

DISTRIBUȚIA TEMPERATURII ÎN USCĂTORUL DE TIP TUNEL *TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE TUNNEL DRYER*

CZU: 66.047.31.5:663

<https://doi.org/10.56329/1810-7087.26.1.17>



CONF. UNIV. DR. ING. VICTOR POPESCU,
DEPARTAMENTUL INGINERIE ELECTRICĂ,
[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0002-4634-2255](https://orcid.org/0000-0002-4634-2255)

CONF. UNIV. DR. ING. NATALIA ȚISLINSKAIA,
DEPARTAMENTUL INGINERIE MECANICĂ,
[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0003-3126-5792](https://orcid.org/0000-0003-3126-5792)

DRD. OLGA FIODOROV,
DEPARTAMENTUL INGINERIE MECANICĂ,
[HTTPS://ORCID.ORG/0009-0003-9486-3236](https://orcid.org/0009-0003-9486-3236)

DRD. TATIANA BALAN,
DEPARTAMENTUL INGINERIE MECANICĂ,
[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0002-8897-105X](https://orcid.org/0000-0002-8897-105X)

DRD. IGOR KURDOV,
DEPARTAMENTUL INGINERIE MECANICĂ,
[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0002-0731-5967](https://orcid.org/0000-0002-0731-5967)

DRD. ION VIȘANU,
DEPARTAMENTUL INGINERIE MECANICĂ,
[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0009-4475-0077](https://orcid.org/0000-0009-4475-0077)

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

ABSTRACT

The paper presents the results of experimental research conducted on a tunnel-type dehydration plant, developed by the research team of the Technical University of Moldova. The study includes a comparative analysis of the temperature field distribution in the proposed plant and in a conventional tunnel dryer, with the objective of evaluating thermal performance and optimizing the dehydration process. The experimental investigations aimed at optimizing the positioning of the heat treatment source and ensuring the uniformity of the temperature field inside the processing chamber. Based on the research conducted, the temperature values were determined at each measurement point in the processing chamber, finding that the use of the developed plant leads to a more uniform distribution of the thermal field compared to the classic configuration of the tunnel dryer. The experimental results obtained allowed establishing the main functional parameters of the plant, providing the premises for

increasing the efficiency of the technological process by improving the temperature uniformity in the processing chamber and increasing the quality of the products subjected to dehydration.

Keywords: *dehydration plant; tunnel dryer; temperature field; thermal uniformity; functional parameters; technological efficiency; product quality.*

REZUMAT

Lucrarea prezintă rezultatele cercetărilor experimentale efectuate asupra unei instalații de deshidratare de tip tunel, elaborată de colectivul de cercetători al Universității Tehnice a Moldovei. Studiul include o analiză comparativă a distribuției câmpului de temperatură în instalația propusă și într-un uscător tunel convențional, având ca obiectiv evaluarea performanțelor termice și optimizarea procesului de deshidratare. Investigațiile experimentale au vizat optimizarea poziționării sursei de tratare termică și asigurarea uniformității câmpului de temperatură în interiorul camerei de procesare. Pe baza cercetărilor efectuate, au fost determinate valorile temperaturii în fiecare punct de măsurare din camera de procesare, constatându-se că utilizarea instalației dezvoltate conduce la o distribuție mai uniformă a câmpului termic comparativ cu configurația clasică a uscătorului tunel. Rezultatele experimentale obținute au permis stabilirea parametrilor funcționali principali ai instalației, oferind premisele pentru creșterea eficienței procesului tehnologic prin îmbunătățirea uniformității temperaturii în camera de procesare și sporirea calității produselor supuse deshidratării.

Cuvinte-cheie: *instalație de deshidratare; uscător tunel; câmp de temperatură; uniformitate termică; parametri funcționali; eficiență tehnologică; calitatea produselor.*

Introducere

În prezent, în procesarea produselor agricole sunt utilizate diverse tehnologii de conservare și valorificare, însă multe dintre acestea se caracterizează prin consum energetic ridicat și prin imposibilitatea asigurării unei calități constante a produsului finit [1–4, 9–11]. Aceste limitări evidențiază necesitatea dezvoltării și implementării unor soluții tehnologice inovatoare, capabile să răspundă cerințelor actuale privind eficiența energetică și calitatea produselor procesate.

În Republica Moldova, potențialul de valorificare a produselor agricole rămâne insuficient exploatat, în pofida resurselor importante de materie primă disponibile pentru industria alimentară. Problema valorificării eficiente a producției agricole a devenit una de importanță strategică, deoarece, în ultimii ani, cantități semnificative de fructe, în special din regiunile sudice, rămân neculese sau se degradează din cauza lipsei unor teh-

nologii performante de procesare și conservare. Totodată, eficiența redusă a metodelor existente conduce la diminuarea rentabilității activităților agricole și determină abandonarea unor plantații în favoarea altor activități economice [5–8].

În acest context, implementarea unor metode inovatoare de deshidratare a fructelor și legumelor reprezintă o direcție promițătoare pentru creșterea gradului de valorificare a producției agricole și reducerea pierderilor postrecoltare. Totuși, dezvoltarea unor instalații performante necesită efectuarea unor cercetări complexe privind fundamentarea parametrilor constructivi și tehnologici, precum și optimizarea regimurilor de funcționare.

Pornind de la aceste considerente, în cadrul Universității Tehnice a Moldovei a fost elaborată o instalație de deshidratare de tip tunel destinată procesării produselor vegetale. Cercetările realizate au avut ca obiectiv analiza distribuției câm-

pului de temperatură în camera de procesare și justificarea parametrilor constructiv-tehnologici ai instalației din perspectiva creșterii eficienței procesului de deshidratare. Soluția propusă permite încălzirea produselor concomitent cu sporirea uniformității tratamentului termic, contribuind astfel la îmbunătățirea condițiilor de procesare și la obținerea unor produse finite de calitate superioară..

Rezultatele experimentale obținute au fost utilizate pentru determinarea poziției optime a sursei de tratament termic și pentru evaluarea gradului de uniformitate a câmpului de temperatură în camera de procesare. Pe baza acestora au fost stabiliți principalii parametri constructiv-tehnologici ai instalației propuse, fiind creată baza tehnico-științifică pentru optimizarea procesului de deshidratare și creșterea performanțelor tehnologice ale instalației.

Materiale și metode

Cercetările experimentale au fost realizate utilizând două tipuri de instalații de uscare: un uscător tunel convențional și o instalație de deshidratare de tip tunel elaborată de autorii studiului. În cadrul investigațiilor, au fost aplicate metode experimentale, fizico-chimice și electronice de măsurare, precum și metode de simulare numerică destinate analizei proceselor de transfer termic și de masă.

Monitorizarea parametrilor tehnologici din camera de procesare a fost efectuată cu ajutorul senzorilor DALLAS 8820, care au permis înregistrarea temperaturii și a umidității relative a aerului cu precizii de $\pm 0,1^\circ\text{C}$ și, respectiv, $\pm 0,5\%$. Determinarea pierderilor de masă ale produsului în timpul procesului de deshidratare s-a realizat utilizând cântarul electronic de înaltă precizie G&G JJ2000B, cu o eroare de măsurare de $\pm 0,01$ g. Parametrii mediului de lucru au fost monitorizați suplimentar cu instrumente de măsurare din gama Testo, asigurând controlul și validarea datelor ex-

perimentale obținute.

Conținutul de umiditate al produselor a fost determinat prin metoda substanțelor uscate solubile, utilizând un refractometru. Pentru evaluarea modificărilor proprietăților fizico-chimice ale produselor supuse deshidratării au fost aplicate metode complementare de analiză, inclusiv determinarea fermității cu penetrometrul, determinarea umidității prin metoda gravimetrică, măsurarea acidității active (pH), cuantificarea conținutului de compuși polifenolici prin metoda Folin-Ciocalteu și evaluarea activității antioxidante prin metoda DPPH.

Analiza distribuției câmpului termic și a circulației agentului de uscare în instalație a fost realizată prin simulare numerică utilizând programele SolidWorks și Ansys. Aceste aplicații au permis modelarea proceselor aerodinamice și termice din interiorul camerei de procesare, facilitând evaluarea influenței parametrilor constructivi asupra uniformității tratamentului termic.

Datele experimentale obținute au fost prelucrate statistic și analizate cu ajutorul programelor Excel, Statgraphics și Matlab, ceea ce a permis efectuarea unei evaluări cantitative și comparative a performanțelor instalațiilor investigate și fundamentarea concluziilor privind eficiența soluției tehnologice propuse.

Rezultate și discuții

În prima etapă a cercetărilor experimentale a fost investigată influența distribuției câmpului de temperatură asupra procesului de tratament termic în uscătorul tunel clasic. Analiza a avut drept scop evaluarea uniformității distribuției temperaturii în camera de procesare și identificarea eventualelor zone cu regim termic neuniform, care pot influența eficiența procesului de deshidratare și calitatea produsului finit. Pentru realizarea experimentelor, produsul supus deshidratării a fost amplasat în camera de uscare, iar monitorizarea parametrilor termici s-a efectuat prin intermediul

unui sistem de măsurare distribuit în 16 puncte distincte. Punctele de măsurare au fost amplasate astfel încât să permită caracterizarea distribuției spațiale a temperaturii pe întreaga suprafață de procesare și identificarea variațiilor termice existente în interiorul instalației. Configurația și amplasarea punctelor de măsurare sunt prezentate schematic în Figura 1. Datele experimentale obținute au constituit baza pentru evaluarea gradului de uniformitate a câmpului de temperatură și pentru analiza influenței acestuia asupra duratei procesului de uscare în configurația clasică a uscătorului tunel.

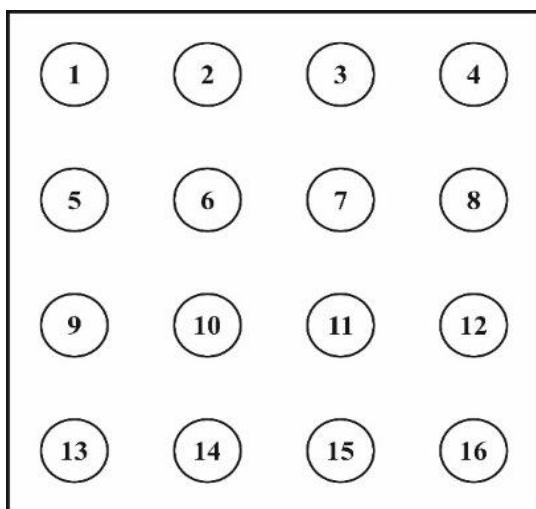


Figura 1. Reprezentarea zonelor de măsurare a temperaturii

Sursa: elaborată de autori în baza cercetărilor proprii.

Pentru efectuarea măsurărilor experimentale, a fost utilizat un termometru cu infraroșu (IR), care permite determinarea temperaturii suprafețelor fără contact direct și asigură monitorizarea rapidă a parametrilor termici din camera de uscare. După punerea în funcțiune a sistemului de încălzire și a ventilatorului, valorile temperaturii au fost înregistrate la intervale regulate de 2 minute în fiecare dintre cele 16 puncte de măsurare stabilite anterior.

Datele experimentale obținute au fost utilizate pentru determinarea distribuției spațiale a câmpului de temperatură în camera de uscare și pentru analiza evoluției regimului termic în funcție de durata tratamentului. Pe baza rezultatelor înregistrate a fost evaluată corelația dintre timpul de procesare și valorile temperaturii din diferitele zone ale instalației, ceea ce a permis aprecierea gradului de uniformitate a tratamentului termic. Rezultatele analizei sunt prezentate schematic în Figura 2.

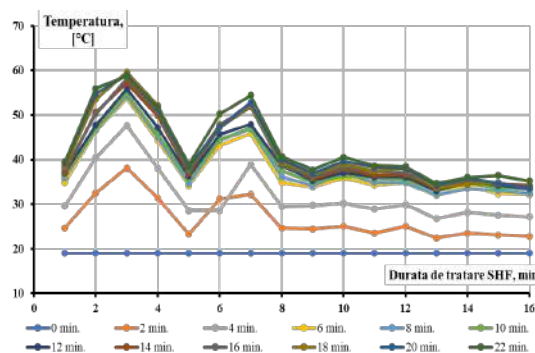


Figura 2. Distribuția câmpului de temperatură la uscătorul clasic

Sursa: elaborată de autori în baza cercetărilor proprii.

Analiza rezultatelor experimentale evidențiază existența unor variații semnificative ale temperaturii între cele 16 puncte de măsurare amplasate în camera de procesare a uscătorului tunel clasic. Distribuția neuniformă a câmpului termic indică prezența unor zone cu temperaturi diferite, ceea ce demonstrează că transferul de căldură în volumul de lucru nu se realizează în mod omogen. Aceste diferențe de temperatură pot influența direct intensitatea procesului de deshidratare, determinând rate diferite de eliminare a umidității în funcție de poziția produsului în camera de uscare. Ca urmare, neuniformitatea regimului termic poate conduce la prelungirea duratei procesului tehnologic, la creșterea consumului energetic și la obținerea unor produse finite cu caracteristici neomogene din punct de vedere

calitativ. În etapa următoare a cercetărilor experimentale a fost investigată distribuția câmpului de temperatură în camera de procesare a instalației de deshidratare dezvoltate de autori. Pentru a asigura comparabilitatea rezultatelor, măsurătorile au fost efectuate în condiții identice celor aplicate în cazul uscătorului tunel clasic. Monitorizarea parametrilor termici s-a realizat în aceleași 16 puncte de măsurare amplasate în camera de procesare, valorile temperaturii fiind înregistrate la intervale regulate de 2 minute cu ajutorul termometrului cu infraroșu. Această abordare experimentală a permis evaluarea distribuției spațiale a temperaturii și analiza comportamentului termic al instalației în timpul procesului de uscare.

Pe baza datelor experimentale obținute a fost determinată corelația dintre durata tratamentului termic și evoluția temperaturii în diferitele zone ale camerei de procesare. Rezultatele analizei, care reflectă distribuția câmpului termic în cazul instalației propuse, sunt prezentate schematic în Figura 3.

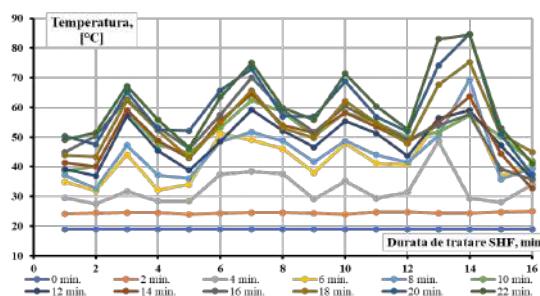


Figura 3. Distribuția câmpului de temperatură la uscătorul nou

Sursa: elaborată de autori în baza cercetărilor proprii.

Pe baza rezultatelor obținute în cadrul seriilor de experimente, au fost determinate valorile temperaturii pentru fiecare dintre punctele de măsurare amplasate în camera de procesare. Analiza comparativă a datelor experimentale a demonstrat că instalația de deshidratare propusă asigură o distribuție mai uniformă a câmpului de temperatură decât uscătorul tunel clasic, redu-

când diferențele termice dintre diversele zone ale volumului de lucru.

Uniformizarea regimului termic contribuie la îmbunătățirea condițiilor de transfer de căldură și de masă în timpul procesului de deshidratare, favorizând desfășurarea mai omogenă a procesului tehnologic pe întreaga suprafață de procesare. Acest aspect este deosebit de important pentru obținerea unor produse finite cu caracteristici calitative uniforme și pentru diminuarea riscului de supraîncălzire sau de procesare insuficientă a produselor amplasate în diferite zone ale instalației.

Totodată, rezultatele experimentale obținute au permis identificarea principalilor parametri funcționali ai instalației și evaluarea influenței acestora asupra distribuției câmpului termic. Datele obținute constituie baza pentru optimizarea parametrilor constructiv-tehnologici ai instalației și demonstrează potențialul acesteia de creștere a eficienței energetice și tehnologice a procesului de deshidratare, concomitent cu îmbunătățirea calității produselor procesate.

Concluzii

În urma cercetărilor experimentale efectuate, au fost determinate valorile exacte ale temperaturii în toate punctele de măsurare amplasate în camera de de procesare, ceea ce a permis evaluarea distribuției câmpului termic și analiza comportamentului instalațiilor investigate în timpul procesului de deshidratare.

Rezultatele obținute au demonstrat că instalația de deshidratare de tip tunel elaborată de autori asigură o distribuție mai uniformă a temperaturii în comparație cu uscătorul tunel convențional. Reducerea variațiilor termice dintre diferitele zone ale camerei de procesare contribuie la crearea unor condiții mai favorabile pentru desfășurarea procesului de transfer de căldură și de masă.

Uniformizarea câmpului termic permite optimizarea procesului tehnologic prin intensifi-

carea procesului de deshidratare, reducerea duratei de procesare și diminuarea consumului de energie. Totodată, aceasta contribuie la creșterea uniformității uscării și la îmbunătățirea caracteristicilor calitative ale produselor finite.

Rezultatele cercetării confirmă eficiența soluției constructive propuse și constituie o bază tehnico-științifică pentru dezvoltarea și implementarea unor instalații performante destinate deshidratării produselor vegetale.

REFERINȚE

1. ASKARISHAHI, M., MAUS, M. SCHRÖDER D., SLADE, D., MARTINETZ, M. et al. (2020). Mechanistic modelling of fluid bed granulation. *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 573, pp. 8837-8845. DOI 10.1016/j.ijpharm.2019.118837.
2. OLIVEIRA, S., BRANDÃO, T. & SILVA C. (2016). Influence of drying processes and pretreatments on nutritional and bioactive characteristics of dried vegetables: a review. *Food Engineering Reviews*, vol. 8 (2), pp. 134-163. DOI 10.1007/s12393-015-9124-0.
3. PAGOTTO, M. & HALOG, A. (2016). 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*, vol. 20, nr. 5, pp. 1176-1186. DOI 10.1111/jiec.12373.
4. PAIVA, T., RIBEIRO, M. & COUTINHO, P. P. (2020). R&D Collaboration, Competitiveness Development, and Open Innovation in R&D. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 6, nr. 4, pp. 416-424. Disponibil: <http://doi.org/10.3390/joitmc6040116>
5. PANZELLA, L., MOCCIA, F. NASTI, R., MARZORATI, S. VEROTTA, L. et al. (2020). Bioactive Phenolic Compounds From Agri-Food Wastes: An Update on Green and Sustainable Extraction Methodologies. *Frontiers in Nutrition*, vol. 7, pp. 60-68. Disponibil: <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00060>
6. POPESCU, V. și MALAI, L. (2019). Estimarea parametrilor sistemului fiabil pentru prelucrarea produselor agricole. *Știința Agricolă*, nr. 2, pp. 109-113. ISSN 1857-0003. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/109-113_23.pdf
7. POPESCU, V., VIȘANU, V., URSATII, N. CECAN, A. și TODIRĂȘ, T. (2023). Sistem electric cu fiabilitate sporită pentru întreprinderile specializate în deshidratarea produselor agricole. *Intellectus*, nr. 1, pp. 198-203. ISSN 1810-7079. Disponibil: <https://doi.org/10.56329/1810-7087.23.1.21>
8. RANJBARAN, M. EMADI, B. & ZARE, D. (2014). Simulation of Deep-Bed Paddy Drying Process and Performance. *Drying Technology*, vol. 32 (8), pp. 919-934. Disponibil: <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.875561>
9. ROBERTS, J. KIDD, D. & PADILLA-ZAKOUR, O. (2008). Drying kinetics of grape seeds. *Journal of Food Engineering*, vol. 89, nr. 4, pp. 460-465. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.05.030>
10. TÎRȘU, M., POPESCU, V. BALAN, M. KURDOV, I. BALAN T. et al. (2022). Instalație pentru deshidratarea semințelor în strat fluidizat. *Problemele Energeticii Regionale*, nr. 2 (54), pp. 114-122. ISSN 1857-0070. Disponibil: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2022.2-54.10>
11. ПОПЕСКУ, В., МАЛАЙ, Л., РОТАРЬ, В. и ВОЛКОНОВИЧ, О. (2019). Надежная система для переработки сельскохозяйственной продукции. *Констрування, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, вип. 49, с. 200-204. Disponibil: <https://zbniksgm.kntu.kr.ua/pdf/49/26.pdf>

Data prezentării – 03.03.2026.

Acceptat spre publicare – 10.06.2026.