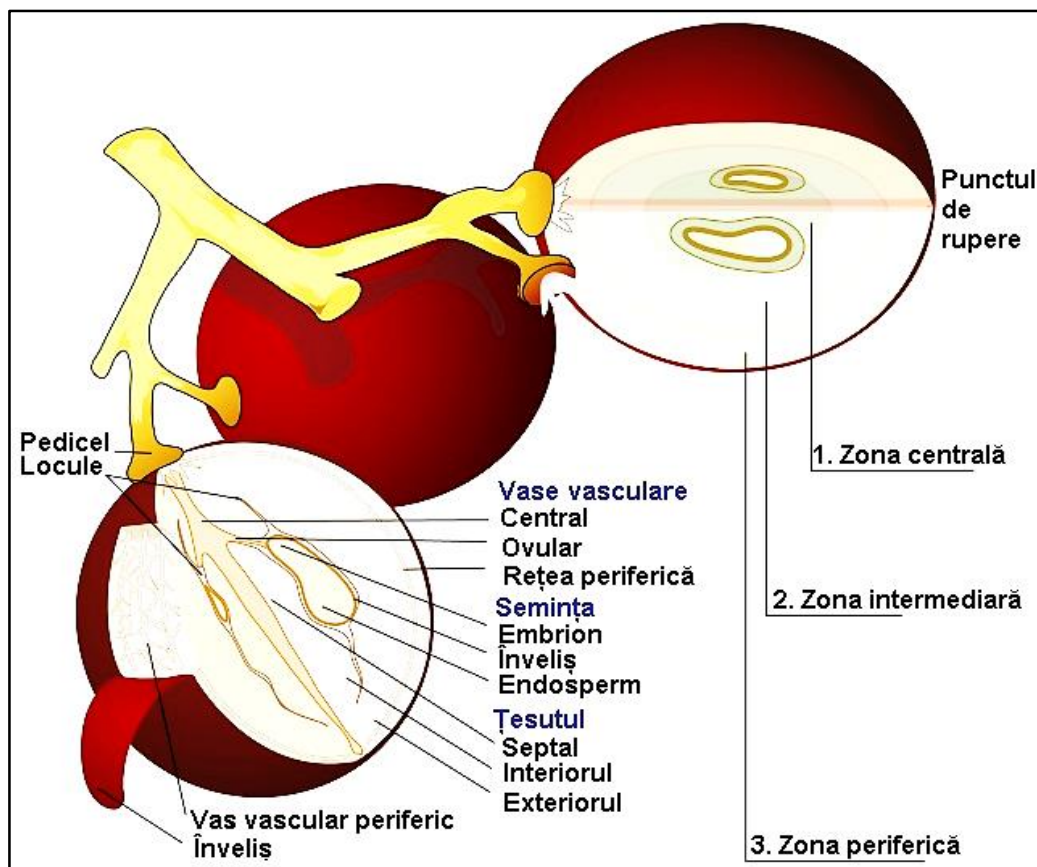


Fig. 1.8. Structura boabelor de struguri [178]

Studiile științifice efectuate în Spania concluzionează, că tescovina umedă a soiurilor de struguri albi conține 23 - 26 % semințe, iar tescovina semințelor roșii conține 25 - 28 % [180]. Semințele de struguri, care sunt folosite pentru producția de ulei, conțin circa 8 % - 15 % lipide, cu calitatea sporită datorită nivelului ridicat de acizi grași nesaturați (oleic și linoleic) și sunt bogate în antioxidanți [181].

Polifenolii în calitate de compus chimic al semințelor de struguri, au efect benefic asupra sănătății omului; proprietatea lor de eliminare a radicalilor liberi protejează celulele din leziunile cauzate de aceste molecule foarte reactive. Alte efectele benefice ale polifenolilor asupra sănătății umane sunt efectele antiinflamatorii și proprietățile anti-alergenice. Polifenolii pot reduce, de asemenea, riscul de boli cardiovasculare și au proprietăți chimiopreventive ale cancerului [182].

Din studiul comparativ realizat de Zheng Feei Ma și Hongxia Zhang, rezultă că conținutul de lipide din semințele de struguri roșii este de la 16 % până la 19 % și că în strugurii albi variază de la 15,5 % la 18 % [182]. Alte cercetări efectuate în SUA privind soiurile europene și hibridii americani au arătat că soiurile americane conțin 13 % - 18,4 %, cu o medie de 14,72 % [183].

Conținutul de apă constituie circa 37,5 %, lipidele – 35 % după care urmează celuloza cu 10,5 % (fig.1.9). În conținutul de ulei al semințelor predomină acidul linolenic, care reprezintă peste 71,5 % din acizii grași [185]. Alt studiu afirmă, că uleiul din semințe de struguri conține 88 % acizi grași nesaturați din care 72 % este acid linoleic [186].

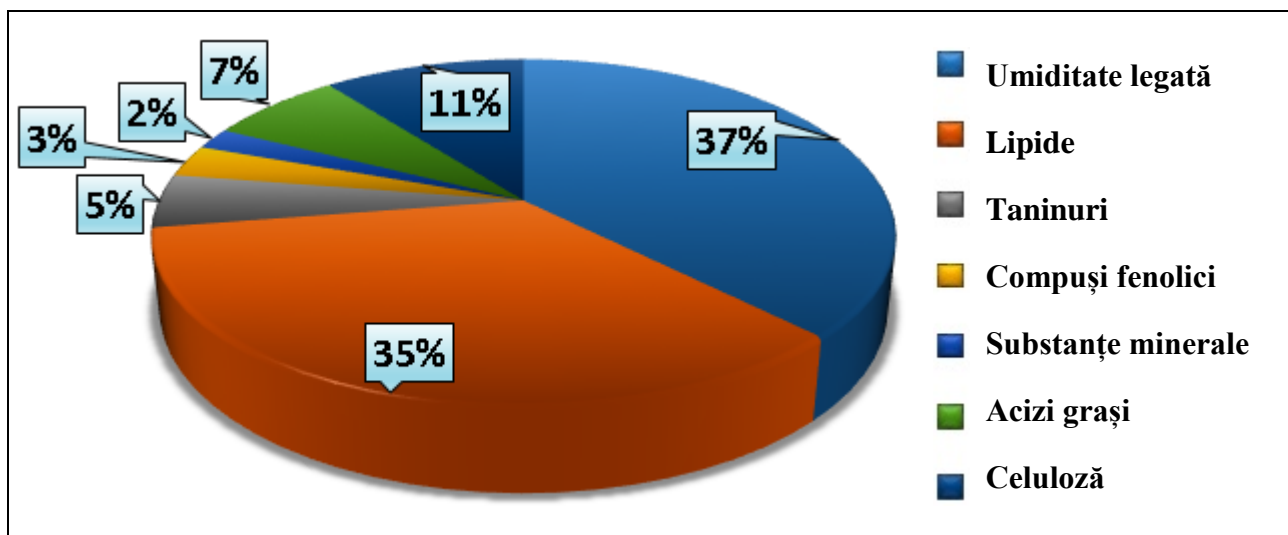


Fig. 1.9. Compoziția chimică a semințelor de struguri [184]

Alte date experimentale arată că compoziția semințelor de struguri înainte de uscare include: apă 30 – 40 %, 3,7 % taninuri, substanțe minerale de la 1 – 2 %, grăsimi 8 – 10 %, de la 44 % la 57 % celuloză. Semințele de struguri sunt o sursă bogată de compuși polifenolici, în special acizii fenolici [187].

Astfel concluzionăm că extractele din semințe de struguri ar putea fi un ingredient funcțional foarte benefic pentru a fi utilizat ulterior într-o mare varietate de produse alimentare. Alimentele funcționale ajută la compensarea dietelor dezechilibrate și la tulburările alimentare, reducând astfel riscul de apariție a problemelor de sănătate [188].

Concluzii la capitolul 1

În scopul dezvoltării economiei naționale este necesară elaborarea noilor tehnologii de uscare a produselor agroalimentare, care ar permite păstrarea funcționalității și obținerea alimentelor de calitate. În baza studiului bibliografic au fost evidențiate următoarele:

1. Au fost analizate tehnicile, tehnologiile și direcțiile de uscare a produselor horticoale sămânțoase.
2. S-a analizat componența chimică a semințelor de struguri bogate în substanțe benefice pentru sănătate cu efecte curative.
3. Combinarea metodelor clasice de uscare, permite formarea sistemelor hibride cu randament sporit în raport cu metodele convenționale.
4. Combinarea eficientă a tehnicilor de uscare hibridă, influențează pozitiv indicii de calitate ai produsului și reduce consumul de energie:
 - Utilizarea uscătorului hibrid cu pompă de căldură, asistat de radio frecvență, contribuie la reducerea degradării culorii și a fisurării suprafeței seminței.
 - Utilizarea uscătorului hibrid în pat fluidizat asistat de microunde, asigură uniformitatea uscării produsului și reduce durata de tratare termică, respectiv și consumul de energie.
5. Direcțiile noi de perfecționare ale proceselor de uscare a semințelor de struguri cuprind un șir de procedee, care se caracterizează prin consum redus de energie, durată optimă de uscare și asigură un produs deshidratat de calitate:
 - Tehnici de uscare prin radiații electromagnetice.
 - Uscarea cu aplicarea microundelor.
 - Uscarea cu ajutorul ferestrei de refracție.
 - Uscarea cu abur supraîncălzit la presiune scăzută.
 - Uscarea prin convecție asistată de microunde.
 - Uscarea cu microunde în vid.
 - Uscarea convectivă în mediu de microunde sub vid.
 - Uscarea în strat fluidizat.
6. Uscarea în strat suspendat a produselor horticoale sămânțoase ar permite elaborarea unor sisteme hibride pentru deshidratarea eficientă a produselor agroalimentare.

2 MATERIALE ȘI METODE DE CERCETARE

2.1 Semințele de struguri ca obiect de studiu

Semințele de struguri ocupă aproximativ 15 % din deșeurile solide produse în industria vinificației și sunt recunoscute ca produse care necesită o analiză mai aprofundată asupra valorii lor [177]. Drept obiect de studiu au servit semințele de struguri de soiuri roșii, din tescovină obținută după prelucrarea primară a soiurilor tehnice de struguri (Cabernet Sauvignon, Merlot, Pinot Noir, Moldova, Isabella etc.).

2.1.1 Proprietățile termofizice ale semințelor de struguri utilizate pentru simularea 3D

Produsele agroalimentare dispun de o structură foarte complexă și diferită. Proprietățile termofizice pentru astfel de produse dispun de valori cu domenii largi de referință. Uscarea semințelor de struguri este un proces termic care eficientizează evacuarea umidității din produs. În astfel de produse apa poate fi legată sub formă chimică, fizică și mecanic. Pe parcursul procesului de uscare aceste legături se manifestă în moduri diferite una față de alta. În prima perioadă a procesului de uscare dispare legătura mecanică a apei, urmată în a doua perioadă de legătura fizică, iar cea chimică rămâne neschimbată. Pentru prelucrarea termică a semințelor de struguri, este necesar de studiat proprietățile termofizice ale lor, (tab. 2.1). Un produs agroalimentar cum sunt semințele de struguri, fiind încălzit la anumite valori de temperatură, sporește randamentul de extragere a lipidelor din ele, însă există riscul de degajare a căldurii latente specifice. Pentru a usca semințele de struguri a fost necesar de cunoscut entalpia specifică a lor. Aceasta este o mărime termică de stare extrem de utilă, pentru calculul cantității de căldură în procesele de transfer termic. Analiza proprietăților termofizice ale semințelor de struguri eficientizează calculul transferului termic pentru determinarea cantității de căldură necesare la încălzirea produsului pe parcursul procesului de deshidratare [189]. Ele includ căldura specifică, entalpia, conductivitatea termică, și difuzivitatea termică.

Tabelul 2.1. Proprietățile termofizice ale semințelor de struguri în raport cu alte produse

N ^o	Denumirea produsului	Căldura specifică, J/kgK	Entalpia, kJ/kg	Conductivitate termică, W/m ² K	Difuzivitate termică, m ² /s
1.	Semințe de struguri	358	80	0,3240	4.39·10 ⁻⁸
2.	Semințe de mere	381	360	0,205	14·10 ⁻⁴
3.	Semințe de rapiță	396	372	0,237	12·10 ⁻⁴

În comparație cu alte semințe, valoarea căldurii specifice (tab. 2.1) pentru semințele de struguri este redusă, aceasta denotă diminuarea cheltuielilor de energie termică la uscarea lor. Totodată, se observă indice avansat al conductivității termice față de semințele de mere și rapiță, ceea ce ne indică că temperatura în interiorul semințelor de struguri crește mai rapid față de semințele de mere și rapiță [190].

2.1.2. Metodologia determinării proprietăților aerodinamice ale semințelor de struguri

Menținerea semințelor de struguri în strat suspendat, necesită ca viteza ascendentă a aerului din tub cu diametrul determinat preventiv pentru cercetare, să fie egală cu viteza lor de plutire. Experimental s-a demonstrat, că viteza curentului de aer într-un tub este mai mare spre axa centrală și mai mică spre periferii. În anumite cazuri viteza de lângă perete, dincolo de stratul limită, este de două ori mai mică decât viteza în axul tubului. Astfel rezultă că, în cazul particulelor solide egale ca formă, dimensiuni și greutate specifică, cele de pe axa centrală sunt antrenate în sus, cele situate între axă și perete stau pe loc, iar particulele de lângă perete se deplasează în jos. Menționăm că pentru o singură particulă, datorită turbulenței, viteza de plutire este mai mică la peretele tubului decât pe axă [191].

În tubul poziționat vertical (fig. 2.1), se află semințele de struguri de diametru d , care sunt antrenate sub acțiunea debitului de aer cu viteza v_a pentru formarea stratului suspendat.

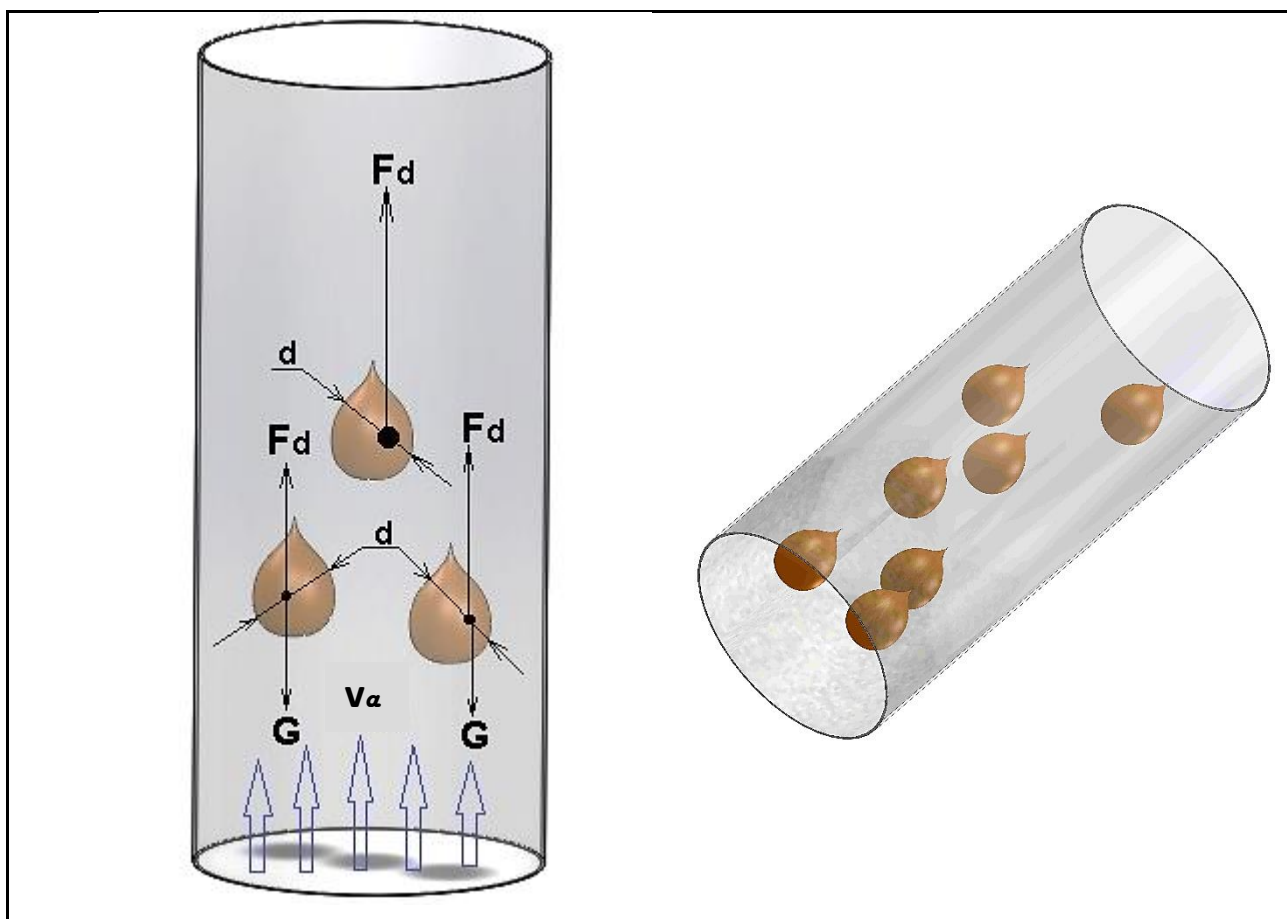


Fig. 2.1. Forțele care acționează asupra seminței de struguri aflată în strat suspendat

Neglijând forța lui Arhimede, asupra semințelor vor acționa două forțe: forța de gravitație G și forța rezultată de presiunea aerului asupra particulei F_d . Este cunoscut, că presiunea aerului depinde de viteza curentului de aer, respectiv sunt posibile trei configurații:

Configurația I presupune atunci când viteza curentului de aer este prea mică și respectiv sămânța din curentul de aer va cădea: $F_d < G$;

Configurația II - viteza seminței de strugure este mare, și respectiv sămânța va fi ridicată: $F_d > G$;

Configurația III presupune că la o anumită viteză forța apărută în urma presiunii aerului va echilibra greutatea seminței, și aceasta va rămâne suspendată în curentul de aer, adică $F_d = G$.

Această viteză se numește viteză de plutire sau viteză critică și se determină experimental pentru fiecare material [192]. Pentru ca semințele de struguri să se deplaseze pe verticală în sus, este necesar de a dezvolta o viteză mai mare decât viteza de plutire, prin crearea unei diferențe de presiune între extremitățile conductei. Viteza de plutire, poate fi determinată teoretic considerând o sămânță de strugure cu diametru d și masa m , aflată în interiorul unei conducte verticale de transport pneumatic cu diametrul D_c , în care aerul circulă cu viteza v_a (fig. 2.1). Poate fi scrisă ecuația diferențială a mișcării seminței de struguri ce se deplasează cu viteza v .

$$m \frac{dv}{dt} = F_d - G \quad (2.1)$$

unde: F_d - forța dinamică cu care curentul de aer acționează asupra seminței, [N];

G - greutatea seminței, [N].

Forța dinamică este dată de relația :

$$F_d = \psi \cdot \rho_a \cdot A(v_a - v)^2 \quad (2.2)$$

unde: ψ - coeficient de presiune al aerului asupra seminței de struguri, care depinde de forma și starea suprafeței sale;

v_a - viteza aerului, [m/s];

v - viteza seminței de struguri, [m/s];

ρ_a - densitatea aerului [kg/m³];

A - proiecția suprafeței seminței pe direcția perpendiculară a curentului de aer, [m²].

În funcție de raportul de forțe F_d și G , se deosebesc trei cazuri :

Atunci când $F_d < G$, $\frac{dv}{dt} \leq 0$, accelerația este negativă, sămânța de struguri cade;

Atunci când $F_d > G$, $\frac{dv}{dt} \geq 0$, sămânța de struguri se deplasează ascendent, cu mișcare accelerată ;

Atunci când $F_d = G$, $\frac{dv}{dt} = 0$, sămânța de struguri se află în stare de echilibru [193].

Pentru simplificare, se consideră ca sămânța de struguri are diametrul echivalent d , având în ascendență viteza de plutire v_p . Scriind $v_p^2 = (v_a - v)^2$ și înlocuind în relația, care exprimă condiția de echilibru $F_d = G$, se obține:

$$\psi \cdot \frac{\gamma_a}{g} \cdot \frac{\pi d^2}{4} v_p^2 = \frac{\pi d^3}{6} \gamma_m, \quad (2.3)$$

unde: d - diametrul echivalent al seminței de struguri, [m];

g - accelerația gravitațională, [m/s²];

v_p - viteza de plutire, [m/s];

γ_m - greutatea specifică a seminței [N/m³];

γ_a - greutatea specifică a aerului [N/m³]; ($\gamma_a = 0,12 \cdot 10^{12}$ [N/m³]) [194].

Reeșind din cele expuse și din relația scrisă, rezultă că:

$$v_p = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot d \cdot \gamma_m}{3 \cdot \psi \cdot \gamma_a}}, \text{ [m/s]} \quad (2.4)$$

Întrucât pentru produsul de formă sferică $\psi \approx 0,23$, relația (2.4) are forma :

$$v_p = \sqrt{\frac{28,4 \cdot d \cdot \gamma_m}{\gamma_a}}, \text{ [m/s]} \quad (2.5)$$

Pentru semințele de struguri, care au o formă mai complexă se poate scrie:

$$v_p = c \sqrt{\frac{28,4 \cdot d \cdot \gamma_m}{\gamma_a}}, \text{ [m/s]} \quad (2.6)$$

unde: c - coeficientul care ia în considerare dimensiunile semințelor de struguri și sunt recomandate în tabelul 2.2.

Tabelul 2.2. Variația coeficientului "c" în dependență de diametrul echivalent al seminței

Diametrul echivalent al semințelor de struguri, mm	0,5	1	5
Valoarea coeficientului "c"	1	1	0,9

Viteza de plutire în tubul de aer este mai mică decât cea în spațiu liber, ea diminuându-se în raport cu diametrul seminței de struguri și creșterea diametrului tubului. Pentru exploatarea eficientă a instalației de uscare în strat suspendat, dimensiunea semințelor de struguri nu va depăși 0,3 - 0,4 din diametrul conductei. Astfel viteza de plutire va fi:

$$v_p = c \sqrt{\frac{28,4 \cdot d \cdot \gamma_m}{\gamma_a} \left[1 - \left(\frac{d}{D_c} \right)^2 \right]}, \text{ [m/s]} \quad (2.7)$$

unde: D_c - diametrul tubului, [m] [195].

Relația (2.7) se recomandă, a fi utilizată pentru practica industrială la determinarea vitezei de plutire în cazul particulelor de formă sferică, dar și pentru particule forma geometrică a căroră este descrisă de raportul: $d / D_c = 0 - 0,25$.

Pentru produsele horticoale sămânțoase, care au o altă formă se introduce noțiunea de diametru echivalent al sferei și noțiunea factorului de formă K_f , care multiplică coeficientul de presiune ψ . Dacă V este volumul seminței de formă specifică, atunci diametrul ei echivalent va fi:

$$d_{ech} = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} V} = 1,24\sqrt[3]{V}, [\text{m}] \quad (2.8)$$

unde: V - volumul seminței de strugure, $[\text{m}^3]$.

Expresia vitezei de plutire în acest caz particular va deveni:

$$v_p = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \frac{g \cdot d_{ech} \gamma_m}{\psi \cdot K_f \gamma_a} \left[1 - \left(\frac{d_{ech}}{D_c} \right)^2 \right]}, [\text{m/s}] \quad (2.9)$$

Pentru factorul de formă, un șir de valori recomandate (tab. 2.3).

Tabelul 2.3. Valorile factorului de formă a produsului

Forma corpului	Sferă	Formă rotunjită, cu suprafețe neregulate	Corp alungit	Placă
Factorul de formă K_f	1	2,5	3	5

Variațiile vitezelor de plutire (tab. 2.4) au fost stabilite experimental pentru o serie de corpuri și materiale, inclusiv semințele de struguri. Viteza seminței de strugure în cazul transportului pneumatic va fi mai mică la intrarea în tub, dar va crește pe parcurs, viteza necesară absorbirii seminței este:

$$v_{nec.} = (1,3 - 2,5)v_p, [\text{m/s}] \quad (2.10)$$

Viteza de lucru a debitului de aer, necesar deplasării semințelor, numită și viteza de transport este (2.11):

$$v_a = (2,5 - 3,5)v_p, [\text{m/s}] \quad (2.11)$$

Viteza calculată anterior (2.11) trebuie să se încadreze în limitele: $15\text{m/s} \leq v_a \leq 35\text{m/s}$

Pentru instalațiile prin refulare, unde presiunea de lucru este joasă, viteza finală a debitului de aer, la ieșirea din instalație este prezentată în relația:

$$v_a = (1,1 - 1,4)v_p, [\text{m/s}] \quad (2.12)$$

Tabelul 2.4. Vitezele de plutire pentru diverse produse horticoale sămânțoase [196]

Materialul	Dimensiuni, dxL mm *	Greutatea specifică, N/m ³	Viteza de plutire, m/s
Grâu	1,5x2	8000	9,8
Orz	1,8x2	6500	8,7
Secară	2x2,5	7000	2,5
Porumb	4x5	7300	9,5
Semințe de rapiță	1,7x2	7300	8,2
Semințe de struguri	2,5x4	7800	11,4
Semințe de in	1,2x1,5	6600	5,2
Semințe de mac	1,3x1,6	5900	2,5-4,3
Semințe de bumbac	1x1,5	6000	9,5

*Notă: d-diametrul seminței, L-lungimea seminței.

Pentru produsele sămânțoase cu diametrul echivalent al seminței sub 1 mm, se recomandă ca viteza inițială a debitului de aer la instalațiile prin aspirație și cea finală la instalațiile prin refulare de joasă presiune să fie de forma:

$$v_a = (0,10 - 0,16)\sqrt{\gamma_m}, \text{ [m/s]}, \quad (2.13)$$

pe când viteza finală la instalațiile prin refulare de presiune medie sau mare, va avea valoarea de:

$$v_a = (0,15 - 0,30)\sqrt{\gamma_m}, \text{ [m/s]}. \quad (2.14)$$

Viteza aerului se poate determina și în funcție de lungimea traseului tubului, cu condiția ca viteza rezultată din calcule să se încadreze în limitele $15\text{ m/s} \leq v_a \leq 35\text{ m/s}$:

$$v_a = 10^{-2} \alpha \sqrt{\gamma_m} + BL_{ech}^2 \text{ [m/s]}, \quad (2.15)$$

unde: α - coeficient care depinde de diametrul echivalent al seminței;

B - coeficient care ia în considerare starea materialului seminței;

γ_m - greutatea specifică a seminței transportate, [N/m³];

L_{ech} - lungimea echivalentă a tubului aerodinamic, [m].

Coeficientul B se adoptă în limitele $B = (2 \div 5) \cdot 10^{-5}$, limita inferioară fiind valabilă pentru materiale uscate pulverulente. Coeficientul α se adoptă conform valorilor din tabelul 2.5 [197].

Tabelul 2.5. Valorile coeficientului α în funcție de diametrul echivalent al semințelor

Diametrul echivalent al seminței, mm	0-1	1-10	10-20	40-80
Coeficientul α	10-16	16-20	20-22	22-25

De asemenea lungimea echivalentă se poate calcula cu relația (2.16):

$$L_{ech} = \sum L_H + \sum L_v + \sum L_{RL}, \quad (2.16)$$

unde: $\sum L_H$ - suma lungimii zonelor orizontale ale tubului, [m];

$\sum L_v$ - suma lungimii zonelor verticale ale tubului, [m];

$\sum L_{RL}$ - suma lungimilor echivalente ale rezistențelor locale, [m].

La rândul său lungimea echivalentă a rezistențelor locale se poate calcula prin relația (2.17):

$$L_{RL} = \xi \cdot \frac{D_c}{\mu_a} \cdot \frac{1}{1 + k \cdot \chi_G}, \text{ [m]} \quad (2.17)$$

unde: ξ - coeficient de rezistență;

D_c - diametrul tubului, [m];

μ_a - coeficientul de frecare dintre aer și tub ($\mu_a \approx 0.02$);

k - coeficient experimental, care depinde de caracteristicile materialului (0,4 - 0,6);

χ_G - coeficient de dozaj, a amestecului format din aer și semințe.

Lungimile echivalente în metri ale coturilor de 90 °, în funcție de granulația materialului și de raportul între raza medie de curbură R a cotului și diametrul interior al acestuia (tab. 2.6)

Tabelul 2.6. Lungimi echivalente ale coturilor de tub cu unghiul de 90 °

Diametrul echivalent al particolei, [mm]	Raportul R/D _c			
	4	6	10	20
Material pulverulent	4-8	5-10	6-10	8-10
Material granulat	-	8-10	12-16	16-20
Material mărunt	-	-	28-35	38-45
Material mediu	-	-	60-80	70-90

Valorile mai mici se referă la materiale abrazive și la viteze de transport mai mari. Pentru unghiuri ale coturilor mai mici ca 90 °, lungimile echivalente trebuie înmulțite cu un coeficient de corecție (M), (tab.2.7).

Tabelul 2.7. Valorile coeficientului de corecție ale lungimii coturilor cu unghiuri mai mici de 90 °*

Parametrul	Valori					
Unghiul de înclinare $\varphi, ^\circ$	15	30	45	60	70	80
Coeficientul de corecție M	0,15	0,2	0,35	0,55	0,7	0,9

* Conform sursei [198]

În cazul unui tub poziționat vertical, materialul este antrenat în sus, dacă viteza aerului depășește viteza de plutire a semințelor de struguri. Dacă viteza este mai mică, atunci semințele nu pot fi antrenate de curentul de aer și se deplasează în jos. Accelerarea vitezei aerului în sistemul pneumatic, influențează creșterea rapidă a consumului de energie, care este necesară pentru transportarea produsului granular, adică a semințelor de struguri [198].

2.1.3. Determinarea proprietăților fizico-mecanice ale semințelor de struguri

Deșeurile și subprodusele din fructe și legume, care sunt obținute în cantități mari în timpul procesării industriale, sunt o provocare pentru industria alimentară, ce necesită gestionarea ulterioară eficientă cu diminuarea impactului negativ asupra mediului. În alt context, conținutul ridicat de componente bioactive, care au un efect benefic asupra sănătății, prezintă un interes semnificativ la utilizarea lor datorită conținutului substanțelor valoroase și compuși bioactivi [199].

Semințele de struguri ca subprodus industrial obținut în urma prelucrării primare a strugurilor, sunt în general considerate a fi produse secundare ale tehnologiilor de prelucrare a strugurilor, cum ar fi suc de struguri, pulpă de struguri și produsul final sub formă de vin. Ele prezintă o sursă bogată în compuși funcționali, cum ar fi polifenoli, care sunt apreciați datorită proprietăților antioxidante pe care le dețin. Pentru a aplica conceptul non-rezidual la prelucrarea semințelor de struguri, este necesar de analizat și cercetat mai multe proprietăți fizico-mecanice [200].

Aceste proprietăți întrunesc mai multe caracteristici, care presupun anumiți parametri fizico-mecanici (tab. 2.8).

Tabelul 2.8. Proprietățile fizico-mecanice ale semințelor de struguri *

№	Caracteristici	Conținutul
1.	Umiditate, %	10,3-37,5
2.	Compoziția seminței, %:	
	- miez și germeni	25-30
	- înveliș	60-75
3.	Masa specifică, kg/m ³	446-558
4.	Masa a 100 de semințe, g	20-25
5.	Dimensiunile, mm:	
	- lungimea	4,5-7,0
	- lățimea	3,0-5,0
	- grosimea	2,0-3,5
6.	Coefficientul de frecare:	
	- suprafață de oțel	0,481-0,536
	- suprafață de plastic	0,473-0,462
	- suprafață de beton	0,496-0,554

* Conform sursei [201]

Valoarea maximă al conținutului de umiditate inițială în semințele de struguri este de 37,5 %, de asemenea masa pentru 100 de semințe, independentă de conținutul de umiditate variază de la 20 g la 25 g (tab. 2.8). Totodată, valoarea coeficientului de frecare dintre semințele de struguri și suprafața din plastic este mai redusă decât valorile de referință.

Uscarea în strat suspendat a semințelor de struguri provoacă șocuri mecanice, datorită mișcării continue în strat suspendat, unde apare coleziunea între semințe și între semințe și pereții tubului de uscare, ce prezintă camera de uscare.

Forța de strivire la care sunt supuse semințele în camera de uscare, la mișcarea continuă poate fi determinată teoretic în baza realității (2.18):

$$F_{str.} = M_s \cdot a_s, \quad (2.18)$$

unde: $F_{str.}$ - forța de strivire, [N];

M_s - masa unei semințe, [kg];

a_s - accelerația seminței; [m/s²].

$$a_s = \frac{v_s}{t_s}, \quad (2.19)$$

unde: v_s - viteza seminței, [m/s];

t_s - timpul de parcurgere a unui metru distanță, [s].

Forța de strivire la care sunt supuse semințele în camera de uscare, la mișcarea continuă poate fi determinată experimental, cu ajutorul standului experimental de laborator, model MYP-100-2, care este destinat pentru încercarea materialelor la întindere și comprimare [202].

2.1.4. Microscopia electronică a semințelor de struguri

În scopul efectuării unui studiu mai amplu referitor la starea semințelor de struguri după procesul de uscare și prevenirii apariției fisurilor pe suprafața lor, s-a recurs la analiza microscopică.

Pentru aceasta a fost format un eșantion din zece semințe de struguri care au fost supuse procesului de uscare clasic, și zece semințe de struguri, care au fost supuse procesului de uscare în strat suspendat.

Cu ajutorul microscopului electronic de model VEGA TS 5130 a fost analizată suprafața semințelor de struguri uscate prin metoda clasică și în strat suspendat. Analiza suprafețelor semințelor de struguri a fost efectuată la scara de 1 mm și 200 μm [203].

Microscopul a fost utilizat pentru a scana zone locale de pe suprafața semințelor de struguri, aplicând un fascicul de electroni focalizat. În așa mod a fost formată imaginea suprafeței scanate, care ulterior permite de a analiza suprafața seminței de struguri [204].

2.2 Instalația de laborator pentru studiul cineticii procesului de uscare

Pentru studiul comparativ dintre procesul de uscare clasic și cel în strat suspendat, s-au efectuat un șir de cercetări a cineticii procesului de uscare la instalația tip tunel (fig. 2.2) din cadrul departamentului Inginerie Mecanică.

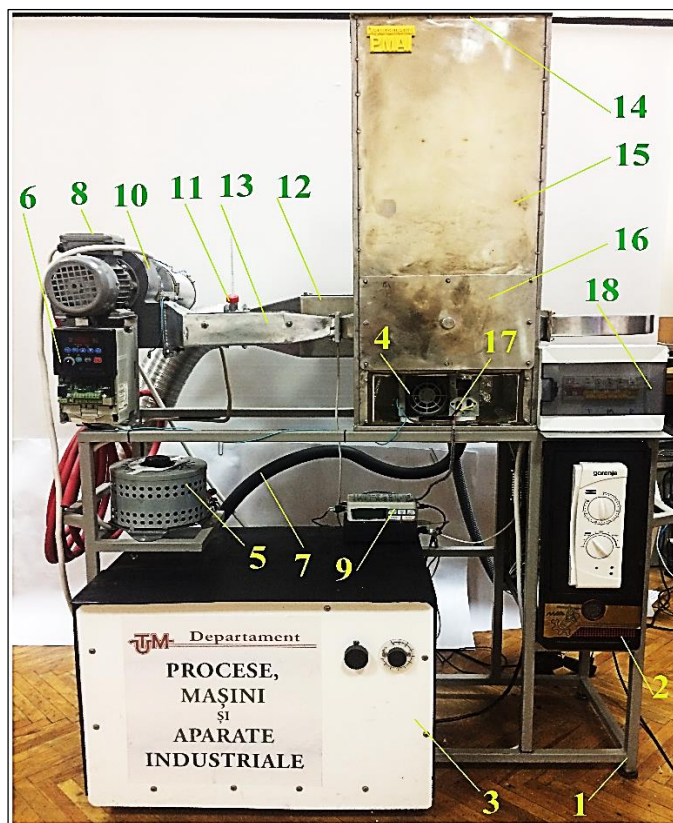


Fig. 2.2. Instalația de uscare tip tunel

Elemente constructive: 1 – carcasa; 2 - procesor; 3 - refrigerator; 4 - cântar; 5 - rezistor; 6 – inverter; 7 - furtun; 8 – motor electric; 9 – bloc de comandă; 10 – ventilator centrifugal; 11 – ștuț; 12 – condensator; 13 – generator de căldură; 14 – generator de microunde; 15 – camera de uscare; 16 – capac; 17 – bloc de alimentare; 18 – panou de comandă;

Instalația de uscare tip tunel, conform (fig.2.2) este compusă din: carcasa 1 pe care este montată camera de uscare 15 la care este ajustat un generator de căldură 13, și un ventilator centrifugal 10, care este cuplat cu motorul electric 8, la el fiind conectat inverterul 6; tot la camera de uscare 15 este unit un condensator 12, care este racordat la ventilatorul centrifugal 10 printr-un ștuț 11. Pe camera de uscare 15 este montat generatorul de microunde 14, iar în partea inferioară a ei se află un cântar 4 care este conectat la rețea prin blocul de alimentare 17 și dirijat de blocul de comandă 9; tot în partea inferioară a camerei de uscare 15 este montat un capac 16. În carcasa 1 este montat un procesor 2 pentru dirijarea generatorului de microunde 14, un refrigerator 3 pentru dirijarea condensatorului 12 prin intermediul unui furtun 7; și un rezistor 5 pentru dirijarea generatorului de căldură 13.

2.3 Determinarea indicilor de calitate ale semințelor de struguri

2.3.1 Pregătirea probelor de semințe de struguri

Pentru determinarea indicilor de calitate ai semințelor de struguri, au fost efectuate un șir de operații preventive pentru pregătirea lor.

Separarea de impurități a semințelor de struguri. Semințele de struguri au fost separate cu ajutorul sitei de rămășițele de ciorchini și alte impurități. Dimensiunile sitei: lungimea $L = 420$ mm și lățimea $l = 300$ mm. Diametrul găurilor sitei: $d = 4$ mm [205].

Uscarea semințelor de struguri. După separare semințele de struguri au fost supuse procesului de uscare, utilizând 4 metode de uscare (tab. 2.9).

Tabelul 2.9. Parametrii tehnologici de uscare a semințelor de struguri

№	Metoda de uscare	Descrierea succintă a metodei	Temperatura, °C	Puterea magnetronului, W	Viteza agentului de uscare, m/s
1.	Uscarea prin convecție, metoda clasică	Semințele de struguri sunt amplasate pe o tavă și introduse în camera de uscare a insatlației de uscare tip tunel.	60, 70, 80, 90, 100	-	1,5
2.	Uscarea cu aplicarea SHF, metoda clasică	Semințele de struguri sunt amplasate pe o tavă și introduse în camera de uscare a insatlației de uscare tip tunel.	-	200, 300, 450, 600, 750	1,5
3.	Uscarea prin convecție, în strat suspendat	Semințele de struguri sunt încărcate în tubul instalației, apoi de către debitul de aer, sunt antrenate în strat suspendat, apoi datorită efectului de autoselectare sunt separate din zona de tratare termică.	60, 70, 80, 90, 100	-	11,4
4.	Uscarea cu aplicarea SHF, în strat suspendat	Semințele de struguri sunt încărcate în tubul instalației, apoi de către debitul de aer, sunt antrenate în strat suspendat, apoi datorită efectului de autoselectare sunt separate din zona de tratare termică.	-	200, 300, 450, 600, 750	11,4

Măcinarea semințelor de struguri. Semințele de struguri au fost măcinate cu ajutorul morii de model Gorenje SMK150E [206] până la diametrul particulelor $d = 70$ μ m și cernută. Pulberea obținută a fost cercetată din punct de vedere cantitativ și calitativ.

2.3.2. Metode fizico-chimice de determinare a indicilor de calitate a semințelor de struguri

Determinarea umidității semințelor de struguri prin metoda gravimetrică conform ISO 665:2020 [207], cu utilizarea termostatalui POL EKO APARATURA SPJ tip SLN 53 SMART la temperatura de 105 °C până la masă constantă, apoi produsul a fost cântărit la cântar cu precizia 0,001 g. Umiditatea semințelor de struguri a fost determinată după formula (2.20):

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \cdot 100\% , \quad (2.20)$$

unde: m - masa fiolei goale, [g];

m_1 - masa fiolei cu produs înainte de uscare, [g];

m_2 - masa fiolei cu produs după uscare, [g].

Determinarea masei probei seminței după uscare. Masa semințelor de struguri după procesul de uscare a fost determinată cu cântarul de tip HLD - 600. Instalația de uscare a fost stopată pe termen scurt din procesul de funcționare, după care semințele de struguri au fost preluate din camera de uscare și au fost cântărite cu ajutorul cântarului HLD - 600.

Determinarea fracției masice de ulei pentru semințele de struguri. Pentru determinarea fracției masice de ulei în semințele de struguri, s-a scăzut din masa inițială a semințelor de struguri înainte de uscare, masa lor după uscare, apoi rezultatul a fost împărțit la masa lor inițială și s-a înmulțit cu 100 % (2.21). Determinarea a fost efectuată conform ISO 659:2009 [208].

$$m_u = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100\% , \quad (2.21)$$

unde: m_u - fracția masică de ulei, [%];

m_i - masa inițială a semințelor de struguri, [g];

m_f - masa finală a semințelor de struguri, [g].

2.3.3 Metode de analiză a stabilității oxidative a uleiului extras din semințe de struguri

Determinarea indicelui de refracție. Indicii de refracție (n) ai uleiurilor au fost determinați cu o precizie de $\pm 1 \times 10^{-4}$, a fost folosit refractometrul „Abbe ORT 1RS”. Măsurările au fost efectuate la temperatura de 20 °C în intervalul spectral 0,4 ÷ 0,6. În cazul în care nu se poate asigura temperatura de lucru prescrisă de 20 °C, se admit abateri de ± 5 °C, cu condiția că pe parcursul determinării temperatura de lucru să rămână constantă cu o precizie de $\pm 0,2$ °C. Determinarea a fost efectuată conform ISO 6320:2000 [209].

Calculul indicelui de refracție:

$$n_{20}^t = n_{20}^{t1} \pm 0,000385\Delta t \quad (2.22)$$

unde: n_d^t - indicele de refracție la temperatura de 20 °C;

$n_d^{t_1}$ - indicele de refracție la temperatura de lucru t_1 ;

Δt - diferența între temperatura de lucru și 20 °C.

Valoarea 0,000385 se adună la indicele de refracție, dacă $t_1 < t$ și se scade dacă $t_1 > t$;

Determinarea densității relative. Pentru determinarea densității relative a fost utilizată balanța Mohr – Westphal. Determinarea a fost efectuată conform ISO 279:1998 [210].

Densitatea relativă la 20 °C se calculează astfel:

$$d_{20}^{20} = d_{20}^t \pm 6,9 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta t, \quad (2.23)$$

unde: d_{20}^t - densitatea relativă citită pe areometru la temperatura determinării;

Δt - diferența dintre temperatura determinării și 20 °C.

Determinarea indicelui de aciditate. Indicele de aciditate exprimă cantitatea de mg KOH (2.24), necesară pentru neutralizarea acizilor grași liberi, care se conțin în 1g grăsime. Acest indice atestă durata și condițiile de depozitare. Grăsimile proaspete, de obicei, au un conținut minim de acizi, la cele vegetale conținutul este mai mare comparativ cu cel al grăsimilor animaliere. Indicele de aciditate al grăsimilor alimentare nu trebuie să depășească valoarea 3,5 [211]. S-au cântărit 35 g ulei din semințe de struguri, s-au dizolvat în 50 mL eter și alcool etilic (raport 2:1). Neutralizarea amestecului s-a realizat prin titrare cu KOH, bază alcalină de 0,1N în prezența fenolftaleinei. Determinarea a fost efectuată conform ISO 660:2020 [212].

Formula de calcul fiind:

$$I_a = \frac{5,611 \cdot V}{m}, \quad (2.24)$$

unde: 5,611 - este titrul KOH 0,1N, [mg];

V - volumul de 0,1 N KOH în mL, consumat la titrare;

m - masa probei de grăsime, [g].

Determinarea acidității uleiului. Aciditatea uleiului a fost determinată prin metoda standard conform ISO 52110:2003 [213, 214]. Acest indicator reprezintă cantitatea de KOH mg, necesară pentru a neutraliza toți acizii incluși în 100 mg de ulei. Rezultatele se calculează și se exprimă în acid oleic % prin formula:

$$A = \frac{0,0282 \cdot V \cdot 100}{m}, \quad (2.25)$$

unde: 0,0282 este cantitatea de acid oleic, în g, corespunzătoare la 1 mL KOH 0,1 N;

V - volumul de KOH 0,1 N folosit la titrare, [mL];

m – masa de grăsime luată în analiză, [g].

2.4 Modelarea matematică a datelor experimentale

Modelarea matematică a datelor obținute experimental permite de a eficientiza parametrii tehnologici ai metodei inovative de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri. Eficientizarea acestor parametri constă în utilizarea modelelor matematice obținute, în procesul de simulare 3D al tehnologiei de uscare în strat suspendat. Anume în baza acestor modele matematice pot fi efectuate simulări 3D pentru determinarea formei geometrice optime a tubului aerodinamic și pentru analiza procesului de uscare în strat suspendat cu aplicarea convecției și cu aplicarea SHF.

Metoda Brandon 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 [215]. Această metodă admite că funcția aproximată are forma:

$$\hat{y} = \lambda \cdot f_1(X_1) \cdot f_2(X_2) \cdot \dots \cdot f_n(X_n) = \lambda \cdot \prod_{i=1}^n f_i(X_i), \quad (2.26)$$

unde: λ - este constanta funcției.

Pentru comoditate λ se egalează cu media valorilor experimentale a parametrului la ieșire.

$$\lambda = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N y_u = \bar{y}, \quad (2.27)$$

$$y^* = \frac{y_u}{y}. \quad (2.28)$$

Restul operațiilor necesare calculului componentelor funcției $f_i(X_i)$ se efectuează în ordinea următoare: Mai întâi, pe grafic se punctează valorile normale ale lui y_u^* în funcție de X_{iu} ; După care, în urma analizei graficului, din punct de vedere al legăturilor apriorice despre proprietățile obiectului studiat se alege forma primei componente a ecuației (2.29) $f_1(X_1)$. Pentru cel mai simplu caz va fi:

$$f_1(X_1) = b_{01} + b_{11} \cdot X_1 \quad (2.29)$$

Mai apoi, se determină valorile numerice ale coeficienților funcției (2.28). Pentru aceasta poate fi utilizată orice metodă, inclusiv și cea a pătratelor minime; După care, din valorile normate al parametrului la ieșire se exclude $f_1(X_1)$ – valoarea primei componente.

$$y_{1u} = \frac{y^*}{f_1(X_1)} \quad (2.30)$$

După cele efectuate, se trasează graficul primei funcții remanente y_{1u} în dependență de valorile factorului X_2 . Conform graficului obținut se determină forma componentei a doua a funcției $f_2(X_2)$, care în cel mai simplu caz poate fi:

$$f_2(X_2) = b_{02} + b_{12} \cdot X_2 \quad (2.31)$$

Pentru funcția obținută se determină coeficientul b_{02} și b_{12} . Respectiv, din valorile parametrului y_{1u} se exclude $f_2(X_2)$ – valoarea componentei a doua din ecuația (2.31).

$$y_{2u} = \frac{y_{1u}}{f_2(X_2)} \quad (2.32)$$

Calculul se repetă în această ordine până când nu se determină componentele ultimei funcții remanente:

$$y_{nu} = \frac{y_{(n-1)u}}{f_n(X_n)} \quad (2.33)$$

Componentele $f_i(X_i)$ determinate astfel, se introduc în ecuația (2.33). Înlocuind valorile lui X_{iu} în formulă, se poate de determinat valorile calculate ale lui \hat{y} .

La sfârșit este verificată veridicitatea valorilor calculate cu cele experimentale. Verificarea se determină conform criteriilor Fisher. Astfel se verifică dacă are sens această ecuație.

Verificarea are loc prin compararea dispersiei remanente S_{rem}^2 cu dispersia mediei parametrului la ieșire S_y^2 , care se calculează în modul următor:

$$S_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{u=1}^N (y_u - \bar{y})^2, \quad (2.34)$$

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.

Ecuația are sens atunci când dispersia mediei parametrului la ieșire S_y^2 este mai mare decât dispersia remanentă S_{rem}^2 , $S_y^2 > S_{rem}^2$. În acest caz valorile dispersiilor trebuie să difere esențial și criteriul semnificativ (criteriul Fisher) va reprezenta raportul dispersiilor:

$$F = \frac{S_y^2}{S_{rem}^2} > 1. \quad (2.35)$$

Dacă datele calculate nu sunt adecvate celor experimentale, atunci este necesar de mărit ordinul ecuației sau de inclus factori suplimentari.

2.5 Prelucrarea statistică a datelor experimentale

Procedura de analiză statistică a datelor experimentale este bazată pe admiterea, că aceste date sunt mărimi neprevăzute distribuite conform unei oarecare legi. Corespunderea valorii mărimii neprevăzute probabilității apariției ei este determinată de legea distribuirii mărimii neprevăzute. Mărimea neprevăzută va fi distribuită conform acestei legi în cazul, în care ea reprezintă suma unui număr foarte mare de mărimi independente, influența fiecărei din ele pe toată suma fiind foarte mică. Pentru studiul proceselor tehnologice rezultatele măsurării sunt mărimi neprevăzute, asupra lor influențând un număr enorm de factori. Anume de aceea rezultatul studiului, de obicei, este mărime neprevăzută, distribuită conform legii sus numite [216]. Atunci când numărul de repetări a măsurării este destul de mare ($N \rightarrow \infty$), legea distribuirii mărimii neprevăzute se exprimă prin: devierea absolută de valoarea egală cu sens opus, care se întâlnește destul de des (devierea absolută $\Delta y = y_n - \bar{y}$); cu cât devierea absolută este mai mare după modul, cu atât ea se întâlnește mai rar (tinde spre infinit).

În calitate de valoare adevărată y se admite media aritmetică \bar{y} a tuturor repetărilor N :

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N y_n, \quad (2.36)$$

Pentru toate repetările N se poate afirma:

$$\sum_{n=1}^N \Delta y_n = \sum_{n=1}^N y_n - N \cdot \bar{y}, \quad (2.37)$$

Împărțind relația (2.37) la numărul de repetări N obținem:

$$y = \bar{y} - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \Delta y_n, \quad (2.38)$$

Dacă mărimea neprevăzută este distribuită conform legii, atunci pentru un număr mare de repetări ($N \rightarrow \infty$) va fi adevărată egalitatea:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \Delta y_n = 0, \quad (2.39)$$

Cu alte cuvinte, numai când $N \rightarrow \infty$ media aritmetică \bar{y} va fi egală cu valoarea adevărată y .

Dacă operatorul posedă numai un rezultat al experienței y_n , apoi aprecierea valorii adevărate a mărimii măsurate va fi mai puțin precisă decât media aritmetică a oricărui număr de repetări.

$$|y - \bar{y}| < |y - y_n|, \quad (2.40)$$

După cum s-a menționat, mai frecvent se vor întâlni devierile de valori mici după modul, adică apariția lor este mai probabilă. Notăm probabilitatea apariției y_n în intervalul de la y_1 până la y prin $P_1(y_1 < y_n < y)$, iar probabilitatea apariției lui y_n în intervalul de la y_2 până la y prin $P_2(y_2 < y_n < y)$.

În cazul în care $y_1 - y_2 = dy$, apoi va avea loc următoarea egalitate:

$$dP = P_1(y_2 + dy < y_n < y) - P_2(y_2 < y_n < y) = f(y_n)dy, \quad (2.41)$$

atunci $\frac{dP}{dy} = f(y_n)$ va fi cu atât mai mare, cu cât valoarea devierii absolute va fi mai mică.

Valoarea $\frac{dP}{dy}$ se numește densitatea distribuției mărimii neprevăzute și se notează prin $p(y)$.

$$p(y) = \frac{dP}{dy}, \quad (2.42)$$

Atunci când este cunoscută ecuația densității distribuției $p(y)$ probabilitatea că y_n va fi cuprins în intervalul $a < y_n < b$ poate fi determinată conform formulei:

$$p(a < y_n < b) = \int_a^b P(y)dy, \quad (2.43)$$

Dacă se consideră intervalul de la $-\infty$ până la $+\infty$ ($-\infty < y_n < +\infty$), atunci probabilitatea va fi:

$$p(-\infty < y_n < +\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} P(y)dy = 1, \quad (2.44)$$

Ultima relație indică că y_n neapărat va obține una din valorile intervalului ($-\infty \div +\infty$). Densitatea distribuției normale este simetrică în raport cu y și obține valori maxime în cazul când $y_n = y$. Cu majorarea $|\Delta y| = |y_n - y|$ densitatea distribuției tinde către “zero”.

Funcția densității distribuției normale a valorii neprevăzute este determinată de doi parametri: Primul parametru este valoarea adevărată y ; Al doilea parametru reprezintă devierea medie pătratică S ;

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_1^n (y_n - \bar{y})^2}, \quad (2.45)$$

Atunci:

$$P(y) = \frac{1}{S(2\pi)} \exp\left[-\frac{(y_n - y)^2}{2S^2}\right], \quad (2.46)$$

Pătratul devierii medii pătratice se numește „dispersia mărimii neprevăzute” și caracterizează cantitativ distribuția rezultatelor y_n în jurul valorii adevărate y .

Dacă vom schimba variabila $\Delta y_n = y_n - y$ cu $t = \frac{\Delta y_n}{S}$ și în calitate de unitate de măsură pe axa absciselor vom admite parametrul calculat t , apoi așa-numita **densitate normală a distribuției normale** corespunde egalității:

$$P(t) = \frac{1}{2\pi} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right), \quad (2.47)$$

Curba densității distribuției în acest caz va fi simetrică cu $t = 0$ și forma ei va depinde de valoarea dispersiei.

Concluzii la capitolul 2

În capitolul doi a fost analizat obiectul de cercetare - semințele de struguri și este prezentată metodologia aplicată pentru realizarea cercetărilor:

1. În baza analizei proprietăților termofizice a semințelor de struguri destinate uscării în strat suspendat, s-a stabilit că valoarea căldurii specifice are o valoare mai scăzută pentru semințele de struguri, comparativ, de exemplu, cu semințele de mere, ce denotă cheltuieli reduse de energie termică pentru uscare.
2. Analiza proprietăților aerodinamice a semințelor de struguri a demonstrat că parametrul principal pentru formarea stratului suspendat, este viteza de plutire a seminței, care depinde de diametrul echivalent al ei și de diametrul tubului.
3. Au fost analizate proprietățile fizico-mecanice ale semințelor de struguri: forța de strivire, și microscopia electronică.
4. Metodele aplicate pentru analiza stabilității oxidative a a uleiului extras din semințe de struguri uscate în strat suspendat, au permis:
 - Determinarea indicelui de refracție;
 - Determinarea densității relative;
 - Determinarea indicelui de aciditate;
 - Determinarea acidității uleiului;
5. Modelarea matematică a datelor obținute experimental a fost efectuată după metoda Brandon prin aplicarea criteriilor Fisher de aproximare.
6. Prelucrarea statistică conform legii distribuirii mărimii neprevăzute a exclus erorile variabilelor aleatorii ale datelor experimentale.

3 OPTIMIZAREA PROCESULUI DE USCARE ÎN STRAT SUSPENDAT A SEMINTELOR DE STRUGURI

3.1 Modelarea matematică a mișcării semințelor de struguri aflate în strat suspendat

Problemele transferului de masă și căldură sunt din ce în ce mai actuale pentru prelucrarea eficientă a produselor agroalimentare. Aceasta se explică atât prin răspândirea lor vastă cât și prin influența determinată asupra eficacității aparatelor termice, de difuzie și chimice. Procesele tehnologice sunt caracterizate de o mulțime de parametri inițiali și finali. Parametrii tehnologici în mod individual, pot avea o influență mai mare sau mai mică asupra procesului [217].

Pentru studiul proceselor tehnologice, rezultatele măsurării sunt mărimi neprevăzute, asupra lor influențează mai mulți factori. Anume de aceea rezultatul studiului, de obicei, este mărime neprevăzută, distribuită conform legii sus numite. Metoda Brandon poate fi utilizată atunci când între factorii X_i (în cazul nostru L, p) și parametrului la ieșire y (în cazul nostru v) există o dependență neliniară.

Procesul de uscare a semințelor de struguri în strat suspendat nu poate avea loc fără formarea și menținerea stabilă a stratului de semințe în curentul de aer din tubul aerodinamic - camera de uscare. Stabilitatea stratului de semințe depinde de parametrii geometrici ai tubului, care influențează în mod direct aerodinamica din interiorul camerei de uscare. Identificarea formei optime ai camerei de uscare necesită încercarea experimentală pentru o serie de tuburi aerodinamice cu parametri geometrici diferiți și modelarea matematică a lor în baza datelor obținute empiric. Modelele matematice obținute pentru fiecare tub sunt utilizate pentru proiectarea 3D al simulărilor, care reflectă mișcarea debitului de aer prin tubul aerodinamic. Aplicarea modelelor matematice la baza simulărilor computerizate, eficientizează stabilirea formei geometrice optime ai camerei de uscare, asigură stabilitatea stratului suspendat al semințelor de struguri pe parcursul procesului de tratare termică și exclude apariția erorilor constructive în procesul de proiectare a instalației.

Pentru cazul nostru a fost elaborat model matematic care a permis de a determina viteza seminței de struguri în stratul suspendat, ce este dependentă de lungimea tubului, și presiunea din el (3.1).

$$v = kf_1(L) \cdot f_2(p) \quad (3.1)$$

unde: v - viteza seminței de strugure în diferite zone ale tubului, [m/s];

k – coeficient;

L – lungimea tubului, [m];

p – presiunea din tub, [Pa].

Datele experimentale au fost preluate din diferite zone ale tubului (fig. 3.1) care sunt repartizate în șase puncte aflate în diferite secțiuni transversale ale camerei de uscare.

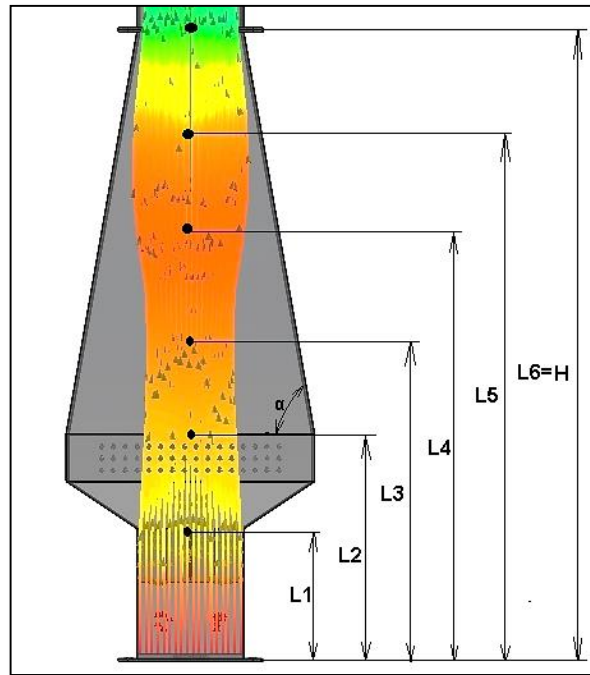


Fig.3.1. Repartizarea celor 6 puncte pe înălțimea tubului aerodinamic

Rezultatele determinărilor experimentale ale vitezelor semințelor de struguri, sunt prezentate în (tab. 3.1, 3.3, 3.5, 3.7, 3.9, 3.11, 3.13, 3.15), iar cele determinate după modelul matematic în (tab. 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 3.10, 3.12, 3.14, 3.16).

Datele experimentale (tab. 3.1) sunt descrise de modelul matematic (3.2), care permite de a determina viteza semințelor de struguri (tab. 3.2) în diferite zone ale tubului aerodinamic - camera de uscare, ce este caracterizată de următorii parametri geometrici: înălțimea tubului $H = 530 \text{ mm}$ și unghiul de înclinare a suprafețelor superioare $\alpha = 80^\circ$.

Tabelul 3.1. Parametrii tubului 1

$H = 530 \text{ mm}, \alpha = 80^\circ$			
Nº	$v, \text{ m/s}$	$p, \text{ Pa}$	$L, \text{ mm}$
1	8,50	101386	110
2	6,00	101390	210
3	6,00	101393	310
4	6,00	101395	410
5	8,57	101378	510
6	10,28	101370	530

Tabelul 3.2. Parametrii obținuți după (3.2) pentru tubul 1

$H = 530 \text{ mm}, \alpha = 80^\circ$			
Nº	$v, \text{ m/s}$	$v_{\alpha=80^\circ \text{ model}}, \text{ m/s}$	critériul Fisher
1	8,50	10,99	7,54
2	6,00	7,38	
3	6,00	5,72	
4	6,00	6,02	
5	8,57	8,26	
6	10,28	8,94	

$$v_{\alpha=80^\circ \text{ model}} = 7,55 * (0,00001 \cdot L^2 - 0,0069 \cdot L + 1,7648) \cdot (-0,047763 + 1,32 \cdot 10^{-5} \cdot P) \quad (3.2)$$

Modelul matematic (3.2) permite de a determina viteza semințelor de struguri în interiorul camerei de uscare, care este dependentă de presiunea din tub și înălțimea lui.

Calitatea aproximării datelor experimentale (tab.3.1) de către ecuația regresiei (3.2) este determinată conform criteriului Fisher, valoarea căruia este egală cu 7,54 ceea ce corespunde condițiilor de similitudine al modelului matematic (2.35).

Valorile parametrilor experimentali (tab. 3.3) sunt descrise de un model matematic (3.3), care permite de a determina viteza semințelor de struguri (tab. 3.4) în diferite zone ale tubului aerodinamic, ce se caracterizează prin parametrii geometrici: înălțimea tubului $H = 510$ mm și unghiul de înclinare a suprafețelor superioare $\alpha = 79^\circ$.

Tabelul 3.3. Parametrii tubului 2

H = 510 mm, $\alpha = 79^\circ$			
N₂	v, m/s	p, Pa	L, mm
1	9,00	101386	110
2	8,00	101390	210
3	6,00	101392	270
4	6,00	101396	350
5	6,00	101390	430
6	9,80	101364	510

Tabelul 3.4. Parametrii obținuți după (3.3) pentru tubul 2

H = 510 mm, $\alpha = 79^\circ$			
N₂	v, m/s	$v_{\alpha=79^\circ \text{ model}}, \text{ m/s}$	criteriul Fisher
1	9	8,47	11,20
2	8	5,90	
3	6	5,08	
4	6	4,84	
5	6	5,57	
6	9,8	7,26	

$$v_{\alpha=79^\circ \text{ model}} = 7,46 * (0,00001 \cdot L^2 - 0,0066 \cdot L + 1,7247) \cdot (0,176007 + 8,26 \cdot 10^{-6} \cdot P) \quad (3.3)$$

Calitatea datelor obținute după modelul matematic (3.3), corespunde datelor experimentale conform criteriului Fisher ($F = 11,20$).

Pentru forma geometrică a tubului cu înălțimea $H = 490$ mm și unghiul de înclinare a suprafețelor superioare $\alpha = 78^\circ$, parametrii experimentali sunt incluși în (tab. 3.5). Datele obținute conform modelul matematic după metoda Brandon (3.4) sunt incluse în tabelul (3.6).

Tabelul 3.5. Parametrii tubului 3

H = 490 mm, $\alpha = 78^\circ$			
N₂	v, m/s	p, Pa	L, mm
1	8,90	101378	110
2	7,70	101390	210
3	7,00	101393	270
4	7,00	101400	350
5	6,70	101395	420
6	9,40	101360	490

Tabelul 3.6. Parametrii obținuți după (3.4) pentru tubul 3

H = 490 mm, $\alpha = 78^\circ$			
N₂	v, m/s	$v_{\alpha=78^\circ \text{ model}}, \text{ m/s}$	criteriul Fisher
1	8,90	8,62	9,81
2	7,70	6,90	
3	7,00	6,43	
4	7,00	6,47	
5	6,70	7,12	
6	9,40	8,34	

$$v_{\alpha=78^\circ \text{ model}} = 7,78 \cdot (8 \cdot 10^{-6} \cdot L^2 - 0,0049 \cdot L + 1,6141) \cdot (0,06347 + 8,7 \cdot 10^{-6} \cdot P) \quad (3.4)$$

Egalitatea (3.4), permite de a determina valoarea vitezei semințelor de struguri în interiorul camerei de uscare. Criteriul Fisher ($F = 9,81$) pentru modelul matematic (3.4), asigură o precizie înaltă pentru aproximarea datelor experimentale.

Parametrii experimentali (tab. 3.7) ai tubului 4 cu înălțimea $H = 470$ mm și unghiul de înclinare a suprafețelor superioare $\alpha = 77^\circ$, sunt descriși de modelul matematic (3.5).

Tabelul 3.7. Parametrii tubului 4

H = 470 mm, $\alpha = 77^\circ$			
N_e	v, m/s	p, Pa	L, mm
1	9,40	101370	110
2	6,80	101386	210
3	6,80	101390	260
4	6,80	101395	330
5	8,00	101385	400
6	10,50	101360	470

Tabelul 3.8. Parametrii obținuți după (3.5) pentru tubul 4

H = 470 mm, $\alpha = 77^\circ$			
N_e	v, m/s	$v_{\alpha=77^\circ model}$, m/s	criteriul Fisher
1	9,40	10,35	13,75
2	6,80	6,79	
3	6,80	5,70	
4	6,80	4,93	
5	8,00	5,06	
6	10,50	6,08	

$$v_{\alpha=77^\circ model} = 8,05 \cdot (10^{-5} \cdot L^2 - 0,0071 \cdot L + 1,7936) \cdot (-0,66 + 1,77 \cdot 10^{-5} \cdot P) \quad (3.5)$$

Pentru unghiul de înclinare egal cu 77° , modelul matematic (3.5) determină valoarea vitezei semințelor de struguri în interiorul camerei de uscare și respectă condiția de similitudine conform criteriului Fisher valoarea căruia este egală cu 13,75.

Datele experimentale (tab. 3.9) corespunzătoare tubului 5 cu înălțimea de 450 mm și unghiul de înclinare a suprafețelor superioare $\alpha = 76^\circ$, au fost utilizate pentru elaborarea modelului matematic (3.6) în baza căruia au fost calculate valorile de viteză a semințelor de struguri (tab. 3.10) în șase zone ale camerei de uscare.

Tabelul 3.9. Parametrii tubului 5

H = 450 mm, $\alpha = 76^\circ$			
N_e	v, m/s	p, Pa	L, mm
1	9,60	101378	110
2	6,80	101386	210
3	6,80	101390	260
4	6,80	101392	330
5	7,70	101386	390
6	10,50	101364	450

Tabelul 3.10. Parametrii obținuți după (3.6) pentru tubul 5

H = 450 mm, $\alpha = 76^\circ$			
N_e	v, m/s	$v_{\alpha=76^\circ model}$, m/s	criteriul Fisher
1	9,60	7,16	11,24
2	6,80	6,08	
3	6,80	6,39	
4	6,80	7,79	
5	7,70	9,88	
6	10,50	12,78	

$$v_{\alpha=76^\circ model} = 8,03 \cdot (2 \cdot 10^{-5} \cdot L^2 - 0,0083 \cdot L + 1,9266) \cdot (0,156447 + 5,46 \cdot 10^{-6} \cdot P) \quad (3.6)$$

Ecuției (3.6), îi corespunde criteriul Fisher, care are valoarea de 11,24 și este mai mare ca unu.

Forma geometrică a tubului 6 cu înălțimea de 430 mm și unghiul de înclinare a suprafețelor superioare $\alpha = 75^\circ$ corespunde parametrilor experimentali din tabelul 3.11. Modelul matematic (3.7) descrie valorile de viteză în diferite zone ale tubului (tab. 3.12).

Tabelul 3.11. Parametrii tubului 6

H = 430 mm, $\alpha = 75^\circ$			
N _z	v, m/s	p, Pa	L, mm
1	9,40	101371	110
2	5,90	101386	210
3	6,00	101390	250
4	6,40	101395	310
5	8,00	101386	370
6	10,40	101360	430

Tabelul 3.12. Parametrii obținuți după (3.7) pentru tubul 6

H = 430 mm, $\alpha = 75^\circ$			
N _z	v, m/s	$v_{\alpha = 75^\circ \text{ model}}, \text{ m/s}$	criteriul Fisher
1	9,40	9,60	11,25
2	5,90	6,34	
3	6,00	5,92	
4	6,40	6,26	
5	8,00	7,74	
6	10,40	10,36	

$$v_{\alpha = 75^\circ \text{ model}} = 7,68 \cdot (2 \cdot 10^{-5} \cdot L^2 - 0,0105 \cdot L + 2,1184) \cdot (-0,037922 + 1,06 \cdot 10^{-5} \cdot P) \quad (3.7)$$

Pentru tubul 6 cu unghiul de înclinare (75°) al suprafețelor camerei de uscare, modelul matematic (3.7) corespunde criteriului Fisher care are valoarea de 11,25.

Parametrii geometrici ai tubului 7 sunt caracterizați de înălțimea sa $H = 410$ mm și unghiul de înclinare a suprafețelor superioare $\alpha = 74^\circ$. Pentru tubul dat valorile parametrilor experimentali (tab. 3.13) sunt approximate prin modelarea matematică (3.8), care permite determinarea vitezei semințelor de struguri (tab. 3.14) în interiorul camerei de uscare.

Tabelul 3.13. Parametrii tubului 7

H = 410 mm, $\alpha = 74^\circ$			
N _z	v, m/s	p, Pa	L, mm
1	8,60	101378	110
2	5,90	101390	210
3	5,90	101394	245
4	6,10	101398	300
5	7,80	101388	360
6	9,50	101364	410

Tabelul 3.14. Parametrii obținuți după (3.8) pentru tubul 7

H = 410mm, $\alpha = 74^\circ$			
N _z	v, m/s	$v_{\alpha = 74^\circ \text{ model}}, \text{ m/s}$	criteriul Fisher
1	8,60	8,35	12,35
2	5,90	5,94	
3	5,90	5,77	
4	6,10	6,20	
5	7,80	7,64	
6	9,50	9,62	

$$v_{\alpha = 74^\circ \text{ model}} = 7,3 \cdot (2 \cdot 10^{-5} \cdot L^2 - 0,0098 \cdot L + 2,0157) \cdot (-0,014007 + 9,7 \cdot 10^{-6} \cdot P) \quad (3.8)$$

Modelul matematic (3.8) pentru tubul 7 cu unghiul de înclinare de 74° , permite de a calcula viteza semințelor de struguri în orice secțiune a camerei de lucru și asigură calitatea aproximării datelor experimentale conform criteriului Fisher, valoarea căruia este egală cu 12,35.

În baza tubului 8 (înălțimea $H = 390$ mm și unghiul de înclinare a suprafețelor superioare $\alpha = 73^\circ$) au fost obținute date experimentale (tab. 3.15), prelucrarea cărora a condus la elaborarea unui model matematic (3.9), care permite preventiv de a determina viteza semințelor de struguri (tab. 3.16), aflate în diferite zone ale tubului aerodinamic.

Tabelul 3.15. Parametrii tubului 8

$H = 390$ mm, $\alpha = 73^\circ$			
№	v , m/s	p , Pa	L , mm
1	8,60	101371	110
2	5,80	101382	210
3	5,90	101386	240
4	6,20	101390	295
5	6,85	101386	345
6	9,40	101364	390

Tabelul 3.16. Parametrii obținuți după (3.9) pentru tubul 8

$H = 390$ mm, $\alpha = 73^\circ$			
№	v , m/s	$v_{\alpha = 73^\circ \text{ model}}$, m/s	criteriul Fisher
1	8,60	10,96	13,36
2	5,80	6,37	
3	5,90	5,73	
4	6,20	5,42	
5	6,85	6,12	
6	9,40	7,55	

$$v_{\alpha = 73^\circ \text{ model}} = 7,3 \cdot (2 \cdot 10^{-5} \cdot L^2 - 0,0113 \cdot L + 2,1718) \cdot (-0,105517 + 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot P) \quad (3.9)$$

Modelul matematic (3.9) permite identificarea vitezei seminței de struguri în interiorul camerei de lucru. Valoarea criteriului Fisher (tab. 3.16) asigură precizia înaltă pentru modelul matematic obținut.

Identificarea formei geometrice optime a tubului aerodinamic asigură stabilitatea stratului suspendat și formarea sa. Aceasta este posibilă atunci când datele experimentale sunt interpretate prin modelare matematică cu grad înalt de similitudine.

Prin încercări experimentale au fost identificate opt tuburi aerodinamice ce asigură formarea stratului suspendat. Pentru aceste opt tuburi au fost elaborate modele matematice, care permit determinarea vitezei semințelor de struguri în diferite zone ai camerei de lucru. Toate opt ecuații de regresie pot fi aplicate pentru determinarea vitezei în zone preventiv stabilite. Un factor decisiv în scopul determinării formei geometrice optime este criteriul Fisher. Acest criteriu arată gradul de aproximare dintre datele experimentale și datele obținute conform modelului matematic. Veridicitatea criteriului reiese din condiția (2.35), care presupune că valoarea sa trebuie să fie mult mai mare decât unu. Dintre toate opt modele matematice, valoarea cea mai sporită a criteriului Fisher ($F = 13,75$) a fost identificată pentru tubul 4. Pentru stabilirea definitivă a formei optime a tubului aerodinamic, este necesar să fie efectuată simularea 3D, care permite analiza detaliată a distribuției câmpului de viteză și presiune în interiorul camerei de lucru. Parametrii geometrici necesari pentru simularea 3D sunt: înălțimea tubului $H = 470$ mm și unghiul de înclinare a suprafețelor superioare $\alpha = 77^\circ$.

3.2 Simularea 3D a mișcării semințelor de struguri în tub aerodinamic

Una din problemele principale ale proceselor de uscare a produselor vegetale cu conținut înalt de umiditate este durata mare de tratare termică a lor, care în consecință, duce la diminuarea indicilor de calitate. Problema dată se acutizează în cazul uscării produselor oleaginoase, care au un conținut înalt de acizi grași și respectiv sunt sensibile la procesele de oxidare. Pentru astfel de produse, în special cele horticoale sămânțoase, cum sunt și semințele de struguri, este benefică uscarea în strat suspendat cu aplicarea microundelor (SHF). Aplicarea curenților cu frecvență supra înaltă, intensifică esențial procesul, asigurând calitatea necesară a semințelor uscate. Metoda dată permite auto selectarea semințelor deja uscate din masa totală a lor și înlăturarea acestora din zona de prelucrare termică, asigurând astfel o reducere maximă a duratei de tratare termică, deci și a condițiilor favorabile de oxidare a acizilor grași [154]. Pentru a asigura menținerea semințelor de struguri în strat suspendat au fost efectuate un șir de simulări 3D în softul Solid Works (fig.3.4 și 3.5). Simulările date au fost efectuate în baza a opt tuburi cu dimensiuni și forme geometrice diferite între ele (fig.3.3, A3. 1 și A3. 2), fiind modificată înălțimea lor H și unghiul de înclinare α a pereților superiori ai tubului (fig.3.2).

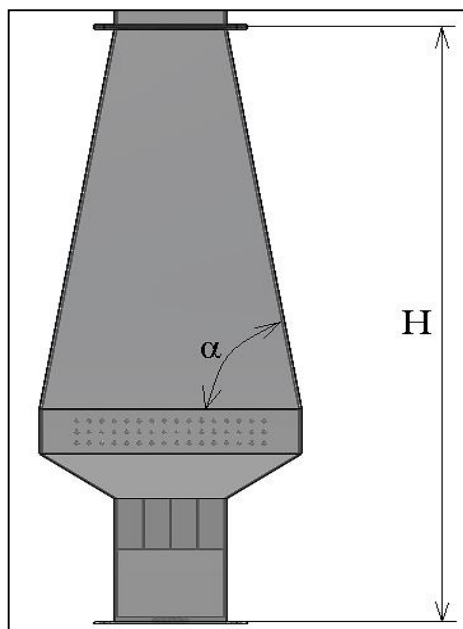


Fig. 3.2. Parametrii variabili ai tubului aerodinamic pentru strat suspendat

În rezultat, prin intermediul simulărilor a fost analizată comportarea debitului de aer în interiorul tubului ca funcție de viteză (fig. 3.4) și ca funcție de presiune (fig. 3.5). Acestea ne-au permis de a identifica varianta optimă a formei tubului aerodinamic, pentru a menține semințele de struguri în strat suspendat, ca ulterior tubul dat să fie construit în condiții de laborator, testat și asamblat la instalația de uscare.

Proiectarea tubului aerodinamic (fig.3.3) a inclus anumite etape preventive. Inițial au fost elaborate mai multe desene tehnice sub formă de schiță pentru a identifica datele inițiale de proiectare. Ulterior sa recurs la utilizarea softului Solid Works, care a servit ca platformă de proiectare în 2D pentru tubul aerodinamic.

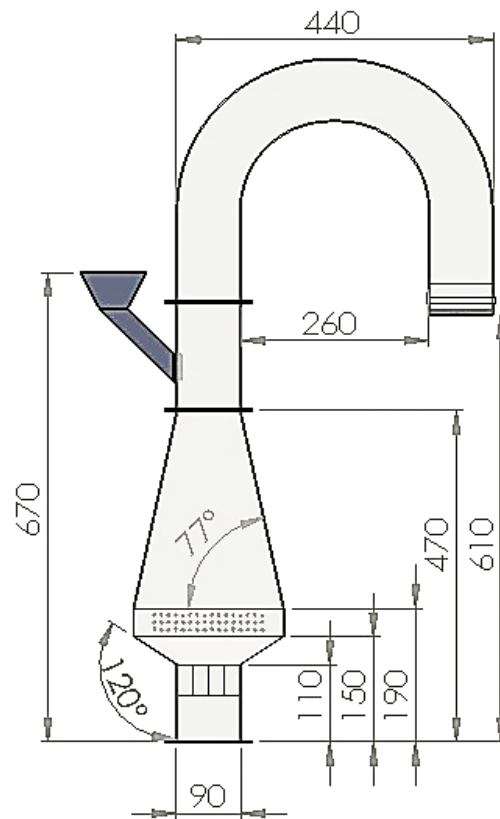


Fig. 3.3. Parametrii geometrici optimi ai tubului aerodinamic pentru simulare 3D

Datele experimentale au demonstrat că formarea stratului suspendat poate avea loc în opt tuburi cu parametri geometrici diferiți. Cu toate acestea grosimea și stabilitatea stratului suspendat nu s-a manifestat la fel în toate tuburile. Pentru stabilirea formei geometrice optime s-a recurs la elaborarea a opt variante constructive de tuburi. Parametrii geometrici ai lor se bazează pe modelele matematice care au fost elaborate în baza datelor experimentale. În modelarea matematică se observă că din toate modelele matematice, valoarea cea mai mare a criteriului Fisher este caracteristică pentru tubul 4 (fig. 3.3). Aceasta însă nu asigură identificarea definitivă a formei tubului, de aceea în baza modelelor elaborate în 2D au fost construite în 3D opt tuburi aerodinamice. Modelele 3D au permis de a fi utilizate pentru elaborarea simulărilor computerizate în softul Solid Works. Pentru asigurarea uniformității stratului suspendat de semințe și a stabilității sale pe parcursul procesului de uscare s-au efectuat simulări aerodinamice a câmpului de viteză în interiorul tubului-camerei de uscare și a câmpului de presiune. Acești doi factori prezintă un rol decisiv în formarea stratului suspendat de produs.

Simularea 3D a câmpului de viteză a fost efectuată cu ajutorul funcției „Flow Simulation” al softului Solid Works, care permite de a analiza mișcarea fluidelor în diferite condiții cu parametri preventiv stabiliți. Condițiile inițiale pentru simularea câmpului de viteză au constat în elaborarea modelului 3D și stabilirea parametrilor inițiali, în cazul nostru viteza și debitul de aer pe care le putem asigura cu motorul electric și ventilatorul centrifugal al instalației de uscare în strat suspendat.

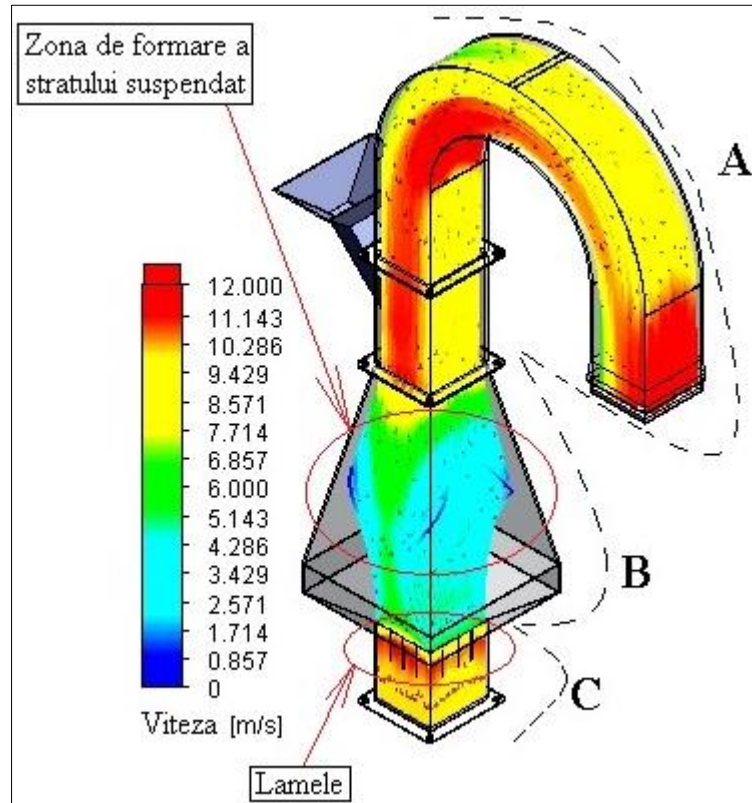


Fig. 3.4. Simularea 3D a câmpului de viteză a aerului prin tubul aerodinamic 4

Din figura 3.4 se observă că valoarea vitezei în tubul aerodinamic 4 a variat de la 1 m/s până la 12 m/s. Inițial în zona C la intrare în tub câmpul de viteză, demonstrat prin simulare a fost cuprins între valorile 9,5 m/s și 11,5 m/s. Diapazonul de viteze cuprins între 10 m/s și 11,5 m/s din zona C este caracteristic locului unde sunt amplasate lamelele ce asigură curgerea laminară a fluxului de aer care ulterior nimerește în zona de mijloc B a tubului. Această zonă a fost caracterizată de un diapazon de viteze de la 1,7 m/s până la 8,5 m/s. Aici valorile diapazonului câmpului de viteză au fost mai mici în comparație cu zona C, deoarece în zona B aria secțiunii transversale brusc se mărește, dar în același timp efectuează o trecere lină prin micșorarea secțiunii transversale spre zona A, unde valoarea vitezei a crescut până la 8,5 m/s. Curgerea laminară a debitului de aer datorită lamelelor din zona C, asigură stabilitatea stratului suspendat pe parcursul procesului de uscare. În zona A este a fost înregistrat diapazonul de viteze de la 7 m/s până la 12 m/s. Valoarea de 7 m/s a fost prezentă în partea cu cot a tubului, deoarece au apărut forțe de frecare între debitul de aer și suprafața interioară a sa.

La intrarea și la ieșirea aerului din zona A se observă valori ale câmpului de viteză cuprinse între 10 m/s și 12 m/s, deoarece fluidul nu întâmpină careva rezistențe. Tubul 4 (fig 3.4) a fost identificat ca fiind cel mai optim după forma sa geometrică pentru formarea stratului suspendat, deoarece în zona B este prezentă distribuția maximă a câmpului de viteză pe întreaga secțiune transversală a sa, ceea ce nu este caracteristic pentru restul tuburilor (fig. A3. 3. și A3. 4.).

În același soft a fost efectuată simularea 3D a câmpului de presiune (fig. 3.5). Inițial a fost necesară elaborarea modelului 3D și introducerea parametrilor inițiali - presiunea și debitul de aer.

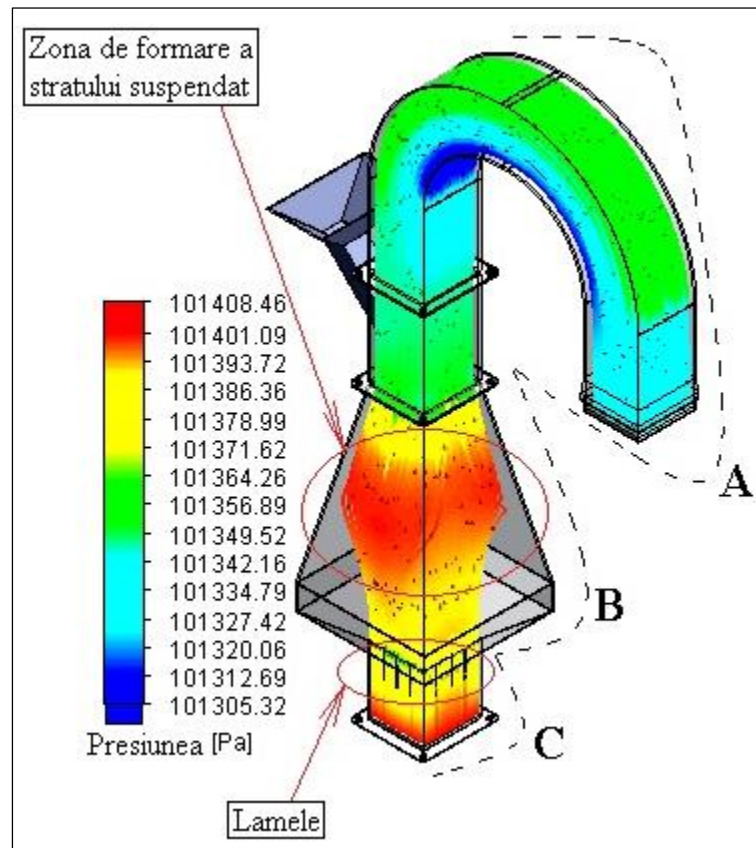


Fig. 3.5. Simularea 3D a câmpului de presiune a aerului prin tubul aerodinamic 4

Simularea câmpului de presiune (fig. 3.5) a demonstrat că în zona C a tubului s-a creat o presiune, valoarea căreia a fost cuprinsă între 101,36 kPa și 101,40 kPa, care s-a diminuat spre intrarea în zona B unde inițial valoarea câmpului de presiune a fost 101,35 kPa, iar spre ieșire a crescut până la 101,41 kPa. În zona A au fost prezente valori ale presiunii cu mult mai mici decât în zona B, care asigură efectul de autoselectare a semințelor de struguri din stratul suspendat. Un indice care a asigurat stabilitatea stratului suspendat cu semințe pe parcursul procesului, a fost distribuția uniformă a câmpului de presiune în zona de formare a sa, ceea ce nu este caracteristic pentru alte tuburi (fig. A3. 5. și A3. 6.). Reieșind din simulările câmpului de presiune, rezultă că tubul 4 poate fi acceptat ca formă constructivă în instalația de uscare în strat suspendat cu parametrii geometrici din figura 3.3.

3.3 Standul experimental de determinare a proprietăților aerodinamice

Pentru ca semințele de struguri să fie menținute în strat suspendat, este necesar ca viteza aerului din tubul aerodinamic, să fie egală cu viteza lor de plutire. Analizând proprietățile aerodinamice ale semințelor de struguri s-a observat, că viteza curentului de aer într-un tub este mai mare spre axa centrală a tubului și mai mică spre periferii. Pentru studiul aerodinamicii semințelor de struguri a fost elaborată o instalație de laborator experimentală în softul 3D SOLIDWORKS, (fig. 3.6).

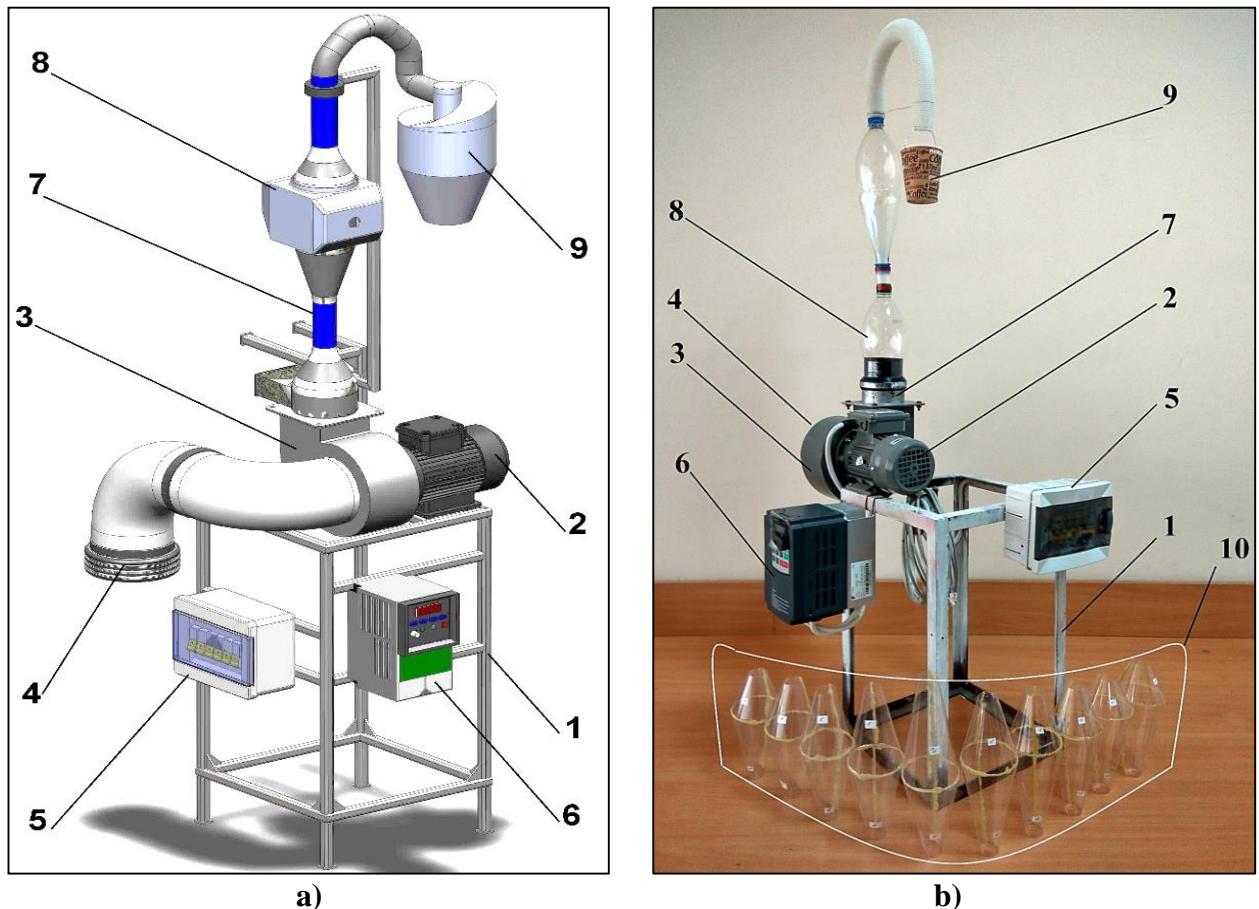


Fig. 3.6. Instalația pentru studiul proprietăților aerodinamice:
a) proiectată în 3D; b) proiectată în condiții de laborator.

Elemente constructive: 1 – carcasa; 2 - motor electric; 3 - ventilator centrifugal; 4 – filtru; 5 - panou electric; 6 – invertor; 7 - racord de trecere; 8 - canal de secțiune circulară; 9 – receptor; 10 – tuburi interschimbabile.

Instalația pentru determinarea proprietăților aerodinamice (fig.3.6) are la baza s-a carcasa 1, pe care este montat motorul electric 2 care este cuplat cu ventilatorul centrifugal 3. Aerul este aspirat prin intermediul filtrului 4. Panou electric de comandă 5 este destinat pentru punerea în funcțiune a elementelor din instalație.

Invertorul 6 asigură setarea numărului de rotații al ventilatorului care aspiră aerul și-l refulează prin racordul de trecere 7 și canal de secțiune circulară 8. Semișele de struguri sunt acumulate în receptorul 9.

Proiectarea 3D a instalației pentru analiza proprietăților aerodinamice, a fost urmată de elaborarea ei în condiții de laborator (fig. 3.6. b). Aceasta s-a efectuat pentru ca ulterior să fie determinată forma optimă a tubului aerodinamic, pentru menținerea semințelor în strat suspendat, și pentru a analiza mișcarea din punct de vedere aerodinamic a semințelor de struguri în interiorul tubului. În scopul analizei profunde a mișcării semințelor de struguri în tub aerodinamic, au fost confecționate mai multe forme tubulare 10, de dimensiuni geometrice diferite. Aceste forme sunt interschimbabile, astfel asigurând un diapazon larg de cercetare a traiectoriilor mișcării semințelor în diferite forme de tub cu parametri geometrici diferiți.

La etapa de executare a lucrărilor de asamblare în condiții de laborator, instalația pentru studiul proprietăților aerodinamice a semințelor de struguri a fost dotată cu un șir de elemente constructive: carcasa metalică 1, care este confecționată din profilul metalic L; motorul electric 2 de model C 15/2 T, cu o putere de 0,16 kW, și un număr de 2800 rot/min; ventilatorul centrifugal 3 cu debitul de 430 m³/h, care aspiră aer prin intermediul filtrului 4; panou electric de comandă 5, dotat cu șase întrerupătoare, care pune în funcție convertizorul de frecvență 6 de model FA-3HX055; între ventilatorul centrifugal și tub se află racordul de trecere 7, care asigură direcționarea aerului de la secțiune pătrată la secțiune rotundă; canalul de secțiune circulară 8, care este interschimbabil cu tuburile 10 și receptorul de semințe 9.

Pentru măsurarea vitezei debitului de aer din tub a fost utilizat anemometrul de model CPS-AM50 cu diapazonul de măsurare 0 ÷ 45 m/s și precizia de ± 0,1 m/s. Cu ajutorul instrumentului dat a fost determinată experimental valorarea vitezei de plutire a semințelor de struguri [218].

Pentru măsurarea presiunii aerului, s-a utilizat instrumentul TESTO 400, cu diapazonul sondei de măsurat cuprins în intervalul 700 hPa ÷ 1100 hPa. În decursul studiului proprietăților aerodinamice ale semințelor de struguri, pe lângă anemometrul CPS-AM50 cu care s-a efectuat măsurarea vitezei aerului la ieșire din tubul aerodinamic, a fost utilizat și instrumentul multifuncțional TESTO 400. Datorită acestui instrument a fost posibilă măsurarea unui șir de parametri fizici (temperatură, viteza aerului, debitul aerului, presiunea aerului din interiorul tubului pentru fiecare secțiune aparte și umiditatea lui [219].

3.4 Modelarea matematică a procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri

Elaborarea procesului de uscare a semințelor de struguri în strat suspendat a fost efectuată în mai multe etape. Inițial s-a elaborat un model matematic, care descrie comportarea aerodinamică a semințelor de struguri aflate în strat suspendat, în interiorul unui tub cu aria secțiunii transversale variabilă, el fiind și camera de uscare. În baza modelului matematic s-a analizat mișcarea semințelor de struguri prin simularea 3D a lor, fiind supuse câmpurilor de viteze (fig. 3.3), și câmpului de presiune (fig.3.4). În acest subcapitol se prezintă un model matematic, în baza căruia s-a obținut o ecuație criterială, care descrie procesul de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri. Din analiza mișcării aerodinamice a semințelor de struguri, simulate anterior (fig. 3.4) și (fig. 3.5), s-a constatat, că asupra lor acționează o serie de parametri fizici (3.10).

$$F = f(t, a, m, \rho, d, D, \Delta p), \quad (3.10)$$

unde:

F – forța, [N];

t – timpul, [s];

a – accelerația, [m/s²];

m – masa unei semințe, [kg];

ρ – densitatea unei semințe, [kg/m³];

d – diametrul echivalent al seminței, [m];

D – diametrul tubului, [m];

Δp – presiunea, [N/m²].

Dependența forței de parametrii enumerați în (3.14), a fost prezentată sub formă de funcție de putere (3.11):

$$F = c \cdot t^x \cdot a^y \cdot m^z \cdot \rho^k \cdot d^\gamma \cdot D^\beta \cdot \Delta p^\alpha, \quad (3.11)$$

unde: $c, x, z, k, \gamma, \beta, \alpha$ – sunt coeficienți adimensionali.

Numărul criteriului în ecuația criterială s-a determinat aplicând teorema“ π ”:

$$\pi = 8 - 3 = 5 \quad (3.12)$$

Introducând dimensiunile ecuației (3.11) acestea se prezintă în felul următor:

$$kg \ m \ s^{-2} = s^x \cdot (ms^{-2})^y \cdot kg^z \cdot (kgm^{-3})^k \cdot m^\gamma \cdot m^\beta \cdot (kgm^{-1}s^{-2})^\alpha \quad (3.13)$$

Exprimarea variabilelor prin y, z, k, γ ecuația (3.11) a căpătat următoarea formă:

$$F = c \cdot t^{2y-2z-2k} \cdot a^y \cdot m^z \cdot \rho^k \cdot d^\gamma \cdot D^{2+2k-\gamma-z-y} \cdot \Delta p^{1-z-k} \quad (3.14)$$

Prin comasarea parametrilor pe criterii aparte, se obține următoarea ecuație:

$$F = c(D^2\Delta p^1) \cdot (t^2D^{-1}a)^y \cdot (t^{-2}mD^{-1}\Delta p^{-1})^z \cdot (t^{-2}\rho D^2\Delta p^{-1})^k \cdot (D^{-1}d)^y, \quad (3.15)$$

Astfel, a fost scrisă următoarea egalitate:

$$\frac{F}{D^2\Delta p^1} = c \left[\frac{t^2a}{D} \right]^y \cdot \left[\frac{m}{t^2D\Delta p} \right]^z \cdot \left[\frac{\rho D^2}{t^2\Delta p} \right]^k \left[\frac{d}{D} \right]^y, \quad (3.16)$$

În continuare sunt prezentate criteriile, care au fost calculate după ecuația (3.16):

$$C_a = \frac{t^2a}{D} - \text{criteriul simplex pentru accelerație};$$

$$C_{\Delta p} = \frac{m}{t^2D\Delta p} - \text{criteriul simplex pentru forță};$$

$$C_d = \frac{d}{D} - \text{criteriul simplex ca parametru geometric};$$

$$Eu = \frac{\rho D^2}{t^2\Delta p} - \text{criteriul Euler}.$$

Criteriul lui Newton, $Ne = \frac{F}{D^2\Delta p^1}$ [220], care exprimă raportul dintre acțiunea forțelor externe și energia cinetică a corpului (seminței de struguri) poate fi calculat după următoarea ecuația criterială (3.17):

unde:

N_e – criteriul lui Newton;

F – forța, [N];

D – diametrul tubului, [m];

Δp – presiunea, [N/m²].

Iar pentru procesul de uscare a semințelor în strat suspendat criteriul lui Newton a fost determinat conform (3.17):

$$Ne = c Eu^k C_a^y \cdot C_{\Delta p}^z \cdot C_d^y, \quad (3.17)$$

Ecuația criterială (3.17), caracterizează procesul de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri. Egalitatea dată conține trei criterii simplex și un criteriu Euler. Aceste criterii descriu parametrii ce au loc în interiorul tubului aerodinamic (camera de uscare), dar și în stratul suspendat pe parcursul întregului proces de uscare a semințelor de struguri.

3.5 Simularea 3D a procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri

O metodă inovativă de intensificare a procesului de uscare a semințelor de struguri este uscarea în strat suspendat cu aplicarea surselor interne de căldură – microundelor. Metoda dată presupune sporirea calității produsului uscat și reducerea consumului de energie, întrucât fiecare sămânță de struguri în parte obține o tratare termică individualizată. Pentru elaborarea procedurii de deshidratare a semințelor de struguri și asigurarea calității produsului finit, a fost simulată în 3D cinetica procesului de uscare în strat suspendat în scopul analizei dinamicii comportării semințelor în flux de aer pe parcursul scăderii masei acestora (fig3.7). Toate acestea au fost studiate în baza simulării mișcării aerodinamice al semințelor de struguri, unde a fost analizată distribuția câmpului de viteze și presiune în flux de aer din interiorul tubului.

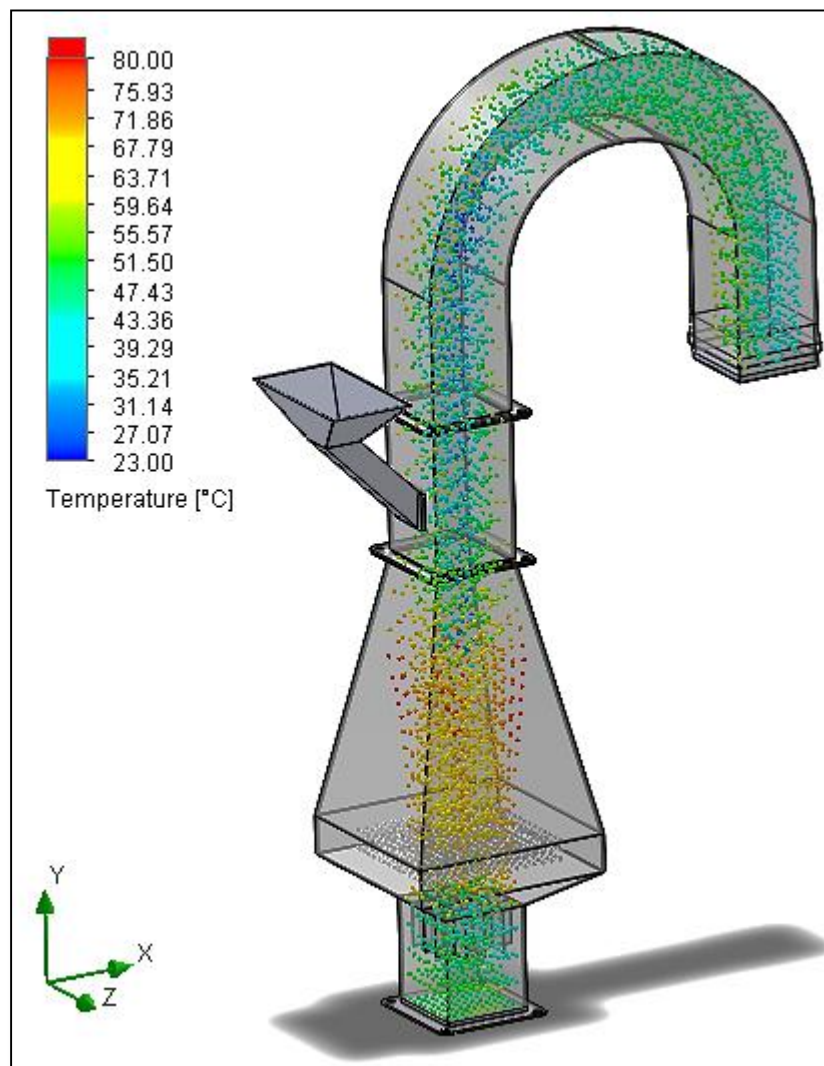


Fig. 3.7. Simularea 3D pentru procesul de uscare în strat suspendat asistat de microunde (SHF)

Pentru simularea 3D a procesului de uscare în strat suspendat s-au luat în considerare simulările de viteză și presiune a aerului, efectuate anterior (fig. 3.4 și 3.5).

Stabilitatea stratului suspendat cu semințe de struguri, în timpul procesului de uscare, este asigurată de forma optimă a tubului aerodinamic, care preventiv a fost identificată prin simulări 3D (fig. 3.4 și 3.5). Simularea procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri, asistat de microunde (SHF) (fig.3.7), s-a efectuat în baza tubului 4 (fig. 3.3), cu dimensiunile geometrice respective. Simularea procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri asistat de convecție este reprezentat de figura 3.8.

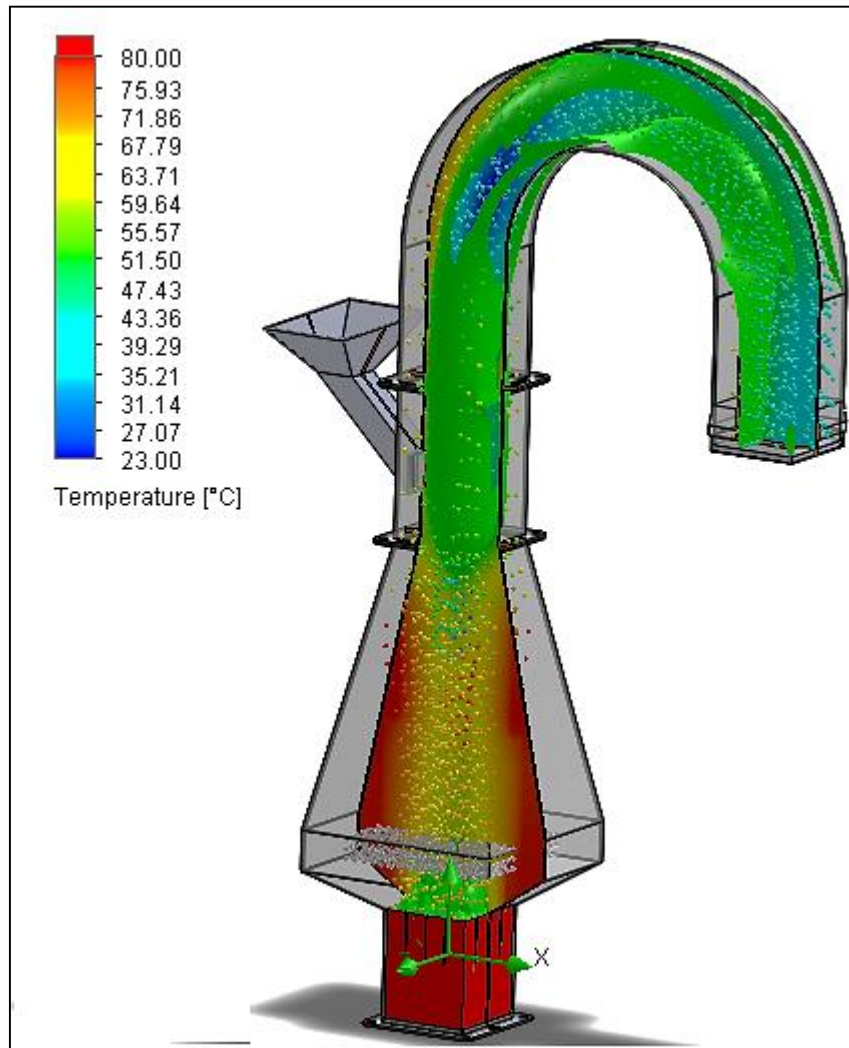


Fig. 3.8. Simularea 3D pentru procesul de uscare în strat suspendat asistat de convecție

Ca și în cazul uscării în strat suspendat cu aplicarea SHF (fig. 3.7) s-a utilizat tubul 4 (fig. 3.3). Figura 3.8 demonstrează distribuția câmpului de temperatură. Astfel, la intrare în tub temperatura aerului și a semințelor de struguri este mai ridicată fiind între 70 °C și 80 °C, iar la ieșire temperatura agentului de uscare și a produsului este cuprinsă între 40 °C și 45 °C. Rezultă că temperatura semințelor la intrare în tub (camera de uscare) este practic de două ori mai mare decât la ieșire, ceea ce nu este caracteristic procesului de uscare convențional unde diferența este în jur de 10 °C.

3.6 Standul experimental pentru studiul cineticii procesului de uscare în strat suspendat

Studiul cineticii procesului de uscare nu poate fi posibil fără instalația de uscare. Uscarea semințelor de struguri în strat suspendat este o metodă inovativă care poate fi aplicată doar la instalația de uscare în strat suspendat. Pentru a studia cinetica procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri, a fost elaborată instalația experimentală (fig. 3.9) pentru uscarea lor [221]. Proiectarea instalației a fost efectuată cu ajutorul softului 3D SolidWorks. Inițial a fost proiectat fiecare element constructiv, ulterior ele au fost asamblate în regim de proiectare 3D.

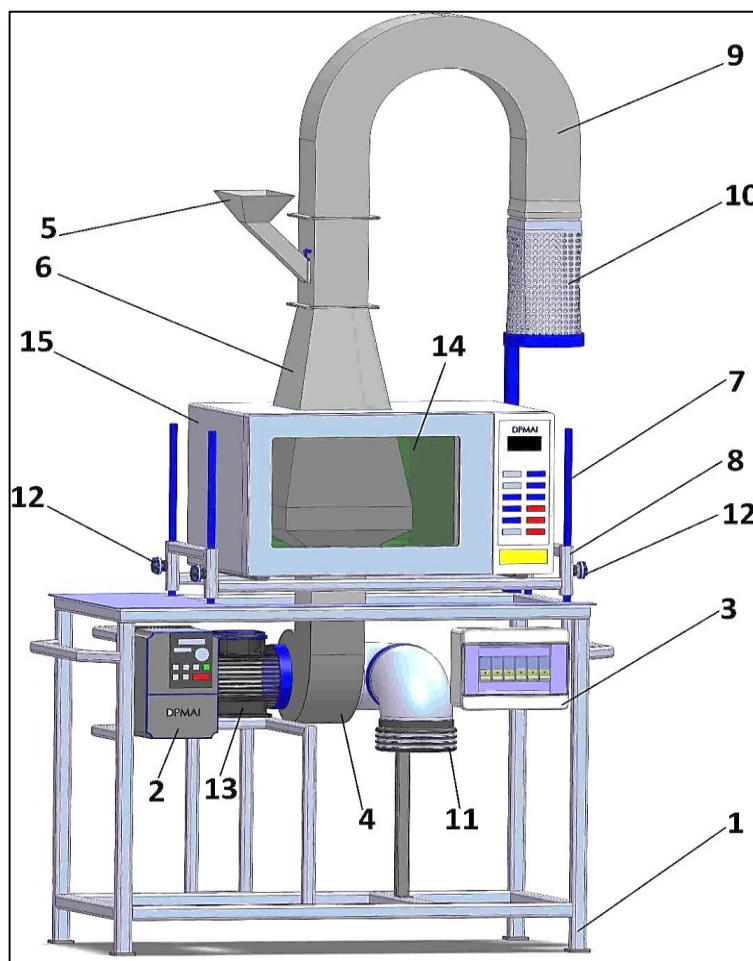


Fig. 3.9. Instalație pentru uscarea semințelor de struguri în strat suspendat [222]

Elemente constructive: 1 – carcasa; 2 – invertor; 3 – panou de comandă; 4 – ventilator; 5 – buncăr de alimentare; 6 – tub; 7 – ghidaje; 8 – suport; 9 – țeava de evacuare; 10 – receptor cilindric perforat; 11 – filtru de aer; 12 – manete; 13 – motor electric; 14 – camera de uscare; 15 – generator de microunde.

Instalația pentru uscarea semințelor de struguri (fig. 3.9) a fost elaborată reieșind din metoda inovativă de a usca semințele de struguri în strat suspendat cu scopul de a îmbunătăți indicii de calitate și de a micșora durata de tratare termică a lor.

Această instalație (fig. 3.9) înlătură neajunsurile instalațiilor de uscare existente, care presupun neuniformitatea tratării termice a produsului, întrucât uscătoarele hibride de ultimă generație sunt rezultatul combinării metodelor existente de uscare, dar nu și metode inovative, cum este metoda uscării în strat suspendat [22].

Dezavantajele soluțiilor tehnice existente, constau în aceea că produsul finit obținut în urma procesului de uscare tradițional posedă o neuniformitate a tratării termice pe întreg volumul seminței de strugure, ceea ce influențează negativ calitățile organoleptice și tehnologice ale lui [223]. Totodată procesul tradițional de uscare a produselor horticoale sămânțoase este mult mai energointensiv comparativ cu procesul de uscare în strat suspendat. Tubul aerodinamic al instalației de uscare (fig. 3.10), este prevăzut cu trei zone. Tot acest tub este și camera de uscare pentru semințele de struguri [224].

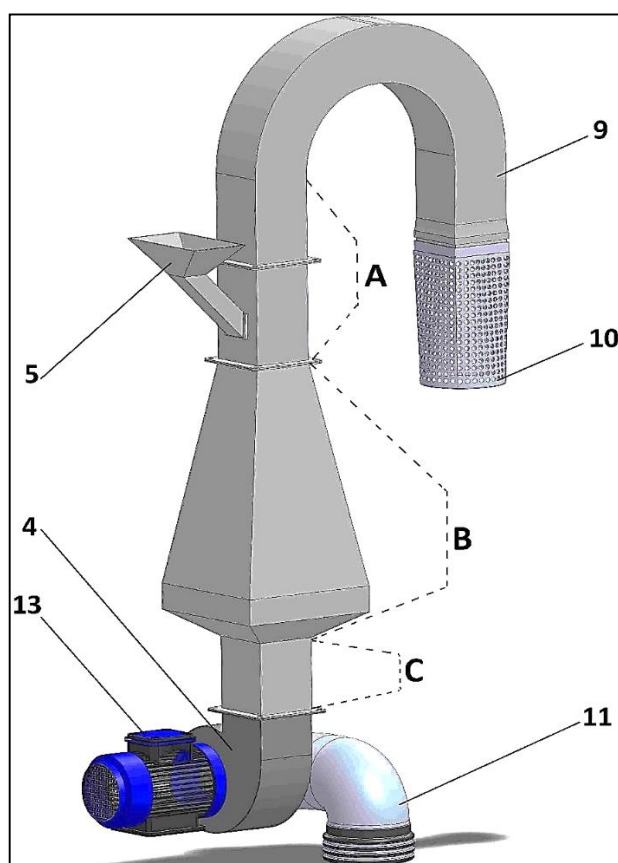


Fig. 3.10. Tubul aerodinamic pentru stratul suspendat

Elemente constructive: 4 – ventilator centrifugal; 5 – buncăr de alimentare; 9 – țeava de evacuare; 10 – receptor cilindric perforat; 11 – filtru de aer; 13 – motor electric; A – zona superioară; B – zona de mijloc; C – zona inferioară.

Instalația de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri, are la baza sa o carcasă 1 pe care este montat tubul 6 (fig. 3.10), care este compus din zona superioară A, zona de mijloc B și zona inferioară C.

Tot pe carcasă este montat fix panoul de comandă 3, care pune în funcție invertorul 2, ventilatorul 4 ce aspiră aerul prin intermediul filtrului 11 fiind acționat de motorul 13; și generatorul de microunde 15 dotat cu camera de uscare 14. Pe ventilatorul 4 este montat tubul 6, la care este racordat buncărul de alimentare 5, pentru a încălca produsul. De asemenea tubul 6 intersectează în plan vertical camera de uscare 14, care este montată pe suportul 8, fiind prins prin manetele de fixare-reglare 12 de ghidajele 7. În partea de sus a tubului 6 este montată țeava de evacuare 9 a produsului, și receptorul perforat 10.

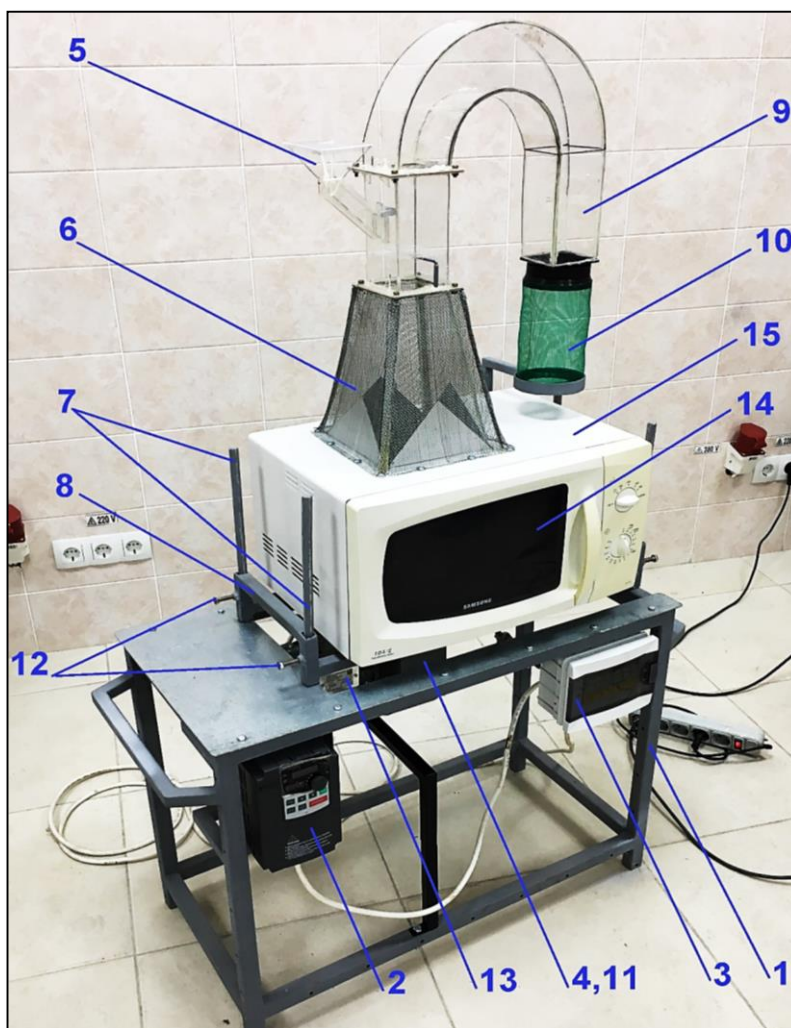


Fig. 3.11. Instalație de laborator pentru uscarea semințelor de struguri în strat suspendat

Elemente constructive: 1 – carcasa; 2 – inverter; 3 – panou de comandă; 4 – ventilator; 5 – buncăr de alimentare; 6 – tub cu ecranare; 7 – ghidaje; 8 – suport; 9 – țeava de evacuare; 10 – receptor cilindric perforat; 11 – filtru de aer; 12 – manete de fixare-reglare; 13 – motor electric; 14 – camera de uscare; 15 – generator de microunde;

Reieșind din parametrii geometrici și tehnologici proiectați, instalația de uscare în strat suspendat, a fost construită și testată în condiții de laborator (fig.3.11).

A fost stabilit scopul principal, care constă în aplicarea metodei de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri prin utilizarea microundelor și optimizarea duratei de tratare termică a produsului. Instalația de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri funcționează în felul următor: Produsul este încărcat în buncărul de alimentare 5 ulterior el nimereste în zona inferioară C a tubului 6 (fig. 3.12), unde este antrenat pe verticală în sus de către ventilatorul 4 ce aspiră aerul prin intermediul filtrului 11 fiind acționat de motorul 13. Din zona inferioară C a tubului 6, produsul nimereste în zona de mijloc B a lui, a cărei valoare a secțiunii transversale este mai mare decât cea a zonei inferioare C și superioară A (fig. 3.13). Zona de mijloc B a tubului 6 se află în interiorul camerei de uscare 14 a generatorului de microunde 15, care supun semințele procesului de uscare. În zona dată produsul este antrenat într-o mișcare compusă, cuprinsă pe toată înălțimea ei, datorită micșorării vitezei liniare în secțiunea dată a tubului. Respectiv când masa produsului începe să scadă datorită procesului de uscare, la aceeași valoare a vitezei liniare în zona de mijloc B, el este antrenat în zona superioară A, a tubului unde valoarea vitezei liniare este mai mare, datorită îngustării secțiunii transversale.

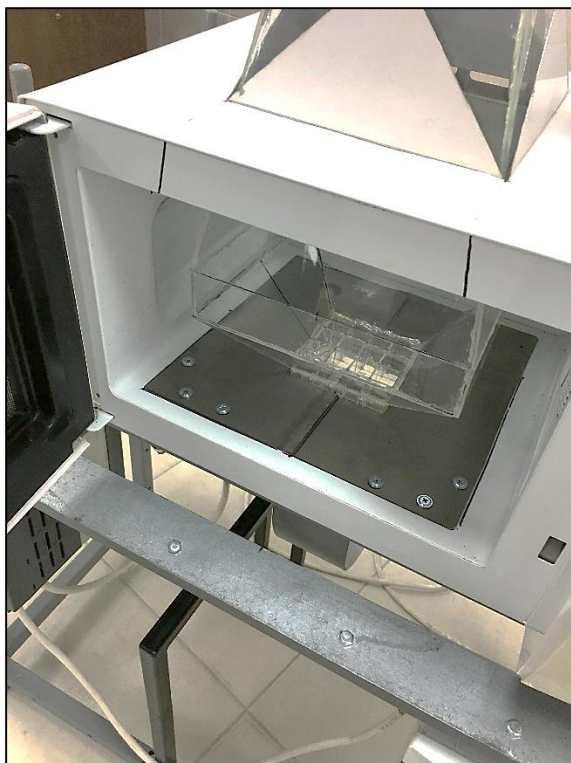


Fig. 3.12. Zona inferioară C a tubului 6 (fig. 3.10) Fig. 3.13. Zona superioară A a tubului 6 (fig. 3.10)

Astfel, produsul uscat este vehiculat din instalație prin intermediul țevii de evacuare 9, ulterior la ieșire fiind separat de aer prin intermediul receptorului perforat 10. De asemenea zona de uscare a produsului, poate fi reglată datorită manetelor de fixare-reglare 12, prin deplasarea pe verticală a camerei de uscare pe ghidajele 7, în raport cu zona de mijloc a tubului.

3.7 Determinarea proprietăților fizico-mecanice ale semințelor de struguri

Pe parcursul procesului de deshidratare, semințele de struguri sunt supuse tratării termice. Ca și orice material, având proprietăți fizico-mecanice diferite, atunci când este supus tratării termice, se comportă în mod diferit. Metoda uscării în strat suspendat a semințelor de struguri, presupune nu numai menținerea lor în acest strat de către debitul de aer, dar și mișcarea lor continuă. Mișcându-se, semințele de struguri sunt supuse procesului de coleziune între sămânță - sămânță și sămânță - pereții interiori ai camerei de uscare (ai tubului). În acest sens a fost determinată forța critică de strivire a semințelor umede (tab. 3.17) și forța de strivire la care este supusă sămânța umedă în interiorul camerei de uscare (tab.3.18).

Tabelul 3.17. Forța critică de strivire pentru semințe până la uscarea în strat suspendat

N ^o Semința	Masa de strivire, kg	Accelerația căderii libere, m/s ²	Forța critică de strivire, N
1	6,0	9,81	58,8
2	5,6	9,81	54,9
3	5,8	9,81	56,9
4	7,0	9,81	68,7
5	4,4	9,81	43,1
6	5,4	9,81	52,9
7	4,4	9,81	43,1
8	5,4	9,81	52,9
9	8,2	9,81	80,4
10	8,4	9,81	82,4
Media			59,4

$P \leq 0,05$; unde P, este probabilitatea;

Tabelul 3.18. Forța de strivire la care este supusă sămânța până la uscarea în strat suspendat

N ^o Semința	Viteza seminței, m/s	Timpul parcurs, s	Accelerația seminței, m/s ²	Masa unei semințe, kg·(10 ⁻⁶)	Forța de strivire, N·(10 ⁻⁴)
1	11	0,30	36,7	22	8
2	11	0,29	37,9	25	9
3	11	0,27	40,7	28	11
4	11	0,26	42,3	29	12
5	11	0,30	36,7	23	8
6	11	0,29	37,9	24	9
7	11	0,28	39,3	26	10
8	11	0,27	40,7	27	11
9	11	0,30	36,7	21	8
10	11	0,28	39,3	26	8
Media					9,4

$P \leq 0,05$; unde P, este probabilitatea;

S-a demonstrat, că valoarea medie a forței critice de strivire a semințelor de struguri umede din (tab. 3.17), este cu mult mai mare decât valoarea medie a forței de strivire la care este supusă semința umedă în instalație în timpul uscării (tab 3.18).

Reieșind din aceste date se atestă, că în timpul procesului de uscare în strat suspendat, semințele de struguri umede nu sunt supuse strivirii, respectiv riscul de apariție a fisurilor pe suprafața seminței este exclus. Datele expuse în (tab.3.17 și 3.18) sunt reprezentate printr-un grafic (fig. A3. 7), care arată diferența dintre variația forței critice de strivire a seminței umede și variația forței de strivire la care este supusă semința umedă în timpul procesului de uscare în strat suspendat.

În timpul procesului de uscare în strat suspendat semințele de struguri umede nu au fost supuse procesului de strivire, respectiv riscul de apariție a microfisurilor pe suprafața seminței este exclus.

Luând în considerare specificul metodei de uscare în strat suspendat și posibilității apariției fisurilor, s-a determinat forța critică de strivire a semințelor uscate (tab. 3.19) și forța de strivire la care a fost supusă sămânța uscată în interiorul camerei de uscare (tab.3.20).

Tabelul 3.19. Forța critică de strivire pentru semințe după uscarea în strat suspendat

N _o Semința	Masa de strivire, kg	Accelerația căderii libere, m/s ²	Forța critică de strivire, N
1	6,2	9,81	58,8
2	6,4	9,81	54,9
3	5,6	9,81	56,9
4	7,2	9,81	68,7
5	6,4	9,81	43,1
6	4,2	9,81	52,9
7	4,4	9,81	43,2
8	5,4	9,81	52,9
9	5,6	9,81	80,4
10	2,2	9,81	82,4
Media			59,4

P≤0,05;

Tabelul 3.20. Forța de strivire la care este supusă sămânța după uscarea în strat suspendat

N _o Semința	Viteza seminței, m/s	Timpul parcurs, s	Accelerația seminței, m/s ²	Masa unei semințe, kg·(10 ⁻⁶)	Forța de strivire, N·(10 ⁻⁴)
1	11	0,20	55,0	15	8
2	11	0,19	57,9	17	10
3	11	0,17	67,7	19	12
4	11	0,16	68,8	2	14
5	11	0,21	52,4	15	8
6	11	0,19	57,9	16	9
7	11	0,18	61,1	18	11
8	11	0,17	64,7	18	12
9	11	0,22	50,0	14	7
10	11	0,18	61,1	17	10
Media					10,1

P≤0,05; unde P, este probabilitatea;

De asemenea ca și în cazul precedent valoarea medie a forței critice de strivire a semințelor de struguri uscate (tab. 3.19), este cu mult mai mare decât valoarea medie a forței de strivire la care este supusă semința uscată în instalație pe parcursul uscării (tab. 3.20). Astfel, în timpul procesului de uscare în strat suspendat semințele de struguri uscate nu au fost supuse strivirii, și apariția fisurilor pe suprafața lor este exclus. Datele expuse în (tab.3.19 și 3.20) sunt reprezentate printr-un grafic (fig. A3. 8), care arată diferența dintre variația forței critice de strivire a seminței uscate și variația forței de strivire la care este supusă semința uscată în timpul procesului de uscare în strat suspendat. Uscarea semințelor de struguri poate avea loc în moduri diferite. Fiecare din aceste metode poate influența calitățile produsului finit, atât negativ cât și pozitiv. Având în vedere că semințele de struguri uscate, reprezintă materia primă pentru extragerea uleiului, s-a luat în considerare, factorii care pot mări probabilitatea de oxidare.

Rezultatele prezentate (tab. 3.17, 3.18, 3.19 și 3.20), demonstrează, că semințele de struguri uscate în strat suspendat, nu sunt supuse riscului de apariție a microfisurilor pe suprafața lor.

Astfel, alegerea corectă a metodei de uscare sporește calitatea produsului finit și reduce gradul de oxidare a uleiului obținut din semințe de struguri.

Semințele de struguri uscate prin metoda convențională și cele uscate în strat suspendat au fost analizate microscopic. În figura 3.14 sunt reprezentate semințe de struguri care au fost uscate prin metoda convențională. Se demonstrează că pe suprafața seminței de struguri, după procesul de uscare, s-au format câteva microfisuri.

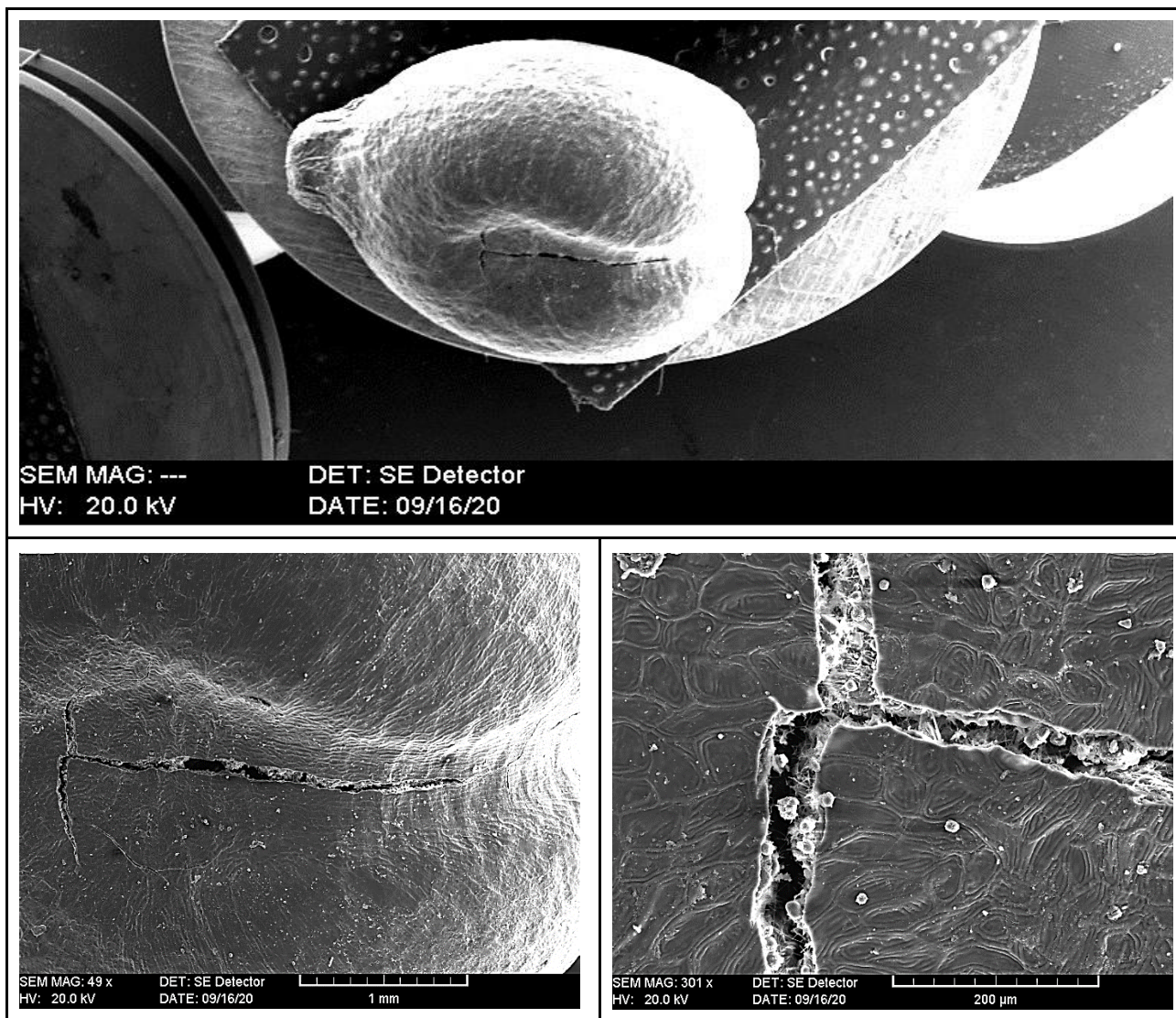


Fig. 3.14. Analiza microscopică a suprafeței semințelor de struguri uscate prin metoda convențională

Aceste microfisuri influențează negativ stabilitatea semințelor la păstrare, acestea fiind mai susceptibile la procesul de autooxidare a lipidelor din ele.

Aflându-se în timpul uscării în calea fluxului de aer, microfisurile formate pe suprafața semințelor conduc la sporirea oxidării uleiului, care urmează a fi extras din ele după procesul de uscare.

Se reprezintă la scară microscopică, suprafața seminței de struguri, care a fost uscată în strat suspendat. Potrivit figurii 3.15 în sturctura învelișului seminței de struguri, microfisurile nu au fost evidențiate.

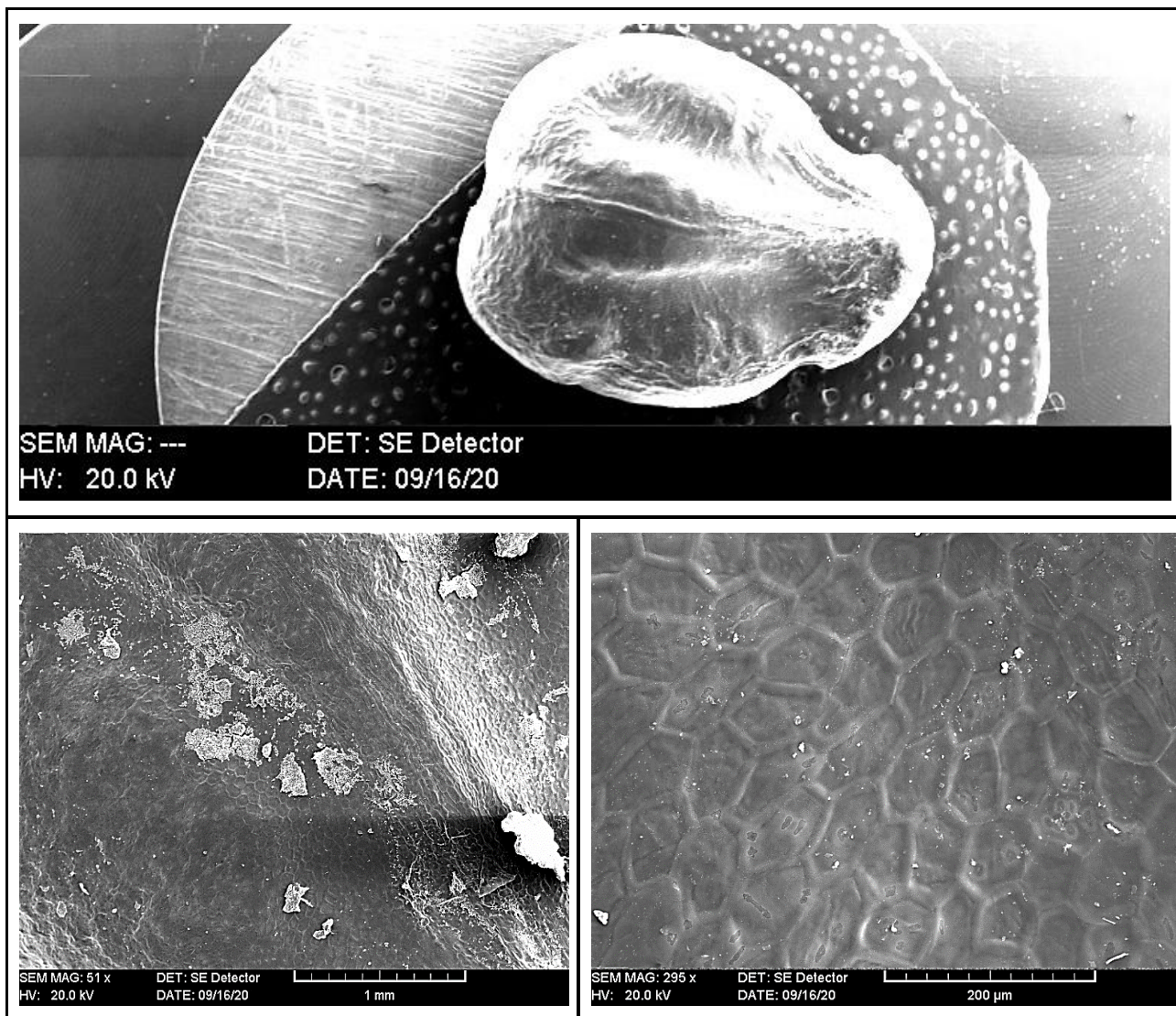


Fig. 3.15. Analiza microscopică a suprafeței semințelor de struguri uscate în strat suspendat

Aceasta s-a datorat faptului, că uscarea în strat suspendat a presupus utilizarea unei viteze mai mari a agentului de uscare, aproximativ de 7 ori, care a permis de uscat semințele la temperaturi mai joase. În aceste condiții dilatarea termică a semințelor practic este exclusă.

În acest context, metoda inovativă de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri, exclude apariția microfisurilor pe suprafața lor, diminuând oxidarea uleiului ulterior obținut din ele.

Concluzii la capitolul 3

Procesul de uscare a semințelor de struguri în strat suspendat necesită analiza detaliată a caracteristicii mișcării lor în camera de uscare, ce are formă tubulară.

Optimizarea procesului de uscare în strat suspendat a permis generalizarea următoarelor concluzii:

1. Elaborarea modelului matematic, a permis de a determina viteza de plutire a semințelor de struguri aflate în strat suspendat, care este dependentă de înălțimea tubului și unghiul de înclinare a suprafețelor superioare a camerei de lucru.
2. Pentru menținerea semințelor de struguri în strat suspendat s-a stabilit forma optimă a tubului aerodinamic ce are înălțimea de 470 mm și unghiul de înclinare a suprafețelor superioare a camerei de lucru de 77° , calculată în baza modelului matematic și a simulărilor 3D efectuate în softul SolidWorks. A fost proiectat și elaborat în condiții de laborator standul experimental, pentru analiza aerodinamică a semințelor de struguri.
3. Ecuația criterială, care descrie procesul de uscare a semințelor de struguri în strat suspendat, a fost obținută, în baza unui model matematic.
4. Simularea procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri, a demonstrat că la uscarea lor cu aplicarea SHF are loc încălzirea doar a semințelor, comparativ cu aplicarea convecției, unde are loc încălzirea părții inferioare a tubului aerodinamic, a aerului din tub și a suprafeței seminței de struguri.
5. A fost elaborată și proiectată în 3D instalația de uscare în strat suspendat pentru tratarea termică a semințelor de struguri, ce permit utilizarea a mai multor regimuri de uscare.
6. Pentru evitarea efectului de strivire a semințelor de struguri și apariției ulterioare a fisurilor, a fost comparată forța critică de strivire a semințelor umede și uscate în raport cu forța de strivire la care sunt supuse semințele umede și uscate în interiorul tubului aerodinamic, care este și camera de uscare.
7. S-a constatat, că forța critică de strivire atât pentru semințele care nu au fost uscate (umede) cât și pentru cele uscate, este cu mult mai mare decât forța de strivire la care sunt supuse ele în camera de uscare.
8. S-a demonstrat, că în timpul procesului de uscare în strat suspendat, apariția microfisurilor pe suprafața semințelor de struguri, datorită mișcării continue a lor și coleziunilor dintre ele, a fost exclusă.

4 CINETICA PROCESULUI DE USCARE ÎN STRAT SUSPENDAT A SEMINȚELOR DE STRUGURI

4.1 Cinetica procesului de uscare prin convecție a semințelor de struguri

Pentru studierea procesului de uscare a fost utilizată instalația de laborator descrisă în capitolul 2. Semințele de struguri au fost introduse în camera de uscare, fiind aranjate într-un singur strat. În calitate de agent termic pentru uscarea lor s-a utilizat aerul fierbinte. Pe parcursul procesului a fost menținută viteza constantă a agentului la valoarea de $1,5 \pm 0,1$ m/s.

În figura 4.1 sunt prezentate curbele uscării semințelor de struguri, cu aplicarea convectivă a căldurii. Temperatura agentului termic aplicat a avut valorile de 60, 70, 80, 90 și 100 °C.

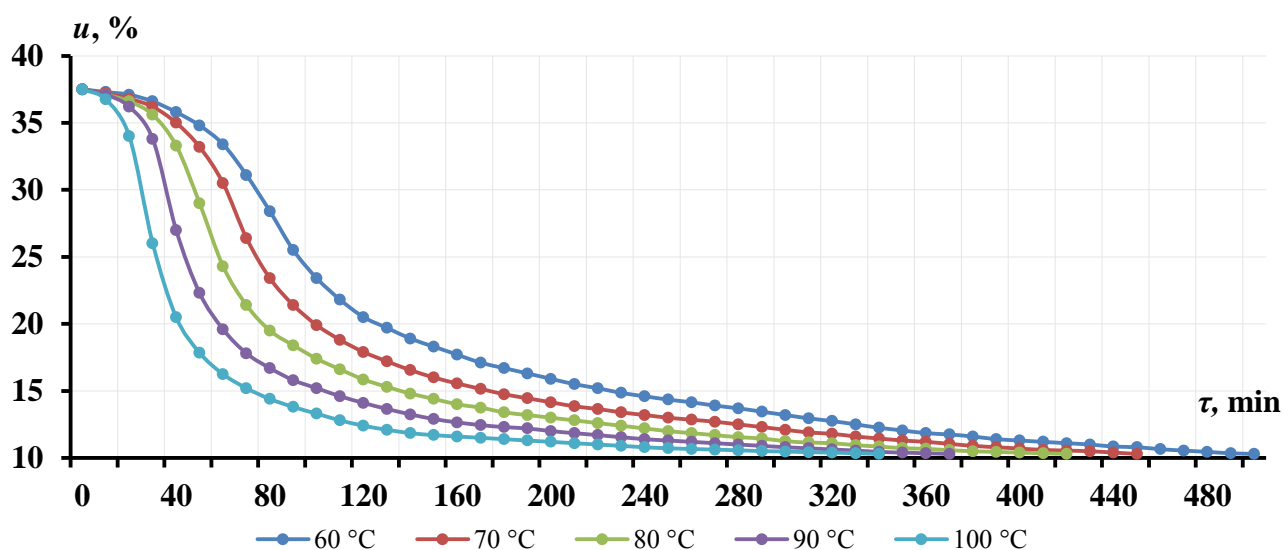


Fig. 4.1. Curbele scăderii conținutului de umiditate, uscarea prin convecție (Temperatura: 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C, 100 °C; agent de uscare: aer; viteza agentului: 1,5 m/s)

S-a demonstrat că durata procesului de uscare depinde într-o mare măsură de temperatura agentului termic. Astfel, aplicarea temperaturii agentului termic de 60°C, a făcut posibilă deshidratarea produsului de la conținutul de umiditate inițială de 37,5 %, până la cea finală de 10,3 % în timp de 500 min. Respectiv pentru valorile de temperatură 70, 80, 90 și 100 °C, durata procesului de deshidratare a fost 450, 420, 370 și 350 min respectiv.

Din cele expuse anterior rezultă că durata procesului de uscare prin convecție a semințelor de struguri scade odată cu creșterea temperaturii agentului termic de la 60 la 100 °C, aproximativ de 1,4 ori.

Curbele vitezei procesului de uscare (fig. 4.2), $\frac{du}{d\tau} = f(u)$, ne indică, că pentru procesul de uscare a semințelor de struguri, ca și pentru toate materiile de origine vegetală, sunt caracteristice trei perioade de uscare: perioada de încălzire, apoi perioada cu viteză constantă și perioada cu viteză descrescândă [48].

Valoarea vitezei de uscare maximală, după cum se observă din grafic, se mărește odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare (fig.4.2). Așadar, la temperatura 60 °C ea constituie 0,31 %/min, iar la temperaturile 70, 80, 90 și 100 °C corespunzător 0,39; 0,48; 0,55 și 0,63 %/min.

După cum se vede, viteza de înlăturare a umidității pentru temperatura inițială 60 °C și finală 100 °C se mărește peste 2 ori.

Cutoate acestea după procesul de uscare a fost observată carbonizarea semințelor de struguri, mai ales au fost evidențiate suprafețele semințelor dinspre direcția fluxului de agent termic la diverse temperaturi de uscare: 60, 70, 80, 90 și 100 °C. Carbonizarea produsului a fost posibilă datorită stării de repaus în care se află semințele de struguri pe parcursul procesului de uscare, ceea ce este caracteristic metodelor convenționale de deshidratare [225]. În opinia noastră, semințele deshidratate neuniform, utilizate ulterior în calitate de semifabricat, nu pot garanta obținerea unui produs finit cu calități organoleptice conform standartelor în vigoare [227].

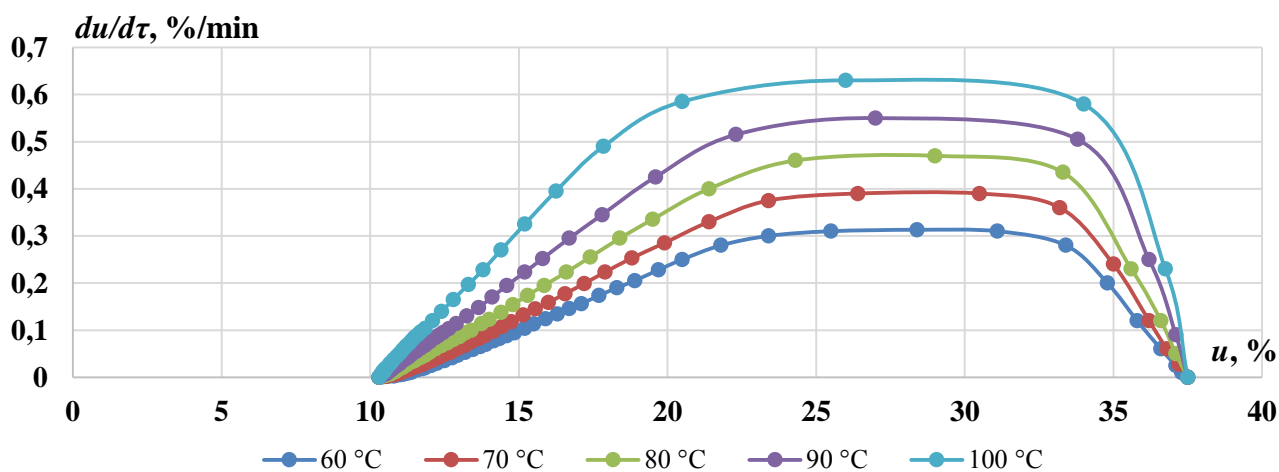


Fig. 4.2. Curbele vitezei procesului de uscare prin convecție (Temperatura: 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C, 100 °C; agent de uscare:aer; viteza agentului: 1,5 m/s)

Conform (fig. 4.2) perioada vitezei maximale pentru temperatura agentului de uscare 60 °C constituie 20 % din durata totală a procesului de uscare, pentru t = 70 °C – 22 % și corespunzător: t = 80 °C – 27 %; t = 90 °C – 28,5 %; t = 100 °C – 32,3 %.

S-a constatat, că odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare durata perioadei vitezei constante de uscare se mărește.

4.2 Cinetica procesului de uscare în câmp SHF a semințelor de struguri

Procesul de uscare cu microunde a semințelor de struguri presupune utilizarea curenților de frecvență supraînaltă (SHF) în calitate de sursă pentru căldură la tratarea termică a lor. Instalația de laborator descrisă în capitolul 2, a fost utilizată pentru studierea acestui proces. Inițial semințele de struguri au fost încărcate în camera de uscare, unde au fost aranjate într-un singur strat. Pe parcursul procesului a fost menținută viteza constantă a aerului la valoarea de $1,5 \pm 0,1$ m/s.

În figura 4.3 sunt prezentate curbele uscării semințelor de struguri, cu aplicarea microundelor. Puterea aplicată de către microunde pe parcursul procesului a avut valorile: 200, 300, 450, 600 și 750 W.

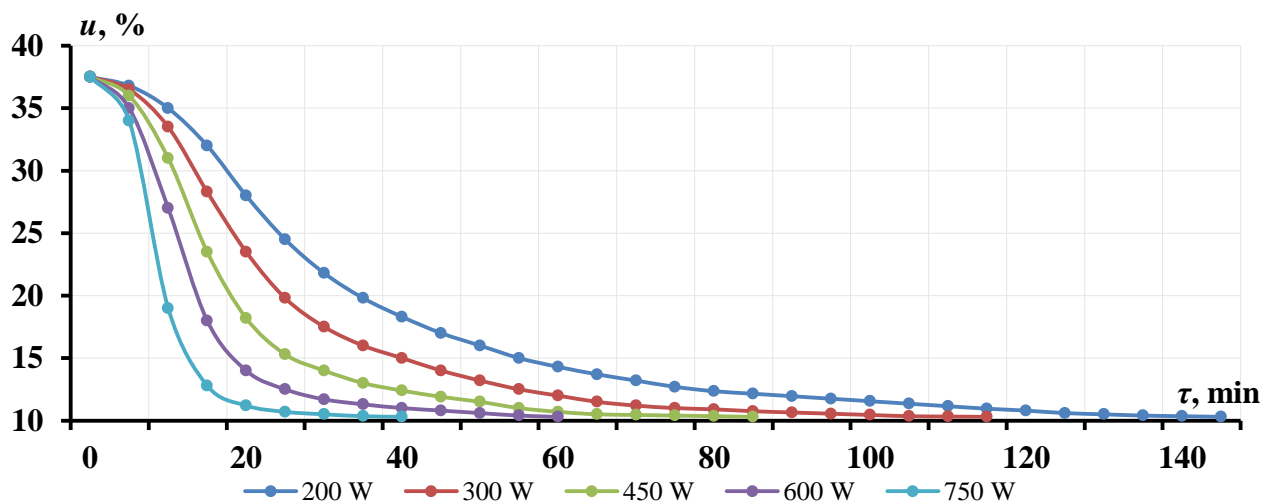


Fig. 4.3. Curbele scăderii conținutului de umiditate, uscarea prin SHF (Puterea magnetronului: 200 W, 300 W, 450 W, 600 W, 750 W; agent de uscare: aer; viteza agentului: 1,5 m/s;)

S-a constatat că durata procesului de uscare cu curenți de frecvență supraînaltă depinde de puterea aplicată al magnetronului. Respectiv, aplicarea regimului de lucru al magnetronului de 200 W, a făcut posibilă uscarea produsului de la conținutul de umiditate inițială de 37,5 %, până la cea finală de 10,3 % în timp de 145 min.

Astfel, pentru valorile de puteri 300, 450, 600 și 750 W, durata procesului de uscare a fost 115, 85, 60 și 40 min respectiv.

Conform datelor expuse anterior rezultă că durata procesului de uscare cu microunde a semințelor de struguri este în scădere odată cu creșterea puterii regimului de lucru al magnetronului de la 200 W la 750 W, aproximativ de 3,6 ori.

Aplicarea microundelor la uscarea semințelor de struguri în instalația de uscure tip tunel, diminuează durata de tratare termică a lor de 3,4 ori față de uscarea convectivă la aceeași instalație. Aceasta este caracteristic pentru regimurile de lucru al magnetronului de 200 W și 60 °C la aplicarea convecției [225]. Pentru puterea maximă a magnetronului de 750 W și temperatura agentului termic la convecție de 100 °C, durata de tratare termică se micșorează de 8,7 ori în favoarea aplicării microundelor. Cu toate acestea, aplicarea microundelor în procesul de uscure a semințelor de struguri, atunci când ele se află în stare de repaus duce la carbonizarea lor [227].

În figura 4.4 sunt prezentate curbele vitezei procesului de uscure, $\frac{du}{d\tau} = f(u)$, care demonstrează, că pentru procesul de deshidratare cu microunde a semințelor de struguri, sunt caracteristice trei perioade de uscure: prima perioadă - de încălzire, perioada a doua - viteză constantă și perioada a treia - viteză descrescândă [48].

Conform graficului (fig. 4.4), se observă că valoarea vitezei de uscure maximală, se mărește odată cu creșterea puterii regimului de lucru al magnetronului. Respectiv la regimul de lucru de 200 W ea constituie 0,9 %/min, iar la regimurile 300, 450, 600 și 750 W corespunzător 1,2; 1,48; 1,7 și 2 %/min. Reieșind din curbele prezentate în (fig. 4.4), viteza de înlăturare a umidității pentru puterea inițială a magnetronului de 200 W și finală – 750 W se mărește aproximativ de 2 ori.

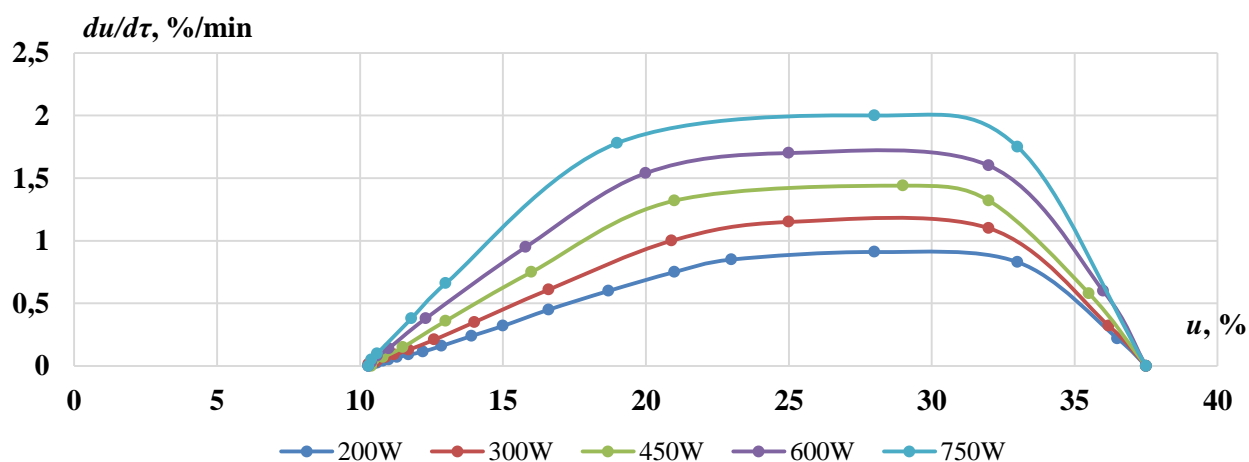


Fig. 4.4. Curbele vitezei procesului de uscure prin SHF
(Puterea magnetronului: 200 W, 300 W, 450 W, 600 W, 750 W; agent de uscure: aer; viteza agentului: 1,5 m/s;)

S-a constatat (fig. 4.4), că perioada vitezei maxime pentru regimul de lucru al magnetronului de 200 W constituie 24 % din durata totală a procesului de uscure, pentru 300 W – 25,5 % și respectiv: 450 W – 27 %; 600 W – 29,1 %; 750 W – 30,2 %.

A fost stabilit, că odată cu creșterea puterii regimului de lucru al generatorului de microunde, durata perioadei cu viteza constantă de uscure se mărește.

La instalația de uscare tip tunel prezentată în capitolul 2, au fost supuse procesului de deshidratare semințe de struguri, care au fost tratate termic prin metoda convectivă (fig.4.5 a) și prin microunde (fig.4.5 b). În tabelul 4.1 este reprezentat regimul de uscare corespunzător fiecărei mostre de semințe de struguri.

Tabelul 4.1. Caracteristica regimurilor de uscare pentru semințele de struguri uscate prin metoda clasică

No	Denumirea metodei	Temperatura agentului termic, °C	Codul mostrei	Viteza agentului de uscare: 1,5 m/s
1.	Uscarea cu aplicarea convecției (fig.4.5, a).	60±1,5	A	
		70±1,5	B	
		80±0,5	C	
		90±1,5	D	
		100±1	E	
2.	Uscarea cu aplicarea SHF (fig.4.5, b).	Puterea magnetronului, W	Codul mostrei	
		200±1	A	
		300±2	B	
		450±1,5	C	
		600±1	D	
		750±1	E	

Culoarea cafeniu-închisă a semințelor de struguri, după tratarea termică prin metode convenționale, se datorează faptului, că în timpul procesului de uscare, semințele de struguri se aflau în stare de repaus.

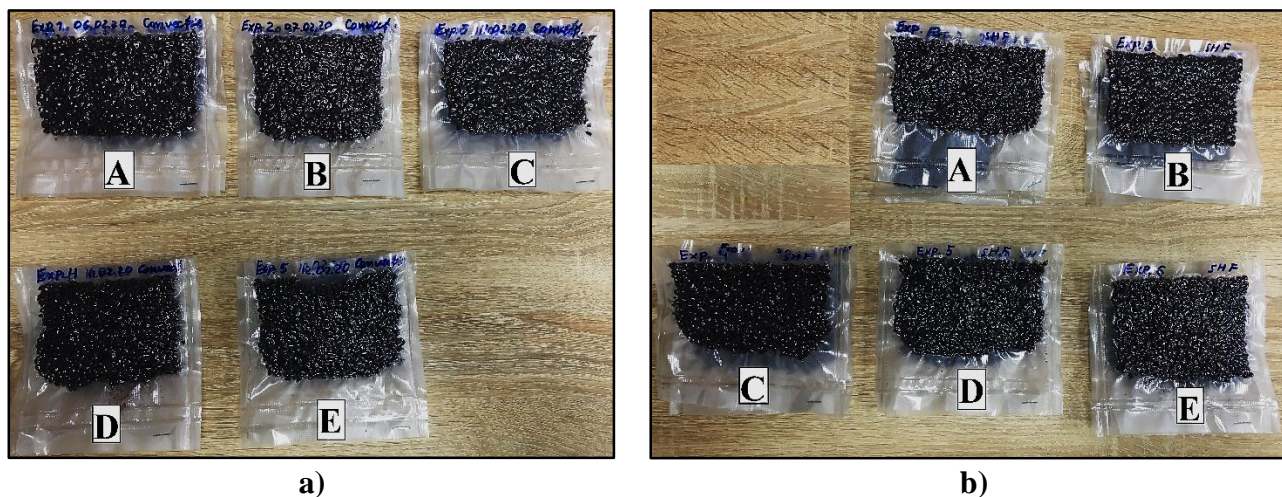


Fig. 4.5 Aspectul semințelor de struguri uscate prin convecție (a) și cu aplicarea microundelor (b)

Totodată durata de tratare termică a semințelor cu diametru echivalent mai mic este mai redusă în comparație cu durata de uscare a semințelor cu diametru echivalent mai mare. Aceasta sporește gradul de îmbrunare a semințelor și ponderea semințelor arse de diametru mai mic în timpul procesului de uscare, de aici și culoarea cafeniu-închisă pentru toate mostrele de semințe.

4.3 Cinetica procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri, asistată de convecție

Pentru a studia cinetica procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri cu aplicarea convecției, a fost utilizată instalația descrisă în capitolul 3. Inițial semințele de struguri au fost introduse prin racordul de alimentare în camera de uscare care este sub formă de tub. Ulterior gravitațional, ele s-au acumulat în partea inferioară a tubului de unde au fost preluate de către agentul termic de uscare (aer fierbinte) și antrenate în sus pentru formarea stratului suspendat, care a fost menținut pe parcursul procesului cu viteza constantă de $11,4 \pm 0,1$ m/s, sub debitul de $430 \pm 0,2$ m³/h.

În figura 4.6 sunt prezentate curbele uscării în strat suspendat a semințelor de struguri, cu aplicarea convectivă a căldurii. Temperatura agentului termic aplicat a avut valorile de 60, 70, 80, 90 și 100 °C.

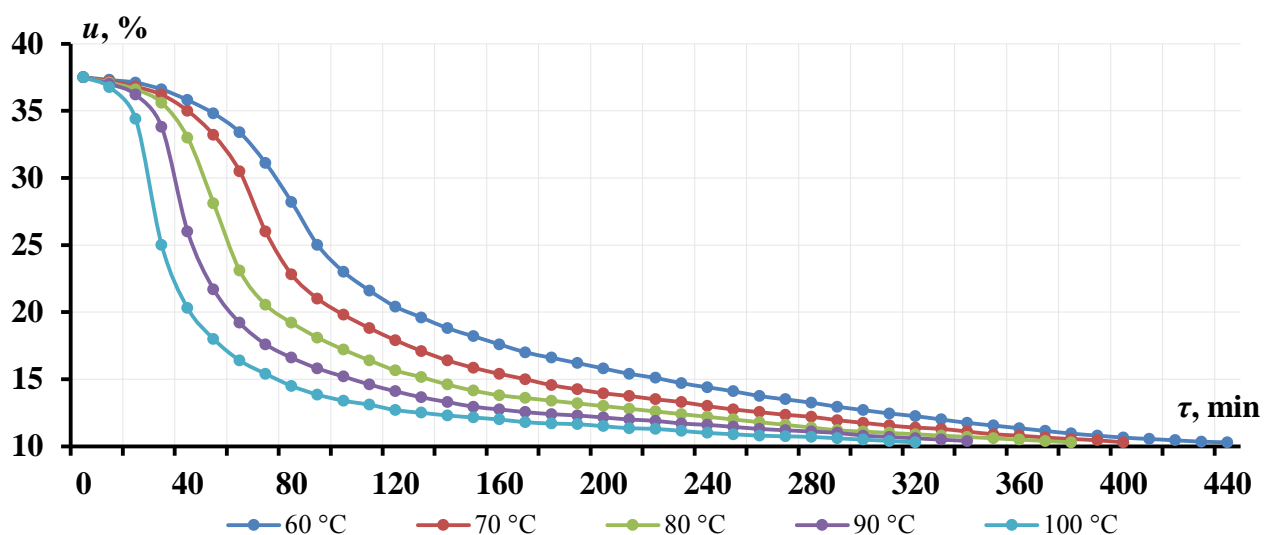


Fig. 4.6. Curbele scăderii conținutului de umiditate, uscarea în strat suspendat, asistată de convecție (Temperatura: 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C, 100 °C; agent de uscare: aer; viteza agentului: 11,4 m/s)

S-a constatat că durata procesului de uscare în strat suspendat cu aplicarea convecției depinde de temperatura agentului termic (fig. 4.6). Astfel utilizarea agentului termic cu temperatura de 60 °C, a sporit deshidratarea produsului de la conținutul umidității inițiale - 37,5 %, până la cea finală de 10,3 %, aceasta a durat 440 min. Respectiv pentru valorile de temperatură 70, 80, 90 și 100 °C, durata procesului de deshidratare a fost 400, 380, 340 și 320 min.

Rezultă că durata procesului de uscare în strat suspendat prin convecție a semințelor de struguri scade o dată cu creșterea temperaturii agentului termic de la 60 la 100 °C, aproximativ de 1,38 ori.

Deși au fost aplicate aceleași regimuri de uscare ca și în cazul convecției prin metoda clasică, utilizarea convecției la instalația de uscare în strat suspendat a exclus definitiv efectul de carbonizare pe suprafața semințelor uscate. Aceasta a fost posibilă datorită stării de mișcare permanentă a lor pe parcursul procesului. Mai mult ca atât, efectul de autoseparare a semințelor de struguri, pe tot parcursul procesului de uscare în strat suspendat, a asigurat tratarea termică individuală pentru fiecare sămânță în parte [228].

Pentru curbele vitezei procesului de uscare în strat suspendat cu aplicarea convecției (fig. 4.7), $\frac{du}{d\tau} = f(u)$, sunt caracteristice trei perioade de uscare: perioada I - are loc încălzirea produsului și viteza procesului crește; perioada II - viteza procesului este constantă; perioada III – viteza procesului scade [57].

S-a observat că valoarea maximă a vitezei procesului de uscare în strat suspendat, crește odată cu sporirea temperaturii agentului termic (fig.4.7). Așadar, la temperatura de 60 °C ea constituie 0,36 %/min, iar la temperaturile 70, 80, 90 și 100 °C corespunzător 0,43; 0,54; 0,61 și 0,7 %/min.

Conform (fig. 4.7), viteza procesului de înlăturare a umidității pentru temperatura inițială $t = 60$ °C și finală $t = 100$ °C se mărește aproximativ de 2 ori.

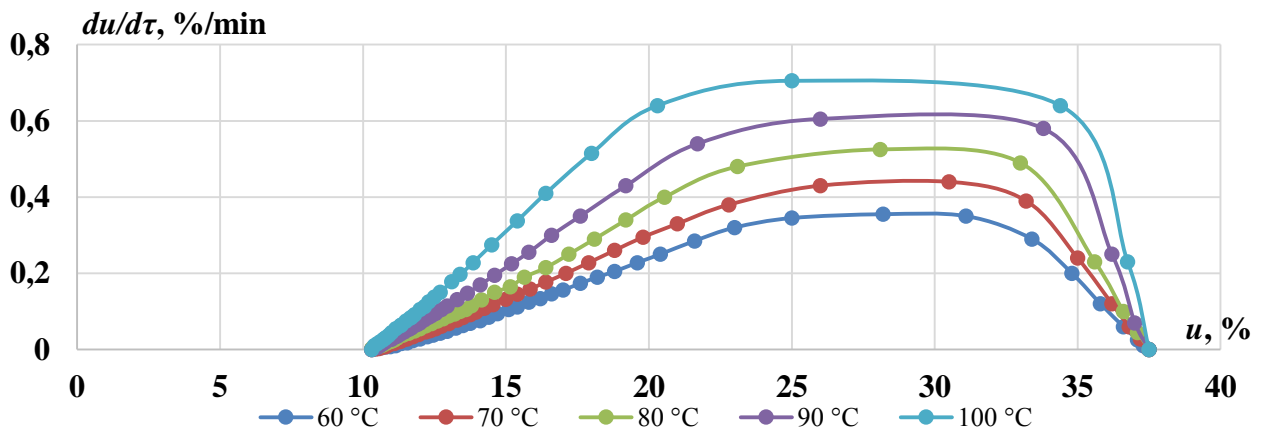


Fig. 4.7. Curbele vitezei procesului de uscare în strat suspendat, asistat de convecție (Temperatura: 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C, 100 °C; agent de uscare: aer; viteza agentului: 11,4 m/s)

După (fig. 4.7), perioada vitezei maxime pentru temperatura agentului de uscare 60 °C constituie 23,8 % din durata totală a procesului de uscare, pentru $t = 70$ °C – 29,6 % și corespunzător: $t = 80$ °C – 30,4 %; $t = 90$ °C – 32,3 %; $t = 100$ °C – 36,7 %.

S-a stabilit, că odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare durata perioadei vitezei constante de uscare în strat suspendat crește.

4.4 Cinetica procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri, asistată de SHF

Pentru studiul comparativ dintre cinetica procesului de uscare cu microunde și cinetica procesului de uscare în strat suspendat cu aplicarea microundelor, a fost utilizată instalația de laborator prezentată în capitolul 3. După încărcarea semințelor de struguri în camera de lucru (tubul aerodinamic), procesul de uscare în strat suspendat cu aplicarea microundelor a fost asigurat de către un debit de aer egal cu $430 \pm 0,2 \text{ m}^3/\text{h}$, care a dezvoltat o viteză constantă cu valoarea de $11,4 \pm 0,1 \text{ m/s}$.

Acești parametri au asigurat stabilitatea stratului suspendat de semințe pe parcursul procesului de uscare. Curbele uscării în strat suspendat a semințelor de struguri cu utilizarea microundelor (fig. 4.8) descriu cinci regimuri de lucru ale magnetronului cu următoarele valori de puteri: 200, 300, 450, 600 și 750 W.

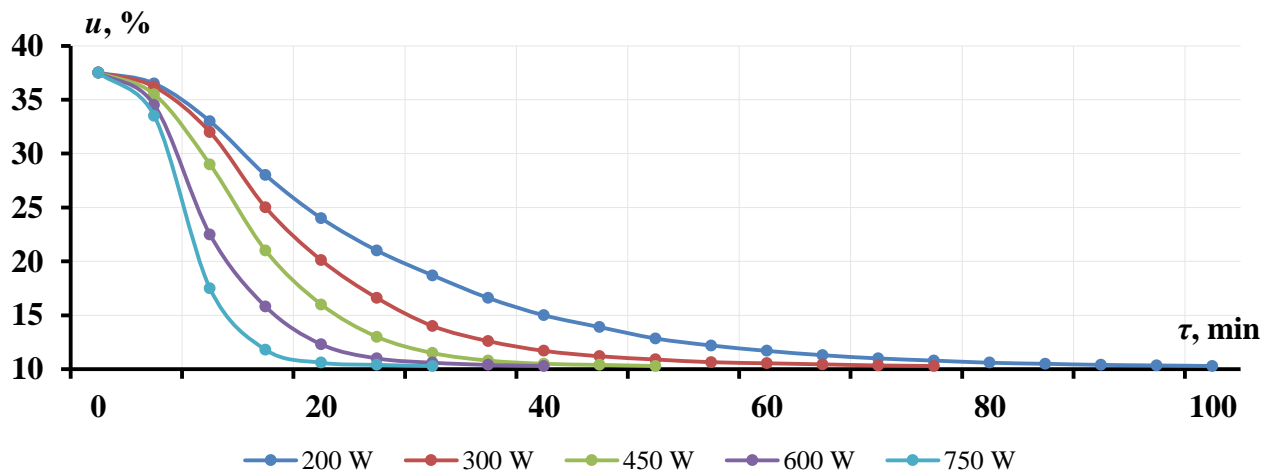


Fig. 4.8. Curbele scăderii conținutului de umiditate, uscarea în strat suspendat, asistată de SHF (Puterea magnetronului: 200 W, 300 W, 450 W, 600 W, 750 W; agent de uscare: aer; viteza agentului: 11,4 m/s;)

S-a demonstrat că durata procesului de uscare în strat suspendat cu aplicarea microundelor depinde într-o mare măsură de puterea aplicată a magnetronului. Astfel aplicarea puterii de 200 W, a făcut posibilă ucare în strat suspendat a semințelor de la conținutul umidității inițiale de 37,5 %, până la cea finală de 10,3 %, în timp de 100 min. Respectiv pentru valorile de puteri ale magnetronului 300, 450, 600 și 750 W, durata procesului de deshidratare a fost 75, 50, 40 și respectiv 30 min.

Din cele expuse anterior rezultă că durata procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri cu ajutorul microundelor scade o dată cu creșterea puterii magnetronului, aproximativ de 3,3 ori. Cu toate că au fost aplicate aceleași regimuri de uscare ca și în cazul aplicării microundelor prin metoda clasică, utilizarea SHF la instalația de uscare în strat suspendat a demonstrat eficacitate prin excluderea efectului de carbonizare și apariție a microfisurilor pe suprafața semințelor uscate.

De asemenea efectul de autoseparare a semințelor de struguri, pe tot parcursul procesului de uscare în strat suspendat, a asigurat uniformitatea tratării termice a produsului [228].

Curbele vitezei procesului de uscare în strat suspendat cu aplicarea microundelor (fig. 4.9), $\frac{du}{d\tau} = f(u)$, au fost caracterizate de trei perioade: perioada I - încălzirea produsului, viteza procesului crește; perioada II - viteza procesului este constantă; perioada III – viteza procesului scade [83].

După (fig. 4.9), s-a observat că valoarea maximă a vitezei procesului de uscare în strat suspendat cu aplicarea microundelor, se mărește odată cu creșterea puterii magnetronului. Astfel la regimul de lucru de 200 W ea constituie 1 %/min, iar la regimurile 300, 450, 600 și 750 W corespunzător 1,4; 1,7; 2,1 și 2,5 %/min. Conform curbelor prezentate în (fig. 4.9), viteza procesului de uscare pentru puterea inițială a magnetronului de 200 W și finală – 750 W se mărește aproximativ de 2,5 ori.

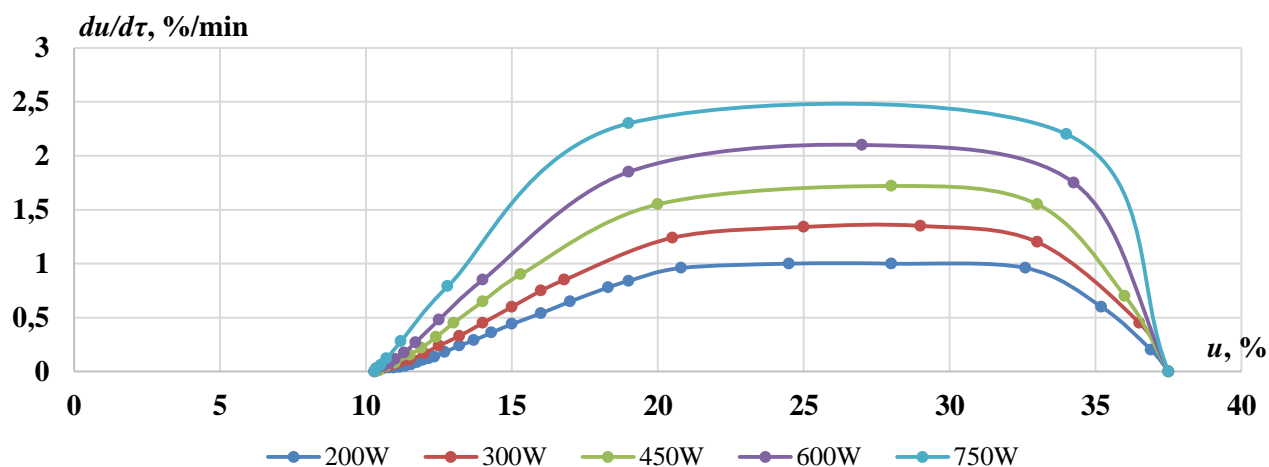


Fig. 4.9. Curbele vitezei procesului de uscare în strat suspendat, asistat de SHF (Puterea magnetronului: 200 W, 300 W, 450 W, 600 W, 750 W; agent de uscare: aer; viteza agentului: 11,4 m/s;)

După (fig. 4.9) s-a constatat, că perioada vitezei maxime pentru regimul de lucru al magnetronului de 200 W constituie 40,7 % din durata totală a procesului de uscare, pentru 300 W – 42,5 % și respectiv: 450 W – 43,8 %; 600 W – 44,3 %; 750 W – 45,8 %. S-a stabilit, că odată cu creșterea puterii regimului de lucru al magnetronului, durata perioadei cu viteza constantă de uscare se mărește. Aplicarea microundelor la uscarea în strat suspendat a semințelor de struguri, diminuează durata de tratare termică a lor de 4,4 ori față de uscarea în strat suspendat cu aplicarea convecției. Aceasta este caracteristică pentru regimurile de lucru al magnetronului de 200 W și 60 °C la aplicarea convecției. Pentru puterea maximă a magnetronului de 750 W și temperatura agentului termic la convecție de 100 °C, durata de tratare termică se micșorează de 10,6 ori în favoarea aplicării microundelor la uscarea în strat suspendat.

La instalația de uscare prezentată în capitolul 3, au fost supuse procesului de deshidratare semințe de struguri, care au fost uscate în strat suspendat cu aplicarea convecției (fig. 4.10 a) și cu aplicarea microundelor (fig. 4.10 b). În tabelul 4.2 sunt prezentate regimurile de uscare corespunzător fiecărei mostre de semințe.

Tabelul 4.2. Caracteristica regimurilor de uscare pentru semințele de struguri uscate în strat suspendat

No	Denumirea metodei	Temperatura agentului termic, °C	Codul mostrei	Viteza agentului de uscare: 11,4 m/s
1.	Uscarea în strat suspendat cu aplicarea convecției (fig.4.10 a).	60±1	A	
		70±1,5	B	
		80±1	C	
		90±1	D	
		100±2	E	
2.	Uscarea în strat suspendat cu aplicarea SHF (fig. 4.10 b).	Puterea magnetronului, W	Codul mostrei	
		200±1	A	
		300±2	B	
		450±2	C	
		600±1,5	D	
		750±1	E	

Analiza senzorială a demonstrat că simențele de struguri uscate în strat suspendat, într-un timp redus de tratare termică, se caracterizează cu o culoare cafeniu deschisă în comparație cu semințele uscate prin metoda clasică, fiind cafeniu închise și carbonizate.

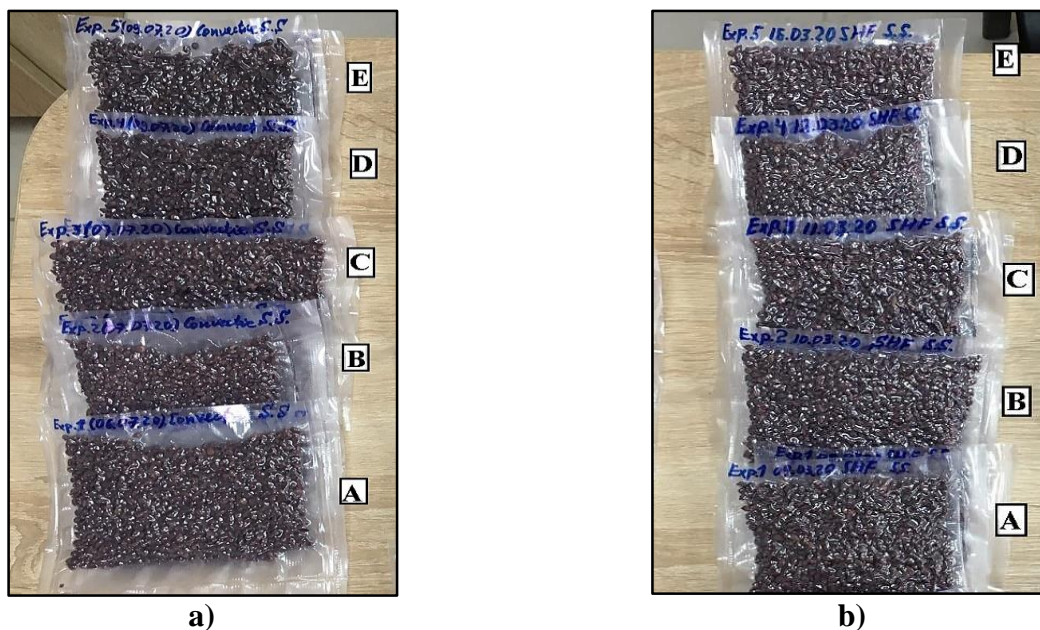


Fig. 4.10. Aspectul semințelor de struguri uscate în strat suspendat prin convecție (a) și uscate în strat suspendat cu aplicarea microundelor (b)

Această îmbunătățire a culorii se datorează faptului, că în timpul procesului de uscare, semințele de struguri s-au aflat în strat suspendat, adică în mișcare continuă și nu a avut loc supraîncălzirea lor.

De asemenea, instalația de uscare prevede selectarea automată a semințelor uscate și înlăturarea lor din zona de tratare termică ceea ce permite excluderea procesului de carbonizare și obținerea produsului finit de calitate.

Parametrii tehnologici comparativi la uscarea semințelor de struguri prin metoda clasică și uscarea lor în strat suspendat sunt prezentați în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3. Valori de referință pentru cinetica procesului de uscare în strat suspendat

Metoda	Sursa	Convecție		SHF	
		Durata, min.	Viteza procesului de uscare, % umiditate/min.	Durata, min.	Viteza procesului de uscare, % umiditate/min.
Uscarea semințelor de struguri prin metoda clasică.(fig.4.1, fig.4.2, fig.4.3, fig.4.4)		500	0,63	145	2
Uscarea semințelor de struguri în strat suspendat.(fig.4.6, fig.4.7, fig.4.8, fig.4.9)		440	0,7	100	2,5

Uscarea semințelor prin convecție în strat suspendat (tab. 4.3) a permis sporirea vitezei de uscare până la 0,7 %/min și reducerea duratei procesului cu 60 min, în raport cu metoda clasică, unde la fel a fost aplicată convecția.

În cazul metodelor cu SHF (tab. 4.3), s-a constatat că la uscarea în strat suspendat cu aplicarea curenților de frecvență supraînaltă (SHF), durata procesului s-a redus cu 45 min, față de uscarea prin aplicarea SHF - metoda clasică. Viteza procesului de uscare în strat suspendat cu aplicarea SHF – 2,5 %/min, a fost mai mare, decât la uscarea cu SHF prin metoda clasică – 2 %/min.

În acest context, s-a constatat că uscarea semințelor de struguri în strat suspendat cu aplicarea SHF, dispune de durată redusă a procesului de uscare - 100 min, și viteză sporită de tratare termică - 2,5 %/min. Se recomandă aplicarea metodei respective pentru eficientizarea uscării produsului.

4.5 Studiul indicilor de calitate a probelor de semințe de struguri uscate prin diferite metode

4.5.1 Analiza caracteristicilor fizice a semințelor de struguri

În scopul analizei calității semințelor de struguri, masa inițială pentru toate probele până la uscare a fost $100 \pm 0,01$ g, ele au fost uscate până la umiditatea finală $10,3 \pm 0,9$ %. Astfel au fost determinați un șir de parametri: cantitatea de umiditate eliminată; masa probei de semințe după uscare; fracția masică de grăsime pentru semințe uscate; care sunt prezentate (tab. 4.4, 4.5, 4.6 și 4.7).

Tabelul 4.4. Indicii de calitate ai semințelor de struguri uscate prin convecție

Viteza agentului termic de uscare 1,5 m/s					
No	Temperatura, °C	Durata, min	Conținutul de umezeală eliminat, %	Masa probei de semințe după uscare, g	Fracția masică de grăsime pentru semințe uscate, %
1.	60±1,5	500±2	30,3±0,7	69,7±0,7	14,90±1,09
2.	70±1,5	450±1	28,4±0,5	71,6±0,5	14,18±0,72
3.	80±0,5	420±1,5	29,0±0,6	71,0±0,6	14,82±1,16
4.	90±1,5	370±1	29,40±0,2	70,6±0,2	15,11±0,84
5.	100±1	350±2	29,40±0,4	70,6±0,4	15,23±1,11

S-a constatat (tab. 4.4), că fracția masică de grăsime pentru semințe uscate prin convecție, are valoarea cea mai ridicată pentru regimul termic 4 și 5, unde este aplicată temperatura agentului de uscare de 90 °C și respectiv 100 °C. Pentru regimul termic 1, 2 și 3, unde este prezent agentul termic cu temperatura de 60, 70 și respectiv 80 °C, fracția masică de grăsime caracteristică semințelor uscate este mai redusă cu aproximativ 1 %. În tabelul 4.5 sunt prezentați indicii de calitate ai semințelor de struguri uscate în strat suspendat cu aplicarea convecției.

Tabelul 4.5. Indicii de calitate ai semințelor de struguri uscate în strat suspendat, cu aplicarea convecției

Viteza agentului termic de uscare 11,3 m/s					
No	Temperatura, °C	Durata, min	Conținutul de umezeală eliminat, %	Masa probei de semințe după uscare, g	Fracția masică de grăsime pentru semințe uscate, %
1.	60±1	440±2	29,3±0,4	70,7±0,5	14,20±1,20
2.	70±1,5	400±1	29,69±0,3	70,31±0,6	13,65±0,64
3.	80±1	380±1	29,6±0,6	70,4±0,3	13,81±1,31
4.	90±1	340±1,5	29,8±0,7	70,2±0,6	14,47±1,28
5.	100±2	320±1	29,9±0,2	70,1±0,4	14,40±0,85

Datele prezentate (tab. 4.5), arată că fracția masică de grăsime pentru semințe uscate în strat suspendat cu aplicarea convecției, are valoarea cea mai ridicată pentru regimul termic 1, 4 și 5, unde este aplicată temperatura agentului de uscare de 60, 90 și respectiv 100 °C. Pentru regimul termic 2 și 3, unde este prezent agentul termic cu temperatura de 70 °C și respectiv 80 °C, fracția masică de grăsime pentru semințe uscate este mai redusă cu aproximativ 1 %.

Tabelul 4.6, reprezintă date referitoare la indicii de calitate a semințelor de struguri uscate cu aplicarea microundelor (SHF).

Tabelul 4.6. Indicii de calitate a semințelor de struguri uscate cu aplicarea microundelor (SHF)

Viteza agentului termic de uscare 1,5 m/s					
№	Puterea magnetronului, W	Durata, min	Conținutul de umezeală eliminat, %	Masa probei de semințe după uscare, g	Fracția masică de grăsime pentru semințe uscate, %
1.	200	145±1	28,8±0,8	70,2±0,4	12,43±1,24
2.	300	115±1	29,89±0,7	70,11±0,6	13,30±0,91
3.	450	85±1,5	29,85±0,6	70,15±0,7	14,18±1,03
4.	600	60±1	29,88±0,7	70,12±0,5	16,31±0,88
5.	750	40±1	29,89±0,3	70,11±0,5	17,10±1,32

Datele (tab. 4.6), demonstrează, că fracția masică de grăsime pentru semințe uscate cu aplicarea microundelor (SHF), are valoarea cea mai ridicată pentru regimul de lucru al magnetronului din punctele 4 și 5, unde este aplicată puterea de 600 W și respectiv 750 W. Aplicarea regimului de lucru al magnetronului de 200 W, reduce fracția masică de grăsime pentru semințe uscate cu aproximativ 2 %.

În tabelul 4.7, sunt prezentate date referitoare la indicii de calitate a semințelor de struguri uscate în strat suspendat, cu aplicarea microundelor (SHF).

Tabelul 4.7. Indicii de calitate ai semințelor de struguri uscate în strat suspendat cu aplicarea microundelor (SHF)

Viteza agentului termic de uscare 11,3 m/s					
№	Puterea magnetronului, W	Durata, min	Conținutul de umezeală eliminat, %	Masa probei de semințe după uscare, g	Fracția masică de grăsime pentru semințe uscate, %
1.	200	100±1	28,4±0,6	71,6±0,4	15,10 ±1,11
2.	300	75±1,5	28,9±0,8	71,1±0,3	15,44 ±0,85
3.	450	50±1,5	27,9±0,8	72,1±0,6	15,15 ±1,29
4.	600	40±1	30,1±0,5	69,9±0,4	15,77 ±0,56
5.	750	30±1,5	29,45±0,4	70,55±0,2	16,05 ±1,08

Datele (tab. 4.7), indică că fracția masică de grăsime pentru semințe uscate în strat suspendat, cu aplicarea microundelor (SHF), are valoarea cea mai ridicată pentru regimul de lucru al magnetronului din punctul 5, unde este aplicată puterea de 750 W. Pentru aplicarea regimurilor de lucru al magnetronului de 200, 300, 450 și respectiv 600 W, fracția masică de grăsime pentru semințe uscate în strat suspendat cu aplicarea microundelor (SHF) se reduce aproximativ cu 1 % față de regimul de lucru al magnetronului de 750 W. Pentru extragerea maximă a fracției masice de grăsime din semințele de struguri, se recomandă de aplicat uscarea în strat suspendat, cu aplicarea regimului de lucru al magnetronului de 750 W.

4.5.2 Analiza calității uleiului din semințe de struguri

Un aspect foarte important în ceea ce privește calitatea uleiului obținut din semințe de struguri, îl reprezintă analiza senzorială a sa. Rezultatele analizei caracteristicilor senzoriale ale uleiului extras din semințe de struguri sunt prezentate în tabelul 4.8. Au fost analizate un șir de caracteristici: transparența, mirosul, gust și culoare. Aceștia au fost studiați și comparați cu HG Nr. 434 din 27.05.2010 cu privire la aprobarea reglementării tehnice „Uleiuri vegetale comestibile” [226].

Tabelul 4.8. Rezultatele analizei senzoriale ai uleiului extras din semințe de struguri uscate prin diferite metode

№	Ulei extras din semințe de struguri	Caracteristica senzorială	Transparența	Miros	Gust	Culoare
1.	Ulei extras din semințe de struguri uscate prin convecție, metoda clasică.		Transparent fără sediment.	Miros plăcut. Uleiul din probele C,D,E (fig. 4.5) - miros slab de prăjit.	Gust de ulei, fără miros și gust străin.	Gălbuie închisă
2.	Ulei extras din semințe de struguri uscate cu aplicarea SHF, metoda clasică.			Miros plăcut. Uleiul din probele D și E (fig. 4.6) - miros slab de prăjit.		
3.	Ulei extras din semințe de struguri uscate prin convecție, în strat suspendat.			Miros plăcut, fără miros străin.	Gust de ulei, fără gust străin.	Gălbuie deschisă
4.	Ulei extras din semințe de struguri uscate cu aplicarea SHF, în strat suspendat.			Miros plăcut, fără miros străin.		

Conform tabelului 4.8, indicii senzoriali ai uleiului extras din semințe de struguri uscate în strat suspendat au fost în conformitate cu HG. Nr. 434 din 27.05.2010 cu privire la aprobarea Reglementării tehnice „Uleiuri vegetale comestibile”[227]. Pentru uleiul extras din probe de semințe de struguri uscate în strat suspendat cu aplicarea convecției și uscate în strat suspendat cu aplicarea microundelor, nu a fost prezent mirosul de slab prăjit, ceea ce denotă faptul, că pe parcursul tratării termice semințele au fost în mișcare continuă, mai mult decât atât a avut loc și efectul de autoseparare a lor datorită diametrului echivalent diferit de la o sămânță la alta. Uscarea semințelor de struguri în strat suspendat sporește calitatea uleiului obținut și eficientizează tratarea termică a lor.

În cazul uscării semințelor de struguri prin metoda clasică cu aplicarea convecției și a microundelor, este prezent mirosul de slab prăjit în uleiul extras din ele. Aceasta se datorează faptului că pe parcursul procesului de uscare semințele de struguri se află în stare de repaus, respectiv ele sunt tratate termic neuniform, deoarece poziția lor față de sursa de căldură pe parcursul procesului rămâne neschimbată. Astfel o parte a seminței este supra-încălzită, iar alta nu este tratată integral.

Pentru analiza caracteristicilor fizico-chimice ale uleiului extras din semințe de struguri uscate în diferite condiții, au fost determinați următorii parametri: indicele de refracție, densitatea relativă, indicele de aciditate și aciditatea uleiului care sunt prezentate (tab. 4.9 - 4.12).

Tabelul 4.9. Indicii de calitate ai uleiului extras din semințe de struguri uscate prin convecție

N ^o	Temperatura, °C	Durata, min	*Indice de refracție, (la 20 °C)	*Densitatea relativă, (măsurată la 20 °C), kg/dm ³	Indice de aciditate, mg KOH/g	Aciditatea uleiului, (% acid oleic)
1.	60±1,5	500±2	1,4777	0,924	0,83±0,02	0,41±0,01
2.	70±1,5	450±1	1,4779	0,926	0,86±0,01	0,43±0,03
3.	80±0,5	420±1,5	1,4781	0,926	0,91±0,03	0,45±0,01
4.	90±1,5	370±1	1,4783	0,927	0,95±0,01	0,47±0,02
5.	100±1	350±2	1,4784	0,927	1,07±0,02	0,53±0,01

*P ≤ 0,05; viteza agentului termic de uscare 1,5 m/s.

Datele din tabelul 4.9. atestă că există o dependență directă dintre indicii de calitate ai uleiului extras și mărirea temperaturii agentului termic de la 60 la 100 °C. S-a constatat că modificarea temperaturii de uscare a semințelor de struguri a condus la creșterea valorilor indicelui de refracție de la 1,4777 până la 1,4784 și densității relative de la 0,924 kg/dm³ până la 0,927 kg/dm³. În cazul indicelui de aciditate ai uleiului, cele mai mici valori au fost determinate la 60 °C, constituind 0,83 mg KOH/g, iar valorile maxime la 100 °C, fiind 1,07 mg KOH/g. Aceleași tendințe au fost observate și în cazul acidității uleiului. S-a demonstrat creșterea valorilor acidității uleiului de 1,3 ori în cazul creșterii temperaturii agentului termic de la 60 la 100°C.

În tabelul 4.10 sunt prezentate date referitoare la indicii de calitate ai uleiului extras din semințe de struguri uscate în strat suspendat, cu aplicarea convecției.

Tabelul 4.10. Indicii de calitate ai uleiului extras din semințe de struguri uscate în strat suspendat, cu aplicarea convecției

N ^o	Temperatura, °C	Durata, min	*Indice de refracție, (la 20 °C)	*Densitatea relativă, (măsurată la 20 °C), kg/dm ³	Indice de aciditate, mg KOH/g	Aciditatea uleiului, (% acid oleic)
1.	60±1	440±2	1,4776	0,916	0,61±0,02	0,30±0,01
2.	70±1,5	400±1	1,4778	0,918	0,63±0,01	0,31±0,02
3.	80±1	380±1	1,4780	0,922	0,67±0,01	0,33±0,01
4.	90±1	340±1,5	1,4780	0,924	0,71±0,03	0,35±0,01
5.	100±2	320±1	1,4781	0,925	0,78±0,01	0,39±0,03

*P ≤ 0,05; viteza agentului termic de uscare 11,4 m/s.

S-a constatat (tab. 4.10), că calitatea uleiului, de asemenea, depinde de condițiile de uscare a semințelor de struguri care au fost deshidratate în strat suspendat, cu aplicarea convecției în intervalul de temperaturi 60 - 100 °C.

S-a demonstrat că modificarea indicatorilor fizico-chimici de calitate ai uleiului depinde de mărirea temperaturii agentului termic.

În cazul valorilor indicelui de refracție și densității relative acestea sau modificat în următoarele intervale: 1,4776 - 1,4781 și 0,916 - 0,925 kg/dm³ respectiv. Creșterea temperaturii de uscare a condus la mărirea valorilor indicelui de aciditate și acidității uleiului aproximativ cu 1,28 ori.

În tabelul 4.11, sunt prezentate date referitoare la indicii de calitate ai uleiului extras din semințe de struguri uscate, cu aplicarea (SHF).

Tabelul 4.11. Indicii de calitate ai uleiului extras din semințe de struguri uscate cu aplicarea SHF

№	Puterea magnetronului, W	Durata, min	*Indice de refracție, (la 20 °C)	*Densitatea relativă, (măsurată la 20 °C), kg/dm ³	Indice de aciditate, mg KOH/g	Aciditatea uleiului, (% acid oleic)
1.	200	145±1	1,4777	0,923	0,85±0,03	0,42±0,01
2.	300	115±1	1,4777	0,923	0,97±0,01	0,48±0,02
3.	450	85±1,5	1,4778	0,924	1,06±0,02	0,53±0,03
4.	600	60±1	1,4780	0,925	1,10±0,01	0,55±0,01
5.	750	40±1	1,4780	0,925	1,13±0,02	0,56±0,01

*P ≤ 0,05; viteza agentului termic de uscare 1,5 m/s.

Rezultatele din tab. 4.11 au evidențiat influența puterii magnetronului de la 200 W la 750 W asupra calității uleiului extras din semințe uscate cu aplicarea SHF. În cazul indicelui de refracție și densității relative ai uleiului acestea nu s-au modificat esențial, valorile medii fiind 1,4778 și 0,924 kg/dm³ respectiv. Pentru indicele de aciditate și aciditatea uleiului, creșterea puterii magnetronului a condus la mărirea acestor valori în medie de 1,33 ori.

Valorile indicilor de calitate ai uleiului extras din semințe de struguri uscate în strat suspendat cu aplicarea SHF (tab. 4.12), în special indice de aciditate și aciditatea uleiului sunt mai reduse în comparație cu rezultatele obținute în cazul uscării semințelor cu aplicarea SHF.

Astfel, mărirea puterii magnetronului de la 200 W la 750 W a condus la reducerea acestor valori aproximativ de 1,23 ori, datorită reducerii duratei de tratarea termică de 3,33 ori. Valorile medii a indicelui de refracție și densității relative ai uleiului s-a modificat neesențial fiind 1,778 și 0,923 kg/dm³ respectiv.

Tabelul 4.12. Indicii de calitate ai uleiului extras din semințe de struguri uscate în strat suspendat cu aplicarea SHF

Nº	Puterea magnetronului, W	Durata, min	*Indice de refracție, (la 20 °C)	*Densitatea relativă, (măsurată la 20 °C), kg/dm³	Indice de aciditate, mg KOH/g	Aciditatea uleiului, (% acid oleic)
1.	200	100±1	1,4777	0,922	0,61±0,01	0,26±0,01
2.	300	75±1,5	1,4777	0,922	0,62±0,03	0,31±0,03
3.	450	50±1,5	1,4778	0,923	0,68±0,03	0,34±0,01
4.	600	40±1	1,4779	0,924	0,73±0,01	0,36±0,03
5.	750	30±1,5	1,4779	0,924	0,75±0,02	0,37±0,01

*P ≤ 0,05; viteza agentului termic de uscare 11,4 m/s.

Rezultatele prezentate în tabelele 4.9 - 4.12 au demonstrat influența condițiilor de uscare a semințelor de struguri (temperaturii, puterii magnetronului și respectiv duratei de uscare) asupra calității uleiului extras.

S-a constatat că semințele uscate în strat suspendat cu aplicarea convecției sau a microundelor au valorile indicelui de aciditate și acidității uleiului mai reduse în raport cu rezultatele obținute după metode tradiționale (tab. 4.9) și (tab. 4.11).

Cu toate acestea, indicii de calitate ai uleiului extras din semințe de struguri uscate în strat suspendat, cât și pentru uleiul obținut din semințe uscate după metode tradiționale, corespund cerințelor și au fost în conformitate cu HG Nr.434 din 27.05.2010 cu privire la aprobarea reglementării tehnice „Uleiuri vegetale comestibile” [228].

4.6 Realizarea tehnică a procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri

Realizarea procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri, necesită proiectarea și elaborarea instalației, cu optimizarea tehnologiei de uscare a semințelor de struguri. Procesul de uscare este destul de energointensiv, respectiv o tehnologie nouă de uscare, așa cum este uscarea în strat suspendat a semințelor de struguri, pe lângă îmbunătățirea indicilor de calitate, presupune și reducerea consumului de energie. Pentru a demonstra reducerea costurilor de producere a fost necesar de comparat tehnologiile existente cu cele inovative. În cazul nostru, prelucrarea termică a semințelor de struguri după metodele clasice de deshidratare, a avut loc atunci când ele se află în stare de repaus. Acest factor a dus la tratarea termică incorectă a lor, deoarece nu a fost asigurată uniformitatea uscării produsului și a sporit durata de deshidratare, care a presupus costuri de producere ridicate.



Fig. 4.11. Instalația de uscare în strat suspendat proiectată de autor

Pentru metoda inovativă de uscare a semințelor de struguri în strat suspendat, care a asigurat uniformitatea tratării termice a semințelor și a condus la reducerea considerabilă a duratei procesului, s-a calculat consumul de energie al instalației de uscare în strat suspendat (fig.4.11), în raport cu metoda de uscare clasică (convențională).

4.6.1 Consumul energetic pentru tehnologia uscării în strat suspendat

Pentru început au fost calculate cheltuielile de energie pentru un litru de ulei, extras din semințe de struguri uscate în strat suspendat cu aplicarea convecției, care au fost comparate cu cheltuieli pentru uleiul obținut din semințe uscate prin convecție după metoda clasică. Calculul economic a fost efectuat în baza cursului valutar din data de 15.10.2021.

Tabelul 4.13. Consumul energetic pentru tehnologia de uscare în strat suspendat cu aplicarea convecției

Nº	Consumatorul de energie	Durata procesului de uscare, h	Consumul de energie, kWh	Prețul kWh, lei	Costul energiei consumată de instalație, lei/h
1.	Element de încălzire	7,33	2	2,16	4,32
2.	Invertor & Motor electric		0,11	2,16	0,24
TOTAL					4,56

Durata maximă a procesului de uscare în strat suspendat prin convecție a fost de 440 min, adică 7,33 h. Costul total al energiei consumată de instalație a fost calculat conform formulei 4.1:

$$C_e = \tau \cdot C_h \quad (4.1)$$

unde:

C_e – costul total al energiei consumată de instalație, [lei];

τ – durata procesului de uscare, [h];

C_h – costul energiei consumată de instalație într-o oră, [lei/h].

Rezultă că costul total al energiei care a fost consumată de instalație constituie:

$$C_e = 7,33 \cdot 4,56 = 33,44 \text{ lei}$$

Costul de energie obținut după formula (4.1) asigură uscarea în strat suspendat cu aplicarea convecției la instalația proiectată (fig. 4.11), a cantității de 500 g semințe. În timpul uscării semințele de struguri pierd din masa lor aproximativ 30 %, ce rezultă că din 500 g a rămas o cantitate de 350 g de semințe uscate.

Cercetările realizate atestă, că randamentul mediu de extragere a uleiului a constituit circa 15 %. Din 350 g de semințe uscate, se obțin 52,5 g de ulei pentru care s-a cheltuit 33,44 lei. Astfel pentru un litru de ulei din semințe de struguri s-a cheltuit 637 lei.

Prețul pe piață a uleiului din semințe de struguri a fost în mediu 60 \$/L, adică 1055 lei/L.

În acest context se poate afirma, că metoda uscării în strat suspendat cu aplicarea convecției a redus cheltuielile legate de tratarea termică a semințelor de 1,6 ori față de prețul uleiului din semințe de struguri pe piață.

Cheltuielile de energie pentru un litru de ulei, extras din semințe de struguri uscate în strat suspendat cu aplicarea microundelor, au fost comparate cu cheltuielile pentru uleiul obținut din semințe uscate prin microunde după metoda clasică. Calculul cheltuielilor a fost efectuat conform cursului valutar din data de 15.10.2021.

La uscarea în strat suspendat cu aplicarea microundelor (tab.4.14), durata maximă de deshidratare a fost de 100 min, adică 1,66 h.

Tabelul 4.14. Consumul energetic pentru tehnologia de uscare în strat suspendat cu aplicarea microundelor (SHF)

№	Consumatorul de energie	Durata procesului de uscare, h	Consumul de energie, kWh	Prețul kWh, lei	Costul energiei consumată de instalație, lei/h
1.	Generatorul de microunde	1,66	1,22	2,16	2,64
2.	Invertor & Motor electric		0,11	2,16	0,24
TOTAL					2,88

Conform (4.1), a fost calculat costul total al energiei consumată de instalație:

$$C_e = 1,66 \cdot 2,88 = 4,78 \text{ lei}$$

Costul de energie – 4,78 lei, obținut după formula (4.1), asigură uscarea în strat suspendat cu aplicarea microundelor, o cantitate de 500 g semințe. Metoda respectivă a fost aplicată la instalația proiectată din figura 4.13. În timpul procesului de uscare semințele de struguri pierd din masa lor aproximativ 30 %, ceea ce rezultă că din 500 g a fost obținută o cantitate de 350 g de semințe uscate.

Din cercetările realizate se atestă, că randamentul mediu de extragere a uleiului a constituit circa 15 %. Din cantitatea de 350 g semințe uscate, se obțin 52,5 g de ulei pentru care s-a cheltuit 4,78 lei. Astfel pentru un litru de ulei din semințe de struguri s-a cheltuit 91 lei.

Prețul pe piață a uleiului din semințe de struguri a constituit în mediu 1055 lei/L.

Reieșind din cele expuse anterior se poate afirma, că metoda uscării în strat suspendat cu aplicarea microundelor a redus cheltuielile legate de tratarea termică a semințelor de 11,6 ori față de prețul uleiului din semințe de struguri pe piață.

S-a constatat că cheltuielile energetice pentru uleiul obținut din semințe uscate în strat suspendat cu aplicarea convecției, a fost mai mare de 7 ori decât cheltuielile de energie al uleiului obținut din semințe uscate în strat suspendat cu aplicarea microundelor.

4.6.2 Consumul energetic pentru tehnologia uscării convenționale

Calculul cheltuielilor de energie pentru obținerea unui litru de ulei, obținut în urma aplicării tehnologiei de uscare a semințelor de struguri prin metoda convențională cu aplicarea convecției a fost efectuat în baza datelor din tabelul 4.15, iar cu aplicarea microundelor (SHF) în baza datelor din tabelul 4.16.

Atât metoda de uscare convectivă cât și cu aplicarea microundelor au fost aplicate la instalația de uscare tip tunel (fig. 2.2) descrisă în capitolul 2.

Tabelul 4.15. Consumul energetic pentru tehnologia de uscare convențională prin convecție

№	Consumatorul de energie	Durata procesului de uscare, h	Consumul de energie, kWh	Prețul kWh, lei	Costul energiei consumată de instalație, lei/h
1.	Element de încălzire	8,33	2	2,16	4,32
2.	Invertor & Motor electric		0,11	2,16	0,24
TOTAL					4,56

Calculul economic a fost efectuat în baza cursului valutar din data de 15.10.2021.

La uscarea convențională cu aplicarea convecției, durata maximă de prelucrare termică a fost de 500 min, adică 8,33 h.

Costul total al energiei consumată de instalația tip tunel a fost determinat conform (4.1):

$$C_e = 8,33 \cdot 4,56 = 38 \text{ lei}$$

Costul de energie obținut după (4.1) asigură procesul de uscare după metoda convențională cu aplicarea convecției la instalația din figura 2.2, a cantității de 500 g semințe. În timpul uscării semințele de struguri pierd din masa lor aproximativ 30 %, rezultă că din 500 g a rămas o cantitate de 350 g de semințe uscate.

Cercetările realizate atestă, că randamentul mediu de extragere a uleiului a constituit circa 15 %. Din 350 g de semințe uscate, se obțin 52,5 g de ulei pentru care s-a cheltuit 38 lei. Astfel pentru un litru de ulei din semințe de struguri s-a cheltuit 728 lei.

Cheltuielile energetice pentru uleiul extras din semințe de struguri uscate în strat suspendat cu aplicarea convecției au fost de circa 637 lei/L.

În acest context se poate afirma, că uscarea după metoda convențională cu aplicarea convecției a mărit cheltuielile legate de tratarea termică a semințelor de 1,2 ori față de cheltuielile pentru uscarea în strat suspendat cu aplicarea convecției.

Pentru uscarea convențională cu microunde, durata maximă de tratare termică a semințelor de struguri a fost de 145 min, adică 2,41 h.

Tabelul 4.16. Consumul energetic pentru tehnologia de uscare convențională prin microunde (SHF)

№	Consumatorul de energie	Durata procesului de uscare, h	Consumul de energie, kWh	Prețul kWh, lei	Costul energiei consumată de instalație, lei/h
1.	Generatorul de microunde	2,41	1,22	2,16	2,64
2.	Invertor & Motor electric		0,11	2,16	0,24
	TOTAL				2,88

Conform (4.1), a fost determinat costul total al energiei consumată de instalația tip tunel (fig. 2.2), când sunt aplicate microundele:

$$C_e = 2,41 \cdot 2,88 = 6,94 \text{ lei}$$

Costul de energie – 6,94 lei, obținut conform (4.1), asigură uscarea cu microunde la instalația tip tunel din figura 2.2, a cantității de 500 g semințe.

Pe parcursul procesului de uscare semințele de struguri pierd din masa lor aproximativ 30 %, ceea ce rezultă că din 500 g a rămas o cantitate de 350 g de semințe uscate.

Conform cercetărilor realizate, randamentul mediu de extragere a uleiului a constituit 15 %. Din cantitatea de 350 g de semințe uscate, se obțin 52,5 g de ulei pentru care s-a cheltuit 6,94 lei. Astfel pentru un litru de ulei din semințe de struguri a fost cheltuit 132 lei.

Cheltuielile energetice pentru uleiul extras din semințe de struguri uscate în strat suspendat cu aplicarea microundelor au fost de 91 lei/L.

S-a constatat, că uscarea după metoda convențională cu aplicarea microundelor a sporit cheltuielile legate pentru tratarea termică a semințelor de 1,5 ori față de cheltuielile pentru uscarea în strat suspendat cu aplicarea SHF.

Metoda inovativă de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri poate fi aplicată la nivel industrial, deoarece rezultatele cercetării demonstrează că cheltuielile de energie sunt reduse considerabil față de aplicarea metodelor convenționale de deshidratare.

Conform (tab. 4.17) se observă, că diferența de cost la uscarea în strat suspendat asistat de convecție, în comparație cu metoda de uscare convențională cu aplicarea convecției a fost de 12,5 %.

Aplicarea metodei de uscare în strat suspendat asistat de SHF, față de metoda de uscare convențională cu aplicarea SHF, a dus la 31 % diferență de cost.

Tabelul 4.17. Diferența consumului de energie dintre instalația de uscare în strat suspendat și instalația de uscare clasică

№	Metoda de uscare	Costul de uscare pentru un litru de ulei, lei/L	Diferența de cost între metoda de uscare în strat suspendat și metoda convențională, %
1.	Uscarea în strat suspendat cu aplicarea convecției.	637	Este mai ieftin cu 12,5 % , decât metoda convențională prin convecție.
2.	Uscarea în strat suspendat cu aplicarea microundelor.	91	Este mai ieftin cu 31 % , decât metoda convențională prin microunde.
3.	Uscarea prin convecție.	728	Este mai scump cu 12,5 % , decât metoda uscării în strat suspendat asistat de convecție.
4.	Uscarea cu microunde	132	Este mai scump cu 31 % , decât metoda uscării în strat suspendat asistat de microunde.

Uscarea în strat suspendat are la bază un potențial foarte puternic în ceea ce privește varietatea aplicabilității sale. Acest potențial se referă la posibilitatea de a usca mai multe produse sub formă granulară de origine agroalimentară.

Unicul element constructiv care necesită a fi adaptat la instalația de uscare în strat suspendat, pentru deshidratarea altor produse agroalimentare de formă granulară este tubul aerodinamic, forma geometrică a căruia este specifică pentru fiecare materie primă în parte.

Concluzii la capitolul 4

1. Identificarea metodei optime de uscare a semințelor de struguri a fost stabilită prin cercetarea a patru procedee: uscarea prin convecție după metoda convențională; uscarea cu aplicarea microundelor după metoda convențională; uscarea în strat suspendat cu aplicarea convecției; uscarea în strat suspendat cu aplicarea microundelor.
2. Au fost identificați un șir de parametri caracteristici procesului de uscare, unde s-a stabilit: durata de uscare prin convecție în strat suspendat este cu 60 min mai redusă decât la uscarea prin convecție după metoda convențională; viteza de uscare, pentru metoda uscării în strat suspendat, este de 0,7 %/min, comparativ cu viteza de uscare convectivă după metoda convențională – 0,63 %/min; durata procesului la uscarea în strat suspendat cu aplicarea curenților de frecvență supraînaltă este cu 45 min mai redusă decât la uscarea cu microunde prin metoda convențională; viteza procesului de uscare în strat suspendat cu aplicarea SHF, are valoarea de 2,5 %/min și este mai mare, decât la uscarea cu microunde după metoda convențională – 2 %/min.
3. Culoarea cafeniu-închisă a semințelor de struguri, uscate prin convecție și uscate cu aplicarea microundelor după metoda convențională, se datorează: stării de repaus a semințelor de struguri în timpul procesului de uscare; semințele cu un diametru echivalent mai mic au o durată de tratare termică mai redusă în comparație cu durata de uscare a semințelor cu diametru echivalent mai mare; dimensiunile diferite a semințelor de struguri influențează denaturarea termică (arderea) a lor la procesul de uscare prin convecție și cu microunde după metoda convențională, ce provoacă apariția culorii cafeniu-închisă pentru toate mostrele de semințe uscate.
4. Culoarea cafenie caracteristică semințelor de struguri, uscate în strat suspendat prin convecție și uscate în strat suspendat cu aplicarea microundelor, se datorează: mișcării continue în timpul procesului de uscare a semințele de struguri, ce se află în strat suspendat, eficientizând uniformitatea tratării termice; auto-selectării semințelor deja uscate în strat suspendat din mulțimea totală de semințe și înlăturarea acestora din zona de tratare termică;
5. Se recomandă uscarea semințelor de struguri în strat suspendat cu aplicarea SHF, ce permite reducerea duratei de uscare la 100 min, și viteză sporită a procesului - 2,5 %/min.
6. Sporirea extracției fracției masice de lipide necesită uscarea cu aplicarea microundelor după metoda convențională, regim de uscare: regim de lucru magnetron 750 W, durata de uscare 40 min; totodată poate fi aplicată uscarea în strat suspendat cu aplicarea microundelor, regim de uscare: regim de lucru magnetron 750 W, durata de uscare 30 min.

7. S-a constatat că semințele uscate în strat suspendat cu aplicarea convecției sau microundelor au valorile indicelui de aciditate și acidității uleiului mai reduse în raport cu rezultatele obținute după metode tradiționale
8. Indicii de aciditate ai uleiului extras din semințe de struguri uscate în strat suspendat, sunt în conformitate cu HG. Nr.434 din 27.05.2010 cu privire la aprobarea Reglementării tehnice „Uleiuri vegetale comestibile”.
9. Indicii senzoriali ai uleiului extras din semințe de struguri uscate în strat suspendat sunt în conformitate cu HG Nr.434 din 27.05.2010 cu privire la aprobarea Reglementării tehnice „Uleiuri vegetale comestibile”.
10. Uleiul obținut din semințe de struguri uscate în strat suspendat cu aplicarea convecției, permite reducerea cheltuielilor cu 12,5 %, în comparație cu uleiul obținut din semințe de struguri uscate prin convecție după metoda convențională.
11. Uleiul obținut din semințe de struguri uscate în strat suspendat cu aplicarea microundelor, permite reducerea cheltuielilor cu 31 %, în comparație cu uleiul obținut din semințe de struguri uscate cu microunde după metoda convențională.

CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI

O importanță majoră în scopul avansării economiei naționale constă în proiectarea și implementarea noilor tehnologii. Una din metodele de conservare a funcționalității produselor agroalimentare este procesul de uscare. Pe măsură ce tehnologia avansează spre noi frontiere, metoda de conservare prin deshidratarea produselor evoluează constant. Cercetările efectuate în cadrul tezei au permis formularea următoarelor concluzii:

1. Tehnicile noi de uscare a produselor agroalimentare necesită combinarea lor inteligentă pentru eficientizarea calității produsului și reducerea consumului de energie. Uscătorul hibrid în strat fluidizat asistat de microunde asigură uniformitatea uscării produsului și reduce durata de tratare termică, respectiv și a consumului de energie. Valorificarea semințelor de struguri prin uscare în strat suspendat depinde de o serie de factori, precum densitatea semințelor, diametrul echivalent și viteza lor de plutire.
2. A fost elaborat modelul matematic după metoda Brandon care a permis determinarea vitezei de plutire a semințelor aflate în strat suspendat în funcție de înălțimea tubului și unghiul de înclinare a suprafețelor superioare a camerei de lucru. Procesul de uscare a semințelor aflate în strat suspendat este descris prin ecuații criteriale obținute în baza acestui model matematic. Simularea computerizată 3D a procesului de uscare în strat suspendat a semințelor de struguri a permis stabilirea formei geometrice a tubului aerodinamic și identificarea parametrilor geometrici optimi.
3. Testarea semințelor de struguri la strivire a demonstrat că forța critică de strivire (59,4 N) atât pentru semințele umede, cât și pentru cele uscate depășește considerabil forța de strivire la care sunt supuse semințele în camera de uscare (0,098 – 0,100 mN). Aceasta exclude posibilitatea apariției microfisurilor din cauza coliziunelor în timpul procesului de uscare în strat suspendat, ceea ce diminuează probabilitatea oxidării lipidelor.
4. Analiza cineticii procesului de uscare prin convecție în strat suspendat în raport cu uscarea prin convecție în regim staționar (60 - 100 °C) a demonstrat o reducere a duratei de uscare cu 12 % și creșterea vitezei procesului de uscare cu 10 %. Concomitent s-a stabilit, că semințele de struguri uscate prin convecție în regim staționar sunt supuse unui tratament termic neuniform, ceea ce conduce la apariția microfisurilor, aceasta sporind probabilitatea de oxidare a lipidelor.
5. Analiza cineticii procesului de uscare a semințelor de struguri în strat suspendat cu aplicarea microundelor în raport față de uscarea cu aplicarea microundelor în regim staționar (200 – 750 W) a demonstrat o creștere a vitezei procesului de uscare cu 20 %,

ceea ce a condus la diminuarea duratei de tratare termică cu 31%. Aplicarea tratamentului cu microunde (SHF) în strat suspendat reduce durata procesului de uscare cu 77 % și sporește viteza procesului de uscare cu 72 % față de aplicarea convecției prin aceeași metodă.

6. Aplicarea metodei de uscare a semințelor de struguri în strat suspendat asigură uniformitatea distribuirii temperaturii și transferului de umiditate, ceea ce previne denaturarea produsului, cauzată de variația diametrului echivalent. Acest efect se datorează mișcării continue pe parcursul procesului de uscare a semințele de struguri aflate în strat suspendat, ceea ce asigură uniformitatea tratării termice prin efectul de auto-selecție a semințelor deja uscate și înlăturarea acestora din zona de tratare termică.
7. A fost proiectată în 3D și elaborată instalația de uscare a semințelor de struguri în strat suspendat în condiții de laborator. Au fost identificați parametrii tehnico-economici ai procesului de uscare în strat suspendat. Uleiul obținut din semințe de struguri uscate în strat suspendat cu aplicarea convecției asigură costuri reduse cu 12,5 % în comparație cu uleiul obținut din semințe de struguri uscate prin convecție în regim staționar. Uleiul obținut din semințe de struguri uscate în strat suspendat cu aplicarea microundelor asigură costuri de producere mai reduse cu 31 %, în comparație cu uleiul obținut din semințe de struguri uscate cu microunde în regim staționar.
8. Rezultatele obținute au fost implementate pentru proiectarea instalației de uscare a semințelor de struguri din cadrul întreprinderii S.C. AZAMET-GRUP S.R.L. În condiții industriale s-a constatat că indicii de calitate ai uleiului obținut din semințe de struguri uscate în strat suspendat corespund cerințelor HG 434 din 27.05.2010 cu privire la aprobarea reglementării tehnice „Uleiuri vegetale comestibile”.

RECOMANDĂRI

1. Se recomandă uscarea semințelor de struguri în strat suspendat cu aplicarea SHF, ce asigură o durată de uscare - 100 min cu viteza procesului de deshidratare - 2,5 %/min.

2. Sporirea gradului de extracție a fracției masice de ulei necesită aplicarea următoarelor regimuri de uscare:

- uscarea cu aplicarea microundelor după metoda convențională, regim de uscare: regim de lucru magnetron 750 W, durata de uscare 40 min;
- uscarea în strat suspendat cu aplicarea microundelor, regim de uscare: regim de lucru magnetron 750 W, durata de uscare 30 min.

3. Reducerea indicelui de aciditate și ai acidității uleiului necesită aplicarea următoarelor regimuri de uscare:

- uscarea în strat suspendat cu aplicarea convecției, regim de uscare: regimul termic 60°C, durata de uscare 440 min;
- uscarea în strat suspendat cu aplicarea microundelor, regim de uscare: regim de lucru magnetron 200 W, durata de uscare 100 min.

BIBLIOGRAFIE

1. TOMIYAMA, J.-M., TAKAGI, D., KANTAR, M.B. The Effect of Acute and Chronic Food Shortage on Human Population Equilibrium in a Subsistence Setting. *Agriculture & Food Security* 2020, doi:10.1186/s40066-020-00261-x.
2. TIMSINA, K.P., SHIVAKOTI, G.P. Vegetables production and marketing: practice and perception of vegetable seed producers and fresh growers in Nepal. *Agriculture & Food Security* 2018, doi: 10.1186/s40066-018-0161-9.
3. CASTRICA, Marta et al. Total Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Agri-Food Waste and by-Products. *Italian Journal of Animal Science* 2019, pp.336–341, doi:10.1080/1828051X.2018.1529544.
4. MAJID, Shafiee-Jood, XIMING, Cai. Reducing Food Loss and Waste to Enhance Food Security and Environmental Sustainability. *Environ. Sci. Technol.* 2016, vol.50, pp. 8432–8443, doi:10.1021/acs.est.6b01993.
5. VAN der WERF, Paul, GILLILAND, Jason. *A Systematic Review of Food Losses and Food Waste Generation in Developed Countries*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management 2017, vol.170, pp. 66–77, doi:10.1680/jwarm.16.00026. ISSN 1747-6526 | E-ISSN 1747-6534.
6. ZIOLKOWSKA, Jadwiga R. *Economic and Environmental Costs of Agricultural Food Losses and Waste in the US*. *IJFE* 2017, doi:10.18178/ijfe.3.2.140-145.
7. HAMID, El Bilali. Research on Food Losses and Waste in North Africa. *Nor. Afr. J. Food Nutr. Res.* 2018, vol.2, pp.51–58, doi:10.51745/najfnr.2.3.51-58.
8. HOEHN, Daniel et al. Regionalized Strategies for Food Loss and Waste Management in Spain under a Life Cycle Thinking Approach. *Foods* 2020, vol.9, pp.1765, doi:10.3390/foods9121765.
9. BERETTA, C., STUCKI, M., HELLWEG, S. Environmental Impacts and Hotspots of Food Losses: Value Chain Analysis of Swiss Food Consumption. *Environ. Sci. Technol.* 2017, vol.51, pp.1165–1173, doi:10.1021/acs.est.6b06179.
10. ESPOSITO, B., SESSA, M.R., SICA, D., MALANDRINO, O. Towards Circular Economy in the Agri-Food Sector. A Systematic Literature Review. *Sustainability* 2020, vol.12, pp.740, doi:10.3390/su12187401.
11. PANZELLA, Lucia et al. Bioactive Phenolic Compounds From Agri-Food Wastes: An Update on Green and Sustainable Extraction Methodologies. *Frontiers in Nutrition* 2020, vol.7, pp.60, doi:10.3389/fnut.2020.00060.
12. HASEEB, Muhammad et al. Environmental Analysis of the Effect of Population Growth Rate on Supply Chain Performance and Economic Growth of Indonesia. *Ekoloji* 2019, vol.28, pp.417–426.
13. PAGOTTO, M., HALOG, A. Towards a Circular Economy in Australian Agri-Food Industry: An Application of Input-Output Oriented Approaches for Analyzing Resource Efficiency and Competitiveness Potential. *Journal of Industrial Ecology* 2016, vol.20, pp.1176–1186, doi:10.1111/jiec.12373.
14. SHARMA, Y.K., MANGLA, S.K., PATIL, P.P., LIU, S. When Challenges Impede the Process: For Circular Economy-Driven Sustainability Practices in Food Supply Chain. *Management Decision* 2019, vol.57, pp.995–1017, doi:10.1108/MD-09-2018-1056.
15. GARSKE, Beatrice et al. of Food Waste Governance: An Assessment of European Legislation on Food Waste and Recommendations for Improvement by Economic Instruments. *Land* 2020, vol.9, pp.231, doi:10.3390/land9070231.

16. PAIVA, T., RIBEIRO, M., COUTINHO, P. Collaboration, Competitiveness Development, and Open Innovation in R&D. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity* 2020, vol.6, pp.116, doi:10.3390/joitmc6040116.
17. KUMAR, Y., TIWARI, S., BELORKAR, S.A. Drying: An Excellent Method for Food Preservation. *International Journal of Engineering Studies and Technical Approach* 2015, vol.17. ISSN 2395-0900.
18. AHMED, N., SINGH, J., CHAUHAN, H., ANJUM, P.G.A. Different Drying Methods: Their Applications and Recent Advances. *International Journal of Food Nutrition and Safety* 2013, vol.10. ISSN: 2165-896X.
19. TIWARI, Anupam. A Review on Solar Drying of Agricultural Produce. *Journal of Food Processing & Technology* 2016, vol.7, doi:10.4172/2157-7110.1000623.
20. OLIVEIRA, S.M., BRANDAO, T.R.S., SILVA, C.L.M. Influence of Drying Processes and Pretreatments on Nutritional and Bioactive Characteristics of Dried Vegetables: A Review. *Food Engineering Reviews* 2016, vol.8, pp.134–163.
21. INDIARTO, R., AYAT OMER M.A. Ozonation Technique Effect on Horticultural Products Quality: A Review. *IJETER* 2020, vol.8, doi:10.30534/ijeter/2020/121872020.
22. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, 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.
23. GĂINĂ, B., COBIRMAN, G., GOLUBI, R. Produse secundare de origine vitivinicolă și utilizarea lor. *Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos”*. Nr.1(48) / 2018, ISSN 1857-0461 /ISSNe 2587-3687.
24. *Cluster: Web Site Directory*. Cluster Moldova-Ukraine, © 2018 [citat 22.02.2021]. Disponibil: <https://clustermdu.com/en/about.html>
25. YUNJIEY., JIRU, J., TING, W., CHAOXIA, W. Optimization of Natural Anthocyanin Efficient Extracting from Purple Sweet Potato for Silk Fabric Dyeing. *Journal of Cleaner Production* 2017, 7, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.02.134.
26. BAYDAR, Göktürk Nilgün, AKKURT, Murat. Oil Content and Oil Quality Properties of Some Grape Seeds. *Turkish Journal of Agriculture And Forestry* 2001, vol.6, ISSN: 1300-011X.
27. HOYE, Clifford, ROSS, Carolyn. F. *Total Phenolic Content, Consumer Acceptance, and Instrumental Analysis of Bread Made with Grape Seed Flour* [online]. 9, doi:10.1111/j.1750-3841.2011.02324.x. Disponibil: <https://zh.booksc.me/book/10165128/5ff79b>
28. MORAZZONI, Paolo et al. Grape Seeds Proanthocyanidins: Advanced Technological Preparation and Analytical Characterization. *Antioxidants* 2021, vol.10, pp.418, doi:10.3390/antiox10030418.
29. SEVINDIK, Onur et al. Volatile Compounds of Cvs Magliocco Canino and Dimrit Grape Seed Oils. *Journal of Raw Materials to Processed Foods* 2020, vol.8. E-ISSN: 2757-8836.
30. SCRAM, J.I., HALL, D.O., STUCKEY, D.C. Bioethanol from Grapes in the European Community. *Biomass and Bioenergy* 1993, vol.5, pp.347–358, doi:10.1016/0961-9534(93)90014-U.
31. SHI, J., YU, J., POHORLY, J.E., KAKUDA, Y. Polyphenolics in Grape Seeds—Biochemistry and Functionality. *Journal of Medicinal Food* 2003, vol.6, pp.291. doi: 10.1089/109662003772519831.
32. PETROV, Nartislav et al. Preparation of activated carbons from cherry stones, apricot stones and grape seeds for removal of metal ions from water. In: *Olle Indstorm Symposium on renewable Energy-Bioenergy*, 6-7 sept. 1999. KTH, Stockholm, Sweden 1999, pp. 46-50.

33. RIOU, V., VERNHET, A., DOCO, T., MOUTOUNET, M. Aggregation of Grape Seed Tannins in Model Wine—Effect of Wine Polysaccharides. *Journal Food Hydrocolloids* 2002, vol.7. ISSN: 0268-005X.
34. BALAN, Mihail, **BALAN, Mihail**, VIȘANU, Vitali. Valorificarea deșeurilor din vinificație. In: *Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor Vol.1, 2020, 1-3 aprilie. 2020*. Chișinău, Republica Moldova, pp. 519-522.
35. LIKOV, A.V., SMOLKOGO, V.M. *Heat and Mass Transfer* [online]. [citat 08.02.2020]. FTD-HT-23-820-68. Disponibil: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD0698517.pdf>
36. LIKOV, A.V. *Teoriya sushki* [online]. [citat 09.03.2020]. UDK 542.47. Disponibil: <http://www.processes-apparates.ru/files/Likov1.pdf>
37. KALASHNIKOVA, N.V., VOLZHENTSEV, A.V. *Sushka zerna pshenitsy v psevdoozhizhennom zerne* [online]. [citat 12.03.2020] ISBN 10 5933821942. Disponibil: <https://en.snglib.org/book/2910465/320133>
38. HODUNKOV, V. P. Kachestvo psevdoozhizheniya: puty k energoresursoberegayushchim tekhnologiyam. *Zhurnal NOVOSTI VUZOV "PRIBOROSTROYSTVO"* 2013, nr. 1(56). UDK 536.24: 66.096.5.
39. DVORETSKIY, S.I., KOROLEV, V.N., NAGORNOV, S.A., TAROV, V.P. *Tekhnika i tekhnologii psevdoozhizheniya: protsessy termoobrabotki i vulkanizatsii*. [online]. [citat 16.03.2020] UDK 678.028:66.096.5. Disponibil: <https://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2006/tarov.pdf>
40. MATSEN, J.M., HOVMAND, S., DAVIDSON, J.F. Expansion of Fluidized Beds in Slug Flow. *Chemical Engineering Science* 1969, vol.24, pp.1743–1754, doi:10.1016/0009-2509(69)87018-1.
41. YUN, May et al. Drying of Oil Palm Frond Particles in a Fluidized Bed Dryer with Inert Medium. *CI&CEQ* 2013, vol.19, 593–603, doi:10.2298/CICEQ120327094Y.
42. RANJBARAN, Mohsen, ZARE, Dariush. Simulation of Energetic- and Exergetic Performance of Microwave-Assisted Fluidized Bed Drying of Soybeans. *Energy* 2013, vol.59, pp.484–493, doi:10.1016/j.energy.2013.06.057.
43. ASKARISHAHI, Maryam et al. Mechanistic Modelling of Fluid Bed Granulation, Part I: Agglomeration in Pilot Scale Process. *International Journal of Pharmaceutics* 2020, pp.573, doi:10.1016/j.ijpharm.2019.118837.
44. ARSENOAIA, Vlad Nicolae et al. Mathematical modeling and numerical simulation of the drying process of seeds in a pilot plant. *Inmateh* 2019, vol.57, pp.55–62, doi:10.35633/INMATEH_57_06.
45. KAENSUP, W., WONGWISES, S., CHUTIMA, S. Drying of pepper seeds using a combined microwave/fluidized bed dryer. *Drying Technology* 1998, vol.16, pp.853–862, doi:10.1080/07373939808917440.
46. JITTANIT, W., SRZEDNICKI, G., DRISCOLL, R. Seed Drying in Fluidized and Spouted Bed Dryers. *Drying Technology* 2010, vol.28, pp.1213–1219, doi:10.1080/07373937.2010.483048.
47. WAN DAUD, Wan Ramli. Fluidized Bed Dryers — Recent Advances. *Advanced Powder Technology* 2008, vol.19, pp.403–418, doi:10.1163/156855208X336675.
48. YOGENDRA SASIDHAR, Devani, PYDI SETTY, Y. Drying Kinetics, Exergy and Energy Analyses of Kodo Millet Grains and Fenugreek Seeds Using Wall Heated Fluidized Bed Dryer. *Energy* 2018, vol.151, pp.799–811, doi:10.1016/j.energy.2018.03.089.
49. WANG, H.G et al. Investigation of Batch Fluidized-Bed Drying by Mathematical Modeling, CFD Simulation and ECT Measurement. *American Institute of Chemical Engineers Journal* 2008, vol.54, pp. 427–444, doi: <https://doi.org/10.1002/aic.11406>.

50. HAMZEHEI, Mahdi. CFD Modeling and Simulation of Hydrodynamics in a Fluidized Bed Dryer with Experimental Validation. *ISRN Mechanical Engineering* 2011, vol.11, pp. 1–9, doi:10.5402/2011/131087.
51. AZMIR, J.; HOU, Q.; YU, A. Discrete Particle Simulation of Food Grain Drying in a Fluidised Bed. *Powder Technology* 2018, vol.323, pp. 238–249, doi:10.1016/j.powtec.2017.10.019.
52. MARINUC, M., IPATE, G., RUS, F. Numerical modelling and simulation of separation process in cy. *INMATEH Agricultural Engineering* 2013, vol.39, pp.63–70, ISSN 2068 – 4215.
53. HORABIK, Jozef, MOLEND, Marek. Parameters and Contact Models for DEM Simulations of Agricultural Granular Materials: A Review. *Biosystems Engineering* 2016, vol.147, pp.206–225, doi:10.1016/j.biosystemseng.2016.02.017.
54. TSUJI, Y., KAWAGUCHI, T., TANAKA, T. Discrete Particle Simulation of Two-Dimensional Fluidized Bed. *Powder Technology* 1993, vol.77, pp.79–87, doi:10.1016/0032-5910(93)85010-7.
55. PRABIR, Basu. Combustion and Gasification in Fluidized Beds [online]. [citat 16.03.2020] ISBN 9780429075018. Disponibil: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781420005158/combustion-gasification-fluidized-beds-prabir-basu>
56. ROBERTS, J.S., KIDD, D.R., PADILLA-ZAKOUR, O. Drying Kinetics of Grape Seeds. *Journal of Food Engineering* 2008, vol.89, pp.460–465, doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.05.030.
57. AZZOUZ, S. et al. The Convective Drying of Grape Seeds: Effect of Shrinkage on Heat and Mass Transfer. *Journal of Food Process Engineering* 2017, vol.41, pp. e12614, doi:10.1111/jfpe.12614.
58. PESHKOV, Ilya, ROMENSKI, Evgeniy. A Hyperbolic Model for Viscous Newtonian Flows. *Continuum Mech. Thermodyn.* 2016, vol.28, pp.85–104, doi:10.1007/s00161-014-0401-6.
59. XU, Wanxiu et al. Temperature Gradient Control during Microwave Combined with Hot Air Drying. *Biosystems Engineering* 2018, vol. 169, 175–187, doi:10.1016/j.biosystemseng.2018.02.013. ISSN : 1537-5110.
60. JIAN-MING, Jin. *Theory and Computation of Electromagnetic Fields*. [online]. [citat 18.03.2020] ISBN: 9780470874257. Disponibil: <https://ieeexplore.ieee.org/book/5628376>
61. YANG, B., GOTTLIEB, D., HESTHAVEN, J.S. Spectral Simulations of Electromagnetic Wave Scattering. *Journal of Computational Physics* 1997, vol.134, pp.216-230. <https://doi.org/10.1006/jcph.1997.5686>.
62. JACKSON, John David. *Classical Electrodynamics 3rd edition* [online]. [citat 24.03.2020] ISBN 0-471-30932-X. Disponibil: https://www.academia.edu/42972797/Jackson_-_Classical_Electrodynamics_3rd_edition
63. CHRISTOPHER, G.J., Baker. Energy Efficiency in Drying. *Stewart Postharvest Review* 2005, vol. 1, pp.1–11, doi:10.2212/spr.2005.4.8.
64. SYAHRUL, S., HAMDULLAHPUR, F., DINCER, I. Thermal Analysis in Fluidized Bed Drying of Moist Particles. *Applied Thermal Engineering* 2002, vol.22, pp.1763–1775, doi:10.1016/S1359-4311(02)00079-0.
65. GRACE, John, XIAOTAO, Bi., NAOKO, Ellis. *Essentials of Fluidization Technology* [online]. [citat 29.03.2020] ISBN 978-3-527-69949-0. Disponibil: <https://www.perlego.com/book/1425782/essentials-of-fluidization-technology-pdf>
66. DAUD, Wan Ramli Wan. Fluidized Bed Dryers — Recent Advances. *Advanced Powder Technology* 2008, vol.19, pp.403–418, doi:10.1016/S0921-8831(08)60909-7.
67. INYANG, U., OBOH, I., ETUK, B. Kinetic Models for Drying Techniques-Food Materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 2018, vol.8, pp. 27-48. doi: 10.4236/aces.2018.82003.

68. RANJBARAN, M., EMADI, B., ZARE, D. CFD Simulation of Deep-Bed Paddy Drying Process and Performance. *Drying Technology* 2014, vol. 32, pp.919–934, doi:10.1080/07373937.2013.875561.
69. ZHANG, Min et al. Numerical Investigation on Effect of Food Particle Mass on Spout Elevation of a Gas–Particle Spout Fluidized Bed in a Microwave–Vacuum Dryer. *Drying Technology* 2015, vol.33, pp.591–604, doi:10.1080/07373937.2014.965317.
70. LANE, W.A., STORLIE, C.B., MONTGOMERY, C.J., RYAN, E.M. Numerical Modeling and Uncertainty Quantification of a Bubbling Fluidized Bed with Immersed Horizontal Tubes. *Powder Technology* 2014, vol.253, pp.733–743, doi:10.1016/j.powtec.2013.11.037.
71. ZHU, H., ZHOU, Z., YANG, R., YU, A. Discrete Particle Simulation of Particulate Systems: A Review of Major Applications and Findings. *Chemical Engineering Science* 2008, vol.63, pp.5728–5770, doi:10.1016/j.ces.2008.08.006.
72. JAJCEVIC, D., SIEGMANN, E., RADEKE, C., KHINAST, J.G. Large-Scale CFD–DEM Simulations of Fluidized Granular Systems. *Chemical Engineering Science* 2013, vol.98, pp.298–310.
73. ZHU, H.P., ZHOU, Z.Y., YANG, R.Y., YU, A.B. Discrete Particle Simulation of Particulate Systems: Theoretical Developments. *Chemical Engineering Science* 2007, vol.62, pp.3378–3396, doi:10.1016/j.ces.2006.12.089.
74. GENG, Yongming, CHE, Defu. An Extended DEM–CFD Model for Char Combustion in a Bubbling Fluidized Bed Combustor of Inert Sand. *Chemical Engineering Science* 2011, vol.66, pp.207–219, doi:10.1016/j.ces.2010.10.011.
75. HOU, Q.F., ZHOU, Z.Y., YU, A.B. Computational Study of Heat Transfer in a Bubbling Fluidized Bed with a Horizontal Tube. *Chemical Engineering Science Journal* 2012, vol.58, pp.1422–1434, doi:https://doi.org/10.1002/aic.12700.
76. XU, Baohua, YU, Aibing. Numerical Simulation of the Gas-Solid Flow in a Fluidized Bed by Combining Discrete Particle Method with Computational Fluid Dynamics. *Chemical Engineering Science* 1997, vol.52, pp.2785–2809, doi:10.1016/S0009-2509(97)00081-X.
77. HOOMANS, B.P.B., KUIPERS, J.A.M., BRIELS, W.J., VAN SWAAIJ, W.P.M. Discrete Particle Simulation of Bubble and Slug Formation in a Two-Dimensional Gas-Fluidised Bed: A Hard-Sphere Approach. *Chemical Engineering Science* 1996, vol.51, pp.99–118, doi:10.1016/0009-2509(95)00271-5.
78. SUDBROCK, F., KRUGGEL-EMDEN, H., WIRTZ, S., SCHERER, V. Convective Drying of Agitated Silica Gel and Beech Wood Particle Beds—Experiments and Transient DEM-CFD Simulations. *Drying Technology* 2015, vol. 33, pp.1808–1820, doi:10.1080/07373937.2015.1026982.
79. MAHMOUDI, A.H., HOFFMANN, F., PETERS, B. Application of XDEM as a Novel Approach to Predict Drying of a Packed Bed. *International Journal of Thermal Sciences* 2014, vol.75, pp.65–75, doi:10.1016/j.ijthermalsci.2013.07.016.
80. CHEN, Xiao Dong. The Basics of a Reaction Engineering Approach to Modeling Air-Drying of Small Droplets or Thin-Layer Materials. *Drying Technology* 2008, vol. 26, pp.627–639, doi:10.1080/07373930802045908.
81. CHEN, Xiao Dong, PUTRANTO, Aditya. *Modelling Drying Processes: A Reaction Engineering Approach*, [online]. [citat 06.04.2020] ISBN 978-1-107-01210-3. Disponibil: https://kupdf.net/download/modelling-drying-processes-a-reaction-engineering-approach_58d824ebdc0d60d02ec3460c_pdf

82. CHEN, X. D., XIE, G. Z. Fingerprints of the Drying Behaviour of Particulate or Thin Layer Food Materials Established Using a Reaction Engineering Model. *Food and Bioproducts Processing* 1997, vol.75, pp.213–222, doi:10.1205/096030897531612.
83. PUTRANTO, A., CHEN, X.D., XIAO, Z., WEBLEY, P.A. Mathematical Modeling of Intermittent and Convective Drying of Rice and Coffee Using the Reaction Engineering Approach, *Journal of Food Engineering* 2011, vol.105, pp.638–646, doi:10.1016/j.jfoodeng.2011.03.036.
84. CUNDALL, P.A., STRACK, O. A *Discrete Numerical Model for Granular Assemblies*. *Géotechnique* [online]. [citat 11.04.2020] ISSN 0016-8505. Disponibil: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-5981-0_7
85. ZHENG, Q.J., ZHU, H.P., YU, A.B. Finite Element Analysis of the Rolling Friction of a Viscous Particle on a Rigid Plane. *Powder Technology* 2011, vol. 207, pp.401–406, doi:10.1016/j.powtec.2010.11.026.
86. ZHOU, Y.C., WRIGHT, B.D., YANG, R.Y., XU, B.H. Rolling Friction in the Dynamic Simulation of Sandpile Formation. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 1999, vol. 269, pp.536–553, doi:10.1016/S0378-4371(99)00183-1.
87. ZHOU, Z.Y., KUANG, S.B., CHU, K.W., YU, A.B. Discrete Particle Simulation of Particle–Fluid Flow: Model Formulations and Their Applicability. *Journal of Fluid Mechanics* 2010, vol. 661, pp.482–510, doi:10.1017/S002211201000306X.
88. INCROPERA, F.P., DEWITT, D.P., BERGMAN, T.L., LAVINE A.S. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* [online]. [citat 13.04.2020] ISBN-10: 0-471-45728-0. Disponibil: <https://hyominsite.files.wordpress.com/2015/03/fundamentals-of-heat-and-mass-transfer-6th-edition.pdf>
89. ZHOU, Z.Y., YU, A.B., ZULLI, P. Particle Scale Study of Heat Transfer in Packed and Bubbling Fluidized Beds. *AIChE Journal* 2009, vol. 55, pp.868–884, doi:10.1002/aic.11823.
90. CHO, Y.-J., PARK, S.-J., LEE, C.-H. Latent Heat of Korean Ginseng. *Journal of Food Engineering* 1996, vol. 30, pp.425–432, doi:10.1016/S0260-8774(96)00038-6.
91. CENKOWSKI, S., JAYAS, D.S., HAO, D. Latent Heat of Vaporization for Selected Foods and Crops. *Canadian Biosystem Engineering Journal* 1992, vol. 34, pp.281-286.
92. KEEY, Roger Brian. Drying of Loose and Particulate Materials. *Drying Technology* 1992, vol.10, pp.1139–1141, doi:10.1080/07373939208916507.
93. ANDERSON, T. B., JACKSON, R. Fluid Mechanical Description of Fluidized Beds. Equations of Motion. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 1967, vol. 6, pp. 527–539, doi: 10.1021/i160024a007.
94. HOU, Q.F., ZHOU, Z.Y., YU, A.B. Micromechanical Modeling and Analysis of Different Flow Regimes in Gas Fluidization. *Chemical Engineering Science* 2012, vol. 84, pp.449–468, doi:10.1016/j.ces.2012.08.051.
95. HOU, Q., KUANG, S., YU, A. A Scaling Approach for CFD-DEM Modelling of Thermochemical Behaviours in Moving Bed Reactors and Its Application. In: *International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences, 24-28 march. 2019*. Japan 2019, vol.22, pp.96–97, doi:10.32604/icces.2019.05438.
96. CIL, Behlul, TOPUZ, Adnan. Fluidized bed drying of corn, bean and chickpea: fluidized bed drying of corn, bean and chickpea. *Journal of Food Process Engineering* 2010, vol. 33, pp.1079–1096, doi:10.1111/j.1745-4530.2008.00327.x.
97. CHOU, Siaw, Kiang, CHUA, Kian. New Hybrid Drying Technologies for Heat Sensitive Foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology* 2001, vol. 12, pp.359–369, doi:10.1016/S0924-2244(01)00102-9.

98. KOWALSKA, Hanna. et al. The Use of a Hybrid Drying Method with Pre-Osmotic Treatment in Strawberry Bio-Snack Technology. *International Journal of Food Engineering* 2020, vol. 16, pp.318, doi:10.1515/ijfe-2018-0318.
99. LEE, D.-J., JANGAM, S., MUJUMDAR, A.S. Some Recent Advances in Drying Technologies to Produce Particulate Solids. *KONA Powder and Particle Journal* 2013, vol. 30, pp.69–83, doi:10.14356/kona.2013010.
100. SHAMSUDDEEN, Mohamed, Murshid et al. *Performance Study of a Hybrid Heat Pump Dryer Based on Numerical Analysis and Experimental Set-Up*. [online]. [citat 18.04.2020] doi: 10.1007/s11630-020-1384-1. Disponibil: <https://ur.booksc.eu/book/84459880/822cf6>
101. ÇELEN, Soner, KARATASER, Mehmet, Akif. Investigation of the Performance of a Hybrid Dryer Designed for the Food Industry. *Foods* 2019, vol.8, pp.81, doi:10.3390/foods8020081.
102. BOURLÈS, Erwan et al. Scale-Up of Freeze-Drying Cycles, the Use of Process Analytical Technology (PAT), and Statistical Analysis. *Methods in Pharmacology and Toxicology* 2019, pp.215-240, doi: 10.1007/978-1-4939-8928-7_10.
103. KUNAL, A.G., MALLINATH, H., DEEPAK, B., PALLAVI, S. N. Lyophilization / freeze drying – a review. *World Journal of Pharmaceutical Research* 2015, vol.4, pp.516-543, ISSN 2277– 7105.
104. RAHMAN, Shafiur, MUJUMDAR, Arun. Atmospheric Freeze Drying. *Progress in Food Preservation* 2012, vol.7, pp.143–160, doi:10.1002/9781119962045.
105. CHEN, Long et al. Development of Effective Drying Strategy with a Combination of Radio Frequency (RF) and Convective Hot-Air Drying for Inshell Hazelnuts and Enhancement of Nut Quality. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 2021, vol.67, pp.102, doi:10.1016/j.ifset.2020.102555.
106. MARSHALL, Mark, METAXAS, Andrev. Modeling of the Radio Frequency Electric Field Strength Developed During the RF Assisted Heat Pump Drying of Particulates. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 1998, vol. 33, pp.167–177, doi:10.1080/08327823.1998.11688373.
107. XIE, Yucen et al. Radio Frequency Treatment Accelerates Drying Rates and Improves Vigor of Corn Seeds. *Food Chemistry* 2020, vol.3, pp.126, doi:10.1016/j.foodchem.2020.126597, ISSN/ISBN: 0308-8146.
108. HAY, N., ANH DUC, L., VAN KIEN, P. Study on Designing and Manufacturing a Radio-Frequency Generator Used in Drying Technology and Efficiency of a Radio Frequency-Assisted Heat Pump Dryer in Drying of Ganoderma Lucidum. *Innovation in Global Green Technologies* 2020; Ed.; IntechOpen, 2020 ISBN 978-1-83880-049-9.
109. MADHAVA, Naidu et al. Effect of Drying Methods on the Quality Characteristics of Dill (Anethum Graveolens) Greens. *Food Chemistry* 2016, vol.192, pp.849–856, doi:10.1016/j.foodchem.2015.07.076.
110. KAYA, Ahmed. Numerical Analysis Of A Radio Frequency- Assisted Convective Drying. *International journal of scientific & technology research* 2015, vol. 4, pp.234-241, doi: 10.1016/j.compag.2021.106520, ISSN 2277-8616.
111. CHUA, Kian, CHOU, Siaw, Kiang. New Hybrid Drying Technologies. In *Emerging Technologies for Food Processing*; Elsevier, 2005; pp. 535–551, doi: 10.1016/B978012676757-5/50022-0, ISBN 978-0-12-676757-5.
112. ALTEMIMI, Ammar et al. Critical Review of Radio-Frequency (RF) Heating Applications in Food Processing. *Food Quality and Safety* 2019, vol.3, pp.81–91, doi:10.1093/fqsafe/fyz002.

113. AKTAŞ, M., KHANLARI, A., AMINI, A., ŞEVIK, S. Performance Analysis of Heat Pump and Infrared–Heat Pump Drying of Grated Carrot Using Energy-Exergy Methodology. *Energy Conversion and Management* 2017, vol.132, pp.327–338, doi:10.1016/j.enconman.2016.11.027.
114. KIAN, Jon-Chua, SIAW, Kiang-Chou. Recent Advances in Hybrid Drying Technologies. *Emerging Technologies for Food Processing* 2014, vol.2, pp.447-459, doi: 10.1016/B978-0-12-411479-1.00024-3.
115. CONGCONG, Wu et al. Principle, development, application design and prospect of fluidized bed heat exchange technology: Comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2022, vol. 157, pp.112, doi: 10.1016/j.rser.2021.112023.
116. ZHANG, R., HOFFMANN, T., TSOTSAS, E. Novel Technique for Coating of Fine Particles Using Fluidized Bed and Aerosol Atomizer. *Processes* 2020, vol.8, pp.152, doi:10.3390/pr8121525.
117. VERMA, Rakesh, PALIWAL, Abdul. Simulation and Analysis of Plug Flow Fluidized Bed Dryer. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* 2020, vol. 9, pp.805–811, doi:10.35940/ijitee.G5338.059720, ISSN: 2278-3075.
118. PATEL, Krishna, KAR, Abhijit. Heat Pump Assisted Drying of Agricultural Produce-an Overview. *Journal of Food Science and Technology* 2012, vol.49, pp.142–160, doi:10.1007/s13197-011-0334-z.
119. MEGHA, Sontakke, SANJAY, Salve. Solar Drying Technologies: A review. *International Refereed Journal of Engineering and Science* 2015, vol.4, pp.29-35, ISSN 2319-183X.
120. SENADEERA, W., ALVES-FILHO, O., EIKEVIK, T. Influence of Drying Conditions on the Moisture Diffusion and Fluidization Quality during Multi-Stage Fluidized Bed Drying of Bovine Intestine for Pet Food. *Food and Bioproducts Processing* 2013, vol. 91, pp.549–557, doi:10.1016/j.fbp.2013.08.008.
121. MARILU, Silva-Espinoza et al. The Impact of Freeze-Drying Conditions on the Physico-Chemical Properties and Bioactive Compounds of a Freeze-Dried Orange Puree. *Foods* 2019, vol.9, pp.32, doi:10.3390/foods9010032.
122. MOHAMED, Moawed et al. Heat Transfer between Fluidized Bed and Horizontal Bundle of Tubes in a Vertical Channel. *International Journal of Chemical Reactor Engineering* 2010, vol.8, doi: 10.2202/1542-6580.2123.
123. VENKATESH, S., VIJAYA, R., KITTLER, R. Low-Temperature Drying Using a Versatile Heat Pump Dehumidifier. *Drying Technology* 2003, vol.21, pp.539–554, doi: 10.1081/DRT-120018461.
124. TAECHAPAIROJ, Chaiyong. et al. Superheated Steam Fluidised Bed Paddy Drying. *Journal of Food Engineering* 2003, vol.58, pp.67–73, doi:10.1016/S0260-8774(02)00335-7.
125. ORSAT, V., CHANGRUE, V., RAGHAVAN, V. Microwave Drying of Fruits and Vegetables. *Stewart Postharvest Review* 2006, vol.2, pp.1–7, doi:10.2212/spr.2006.6.4.
126. NIRMAAN, A.M.C., ROHITHA-PRASANTHA, B.D., PEIRIS, B.L. Comparison of Microwave Drying and Oven-Drying Techniques for Moisture Determination of Three Paddy (*Oryza Sativa* L.) Varieties. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 2020, vol.7, pp.1-7, doi:10.1186/s40538-019-0164-1.
127. LI, Jing et al. Sensing Technologies During the Food Drying Process. *Food Eng Rev* 2020, vol.12, pp.121–148, doi:10.1007/s12393-020-09215-2.
128. ANGEL, Calin-Sanchez et al. Comparison of Traditional and Novel Drying Techniques and Its Effect on Quality of Fruits, Vegetables and Aromatic Herbs. *Foods* 2020, vol.9, pp.1261, doi:10.3390/foods9091261.

129. VORONOV, Evgen et al. Mechanization of the Process of Drying Fruits and Vegetables through the Introduction of Microwave Drying Unit UMS-2-10 in Agricultural and Food Enterprises. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2019, vol.1, pp.1-6, doi:10.1088/1755-1315/346/1/012027.
130. CLARY, C.D., MEJIA-MEZA, E., WANG, S., PETRUCCI, V.E. Improving Grape Quality Using Microwave Vacuum Drying Associated with Temperature Control. *Journal Food Science* 2007, vol.72, pp.3–8, doi:10.1111/j.1750-3841.2006.00234.x.
131. BHAMBHANI, Akhilesh et al. Evaluation of Microwave Vacuum Drying as an Alternative to Freeze-Drying of Biologics and Vaccines: The Power of Simple Modeling to Identify a Mechanism for Faster Drying Times Achieved with Microwave. *American Association of Pharmaceutical Scientists* 2021, vol. 22, pp.47-52, doi:10.1208/s12249-020-01912-9.
132. SETIADY, Dewi et al. Porosity, Color, Texture, and Microscopic Structure of Russet Potatoes Dried Using Microwave Vacuum, Heated Air, and Freeze Drying. *Applied Engineering in Agriculture* 2009, vol. 25, pp. 719-724, doi:10.13031/2013.28844.
133. BERTELI, M. N., RODIER, E., MARSAIOLI, A. Study of the microwave vacuum drying process for a granulated product. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 2009, vol. 26, pp. 317-329, ISSN 0104-6632.
134. MONTEIRO, Ricardo Lemos et al. Microwave vacuum drying of foods with temperature control by power modulation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 2020, vol. 65, pp. 24-73, doi: 10.1016/j.ifset.2020.102473.
135. MAHANTI, Naveen Kumar et al. Refractance Window TM-Drying vs. Other Drying Methods and Effect of Different Process Parameters on Quality of Foods: A Comprehensive Review of Trends and Technological Developments. *Future Foods* 2021, vol.3, pp.2-7, doi:10.1016/j.fufo.2021.100024.
136. PIYAWANITPONG, C., THERDTHAI, N., RATPHITAGSANTI, W. Effect of Precooking and Superheated Steam Treatment on Quality of Black Glutinous Rice. *Journal of Food Quality* 2018, vol.3, pp.1-23, doi: 10.1016/j.fufo.2021.100024.
137. PURUSHOTHAMAN, M., SEKAR, S.D., REDDY, M., REDDY, K. Recent Developments in Drying of Food Products. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 7-9 Jul. 2016, Chennai, India, vol.197, pp.1-10, 012037, doi:10.1088/1757-899X/197/1/012037.
138. POONIA, S., SINGH, A.K., JAIN, D. Design Development and Performance Evaluation of Photovoltaic/Thermal (PV/T) Hybrid Solar Dryer for Drying of Ber (*Zizyphus Mauritiana*) Fruit. *Cogent Engineering* 2018, vol.5, pp.70-84, doi:10.1080/23311916.2018.1507084.
139. MAACHE-REZZOUG, Z., REZZOUG, S.A., ALLAF, K. Development of a new drying process – dehydration by cyclical pressure drops (d.d.s.): application to the collagen gel. *Drying Technology* 2002, vol.20, pp.109–129, doi:10.1081/DRT-120001369.
140. KIAN, Jon-Chua, SIAW, Kiang-Chou. On the experimental study of a pressure regulatory system for bioproducts dehydration. *Journal of Food Engineering* 2003, vol.63, pp.151–158, doi: 10.1016/S0260-8774(03)00226-7.
141. YOUSEF JUMAH, Rami. Flow and Drying Characteristics of a Rotating Jet Spouted Bed. *Drying Technology* 1995, vol.13, pp.2243–2244, doi:10.1080/07373939508917081.
142. SOCHOROVA, Lenka et al. The Study of Antioxidant Components in Grape Seeds. *Molecules* 2020, vol.25, pp.1-17, doi:10.3390/molecules25163736.
143. ÖZBEK, Belma, DADALI, Gokce. Thin-Layer Drying Characteristics and Modelling of Mint Leaves Undergoing Microwave Treatment. *Journal of Food Engineering* 2007, vol.83, pp.541–549, doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.04.004.

144. BABU, A.K., KUMARESAN, G., RAJ, V.A.A., VELRAJ, R. Review of Leaf Drying: Mechanism and Influencing Parameters, Drying Methods, Nutrient Preservation, and Mathematical Models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018, vol.90, pp.536–556, doi:10.1016/j.rser.2018.04.002.
145. SEHRAWAT, R., NEMA, P.K., KAUR, B.P. Quality Evaluation and Drying Characteristics of Mango Cubes Dried Using Low-Pressure Superheated Steam, Vacuum and Hot Air Drying Methods. *LWT - Food Science and Technology* 2018, vol.92, pp.548–555, doi:10.1016/j.lwt.2018.03.012.
146. SHAFIUR, Rahman et al. *Handbook of Food Preservation* [online]. [citat 26.04.2021]. ISBN: 978-1-57444-606-7. Disponibil: <http://www.cold.org.gr/library/downloads/Docs/Handbook%20of%20Food%20Preservation.PDF>
147. BERK, Zeki et al. *Food Process Engineering and Technology* [online]. [citat 06.05.2021]. ISBN: 978-0-12-373660-4. Disponibil: https://mastermilk.com/uploads/biblio/food_process_engineering_and_technology.pdf
148. NEMZER, Boris et al. Phytochemical and Physical Properties of Blueberries, Tart Cherries, Strawberries, and Cranberries as Affected by Different Drying Methods. *Food Chemistry* 2018, vol.262, pp.242–250, doi:10.1016/j.foodchem.2018.04.047.
149. STRUMILLO, Czeslaw. A Review of: “*Advanced Drying Technologies*, 2nd Ed., by T. Kudra and A.S. Mujumdar.”: CRC Press: Boca Raton, FL, 2009. *Drying Technology* 2009, vol.27, pp.1164–1165, doi:10.1080/07373930903221846.
150. GATARIC, P., SIROK, B., HOCEVAR, M., NOVAK, L. Modeling of Heat Pump Tumble Dryer Energy Consumption and Drying Time. *Drying Technology* 2019, vol.37, pp.1396–1404, doi:10.1080/07373937.2018.1502778.
151. WOJDYŁO, Aneta et al. Influence of Different Drying Techniques on Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity and Colour of Ziziphus Jujube Mill. Fruits. *Molecules* 2019, vol.24, pp.1-15, doi:10.3390/molecules24132361.
152. ZHOU, Xu, WANG, Shaojin. Recent Developments in Radio Frequency Drying of Food and Agricultural Products: A Review. *Drying Technology* 2019, vol.37, pp.271–286, doi:10.1080/07373937.2018.1452255.
153. BALAN, Neha, RADHAKRISHNAN, Mahendran. Microwave Drying of Edible Mushroom. *Mushroom Research Journal* 2014, vol.23, pp.81–87, ISSN: 0972-4885.
154. **BALAN, M.**, BERNIC, M., ȚISLINSCAIA, N. Drying installation for granular products in the suspension layer. *Journal of Engineering Sciences* 2020, vol.1, pp.64-68 doi:10.5281/ZENODO.3713368. ISSN 2587-3474.
155. JOARDDER, U.H., KARIM, A., KUMAR, C. Effect of Temperature Distribution on Predicting Quality Of Microwave Dehydrated Food. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences* 2013, vol. 5, pp.562–568, doi:10.15282/jmes.5.2013.2.0053.
156. ZHANG, Lihui et al. Effects of Freeze Vacuum Drying Combined with Hot Air Drying on the Sensory Quality, Active Components, Moisture Mobility, Odors, and Microstructure of Kiwifruits. *Journal of Food Quality* 2019, vol.1, pp.1–11, doi:10.1155/2019/8709343.
157. SHENDE, Deepika, DATTA, Ashis Kumar. Optimization Study for Refractance Window Drying Process of Langra Variety Mango. *Journal of Food Science Technology* 2020, vol.57, pp.683–692, doi:10.1007/s13197-019-04101-0.
158. SHENDE, Deepika, DATTA, Ashis Kumar. Refractance Window Drying of Fruits and Vegetables: A Review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2019, vol.99, pp.1449–1456, doi:https://doi.org/10.1002/jsfa.9356.

159. MESSAI, Souad et al. Low-Pressure Superheated Steam Drying of a Porous Media. *Drying Technology* 2015, vol.33, pp.103–110, doi:10.1080/07373937.2014.933843.
160. BUROVA, Natalya et al. A review of techniques for drying food products in vacuum drying plants and methods for quality control of dried samples. *Espacios Journal* 2017, vol.38, pp.35-41, ISSN 0798 1015.
161. PATEL, Sanjay Kumar, Bade, Mukund Haribhau. Superheated Steam Drying and Its Applicability for Various Types of the Dryer: The State of Art. *Drying Technology* 2021, vol.39, pp.284–305, doi:10.1080/07373937.2020.1847139.
162. KUMAR, Chandan, KARIM, Azharul. Microwave-Convective Drying of Food Materials: A Critical Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2019, vol.59, pp.379–394, doi:10.1080/10408398.2017.1373269.
163. KOWALSKI, Stefan, RAJEWSKA, Kinga. Convective Drying Enhanced with Microwave and Infrared Radiation. *Drying Technology Journal* 2009, vol.27, pp.878–887, doi:10.1080/07373930903014837.
164. KUMAR, C., JOARDDER, M. U. H., FARRELL, T. W., KARIM, M. A. *Investigation of Intermittent Microwave Convective Drying (IMCD) of Food Materials by a Coupled 3D Electromagnetics and Multiphase Model* [online]. [citat 20.05.2021]. DOI: 10.1080/07373937.2017.1354874. Disponibil: <https://zh.booksc.eu/book/66033240/5af29d>
165. LIU, Zi-Liang et al. Combined Hot Air and Microwave-Vacuum Drying of Cranberries: Effects of Pretreatments and Pulsed Vacuum Osmotic Dehydration on Drying Kinetics and Physicochemical Properties. *Food Bioprocess Technol* 2020, vol.13, pp.1848–1856, doi:10.1007/s11947-020-02507-9.
166. FERENCZI, S., CZUKOR, B., CSERHALMI, Z. Evaluation of Microwave Vacuum Drying Combined with Hot-Air Drying and Compared with Freeze- and Hot-Air Drying by the Quality of the Dried Apple Product. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering* 2014, vol.58, pp.111–116, doi:10.3311/PPch.7082.
167. LEI, Yongdong et al. Influence of Microwave Vacuum Drying on the Effective Moisture Diffusivity of Seedless White Grapes. *Food Science and Technology* 2020, vol.1, pp.1-9, doi:10.1590/fst.37020.
168. VEGA-GÁLVEZ, Antonio et al. Low-temperature vacuum drying as novel process to improve papaya (*Vasconcellea pubescens*) nutritional-functional properties. *Future Foods* 2022, vol. 5, pp.1-8, doi: 10.1016/j.fufo.2022.100117.
169. CALÍN-SÁNCHEZ, Ángel et al. Comparison of Traditional and Novel Drying Techniques and Its Effect on Quality of Fruits, Vegetables and Aromatic Herbs. *Foods* 2020, vol. 9, pp. 1261-1288, doi: 10.3390/foods9091261.
170. CHUA, Lisa Yen Wen et al. Characterisation of the Convective Hot-Air Drying and Vacuum Microwave Drying of Cassia Alata: Antioxidant Activity, Essential Oil Volatile Composition and Quality Studies. *Molecules* 2019, vol. 24, pp.1625-1649, doi:10.3390/molecules24081625.
171. LUPAȘCO, Andrei, DODON, Adelina. Aplicarea microundelor la uscarea sorizului prin metoda convectivă. *Akademios* 2018, vol. 1, pp.36-40, CZU: 664.8.039:633.17/.18, ISSN 1857-0461.
172. NOWICKA, P., WOJDYLO, A., LECH, K., FIGIEL, A. Chemical Composition, Antioxidant Capacity, and Sensory Quality of Dried Sour Cherry Fruits Pre-Dehydrated in Fruit Concentrates. *Food and Bioprocess Technology* 2015, vol.10, pp.2076–2095, doi:10.1007/s11947-015-1561-5.
173. MOHAMED - HEMIS, Dennis Watson, VIJAYA, Raghavan. Modeling the Drying of Wheat Seeds in a Fluidized Bed Using a Spatially Resolved Model. *Applied Engineering in Agriculture* 2019, vol. 4, pp.551-559, doi: 10.13031/aea.13181.

174. HUANG, Dan et al. Application of Infrared Radiation in the Drying of Food Products. *Trends in Food Science & Technology* 2021, vol.110, pp.765–777, doi:10.1016/j.tifs.2021.02.039.
175. DEGHAN-MANSHADI, A., PEIGHAMBARDOUST, S.H., AZADMARD-DAMIRCHI, S., NIAKOUSARI, M. Effect of Infrared-assisted Spouted Bed Drying of Flaxseed on the Quality Characteristics of Its Oil Extracted by Different Methods. *Journal of Science Food Agriculture* 2020, vol.100, pp.74–80, doi:10.1002/jsfa.9995.
176. HONARVAR, Bizhan, MOWLA, Dariush. Theoretical and Experimental Drying of a Cylindrical Sample by Applying Hot Air and Infrared Radiation in an Inert Medium Fluidized Bed. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 2012, vol.29, pp.231–242, doi:10.1590/S0104-6632201200200004.
177. LUQUERODRIGUEZ, J., LUQUEDECASTRO, M., PEREZJUAN, P. Extraction of Fatty Acids from Grape Seed by Superheated Hexane. *Talanta* 2005, vol.68, pp.126–130, doi:10.1016/j.talanta.2005.04.054.
178. MIRONÉASA, Silvia et al. Grape Seed: physico-chemical, structural characteristics and oil content. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 2020, vol. 16, pp.1-6, ISSN: 1453-1399.
179. PRADO, Juliana et al. Supercritical fluid extraction of grape seed: Process scale-up, extract chemical composition and economic evaluation. *Journal of Food Engineering* 2012, vol.109, pp.249–257, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.10.007.
180. CHAKKA, Ashok Kumar, AYENAMPUDI, SurendraBabu. Bioactive Compounds of Winery by-products: Extraction Techniques and their Potential Health Benefits. *Applied Food Research Journal* 2022, vol. 2, pp.1-11, doi: 10.1016/j.afres.2022.100058.
181. CREWS, Colin et al. Quantitation of the main constituents of some authentic grape-seed oils of different origin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2006, vol.54, pp. 6261-6265, doi: 10.1021/jf060338y.
182. SHI, J., YU, J., POHORLY, J., KAKUDA, Y. Polyphenolics in Grape Seeds - Biochemistry and Functionality. *Journal of medicinal food* 2003, vol.6, pp.291–299, doi:10.1089/10966200372519831.
183. ZHENG, Fei Ma, HONGXIA, Zhang. Phytochemical Constituents, Health Benefits, and Industrial Applications of Grape Seeds: A Mini-Review. *Antioxidants (Basel)* 2017, vol.6, pp.1-11, doi:10.3390/antiox6030071.
184. HAJATI, Hosna et al. The Effect of Grape Seed Extract and Vitamin C Feed Supplements on Carcass Characteristics, Gut Morphology and Ileal Microflora in Broiler Chickens Exposed to Chronic Heat Stress. *Iranian Journal of Applied Animal Science* 2015, vol.5, pp.155–165, ISSN: 2251-628X.
185. MATTICK, Leonard, RICE, Ann. Fatty Acid Composition of Grape Seed Oil from Native American and Hybrid Grape Varieties. *American Journal of Enology and Viticulture* 1976, vol.27, pp.88–90, ISSN: 0002-9254.
186. AL JUHAIMI, Fahad Yahya et al. Bioactive Properties, Fatty Acid Composition and Mineral Contents of Grape Seed and Oils. *South African Journal of Enology and Viticulture* 2017, vol.38, pp.103-108, doi:10.21548/38-1-1042.
187. MARCADENTI MARKOSKI, M., GARAVAGLIA, J., MARCADENTI, A. Grape Seed Oil Compounds: Biological and Chemical Actions for Health. *Nutrition and Metabolic Insights* 2016, vol.59, pp.59-64, doi:10.4137/NMI.S32910.

188. MAKRIS, D., BOSKOU, G., ANDRIKOPOULOS, N. Recovery of Antioxidant Phenolics from White Vinification Solid By-Products Employing Water/Ethanol Mixtures. *Bioresource technology* 2007, vol.98, pp.2963–2967, doi:10.1016/j.biortech.2006.10.003.
189. MAJD, K., KARPARVARFARD, S., FARAHNKY, A., ANSARI, S. Thermodynamic Properties of Water Sorption Isotherms of Grape Seed. *International Agrophysics* 2014, vol.28, pp.63-71, doi:10.2478/intag-2013-0028.
190. MALEKI MAJD, K., KARPARVARFARD, S.H., FARAHNKY, A., JAFARPOUR, K. Thermodynamic of Water Sorption of Grape Seed: Temperature Effect of Sorption Isotherms and Thermodynamic Characteristics. *Food Biophysics* 2013, vol.8, pp.1–11, doi:10.1007/s11483-012-9274-z.
191. NEDEFF, Valentin et al. Researches Concerning the Aerodynamic Sorting of Solid Particles According to the Surface States. *Revista de Chimie -Bucharest- Original Edition* 2008, vol.59, pp.360–365, doi:10.37358/RC.08.3.1763.
192. YENG, Lee Lai et al. Pneumatic Transport of Granular Materials through a 90° Bend. *Chemical Engineering Science* 2004, vol.59, pp.4637–4651, doi:10.1016/j.ces.2004.07.007.
193. LIM, E.W.C., YAO, J., ZHAO, Y. Pneumatic Transport of Granular Materials with Electrostatic Effects. *American Institute of Chemical Engineers Journal* 2012, vol.58, pp.1040–1059, doi:10.1002/aic.12638.
194. LOGACHEV, Ivan Nikolayevich, LOGACHEV, Konstantin Ivanovich . Aerodinamicheskiye osnovy aspiratsii [online]. [citat 12.05.2021]. ISBN: 5-93808-051-9. Disponibil: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/LogachevLogachev2005ru.pdf>
195. ABD ELNABY, K., MEDHAT, E., BASTAWISSI, H. A. E., ELBANNA, A. M. An experimental and theoretical study on particles-in-air behavior characterization at different particles loading and turbulence modulation. *Alexandria Engineering Journal* 2019, vol. 58, pp. 451-465, doi: 10.1016/j.aej.2019.04.002.
196. KALINIEWICZ, Z., ZBIGNIEW, Z., KUSINSKA, E. Physical Properties of Seeds of Eleven Spruce Species. *Forest Journal* 2018, vol. 9, pp. 617-630, doi: 10.3390/f9100617.
197. DONG, K., WANG, C., YU, A. A Novel Method Based on Orientation Discretization for Discrete Element Modeling of Non-Spherical Particles. *Chemical Engineering Science* 2015, vol.126, pp.500–516, doi:10.1016/j.ces.2014.12.059.
198. PARVIZ, E., SHEVCHENKO, O., DREBENSTEDT, C. Particle Transport Velocity in Vertical Transmission with an Airlift Pump. *Fluids Journal* 2022, vol. 3, pp. 1-13, doi: 10.3390/fluids 7030095.
199. DUDA-CHODAK, Aleksandra, TARKO, Tomasz. Antioxidant Properties of Different Fruit Seeds and Peels. *Acta Scientiarum Polonorum : Technologia Alimentaria* 2007, vol.6, pp.29-36, ISSN : 1898-9594.
200. ANGELETTI, Mauro, SPARAPANI, Luca. *Process for producing a grape seed extract having a low content of monomeric polyphenols*. Brevet de invenție CA2542022A1, A61K36/87. Biosistema S.R.L., Biophenolix S.R.L. Nr. depozit EP 2004/011301. Data depozit 07.10.2004. Publicat 24.04.2005.
201. JUAREZ TRUJILLO, Nadia et al. Caracterización del aceite y harina obtenido de la semilla de uva silvestre (*Vitis tiliifolia*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2017, vol.8, pp. 1113-1126, ISSN 2007-0934.

202. GESOGLU, M., GÜNEYISI, E., ALZEEBAREE, R., MERMERDAS, K. Effect of silica fume and steel fiber on the mechanical properties of the concretes produced with cold bonded fly ash aggregates. *Construction and Building Materials* 2012, vol.40, pp. 982-990, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.11.074.
203. CAE: *Capital Asset Exchange*. Capital Asset Exchange & Trading Llc. All Rights Reserved, ©2022 [citat 14.05.2021]. Disponibil: <https://caeonline.com>
204. NCMST: *National Center for Materials Study and Testing*. National Center for Materials Study and Testing, ©2013 [citat 16.05.2021]. Disponibil: <http://ncmst.utm.md/index.php/laboratories/sem>
205. ZHANFU L., XIN T., HUIHUANG X., LUOJIAN Y. A study of particles looseness in screening process of a linear vibrating screen. *Journal of Vibroengineering* 2016, vol.18, pp.671-681.
206. HENNIG, Manuel, ULRICH, Teipel. Grade efficiency for sieve classification processes. *Canadian Journal of Chemical Engineering* 2018, vol.96, pp. 259-264, doi: 10.1002/cjce.22910.
207. International Organization for Standardization: ISO 665:2020 din 01.02.2020. In: *Standards catalogue, ICS : 67.200.20*, 2020, nr. 3, pp. 8.
208. International Organization for Standardization: ISO 659:2009 din 01.07.2009. In: *Standards catalogue, ICS : 67.200.20*, 2009, nr. 4, pp. 12.
209. International Organization for Standardization: ISO 6320:2000 din 23.08.2007. In: *Multiple Distributed through American National Standards Institute, ASIN : B000XYSTTC*, 2007, nr. 11, pp. 24.
210. International Organization for Standardization: ISO 279:1998 din 20.12.1998. In: *Standards catalogue, ICS : 71.100.60*, 1998, nr. 2, pp. 3.
211. Hotărîre de Guvern cu privire la aprobarea Reglementării tehnice „Uleiuri vegetale comestibile” : nr. 434 din 04 iunie 2010. In: *Monitorul oficial al Republicii Moldova* 2010, nr. 87-90, art. 510.
212. International Organization for Standardization: ISO 660:2020 din 01.03.2020. In: *Standards catalogue, ICS : 67.200.10*, 2020, nr. 4, pp. 12.
213. International Organization for Standardization: ISO 52110:2003 din 01.06.2004. In: *Standards catalogue, ICS : 67.200.10*, 2004, nr.241 , pp. 5.
214. GÖK TANGOLAR, S., ÖZOGUL, Y., TANGOLAR, S., ALKAN TORUN, A. Evaluation of fatty acid profiles and mineral content of grape seed oil of some grape genotypes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 2007, vol.60, pp.32-39, doi: 10.1080/09637480701581551.
215. Kretova, Yu. Modern Aspects of Technological Processes Modeling to Meet the Challenges of Increasing Energy and Resource Efficiency of Food Production. *Procedia Engineering* 2015, vol.129, pp.294–299, doi:10.1016/j.proeng.2015.12.065.
216. Dayong, Nie et al. Mathematical Modeling of the Technological Processes of Catering Products Production. *Journal of Food Process Engineering* 2020, vol.43, pp.1-9, doi: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13340>.
217. LUPAȘCO, A., DICUSAR, G., GHENDOV-MOȘANU, A., BOIȘTEAN, O. Modelulul matematic al procesului de uscare combinat a fructelor de vișine cu utilizarea microundelor in regim de oscilație. *Fizică și tehnică: procese, modele, experimente* 2014, vol. 1, pp. 65-68, CZU: 664.8.047:621.3.029.63:519.8:634.233, ISSN: 1857-0437.
218. GORIAL, B.Y., OCALLAGHAN, Jim. Aerodynamic properties of grain/straw materials. *Journal of Agricultural Engineering Research* 1990, vol.46, pp. 275-290, doi: 10.1016/S0021-8634(05)80132-5.

219. AKBARNIA, Abbas, RASHVAND, Mahdi. An evaluation of the physical, dynamic and aerodynamic properties of olives. *Research in Agricultural Engineering* 2019, vol.65, pp. 48-55, 10.17221/5/2018-RAE.
220. FAROOQ Hussain et al. Mathematical modeling and numerical solution of cross-flow of non-Newtonian fluid: Effects of viscous dissipation and slip boundary conditions. *Journal of Applied Mathematics and Mechanics* 2021, vol. 102, pp. 42-49, doi: 10.1002/zamm.202100130.
221. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, Natalia, **BALAN, Mihail**, POPESCU, Victor, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail. *Instalație de uscare a produselor granulate în strat de suspensie*. Brevet de invenție MD 1249 Z, F26B 3/10. Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. depozit s 2017 0097. Data depozit 2017.09.20. Publicat 30.11.2018. In: BOPI. 2018, nr. 4, pp. 62-64.
222. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, Natalia, **BALAN, Mihail**, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail. *Instalație de uscare a produselor granulate în strat de suspensie*. Brevet de invenție MD 1278 Z, F26B 3/347. Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. depozit s 2018 0028. Data depozit 2018.03.28. Publicat 31.03.2019. In: BOPI. 2019, nr. 9, pp. 168.
223. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, Natalia, **BALAN, Mihail**, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail, SANDU, Andrei-Victor, PATRAȘ, Antoanela. *Procedeu de uscare a semințelor de struguri*. Brevet de invenție MD 1578 Y, A23B 9/00. Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. depozit s 2021 0006. Data depozit 2020.02.15. Publicat 31.12.2021. In: BOPI. 2022, nr. 1, pp. 226.
224. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, Natalia, **BALAN, Mihail**, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail. *Procedeu de uscare a semințelor de struguri*. Brevet de invenție MD 1579 Y, A23B 9/00. Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. depozit s 2021 0008. Data depozit 2020.02.17. Publicat 31.12.2021.
225. CHAVOSHGOLI'S, Es et al. Engineering properties of sunflower seeds and materials other grain as moisture content for equipment of separator. *Journal of Agricultural Engineering International* 2015, vol.17, pp. 10-21, ISSN: 1682-1130.
226. ZARGARAAN, Aziz et al. Challenges of Edible Oils From Farm to Industry: Views of Stakeholders. *Food and Nutrition Bulletin* 2019, vol.40, pp. 99-110, doi: 10.1177/0379572118813758.
227. Hotărîre de Guvern cu privire la aprobarea Reglementării tehnice „Uleiuri vegetale comestibile”: nr. 434 din 02 noiembrie 2018. In: Monitorul oficial al Republicii Moldova 2018, nr. 410-415, art. 1109, (Anexa 3).
228. Hotărîre de Guvern cu privire la aprobarea Reglementării tehnice „Uleiuri vegetale comestibile”: nr. 434 din 21 noiembrie 2018. In: Monitorul oficial al Republicii Moldova 2018, nr. 13-21, art. 7, (Anexa 4).

ANEXE

Implementarea rezultatelor obținute

Anexa 1

A P R O B

Directorul S.C. AZAMET-GRUP S.R.L.

Uzun Valentina



ACT

de implementare a rezultatelor tezei de doctor în tehnică
„Procesul de uscare a semințelor de struguri în strat suspendat”
a dlui Mihail Balan

Membrii consiliului tehnic ai S.C. AZAMET-GRUP S.R.L. au încheiat prezentul act care confirmă că în baza rezultatelor tezei de doctor în tehnică «Procesul de uscare a semințelor de struguri în strat suspendat» elaborată de dl. Balan Mihail, firma „S.C. AZAMET-GRUP S.R.L.” a implementat în producere o instalație de uscare a semințelor de struguri cu productivitatea de 900kg/h produs uscat.

În rezultatul implementării instalației de uscare menționate, productivitatea a crescut cu 16% în raport cu instalația precedentă, iar consumul de energie s-a redus cu 9% constituind 104kW/h.

Șef-producerii SRL "AZAMET PRO"

Delibaltov N. _____

Contabil-șef SRL "AZAMET PRO"

Uzun V.



ANEXĂ

La actul de implementare a rezultatelor tezei de doctor în tehnică
”Procesul de uscare a semințelor de struguri în strat suspendat”
a dlui Balan Mihail la întreprinderea ”S.C. AZAMET-GRUP S.R.L.”
(Material factologic)

În baza rezultatelor tezei de doctor în tehnică ”Procesul de uscare a semințelor de struguri în strat suspendat” a fost implementată o instalație de uscare a semințelor de struguri din cadrul întreprinderii ”S.C. AZAMET-GRUP S.R.L.”.

În materialul factologic prezentat (vezi fig.1-6) sunt redată secvențe ale procesului de proiectare, montare și reglare a instalației de uscare pentru semințe de struguri.

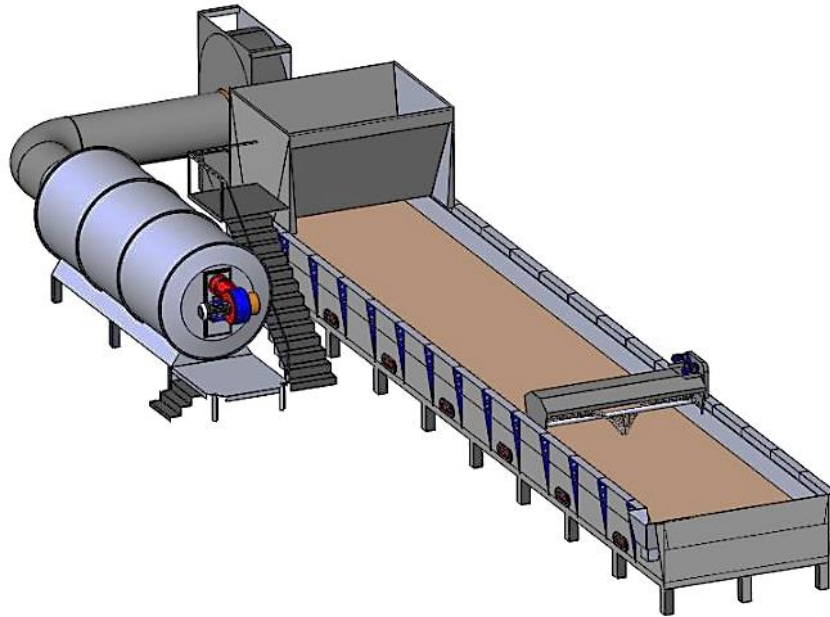


Fig. A1. 1 Etapa de proiectare 3D a instalației de uscare a semințelor de struguri

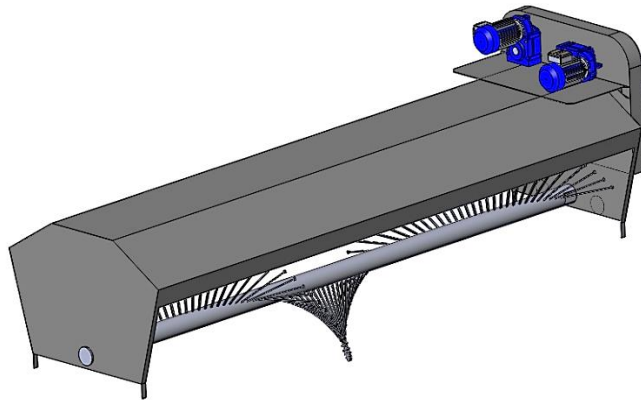


Fig. A1. 2 Etapa de proiectare 3D a amestecătorului

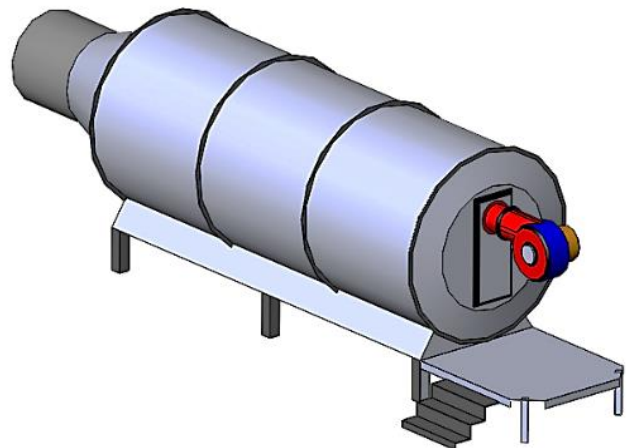


Fig. A1. 3 Etapa de proiectare 3D a arzătorului



Fig. A1. 4 Etapa de montare și reglare a instalației de uscare a semințelor de struguri



Fig. A1. 5 Etapa de montare și reglare a amestecătorului



Fig. A1. 6 Etapa de montare și reglare a arzătorului



Fig. A1. 7 Etapa de montare și reglare a panoului de comandă




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; TISLINSCAIA Natalia, MD; BALAN Mihail, MD; POPESCU Victor, MD; VIȘANU Vitalii, 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; TISLINSCAIA Natalia, MD; BALAN Mihail, MD; VIȘANU Vitalii, 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

F-01-BI-026-I-04-0307
 AGENȚIA DE STAT PENTRU PROPRIETATEA INTELLECTUALĂ A REPUBLICII MOLDOVA
 DIRECȚIA BREVETE

 STATE AGENCY ON INTELLECTUAL PROPERTY OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA
 PATENTS DIRECTION

nr. 14175
 din 2021.10.15

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

HOTĂRĂRE

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

HOTĂRĂȘTE


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; TISLINSCAIA Natalia, MD; BALAN Mihail, MD; VIȘANU Vitalii, MD; MELENCIUC Mihail, MD; SANDU Andrei-Victor, RO; PATRAȘ Antoanela, 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.
Procedul, 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 430 m³/h, tratarea 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 Dăgă nr. 247, MD-2024, Chișinău, Republica Moldova
 Tel: (+373 22) 400-511, (+373 22) 400-514 Fax: (+373 22) 440-119
 www.agpi.gov.md, e-mail: office@agpi.gov.md

F-01-BI-026-I-04-0307
 AGENȚIA DE STAT PENTRU PROPRIETATEA INTELLECTUALĂ A REPUBLICII MOLDOVA
 DIRECȚIA BREVETE

 STATE AGENCY ON INTELLECTUAL PROPERTY OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA
 PATENTS DIRECTION

nr. 7685
 din 2021.06.07

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

HOTĂRĂRE

nr.9810 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

HOTĂRĂȘTE

Acordarea brevetului de invenție de scurtă durată conținând următoarele date:

(13) Y
(51) Int.Cl.: **A23N 12/00 (2006.01)**
F26B 3/047 (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; TISLINSCAIA Natalia, MD; BALAN Mihail, MD; VIȘANU Vitalii, MD; MELENCIUC Mihail, MD; SANDU Andrei-Victor, RO; IURCANU Diana, 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 lăptoseria industria alimentară, 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 invertor (2), un ventilator (4) de aspirație a aerului prin intermediul unui filtru (11), și un generator de microunde (15) cu o carcasă de uscare (14), montat pe un suport (8). Pe ventilator (4) este montat tubul (6), de

Str. Andrei Dăgă nr. 247, MD-2024, Chișinău, Republica Moldova
 Tel: (+373 22) 400-511, (+373 22) 400-514 Fax: (+373 22) 440-119
 www.agpi.gov.md, e-mail: office@agpi.gov.md

Anexa 2
Premii speciale, distincții și medalii



DIPLOMA OF GOLD MEDAL is awarded to:

DRYING OF PLANT PRODUCTS INTO A CO₂ ENVIRONMENT

Bernic Mircea, Țișlinscaia Natalia, Balan Mihail, Vișanu Vitali, Melenciu Mihail

President of International Jury: Prof. Dr. Eng. Mohd Mustafizul Sami ABDULLAH
President of Exhibition: Prof. Dr. Ion SANDU

May 22, 2021




Diploma of Honor GOLD MEDAL

Offered to
BERNIC MIRCEA, ȚIȘLINSCAIA NATALIA, BALAN MIHAIL, VIȘANU VITALI, MELENCIU MIHAIL

Technical University of Moldova

DRYING INSTALLATION FOR GRANULAR PRODUCTS IN THE SUSPENSION LAYER

In recognition of high scientific contribution and loyalty to the XXV-th INTERNATIONAL EXHIBITION OF INVENTICS

INVENTICA 2021
Iasi, Romania

23-25 June 2021

GENERAL MANAGER
NATIONAL INSTITUTE OF INVENTICS
Prof. Neculai-Eugen SEGHEDIN PhD



Diploma of Honor GOLD MEDAL

Offered to
BERNIC MIRCEA, ȚIȘLINSCAIA NATALIA, BALAN MIHAIL, VIȘANU VITALI, MELENCIU MIHAIL

Technical University of Moldova

PROCESS FOR DRYING PEARLS BY CONVECTION IN A CO₂ MODIFIED ENVIRONMENT

In recognition of high scientific contribution and loyalty to the XXV-th INTERNATIONAL EXHIBITION OF INVENTICS

INVENTICA 2021
Iasi, Romania

23-25 June 2021

GENERAL MANAGER
NATIONAL INSTITUTE OF INVENTICS
Prof. Neculai-Eugen SEGHEDIN PhD

SALONUL INTERNAȚIONAL AL CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE, INOVĂRII ȘI INVENTICII

PRO INVENT
EDIȚIA XIX, 20-22 OCTOMBRIE 2021
CLUJ-NAPOCA

DIPLOMA DE EXCELENȚĂ ȘI MEDALIA DE AUR


Se acordă **Bernic Mircea, Țișlinscaia Natalia, Turcanu Dinu, Balan Mihail, Vișanu Vitali, Melenciu Mihail, Gidei Igor**

De la **Universitatea Tehnică a Moldovei**

Pentru **INSTALAȚIE DE USCARE A PRODUSELOR GRANULARE ÎN STRAT DE SUSPENSIE**

PREȘEDINTELE SALONULUI
Prof. dr. Ing. VIOREL TOPIA
Rector al Universității Tehnice Cluj Napoca

PREȘEDINTELE JURULUI
Prof. dr. Ing. RADU MURTEANU



DIPLOMA
14th International Invention and Innovation Show
INTARG POLAND

Awarded to:
SIMTIT Engineering (Gheorghe Asachi Technical University of Iasi & Technical University of Moldova)

Petrica VIZUREANU, Madalina Simona BALTATU, Andrei Victor SANDU, Mircea BERNIC, Mihail BALAN


for the invention:
Titanium-based alloy

GOLD MEDAL

The Main Honorary Patronage and The Main Partner of The Fair

The President of International Jury: Krzysztof Biernat, Prof.
Ministry of Economic Development, Labour and Technology
The President of Eurobusiness-Haller: Barbara Haller de Hallenburg

Poland 2021



DIPLOMA
14th International Invention and Innovation Show
INTARG POLAND

Awarded to:
SIMTIT Engineering (Gheorghe Asachi Technical University of Iasi & Technical University of Moldova)

Petrica VIZUREANU, Madalina Simona BALTATU, Andrei Victor SANDU, Mircea BERNIC, Mihail BALAN

for the invention:
Titanium-based alloy

SPECIAL AWARD OF WORLD INVENTION INTELLECTUAL PROPERTY ASSOCIATION WIIPA

The Main Honorary Patronage and The Main Partner of The Fair

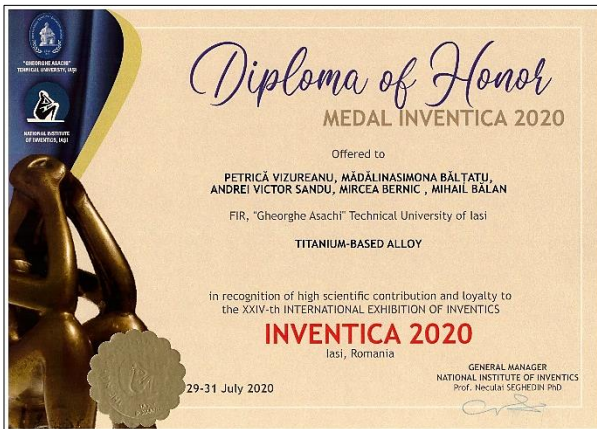
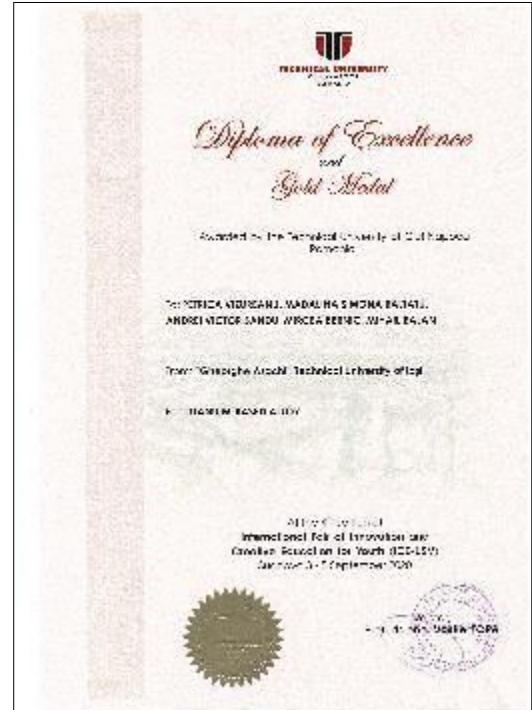
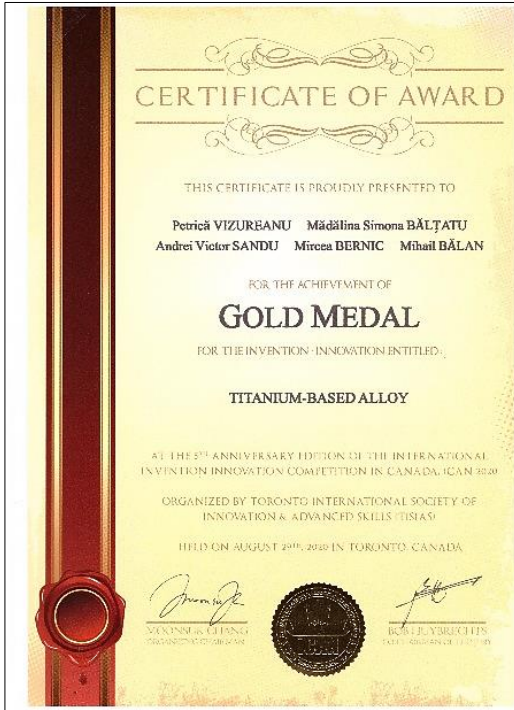
The President of International Jury: Krzysztof Biernat, Prof.
Ministry of Economic Development, Labour and Technology
The President of Eurobusiness-Haller: Barbara Haller de Hallenburg

Poland 2021

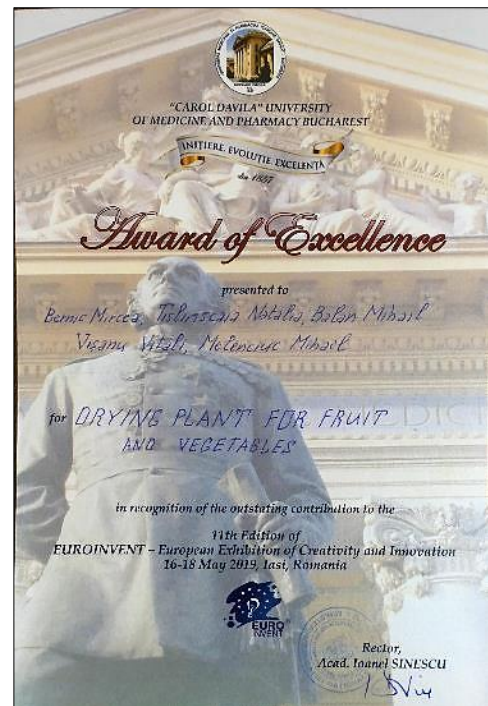
Anexa 2 Premii speciale, distincții și medalii



Anexa 2
Premii speciale, distincții și medalii



Anexa 2
Premii speciale, distincții și medalii



Anexa 2
Premii speciale, distincții și medalii



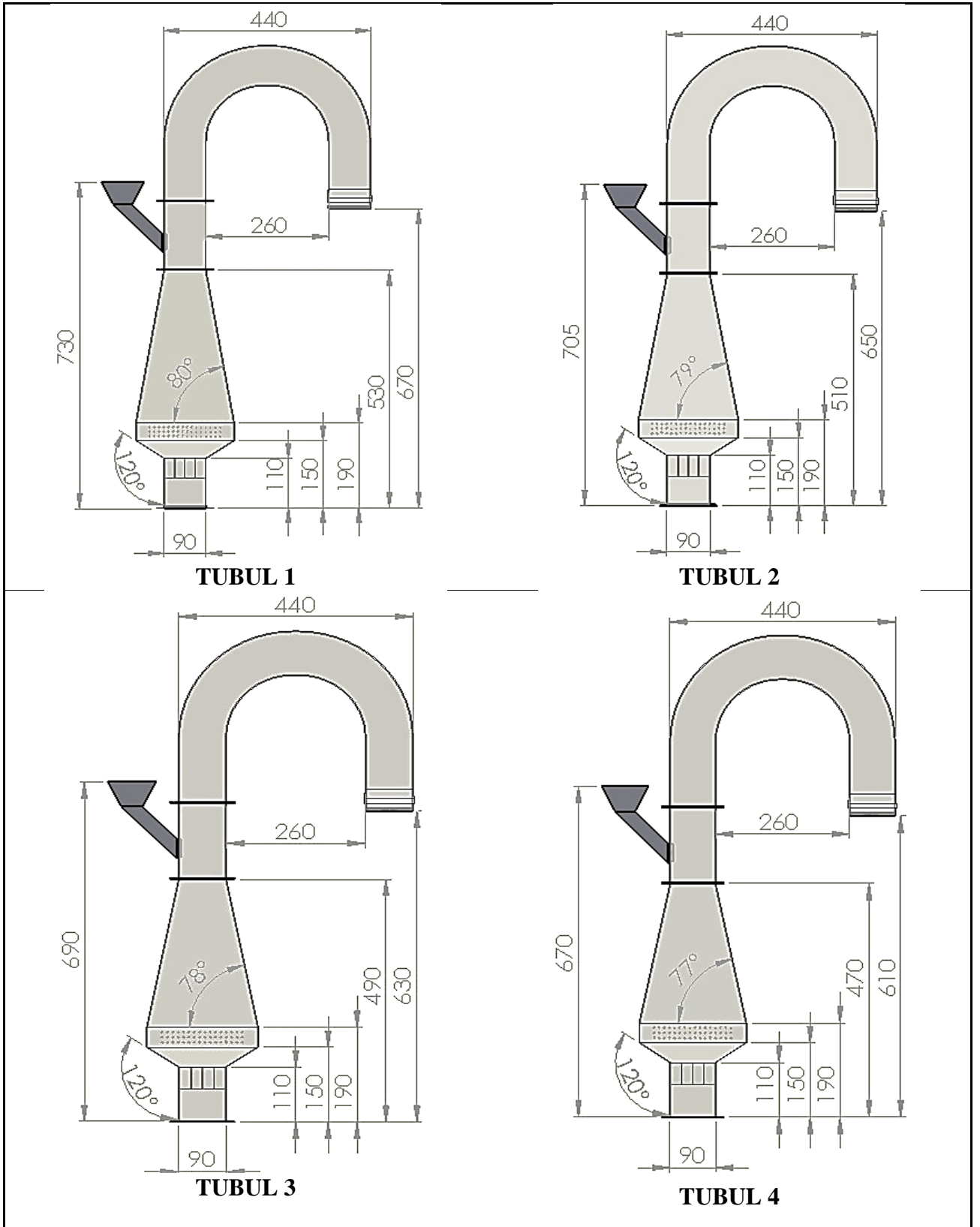


Fig. A3. 1. Parametrii geometrici ale tuburilor aerodinamice (1-4) pentru simulare 3D

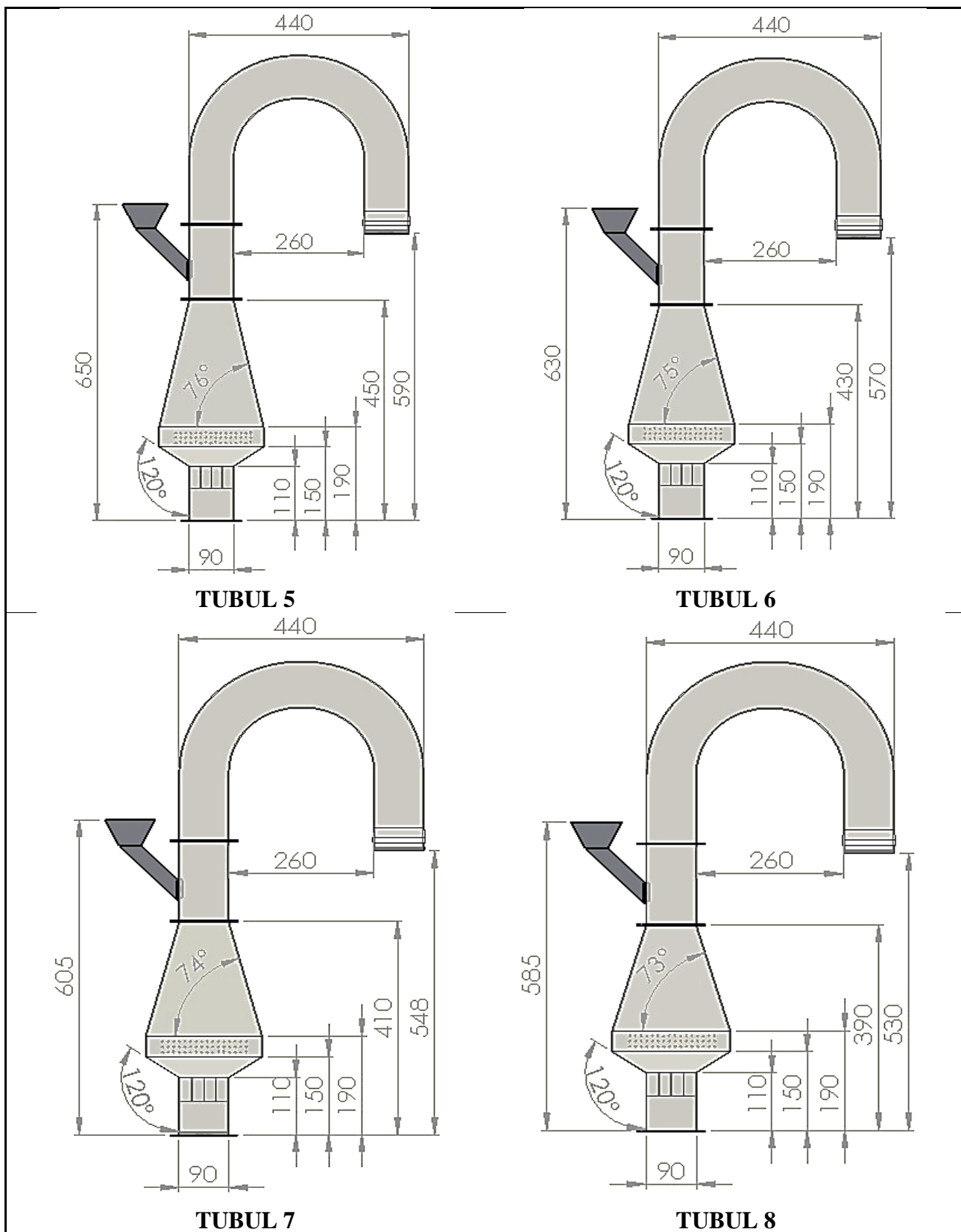


Fig. A3. 2. Parametrii geometrice ale tuburilor aerodinamice (5-8) pentru simulare 3D

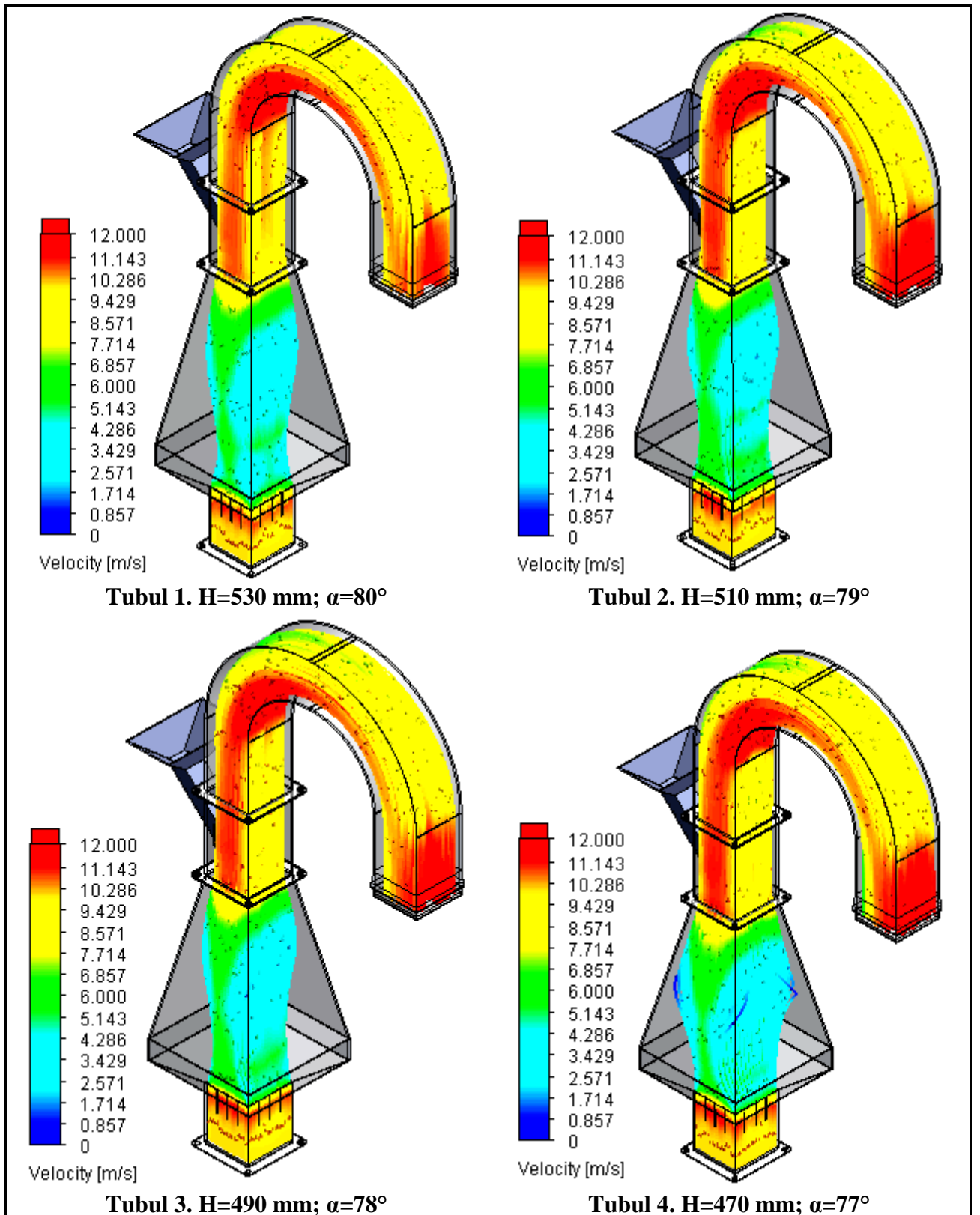


Fig. A3. 3 Simularea parcurgerii câmpului de viteze a aerului prin tuburile aerodinamice (1-4)

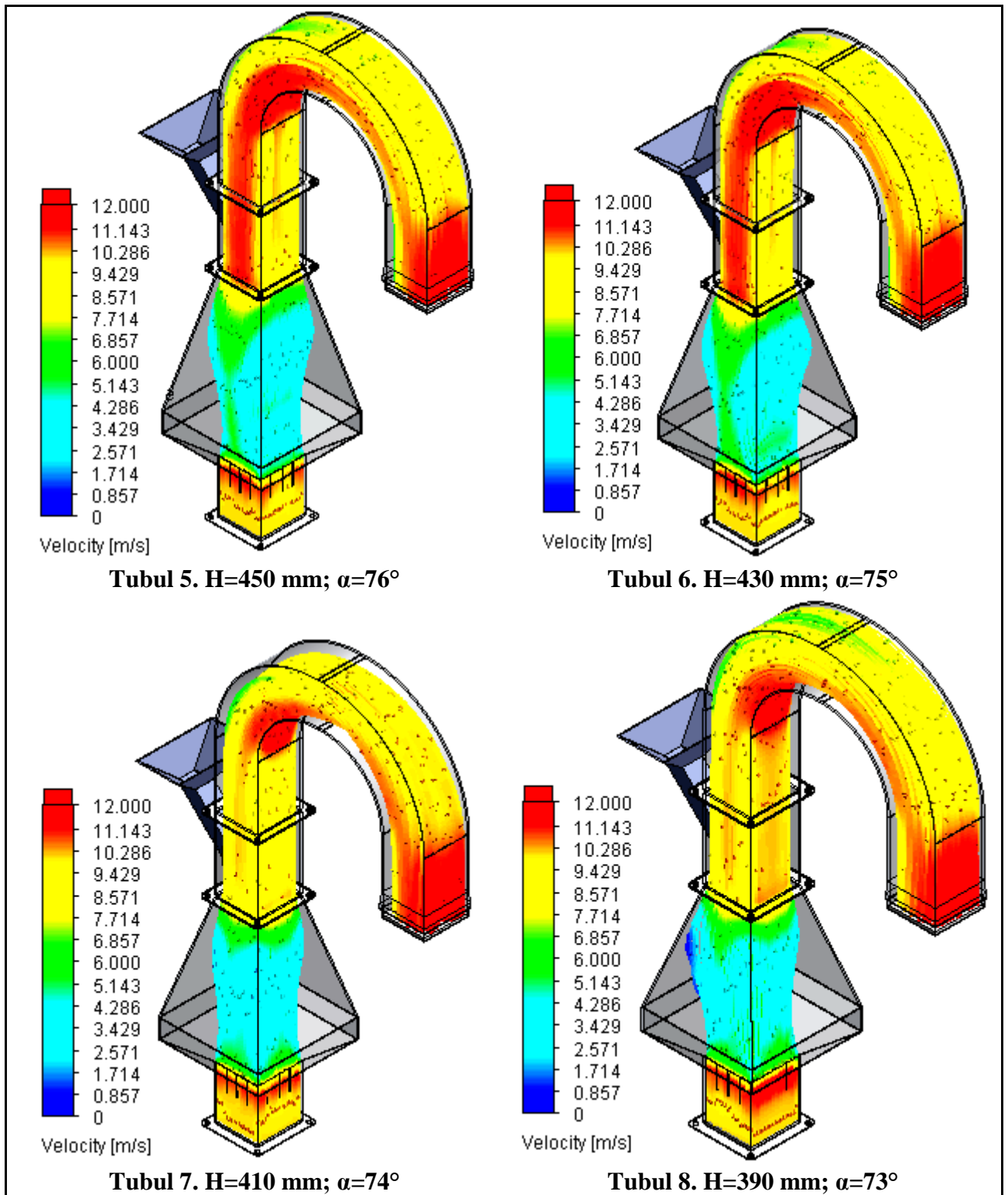


Fig. A3. 4 Simularea parcurgerii câmpului de viteze a aerului prin tuburile aerodinamice (5-8)

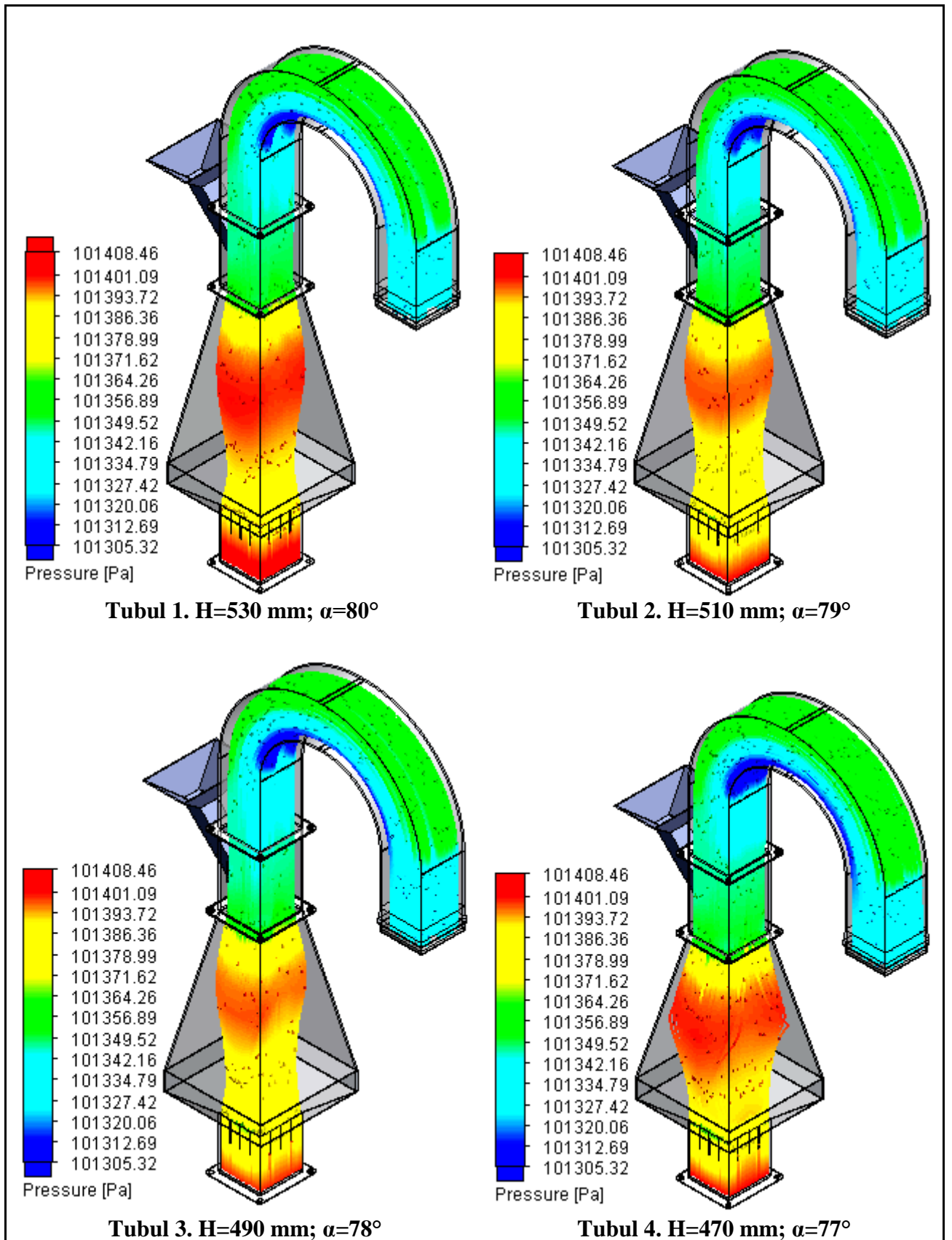


Fig. A3. 5 Simularea parcurgerii câmpului de presiune a aerului prin tuburile aerodinamice (1-4)

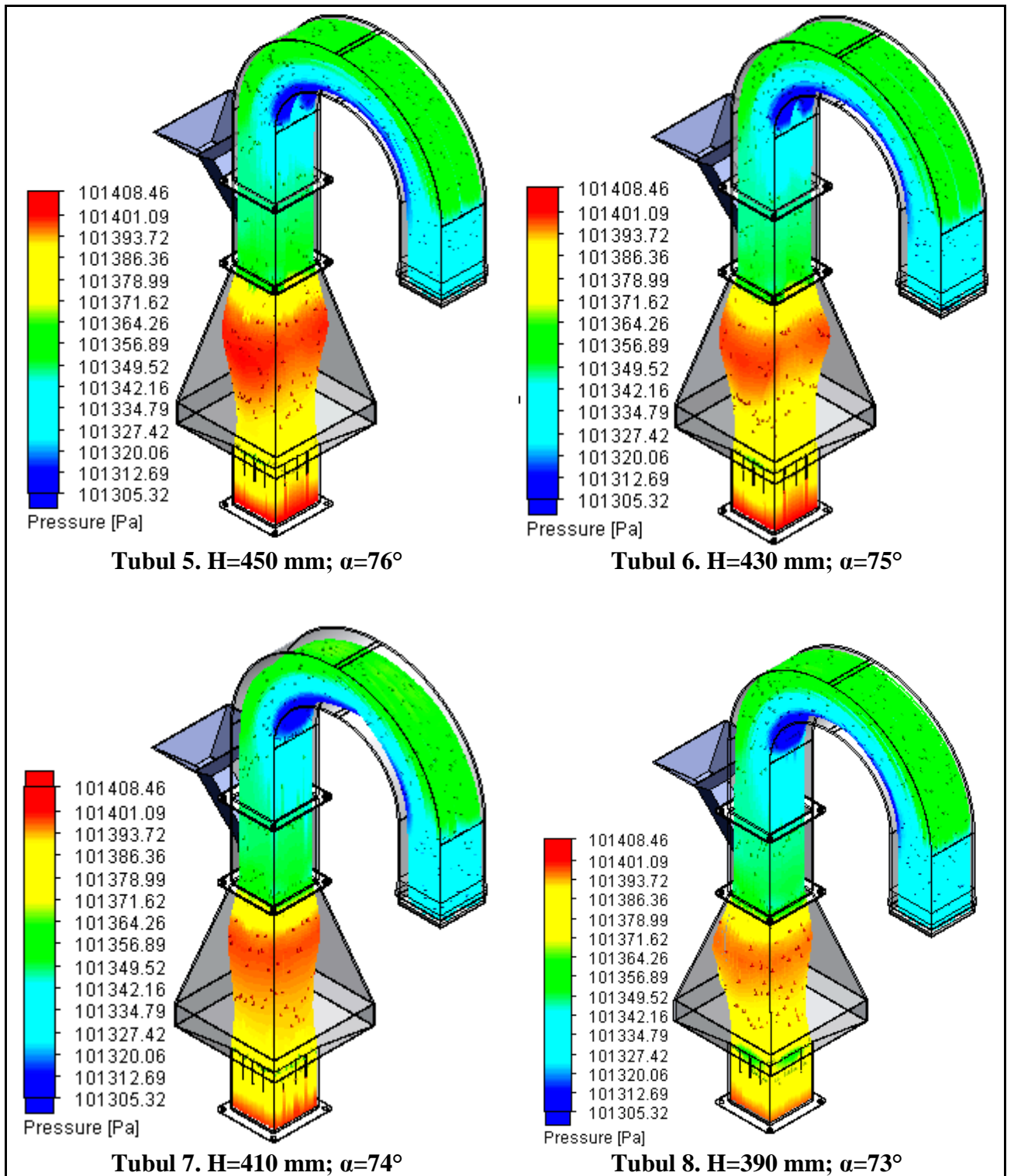


Fig. A3. 6 Simularea parcurgerii câmpului de presiune a aerului prin tuburile aerodinamice (5-8)

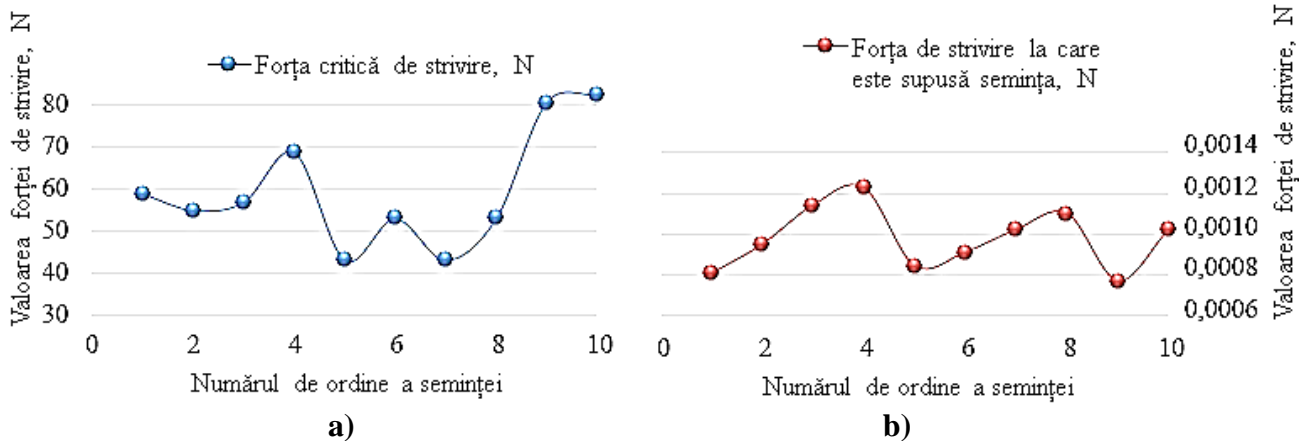


Fig. A3. 7. Variația forței critice și de strivire pentru semințele de struguri până la uscare

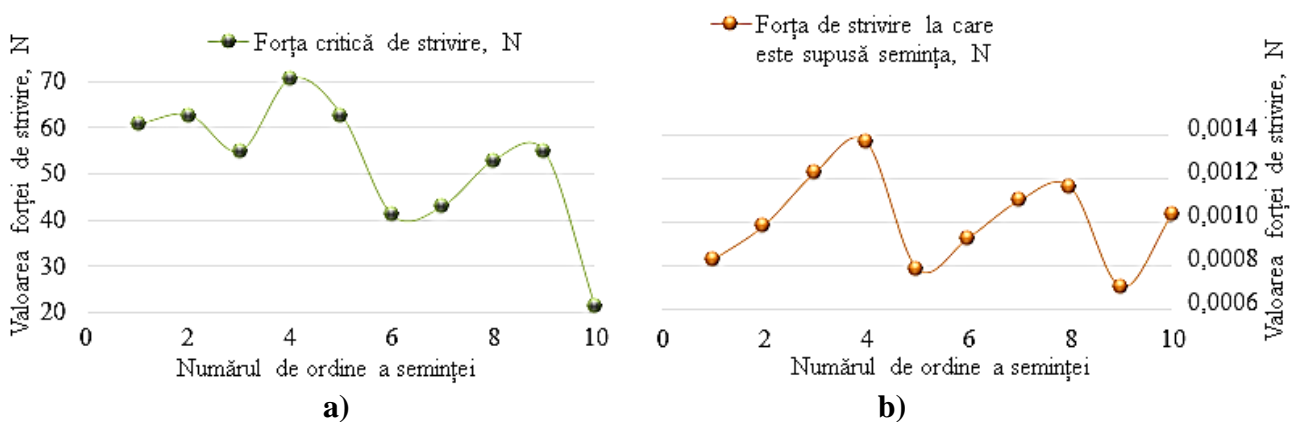


Fig. A3. 8. Variația forței critice și de strivire pentru semințele de struguri după uscare

Declarația privind asumarea răspunderii

Subsemnatul Balan Mihail, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.

Balan Mihail

Semnătura _____

Data ____ / ____ / _____

CV-ul candidatului



Informații personale:

Nume / Prenume: Balan Mihail
Adresă: s. Trebujeni, r. Orhei, Republica Moldova
Telefon: 069608610
E-mail(uri): mihail.balan@pmi.utm.md balanmihail.utm@mail.ru
Cetățenie: Moldovean
Data nașterii: 10.12.1990

Locul de muncă vizat / Domeniul ocupațional:

Universitatea Tehnică a Moldovei
Șef Biroul Protecția proprietății intelectuale și transfer tehnologic;
Doctorand. lector.univ.;

- Studii:**
- **Licență**, Universitatea Tehnică a Moldovei, 2011-2015, Mașini și Aparate în Industria Alimentară, Inginer licențiat.
 - **Masterat**, Universitatea Tehnică a Moldovei, 2015-2017, Inginerie Mecanică, Inginerie și activități inginerești.
 - **Doctorat**, Universitatea Tehnică a Moldovei, 2017-2020, Procese și Aparate în Industria Alimentară. (în curs de susținere).
- Stagii:**
- **Universitatea Tehnică a Moldovei**, 2014 – prezent.
 - **Centrul de Excelență în Viticultură și Vinificație**, 2014 – prezent.
 - **Curs de formare „Mecatronică”, Götz, Germania**, 2019.

Domenii de interes științific

Industria Alimentară

Participări în proiecte științifice naționale și internaționale:

- Naționale:**
- 1. Proiect de transfer tehnologic** nr. 187T ”Elaborarea și implementarea uscătoriei în bază de pelete pentru fructe și legume,, conform contractului nr. 187T, din 11.06.2014.
 - 2. Proiect de transfer tehnologic** nr. 208T ” Implementarea tehnologiei inovatoare de procesare a tescovinei de struguri pentru obținerea unei produceri non-deșeuri în industria vinicolă,, conform contractului nr. 208T, din 01.01.2016.
 - 3. Proiect instituțional** nr. 47/Inst. ” Sporirea eficacității proceselor de deshidratare a produselor vegetale cu utilizarea metodelor netradiționale ale aportului de energie,, perioada: 2015-2018.

4. **Proiect de dezvoltare a infrastructurii de inovare** ”Dezvoltarea și funcționarea Incubatorului Inovațional “Politehnica” și dezvoltarea infrastructurii acestuia prin consolidarea capacităților de promovare și diseminare a inovațiilor UTM,, perioada: 2019.
5. **Proiectul Tinerii cercetători nr. 18A** ”Simularea matematică computerizată a fenomenelor de transfer în produse vegetale umede la tratarea cu microunde,, perioada: 01.01.2019-31.12.2019.
6. **Proiect de stat nr. 20.80009.5107.09.”** Ameliorarea calității și siguranței alimentelor prin biotehnologie și inginerie alimentară,, perioada: 01.01.2020-31.12.2023.

Internaționale:

1. **Proiectul internațional** ”Livada Moldovei,, perioada: 01.01.2018-31.12.2020.
2. **Proiectul internațional nr. 2 SOFT/1.2/83** ” Intelligent valorisation of agro-food industrial wastes (INTELWASTES),, perioada: 01.01.2020-31.12.2022.

Participări în cadrul manifestărilor științifice:

Naționale:

1. Participare la conferința:”**Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților**”.Chișinău 2016.
2. Participare la: ”**Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor**,, Chișinău 2017.

Internaționale:

1. Participare la conferința: ”**MODERN TECHNOLOGIES IN THE FOOD INDUSTRY**” Chișinău 2014.
2. Participare la: Expoziția Internațională Specializată ”**Infoinvent - 2015**,, Moldexpo, Chișinău 2015.
3. Participare la conferința: ”**MODERN TECHNOLOGIES IN THE FOOD INDUSTRY**” Chișinău 2016.
4. Participare la conferința: ” **УДОСКОНАЛЕННАЯ ПРОЦЕСОВ І ОБЛАДНАННЯ-ЗАПОРУКА ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**” Kiev 2016.
5. Participare la: Simposiumul Internațional ”**EuroAliment – 2017**,, Galați 2017.
6. Participare la: Expoziția Internațională Specializată ”**Infoinvent - 2017**,, Moldexpo, Chișinău 2017.
7. Participare la: Simposiumul Internațional ”**Biotechnologies, Present and Perspectives**,, Suceava 2017.
8. Participare la: Simposiumul Internațional ”**EuroInvent – 2018**,, European Exhibition of Creativity and Innovation – Iași 2018.
9. Participare la: Salonul Internațional al Cercetării Științifice, Inovării și Inventicii ”**Pro-Invent-2018**,,
10. Participare la: Simposiumul Internațional ”**EuroInvent – 2018**,, Certificate of Excellence – Iași 2018.
11. Participare la conferința: ” **MODERN TECHNOLOGIES IN THE FOOD INDUSTRY**” Chișinău 2018.
12. Participare la: Simposiumul Internațional ”**EuroInvent – 2019**,, Certificate of Excellence – Iași 2019.

13. Participare la: Simposiumul Internațional ”**Inventica – 2019**,, Certificate of Excellence – Iași 2019.
14. Participare la: Simposiumul Internațional ”**Euroaliment – 2019**,, Certificate of Attendance – Galați 2019.
15. Participare la: Simposiumul Internațional ”**UGAL Invent – 2019**,, Diploma de excelență – Galați 2019.
16. Participare la: Expoziția Internațională Specializată ”**Infoinvent - 2019**,, Moldexpo, Chișinău 2019.
17. Participare la: Conferința Internațională ”**ЯКІСТЬ І БЕЗПЕКА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**,,– Kiev 2019.
18. Participare la: Simposiumul Internațional ”**EuroInvent – 2021**,, Certificate of Excellence – Iași 2021.
19. Participare la: Simposiumul Internațional ”**International Fair of Innovation and Creative Education for Youth (ICE-USV)** Suceava, ROMANIA,– 2021.
20. Participare la: Simposiumul Internațional ”**Inventica – 2021**,, Certificate of Excellence – Iași 2019.
21. Participare la: Salonul Internațional al Cercetării Științifice, Inovării și Inventicii ”**Pro-Invent-2021**,,
22. Participare la: Expoziția Internațională Specializată ”**Infoinvent - 2021**,, Moldexpo, Chișinău 2021.

Lucrări științifice și științifico-metodice publicate:

1. Articole în reviste științifice

1.1. BERNIC, Mircea., ȚISLINSCAIA, Natalia., BALAN, Mihail, *drying installation for granular products in the suspension layer* / Journal of Engineering Science, DOI: 10.5281/zenodo.3713368/ CZU 66.047.75, Vol. XXVII, no. 1 (2020), pp. 64 – 68, ISSN 2587-3474, eISSN 2587-3482. March, 2020, Vol. XXVII.

1.2. BALAN, Mihail, ȚISLINSCAIA, Natalia, DODON, Adelina, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail, GÎDEI, Igor, PATRAȘ, Antoanela *O metodă nouă de procesare: Uscarea în strat suspendat a semințelor de struguri.* / Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos, ISSN: 1857-0461, <https://doi.org/10.52673/18570461.21.3-62.02>, CZU:664.844.014/019: 663.26

1.3. VIȘANU, Vitali, ȚISLINSCAIA, Natalia, DODON, Adelina, BALAN, Mihail, MELENCIUC, Mihail, GÎDEI, Igor, *Procedeu de deshidratare a piersicilor prin convecție forțată* / Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos, ISSN: 1857-0461, (Articol acceptat în revista „AKADEMOS”)

1.4. ȚISLINSCAIA, Natalia, VIȘANU, Vitali, BALAN, Mihail, MELENCIUC Mihail, POPESCU, Victor, GÎDEI, Igor, *Installation for drying agri-food products by forced convection with volatile substances capture* / (Articol acceptat în revista „IEEE-2021”)

2. Articole în lucrările conferințelor și altor manifestări științifice

2.1. BERNIC, Mircea, ȚISLINSKAIA, Natalia, ZAVIALOV, Volodymyr, **BALAN, Mihail**, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail Aerodynamic properties of grape seeds. "Euro-Aliment 2017" Galați University Press 2017. – p.80-81- ISSN, 1843-5114.

2.2. BERNIC, Mircea, ȚISLINSKAIA, Natalia, RĂDUCAN, Marcel, VIȘANU, Vitali, **BALAN, Mihail**, MELENCIUC, Mihail, Peaches drying specifics. "Euro-Aliment 2017" Galați University Press 2017. – p.80-81- ISSN, 1843-5114.

2.3. BERNIC, Mircea, ȚISLINSKAIA, Natalia, ZAVIALOV, Volodymyr, MELENCIUC, Mihail, VIȘANU, Vitali, **BALAN, Mihail**, A comparative study of different pear drying methods "Euro-Aliment 2017" Galați University Press 2017. – p.80-81- ISSN, 1843-5114.

2.4. BERNIC, Mircea, ȚISLINSKAIA, Natalia, RĂDUCAN, Marcel, **BALAN, Mihail**, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail Grape seeds drying agent velocity optimization. "Biotechnologies, present and perspectives" Suceava University Press 2018. – p.10- ISSN, 2068-0819.

2.5. BERNIC, Mircea, ȚISLINSKAIA, Natalia, DESEATNICOVA, Olga VIȘANU, Vitali, **BALAN, Mihail**, MELENCIUC, Mihail, Peaches drying process particularities. "Biotechnologies, present and perspectives" Suceava University Press 2018. – p.11- ISSN, 2068-0819.

2.6. BERNIC, Mircea, ȚISLINSKAIA, Natalia, **BALAN, Mihail**, GUȚU, Marin, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail Installation for the experimental study for kinetics of drying process in the suspended layer /proceedings of internațional conference " Euro-Aliment 2019" ch.: Galați University Press 2019. – p.69 – ISSN, 1843–5114.

2.7. BERNIC, Mircea, ȚISLINSKAIA, Natalia, VIȘANU, Vitali, **BALAN, Mihail**, MELENCIUC, Mihail, Researches in the drying field of peaches /proceedings of internațional conference " Euro-Aliment 2019" ch.: Galați University Press 2019. – p.66 – ISSN, 1843–5114.

2.8. BERNIC, Mircea, LUPAȘCO, Andrei, ȚISLINSKAIA, Natalia, IVANOV, Leonid, **BALAN, Mihail**, MELENCIUC, Mihail, VIȘANU, Vitali, fruits and vegetables drying process with renewable energy source application / proceedings of internațional conference " Modern technologies in the food industry" ch.: Tehnica info 2014. – p.20 – 23 – ISBN, 978–9975–80–840-8;

2.9. BERNIC, Mircea, ȚISLINSKAIA, Natalia, ZAVIALOV, Volodymyr, VIȘANU, Vitali, **BALAN, Mihail**, MELENCIUC, Mihail *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;

2.10. BERNIC, Mircea, UZUN, Valentina, COȘMAN, Sergiu, **BALAN, Mihail**, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail *Winemaking domain wasteless technologies application* /proceedings of internațional conference " Modern technologies in the food industry" ch.: Tehnica info 2016.– p.25 – 26 – ISBN, 978–9975–87–138-9;

2.11. ȚISLINSCAIA, Natalia, BERNIC, Mircea, **BALAN, Mihail**, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail *Plums drying process auxiliary operations mechanisation. /proceedings of international conference "Modern technologies in the food industry"* ch.: Tehnica info 2016. – p.95 – 98 – ISBN, 978–9975–87–138-9;

2.12. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, Natalia, **BALAN, Mihail**, GUȚU, Marin, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail *Drying instalation for granular products in the suspention layer /proceedings of international conference "Modern technologies in the food industry"* ch.: Tehnica info 2018. – p.19 – 22 – ISBN, 978–9975–87–428-1.

2.13. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, Natalia, VIȘANU, Ion, VIȘANU, Vitali, **BALAN, Mihail**, *Study of draying sugar sorghum process /proceedings of international conference "modern technologies in the food industry"* ch.: Tehnica info 2018. – p.35 – 42 – ISBN, 978–9975–87–428-1.

2.14. ȚISLINSCAIA, Natalia, BERNIC, Mircea, MELENCIUC, Mihail, RĂDUCAN, Marcel, VIȘANU, Vitali, **BALAN, M.**, *Le sechage despoires sous une atmosphere modifiee de co2 /proceedings of international conference "modern technologies in the food industry"* Ch.: Tehnica Info 2018. – p.297 – 302 – ISBN, 978–9975–87–428-1.

2.15. POPESCU Victor, MALAI Leonid, **BALAN Mihail**, VOLCONOVICI Onorin, MALAI Cristian, *Instalație robustă pentru întreprinderile din sectorul agrar*, Simpozionului Științific Internațional "Reglementarea utilizării resurselor naturale: realizări și perspective" Chișinău 2022, p 423-425. CZU: 631.371, ISBN 978-9975-64-328-3.

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

3.1.

3.2. BERNIC, Mircea, LUPAȘCO, Andrei, ȚISLINSCAIA, 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;

3.3. BERNIC, Mircea , ȚISLINSCAIA, Natalia , **BALAN, Mihail**, POPESCU Victor, VIȘANU, Vitali , MELENCIUC, Mihail. *Instalație de uscare a produselor granulare în strat de suspensie.* MD 1249 din 15.02.2018.

3.4. Universitatea Tehnică a Moldovei, BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, 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.

3.5. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, Natalia , **BALAN, Mihail**, VIȘANU, Vitali , MELENCIUC, Mihail. *Instalație de uscare pentru fructe și legume.* MD 1295 31.12.2018.

3.6. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, Natalia , **BALAN, Mihail**, VIȘANU, Vitali , MELENCIUC, Mihail. *Instalație de uscare a produselor granulare în strat de suspensie.* MD 1278 din 2018.03.30.

3.7. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, Natalia , **BALAN, Mihail,** VIȘANU, Vitali , MELENCIUC, Mihail. *Instalație de uscare a produselor granulare în strat de suspensie.* MD 1481 din 2019.03.31.

3.8. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, Natalia , **BALAN, Mihail,** VIȘANU, Vitali , MELENCIUC, Mihail. *Instalație de uscare a produselor granulare în strat suspendat.* MD 1558 din 2020.11.25.

3.9. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, Natalia , **BALAN, Mihail,** VIȘANU, Vitali , MELENCIUC, Mihail, SANDU, Andrei-Victor., PATRAȘ, Antoanela. *Procedeu de uscare a produselor granulare în strat suspendat.* HOTĂRÂRE pozitivă de acordare nr. 9901 din 2021.10.15.

3.10. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, Natalia , **BALAN, Mihail,** VIȘANU, Vitali , MELENCIUC, Mihail. *Procedeu de uscare prin metoda combinată a produselor granulare în strat suspendat.* HOTĂRÂRE pozitivă de acordare nr. 9902 din 2021.10.15.

3.11. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, 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.

3.12. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, Natalia , **BALAN, Mihail,** VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail, SANDU, Andrei-Victor, ȚURCANU, Dinu. *Instalație de uscare a produselor granulare în strat suspendat.* HOTĂRÂRE pozitivă de acordare nr. 9810 din 2021.06.07.

3.13. VIȘANU, Vitali, ȚISLINSCAIA, 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.

3.14. VIȘANU, Vitali, ȚISLINSCAIA, 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.

3.15. BERNIC, Mircea, ȚISLINSCAIA, Natalia, VIȘANU, Vitali, **BALAN, Mihail,** MELENCIUC, Mihail, „Procedeu de uscare a prin convecție în mediu modificat de CO₂”. Cerere BI nr. 2186 din 2021.04.01.

3.16. **BALAN, Mihail,** ȚISLINSCAIA, Natalia, VIȘANU, Vitali, MELENCIUC, Mihail, ȚURCANU, Dinu, POPESCU, Victor. *Instalație de uscare modulară.* Cerere BI nr. 2245 din 2021.09.27.

**Premii, mențiuni,
distincții, titluri onorifice:**

- 1.** Diplomă de participare la: conferința Simposiumul Internațional ”EuroAliment - 2017”, Galați 2017.
- 2.** Diplomă de participare la: ”Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor,, Chișinău 2017.
- 3. Medalia de argint,** Diplomă de participare la: Expoziția Internațională Specializată ”Infinvent -2017,, Chișinău 2017.
- 4. Medalia de aur,** Diplomă de excelență la: Simposiumul Internațional ”EuroInvent – 2018,, European Exhibition of Creativity and Innovation – Iași 2018.

5. **Medalia de aur**, Diplomă de excelență la: Salonul Internațional al Cercetării Științifice, Inovării și Inventicii ”Pro-Invent,- Cluj-Napoca 2018.
6. **Medalia de aur**, Diplomă de excelență la: Simposiumul Internațional ”EuroInvent – 2018,, Certificate of Excellence – Iași 2018.
7. **Medalia de bronz**, ”Instalație de Uscare pentru Fructe și Legume” Târgul Internațional de Inventică și Educație Creativă pentru Tineret, ediția a II-a Suceava - 2018.
8. **Diplomă de gradul II** ”Laureat al anului în domeniul creativității tehnice,- Chișinău 2018.
9. **Medalia de aur**, Simposiumul Internațional ”EuroInvent – 2019,, European Exhibition of Creativity and Innovation – Iași 2019.
10. **Medalia de argint**, Simposiumul Internațional ”Innovation and Creative Education Fair for Youth ICE - USV - IIIrd Edition,, – Suceava 2019.
11. **Medalia de aur**, Simposiumul Internațional ”Inventica – 2019,, European Exhibition of Creativity and Innovation – Iași 2019.
12. **Medalia de aur**, Simposiumul Internațional ”UGAL Invent – 2019,, – Galați 2019.
13. **Diplomă de excelență**, Simposiumul Internațional ”Inventica – 2019,, European Exhibition of Creativity and Innovation – Iași 2019.
14. **Certificate of Attendance**, Simposiumul Internațional ”Euroaliment – 2019,, – Galați 2019.
15. **Diplomă de excelență**, Simposiumul Internațional ”UGAL Invent – 2019,, – Galați 2019.
16. **Diplomă**, Simposiumul Internațional ”UGAL Invent – 2019,, – Galați 2019.
17. **Trofeul „UGAL Invent – 2019”**, Simposiumul Internațional ”UGAL Invent – 2019,, – Galați 2019.
18. **Diplomă de articipare la:** Conferința Internațională ”ЯКІСТЬ І БЕЗПЕКА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ,, – Kiev 2019.
19. **Diplomă de gradul II** – Cel mai bun doctorand al anului 2019. UTM, Chișinău – 2019.
20. **Diplomă de merit „INFOINVENT 2019”** – Cel mai bun proiect de tineri cercetători al anului 2019, Chișinău – 2019.
21. **Medalia de aur**, ”Instalație de Uscare pentru Fructe și Legume” Simposiumul Internațional „INFOINVENT 2019” – Chișinău 2019.
22. **Medalia de aur**, ”Drying plant for fruits and vegetables” Simposiumul Internațional „INFOINVENT 2019” – Chișinău 2019.
23. **Medalia de argint**, ”Instalație de Uscare pentru Fructe și Legume” Simposiumul Internațional „INFOINVENT 2019” – Chișinău 2019.
24. **Medalia de aur**, Diplomă de excelență la: Simposiumul Internațional ”EuroInvent – 2020,, European Exhibition of Creativity and Innovation – Iași 2020.
25. **Medalia de aur**, Simposiumul Anniversary edition of the international invention innovation competition in Canada ”ICAN 2020” – Toronto, Canada 2020.

26. **Medalia de aur**, Diplomă de excelență la: Salonul Internațional al Cercetării Științifice, Inovării și Inventicii ”**Pro-Invent**,- Cluj-Napoca 2020.
27. **Medalia de aur**, Simposiumul Hrvatski salon inovacija s međunarodnim sudjelovanjem INTERNAȚIONAL INVENTION SHOW ”INOVA 2020” – Toronto, Canada 2020.
28. **Medalia de aur**, Simposiumul Internațional ”Inventica – 2020,, European Exhibition of Creativity and Innovation – Iași 2020.
29. **Medalia de aur**, Simposiumul Wico World Invention Creativity Olympic ”WICO 2020” – Korea 2020.
30. **Medalia de bronz**, Simposiumul National Research Council of Thailand ”NRCT 2020” – Bangkok, Tailanda 2020.
31. **Medalia de Argint**, Simposiumul Internațional Exhibition ”InventCor 2020” – Deva, România 2020.
32. **Business Award**, Simposiumul Internațional Exhibition ”InventCor 2020” – Deva, România 2020.
33. **Medalia de aur**, Diplomă de excelență la: Simposiumul Internațional ”EuroInvent – 2021,, Certificate of Excellence – Iași 2021.
34. **Medalia de argint**, Simposiumul Internațional ”Innovation and Creative Education Fair for Youth ICE - USV - IIIrdEdition,, – Suceava 2021.
35. **Medalia de bronz**, Simposiumul Internațional ”Innovation and Creative Education Fair for Youth ICE - USV - IIIrdEdition,, – Suceava 2021.
36. **Medalia de aur și Premiul Special** Simposiumul Internațional Invention and Innovation Show”INTARG 2021” – Polonia 2021.
37. **Medalia de aur**, Diplomă de excelență la: Simposiumul Internațional ”Inventica – 2021,, Certificate of Excellence – Iași 2021.
38. **Medalia de aur**, Diplomă de excelență la: Simposiumul Internațional ”Inventica – 2021,, Certificate of Excellence – Iași 2021.
39. **Medalia de aur**, Diplomă de excelență la: Salonul Internațional al Cercetării Științifice, Inovării și Inventicii ”**Pro-Invent 2021**,, Cluj-Napoca 2021.
40. **Medalia de aur**, Diplomă de excelență la: Salonul Internațional al Cercetării Științifice, Inovării și Inventicii ”**Pro-Invent 2021**,, Cluj-Napoca 2021.

Cunoașterea limbilor: Rusă, Franceză, Engleză

	Înțelegere		Vorbire		Scriere
	Ascultare	Citire	Participare la conversație	Discurs oral	Exprimare scrisă
Limba:	Rusă	Rusă	Rusă	Rusă	Rusă
Limba:	Franceză	Franceză	Franceză	Franceză	Franceză
Limba:	Engleză (B2)	Engleză (B2)	Engleză (B2)	Engleză (B2)	Engleză (B2)

Adresă serviciu: Bd. Ștefan cel Mare, 168, MD-2004, Chișinău, Republica Moldova