

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei**

**Facultatea Inginerie Mecanică Industrială și Transporturi**

**Departamentul Inginerie Mecanică**

**Programul de master „Inginerie Mecanică”**

**Admis la susținere**

**Șef departament**

**dr., conf.univ. N.Țislinscaia**

**„\_\_\_\_\_”\_\_\_\_\_2021**

**STUDIUL METODELOR EFICIENTE DE  
DESHIDRATARE A FRUCTELOR ȘI  
LEGUMELOR ÎN INSTALAȚII CE  
UTILIZEAZĂ SURSE REGENERABILE DE  
ENERGIE**

**Teză de master**

**Student \_\_\_\_\_Voinovan Mircea, IM-201**

**Conducător \_\_\_\_\_ Gîdei Igor,  
lector. univ.**

**Chișinău - 2022**

## ADNOTARE

Voinovan Mircea „**Studiul metodelor eficiente de deshidratare a fructelor și legumelor în instalații ce utilizează surse regenerabile de energie**”. Teza de master în inginerie mecanică, Chișinău, 2021. Introducere, 3 capitole, concluzii, bibliografie -38 surse citate, 66 pagini, 48 figuri.

**Cuvinte-cheie:** Instalație, pompă de căldură, surse regenerabile, surse de energie, uscare.

**Scopul lucrării:** Studiul metodelor eficiente de deshidratare a fructelor și legumelor în instalații ce utilizează surse regenerabile de energie.

**Obiectivele de bază ale lucrării:** Constă în studiul metodelor eficiente de deshidratare a fructelor și legumelor în instalații ce utilizează surse regenerabile de energie.

**Capitolul I:** În aspecte teoretice sunt arătate metode de uscare și surse regenerabile de energie utilizate la uscare, deasemenea este descris procesul de uscare, agenții de uscare, factorii ce influențează procesul de uscare fazele procesului de uscare, durata procesului de uscare în dependență de tipul produsului și consumul de energie electrică pentru uscarea.

**Capitolul II:** Sunt clasificate și descrise mai multe tipuri de instalații de uscare, ce utilizează surse regenerabile de energie. Utilizare instalațiilor de uscare este în dependență de destinație. Instalațiile de uscare sunt divizate în 3 categorii: a) instalații ce utilizează pompa de căldură și colector solar; b) instalații de uscare cu colector solar, pompă de căldură și cuptor cu biomasă; c) instalații de deshidratare solare.

**Capitolul III:** Este caracterizat prin instalația de uscare a fructelor și legumelor cu pompă de căldură și colector solar. Argumentarea utilizării pompei de căldură și colectorului solar, studiul agenților frigorifici ce pot fi utilizați pentru funcționarea instalației de uscare, selectarea agentului frigorific ecologic, prototipul instalației de uscare și studiul ceretării experimentale.

La finele lucrării sunt prezentate unele concluzii și recomandări.

## ANNOTATION

Voinovan Mircea "**Study of efficient methods of dehydration of fruits and vegetables in installations that use renewable energy sources**". Master's thesis in mechanical engineering, Chisinau, 2021. Introduction, 3 chapters, conclusions, bibliography -38 cited sources, 66 pages, 48 figures.

**Keywords:** Installation, heat pump, renewable sources, energy sources, drying.

**Studies domain:** Mechanical Engineering.

**Aim of the paper:** The study of efficient methods of dehydration of fruits and vegetables in installations that use renewable energy sources.

**The main objectives of the paper:** It consists in the study of efficient methods of dehydration of fruits and vegetables in installations that use renewable energy sources.

**Chapter I:** Theoretical aspects show drying methods and renewable energy sources used for drying, also describes the drying process, drying agents, factors influencing the drying process phases of the drying process, the duration of the drying process depending on the type product and electricity consumption for drying.

**Chapter II:** Several types of drying installations using renewable energy sources are classified and described. Use of drying facilities depends on the destination. Drying installations are divided into 3 categories: a) installations using heat pump and solar collector; b) drying installations with solar collector, heat pump and biomass oven; c) solar dehydration installations.

**Chapter III:** It is characterized by the installation of drying fruits and vegetables with heat pump and solar collector. Argumentation of the use of the heat pump and the solar collector, the study of the refrigerants that can be used for the operation of the drying installation, the selection of the ecological refrigerant, the prototype of the drying installation and the study of the experimental heating.

At the end of the paper, some conclusions and recommendations are presented.

## CUPRINS

Introducere .....	9
1. STUDIUL TEORETIC AL METODELOR DE USCARE ȘI A SURSELOR REGENERABILE DE ENERGIE UTILIZATE LA USCARE.....	11
1.1. Procesul de uscare a produselor agroalimentare .....	11
1.2. Noțiuni generale despre uscare .....	11
1.3. Clasificarea procesului de uscare după criterii.....	12
1.4. Tipurile principale de uscătoare.....	14
1.5. Agenții de uscare.....	16
1.5.1. Proprietățile aerului ca agent de uscare.....	16
1.5.2. Proprietățile CO <sub>2</sub> ca agent de uscare .....	16
1.5.3. Silicagel ca agent de uscare .....	16
1.5.4. Utilizarea gazelor de ardere ca agent de uscare .....	17
1.6. Factorii care influențează uscarea .....	17
1.6.1. Material primă.....	17
1.6.2. Forma și gradul de mărunțire a materiei prime .....	17
1.6.3. Așezarea materiei prime pe cărucioare .....	18
1.6.4. Temperatura și umiditatea aerului.....	19
1.6.5. Viteza aerului .....	20
1.6.6. Distribuția aerului .....	21
1.7. Fazele procesului de uscare.....	22
1.7.1. Faza de încălzire.....	24
1.7.2. Faza de condiționare .....	24
1.7.3. Faza de uscare .....	25
1.7.4. Faza de egalizare.....	25
1.7.5. Faza de răcire .....	25
1.8. Conținutul final de apă al produselor uscate .....	25
1.9. Clasificarea instalațiilor de uscare .....	26
1.10. Surse de energie regenerabilă utilizată de instalația de uscare.....	27
1.10.1. Energia eoliană.....	28
1.10.2. Energia solară.....	29
1.10.3. Energia din biomasă.....	31
1.11. Etapele procesului de uscare pentru calculul energetic.....	32
1.12. Consumul energetic pentru uscare a 100kg apă evaporată .....	33
1.13. Durata procesului de uscare în dependență de tipul produsului.....	36

1.14.	Estimarea costului procesului de uscare .....	36
2.	INSTALAȚII DE USCARE CE UTILIZEAZĂ SURSE REGENERABILE DE ENERGIE .....	40
2.1.	Instalații de deshidratare cu pompă de căldură și colector solar .....	40
2.1.1.	Sistemul de uscare a ciupercilor.....	40
2.1.2.	Instalație de uscare cu pompă de căldură și colector solar pentru uscarea maniocului.....	41
2.1.3.	Instalație de uscare a bananelor cu colector cu plăci și pompă de căldură .....	41
2.1.4.	Instalație de uscare mango, dotată cu colector solar și pompă de căldură .....	42
2.1.5.	Instalație de uscare chili, dotată cu colector solar și pompă de căldură.....	43
2.1.6.	Instalație de uscare cu pompă de căldură și colector solar pentru uscare cereale .....	45
2.1.7.	Instalație de uscare cu pompă de căldură și colector pentru uscare coriandru.....	45
2.1.8.	Instalația pentru uscare -Agrişă indiană.....	47
2.2.	Instalație de uscare cu colector solar, pompă de căldură și cuptor cu biomasă .....	47
2.2.1.	Instalație de uscare a orezului .....	47
2.2.2.	Instalație de uscare chili roșu în indonezia cu colector solar și pompă de căldură și cuptor cu biomasă .....	49
2.3.	Instalații de deshidratare solare.....	49
2.3.1.	Uscătorul solar de tip tunel model Hohenheim.....	49
2.3.2.	Uscător solar de tip heliuscător .....	50
3.	INSTALAȚIE DE USCARE A FRUCTELOR ȘI LEGUMELOR CU POMPĂ DE CĂLDURĂ ȘI COLECTOR SOLAR .....	53
3.1.	Argumentarea utilizării pompei de căldură și colectorului solar .....	53
3.2.	Selectarea agentului frigorific ecologic .....	53
3.3.	Prototipul instalației de uscare .....	56
3.4.	Studiul cercetării experimentale.....	58
3.5.	Rezultatele primite în urma experiențelor.....	63
	Concluzii .....	65
	Bibliografia .....	66

## INTRODUCERE

Uscarea este un procedeu de schimb de căldură și de masă pentru îndepărtarea lichidului din substanțe solide, lichide sau amestecurile lor prin procesul de evaporare. Cel mai adesea, lichidul care trebuie îndepărtat este umiditatea sau solvenții organici volatili. În cel mai general caz, procesul de uscare are loc după cum urmează: un curent de gaz încălzit, care dă căldură materialului prelucrat, absoarbe lichidul evaporat de el, îndepărtându-se din masa totală a substanței. Deseori uscarea este ultima etapă a procesului de producție, care precedă imediat vânzarea sau ambalarea produselor.

Creșterea globală a cererii de energie conduce la creșterea corespunzătoare a ratei de epuizare a combustibililor fosili. Aceste probleme moderne complexe necesită eforturi comune din punct de vedere energetic. Managementul și inovația tehnologică prezintă abordări practice pentru rezolvarea problemelor energetice.

Energia regenerabilă, cum ar fi energia solară, eoliană și energia obținută din biocombustibil este o alternativă foarte bună deoarece aceste sursele de energie sunt mai favorabile datorită abundenței lor și inofensivi pentru mediu [1]. Utilizarea în prezent a petrolului, cărbunului și a altor zăcămintele fosile, deși este necesară, adesea duce la emisii de gaze toxice și nocive către mediu înconjurător. Alternativa, este utilizarea surselor regenerabile, fără îndoială cel mai puțin nociv, utilizarea energiei solare unde emisia este aproximativ zero. În acest sens, două tehnologii de vârf au fost identificate: panou fotovoltaic (PF) și solar colectoare termice [2].

Primul produce energie electrică, în timp ce acesta din urmă este folosită în scopuri de încălzire și deci produce energie termică. Principalele avantaje ale solare sunt abundența lor, costul energiei produse este gratuit și emisiile zero [3].

Tehnologiile solare pot fi utile pentru locuințe, scopuri comerciale și industriale în diferite domenii de producție. Multe aplicații care derivă din sistemele de energie solară sunt pomparea apei calde, încălzitoare solare rezidențiale de apă, preîncălzire în scopuri industriale și asistate de pompe de căldură. Prin urmare, pompele de căldură absorb căldura din mediul rece și o eliberează în medii mai calde folosind energie electrică [4]. Pompele de căldură tipice constau dintr-un condensator, o supapă de expansiune, un evaporator și un compresor, ca patru componente principale; lucrând într-un ciclu.

Transferul de căldură este efectuat de agentul frigorific [5]. Sistemele cu pompe de căldură prezintă o alternativă eficientă pentru recuperarea căldurii din diverse surse pentru utilizare în diferite aplicații la configurație rezidențială, comercială și industrială. Valoarea pompelor de căldură este evidențiată de necesitatea de a reduce costul energiei și îmbunătățirea generală eficienței energetice. Prin urmare, aceste tehnologii sunt critice pentru sistemul de recuperare a energiei și au un potențial masiv de economisire a energiei. Pompele de căldură asistate de energia solară reprezintă un nou sistem hibrid care utilizează energia solară ca sursă de căldură pentru pompa de căldură. Prin acest sistem hibrid, performanța este semnificativ îmbunătățită și costurile de energie sunt reduse substanțial [6]. Acest sistem are un potențialul de îmbunătățire a performanței pompei de căldură, impact mai bun asupra mediului și costuri mai mici. [7]

Ca exemplu Chaturvedi [7] a propus sistemul ce colectează simultan energia solară și evaporă agentul frigorific într-un singur element. Pompa de căldură asistată de soare (PCAS), acest proces se petrece în două elemente. Noutatea de studiu lor a fost în aplicarea unui convertizor de frecvență pentru a regla viteza compresorului pentru a se potrivi capacitatea pompei de căldură și capacitatea de evaporare a colectorului pentru diferite condiții ambientale. Studiul lor examinează modificările termice și performanța pompei de căldură datorită modificărilor în capacitatea compresorului. Autorii susțin că atunci când temperatura ambiantă crește, de la iarnă la vară, scăderea vitezei compresorului ce duce la îmbunătățirea semnificativă a coeficientului de performanță al sistemului. Rezultatele lor experimentale arată, de asemenea, că la mediu mai ridicat temperatura, sezonul de vară, rata de căldură realizată din sistem este mai mare, spre deosebire de condițiile sezonului de iarnă. Cervantes et al. [8] a investigat eficiența unei PCAS cu extindere directă a agent frigorific din colectorul solar. Energia, debitul în fiecare componentă din ciclul pompei de căldură a fost determinată ținând cont de performanță coeficienți și parametri tipici. În final au fost efectuate experimente cu iradierea solară variind între 200 W/m<sup>2</sup> și 1100 W/m<sup>2</sup> temperatura ambiantă cuprinsă între 20 °C și 32 °C. În timp ce, consumul de energie electrică de compresorul era în jur de 1,1 kW până la 1,36 kW. Studiul arată că instalația posedă o eficiență sporită și poate fi implementat în diferite domenii.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] N. A. Ludin, N. I. Mustafa, M. M. Hanafiah, M. A. Ibrahim, M. A. M. Teridi, S. Sepeai, A. Zaharim and K. Sopian, "Prospects of life cycle assessment of renewable energy from solar photovoltaic technologies: a review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 96, pp. 11- 28, 2018
- [2] H. A. Kazem, "Renewable energy in Oman: Status and future prospects," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 8, pp. 3465-3469, 2011.
- [3] H. M. Al-Maamary, H. Kazem, and M. Chaichan, "Changing the Energy Profile of the GCC States: A Review," *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, vol. 11, no. 3, pp. 1980-1988, 2016.
- [4] J. Bundschuh and G. Chen, *Sustainable energy solutions in agriculture*. CRC Press, 2014.
- [5] B. C. Langley, *Heat pump technology*. Prentice Hall Upper Saddle River, 2002
- [6] K. J. Chua, S. K. Chou, and W. Yang, "Advances in heat pump systems: A review," *Applied energy*, vol. 87, no. 12, pp. 3611-3624, 2010
- [7] S. Chaturvedi, D. Chen, and A. Kheireddine, "Thermal performance of a variable capacity direct expansion solarassisted heat pump," *Energy Conversion and management*, vol. 39, no. 3-4, pp. 181-191, 1998.
- [8] J. G. Cervantes and E. Torres-Reyes, "Experiments on a solar-assisted heat pump and an exergy analysis of the system," *Applied Thermal Engineering*, vol. 22, no. 12, pp. 1289-1297, 2002
- [9] SC. Blue Spark Systems SRL. RO24463819, J40/15560/2008 <https://uscatoare-fructe.ro/>
- [10] <https://biblioteca.regielive.ro/cursuri/industria-alimentara/procese-si-tehnologii-de-uscarea-196669.html>
- [11] <https://cadredidactice.ub.ro/gavrilalucian/files/2016/11/Uscarea.pdf>
- [12] <https://ro.wikipedia.org/wiki/>
- [13] Arkema Baker. ș.a. – Modelarea si analiza uscatoarelor de cereale, ASAE, 1997. [2]
- [14] Banu C. – Manualul inginerului din industria alimentară. Editura Tehnică, București, 1998.
- [15] T. Maor and J. Appelbaum, "View factors of photovoltaic collector systems," *Solar Energy*, vol. 86, no. 6, pp. 1701-1708, 2012/06/01/ 2012.
- [16] M. A. Hasan and S. K. Parida, "An overview of solar photovoltaic panel modeling based on analytical and experimental viewpoint," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 75-83, 2016/07/01/ 2016.
- [17] J. Yazdanpanahi and F. Sarhaddi, "Irreversibility Rates in a Solar Photovoltaic/Thermal Water Collector: An Experimental Study," *Heat Transfer Research*, vol. 48, no. 8, 2017



[18] M. E. A. Slimani, M. Amirat, I. Kurucz, S. Bahria, A. Hamidat, and W. B. Chaouch, "A detailed thermal-electrical model of three photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid air collectors and photovoltaic (PV) module: Comparative study under Algiers climatic conditions," *Energy conversion and management*, vol. 133, pp. 458-476, 2017.

[19] E. H. Kuzgunkaya and A. Hepbasli, "Exergetic performance assessment of a ground-source heat pump drying system," *International Journal of Energy Research*, vol. 31, no. 8, pp. 760-777, 2007

[20] <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/ro/sheet/70/energia-din-surse-regenerabile>

[21] M. Yahya, H. Fahmi, A. Fudholi, and K. Sopian, "Performance and economic analyses on solar-assisted heat pump fluidised bed dryer integrated with biomass furnace for rice drying," *Solar Energy*, vol. 174, pp. 1058-1067, 2018/11/01/ 2018

[22] S. Şevik, M. Aktaş, H. Doğan, and S. Koçak, "Mushroom drying with solar assisted heat pump system," *Energy Conversion and Management*, vol. 72, pp. 171-178, 2013/08/01/ 2013

[23] M. Yahya, A. Fudholi, H. Hafizh, and K. Sopian, "Comparison of solar dryer and solar-assisted heat pump dryer for cassava," *Solar Energy*, vol. 136, pp. 606-613, 2016/10/15/ 2016

[24] M. Kuan, Y. Shakir, M. Mohanraj, Y. Belyayev, S. Jayaraj, and A. Kaltayev, "Numerical simulation of a heat pump assisted solar dryer for continental climates," *Renewable Energy*, vol. 143, pp. 214-225, 2019/12/01/ 2019.

[25] Y. Wang, M. Li, Y. Qiu, Q. Yu, X. Luo, G. Li and X. Ma, "Performance analysis of a secondary heat recovery solar-assisted heat pump drying system for mango," *Energy Exploration & Exploitation*, p. 0144598718823937, 2019.

[26] B. Q. Huy, "Experiment Investigation on a Solar Asisted Heat Pump Dryer for Chili," *International Journal of Energy and Environmental Science*, vol. 3, no. 1, p. 37, 2018.

[27] M. Dezfouli, S. Mat, M. H. Ruslan, and K. Sopian, "Evaluation of drying chili by two methods: solar assisted heat pump dryer and open sun drying," in *Proceedings of the 1st International Conference on Environmental Informatics (ENINF'13)*, pp. 112-116.

[28] Z. A. A. Majid, M. Y. Othman, M. H. Ruslan, S. Mat, B. Ali, A. Zaharim and K. Sopian, "Multifunctional solar thermal collector for heat pump application," in *Proceedings of the 3rd WSEAS int. conf. on renewable energy sources, 2009*, pp. 342-346

[29] M. Yahya, "Design and performance evaluation of a solar assisted heat pump dryer integrated with biomass furnace for red chilli," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2016, 2016

[30] Y. Li, H. F. Li, Y. J. Dai, S. F. Gao, Lei Wei, Z. L. Li, I. G. Odinez and R. Z. Wang, "Experimental investigation on a solar assisted heat pump in-store drying system," *Applied Thermal Engineering*, vol. 31, no. 10, pp. 1718-1724, 2011.

[31] A. Alishah, M. V. Kiamahalleh, F. Yousefi, A. Emami, and M. V. Kiamahalleh, "Solar-Assisted Heat Pump Drying of Coriander: An Experimental Investigation," *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, vol.26, no.4, p.1850037, 2018.

[32] H. Jafarian, K. R. Tabatabaei, and S. S. Mousavi, "Experimental Investigation on Dill Drying in a Solar Assisted Heat Pump Dryer," 2017.

[33] P. Singh and S. Singh, "Amla (*Emblca officinalis*) Drying in Solar-assisted Heat Pump Dryer," *International Energy Journal*, vol. 12, no. 4, 2012

[34] S. H. Gan, M. X. Ng, T. C. Tham, L. S. Chua, R. Aziz, M. R. Baba, L. C. Abdullah, S. P. Ong & C. L. Law, "Drying characteristics of *Orthosiphon stamineus* Benth by solar- assisted heat pump drying," *Drying technology*, vol. 35, no. 14, pp. 1755-1764, 2017.

[35] <https://www.fips.ru/>

[36] [https://www.unitbv.ro/documente/cercetare/doctorat-postdoctorat/sustinere-teza/2012/marin-andreea/Marin\\_Andreea\\_Lavinia-rez.pdf](https://www.unitbv.ro/documente/cercetare/doctorat-postdoctorat/sustinere-teza/2012/marin-andreea/Marin_Andreea_Lavinia-rez.pdf)

[37]Бабакин Б.С., Хладагенты: история появления, классификация, применение //, интернет-газета «Холодильщик.ру», [http://www.holodilshchik.ru/index\\_holodilshchik\\_issue\\_1\\_2005\\_Freon.htm](http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_1_2005_Freon.htm)

[38][http://www.repository.utm.md/bitstream/handle/5014/1974/Conf\\_UTM\\_2016\\_II\\_pg105\\_107.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.repository.utm.md/bitstream/handle/5014/1974/Conf_UTM_2016_II_pg105_107.pdf?sequence=1&isAllowed=y)