

## DYNAMIKA SUSZENIA KOSTKI ZIEMNIACZANEJ, MARCHWIOWEJ ORAZ Z JABŁEK W WARUNKACH ZŁOŻA FONTANOWEGO

Stanisław Peroń, Adam Figiel, Mariusz Surma

*Institut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

**Streszczenie.** Badano wpływ rodzaju rozdrobnionego surowca owocowo-warzywnego na dynamikę jego wysychania. Surowiec stanowiły kostki (0,01x0,01x0,01 m) otrzymane z ziemniaków, marchwi oraz jabłek. Krajankę suszono w laboratoryjnej suszarce fontannowej. Pomiary przeprowadzono przy stałej prędkości czynnika suszącego  $v \approx 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , temperaturze  $t = 80^\circ \text{C}$  oraz wysokości statycznej złoża w komorze suszenia  $H_0 = 0,1 \text{ m}$ . Wyznaczono krzywe suszenia oraz wielkości średniego strumienia wilgoci z jednostki objętości komory suszarki dla każdego z surowców. Wyniki przedstawiono w postaci wykresów oraz równań korelacyjnych.

**Słowa kluczowe:** suszenie, kostka ziemniaczana, kostka z marchwi, kostka z jabłek, złoże fontannowe

### Wykaz oznaczeń

- $\tau$  – czas suszenia [min],
- $H_0$  – początkowa statyczna wysokość warstwy krajanki w komorze suszenia [m],
- $v$  – prędkość czynnika suszącego [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],
- $q_{v\text{sr}}$  – średni strumień wilgoci z  $1 \text{ m}^3$  pojemności komory suszenia [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ ],
- $A, B, \psi$  – współczynniki w równaniu 1 i 2 [-],
- $K$  – współczynnik szybkości suszenia [ $1 \cdot \text{min}^{-1}$ ],
- $U_{\text{red}}$  – zredukowana zawartość wody [-].

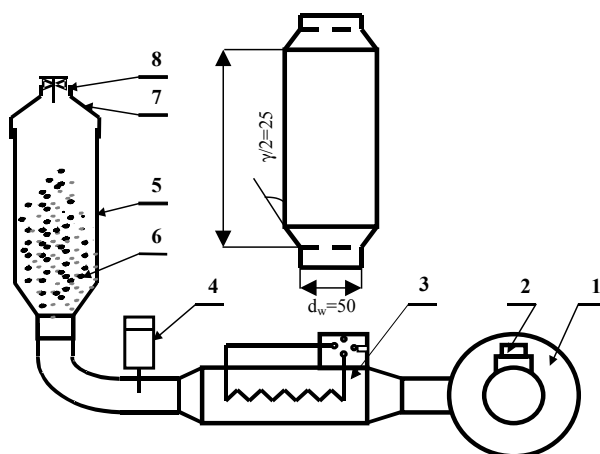
### Wstęp i cel pracy

Krajankę ziemniaczaną oraz uzyskiwaną z marchwi i jabłek można zaliczyć do najpowszechniej suszonych surowców w przemyśle owocowo-warzywnym. Do ich suszenia są stosowane głównie suszarki tunelowe lub taśmowe. Są to urządzenia (zwłaszcza suszarki taśmowe) charakteryzujące się dużymi gabarytami, złożoną konstrukcją oraz wysokimi kosztami eksploatacyjnymi. Ze względu na nieruchomą warstwę krajanki spoczywającą na taśmie lub sicie, często jej wysychanie jest nierównomierne i występują zlepy i przypalenia. Doświadczenia na skalę laboratoryjną niektórych badaczy zajmujących się suszeniem krajanki owocowo-warzywnych [Glaser 1991, Peroń i in. 2004] sugerują, że korzystniejsze wskaźniki techniczno-ekonomiczne można uzyskać susząc je w warstwie sfluidyzowanej.

Celem doświadczenia było porównanie dynamiki wysychania kostki ziemniaczanej, marchwiowej oraz uzyskanej z jabłek w warunkach złoża fontannowego przy zbliżonych parametrach procesu. Przy doborze surowców kierowano się przede wszystkim kryterium dużego zróżnicowania składu chemicznego i budowy morfologicznej tkanki roślinnej. Uwzględniono również powszechność występowania i przetwarzania tych surowców.

## Stanowisko pomiarowe i metodyka badań

Rysunek 1 przedstawia schemat laboratoryjnej suszarki fontannowej, na której prowadzono doświadczenia.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – wentylator, 2 – zasuwka regulacyjna, 3 – nagrzewnica z regulatorem temperatury, 4 – termopara, 5 – komora suszenia, 6 – fontannujące złożo, 7 – króciec pomiarowy, 8 – anemometr

Fig. 1. Measurement setup diagram 1 – fan, 2 – control damper, 3 – heater with a temperature controller, 4 – thermoelement, 5 – drying chamber, 6 – fountain bed, 7 – measuring pipe, 8 - anemometer

W górnej części cylindrycznej przezroczystej komory suszenia o pojemności  $0,00213\text{m}^3$  znajdował się króciec pomiarowy 7 z anemometrem skrzydełkowym AA 2113 umożliwiającym pomiar prędkości przepływu czynnika suszącego z dokładnością  $\pm 0,1\text{ m s}^{-1}$ . Surowiec (jabłko odmiany „Cortland”, marchew odmiany „Karatka”, oraz ziemniaki „Bryza”) po umyciu krojono w kostkę o wymiarach  $0,01 \times 0,01 \times 0,01\text{ m}$ , kostkę ziemniaczaną i marchwi – blanszowano w wodzie w temperaturze około  $100^\circ\text{C}$ . Wymiary sprawdzano suwmiarką z dokładnością  $\pm 0,05\text{ mm}$ . Z tak przygotowanego materiału pobierano próbę o masie  $300\text{--}350\text{ g}$  i wsypywano do komory suszenia formując warstwę surowca o wysokości  $H=0,1\text{ m}$ . Temperatura czynnika suszącego wyniosła ok.  $80^\circ\text{C}$  ( $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ). Prędkość czynnika suszącego w części cylindrycznej komory suszenia  $v=5,0\text{ m s}^{-1}$  dobrano na podstawie obserwacji

złoża. Spadek masy próbki w trakcie suszenia mierzono co 5 minut na wadze elektronicznej WPE 4000 z dokładnością  $\pm 0,1$  g. Suszenie kostki prowadzono do zawartości wody ok.  $0,1 \text{ kg H}_2\text{O}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. Wilgotność kostki przed i po suszeniu określano metodą suszarkową. Wilgotność względną i temperaturę otoczenia mierzono psychrometrem Assmanna z dokładnością  $\pm 2\%$  oraz termometrem rtęciowym z dokładnością  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ . Czas określano zegarem z sekundnikiem. Jednostkowe objętościowe odparowanie wody obliczano odnosząc ubytki masy próbki surowca do  $1\text{m}^3$  objętości komory suszenia i do czasu 1 godziny. Każdy cykl pomiarów powtarzano trzykrotnie.

### Ocena błędów pomiarowych

W tabeli 1 podano bezwzględne i względne błędy systematyczne mierzonych i obliczanych na podstawie pomiarów wielkości. W przypadku pomiarów bezpośrednich błąd bezwzględny wyznaczano z klasy dokładności miernika lub na podstawie wartości najmniejszej działki skali przyrządu. Błędy pomiarów złożonych wyznaczono metodą różniczki zupełnej.

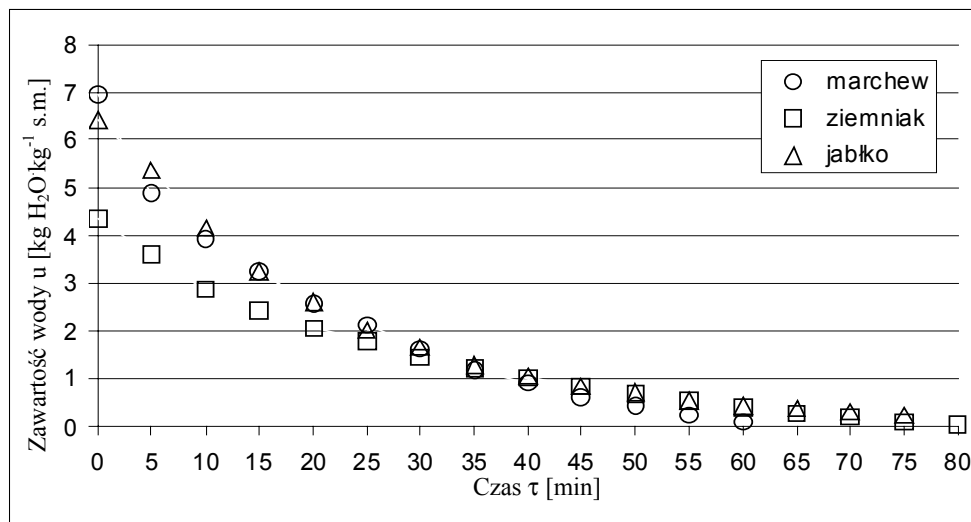
Tabela 1. Błędy systematyczne mierzonych wielkości  
Table 1. Systematic errors of measured quantities

Mierzona wielkość	Błąd bezwzględny $\Delta$	Błąd względny $\delta$ [%]	Uwagi
Temperatura powietrza na wlocie do komory suszenia.	$\pm 1^\circ\text{C}$	2,2	
Prędkość przepływu powietrza przez warstwę złoża $v$ .	$0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	1,6-3,0	wahania błędu względnego dla prędkości oscylującej wokół wartości $v=5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Zawartość wody w krajance na podstawie spadków masy w komorze suszenia.	$\pm 0,1 \text{ g}$	0,3-1,7	wahanie błędu względnego dla różnych $u$
Początkowa zawartość wody w krajance.	$0,001 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0,30	przeprowadzono trzy niezależne pomiary
Spoczynkowa zawartość warstwy surowca w komorze suszenia.	$\pm 0,001 \text{ m}$	1,4	przeprowadzono trzy niezależne pomiary

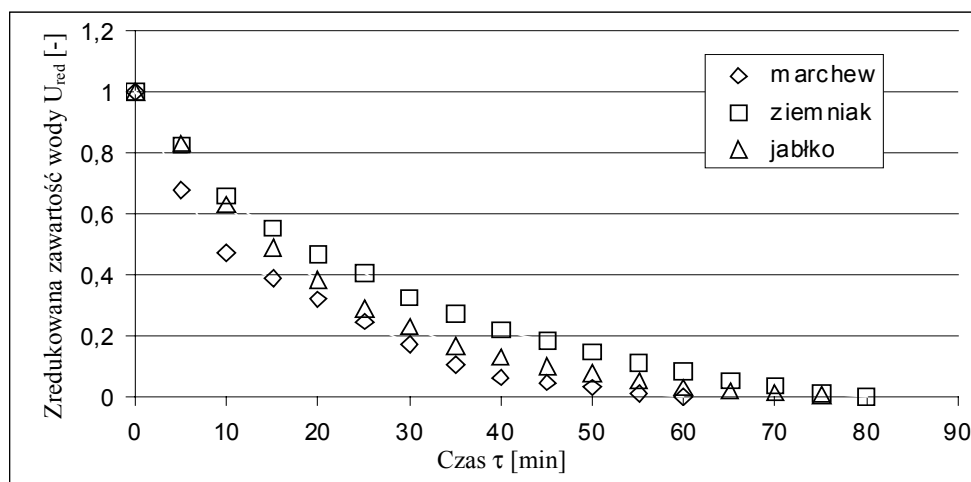
### Wyniki badań

Na rysunku 2 przedstawiono spadki zawartości wody w fontannującej kostce ziemniaczanej, marchwiowej oraz z jablek suszonej od zawartości wody (w zależności od surowca)  $7\div 4,5$  do ok.  $0,1 \text{ kg H}_2\text{O}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. – przy prędkości czynnika suszącego  $v=5,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , temperaturze  $80^\circ\text{C}$ , wysokości warstwy  $H_0=0,1 \text{ m}$ .

Ponieważ wilgotność początkowa surowców była różna, dla porównania dynamiki ich wysychania na rys. 3 przedstawiono przebieg zmian zawartości wody w surowcach w funkcji  $U_{\text{red}}=f(\tau)$ .



Rys. 2. Spadek zawartości wody w czasie dla różnych surowców.  $v=5 \text{ m s}^{-1}$ ,  $t=80^\circ\text{C}$ ,  $H_0=0,1 \text{ m}$   
 Fig. 2. Water content drop in time for different raw materials:  $v=5 \text{ m s}^{-1}$ ,  $t=80^\circ\text{C}$ ,  $H_0=0,1 \text{ m}$



Rys. 3. Spadek zawartości wody  $U_{red}$  w czasie  $\tau$  dla różnych surowców  
 Fig. 3. Water content drop  $U_{red}$  in time  $\tau$  for different raw materials

Jak wynika z rys. 3, w zbliżonych warunkach suszenia – najwyższą dynamiką schnięcia charakteryzowała się blanszowana kostka z marchwi – przy czasie suszenia  $\tau=60 \text{ min}$ . Nieco niższą dynamikę wysychania wykazała kostka z jabłek przy czasie suszenia  $\tau=75$

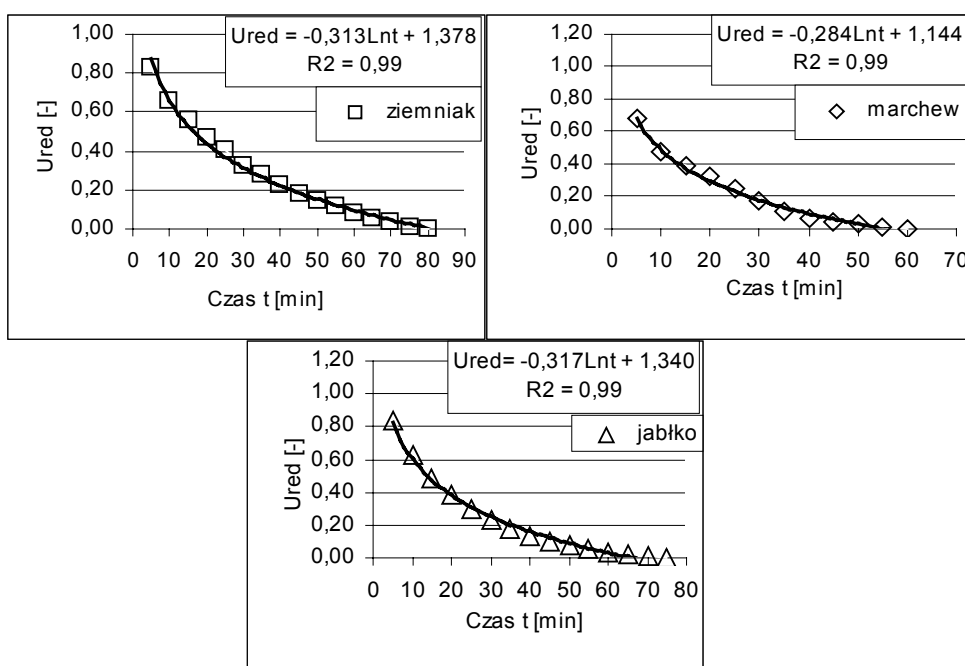
min. Najniższą dynamiką schnięcia charakteryzowała się kostka ziemniaczana przy czasie suszenia  $\tau=80$  min.

Pomijając pierwsze 5 minut suszenia pozostałe punkty na rys 2 dla wszystkich surowców można przybliżyć zależnością logarytmiczną postaci:

$$U_{red} = A \ln \tau + B \quad (1)$$

przy wysokim współczynniku determinacji ok.  $R^2=0,99$

Szczegółową postać równań opisujących przebieg suszenia poszczególnych krajank przedstawił na rys 4.

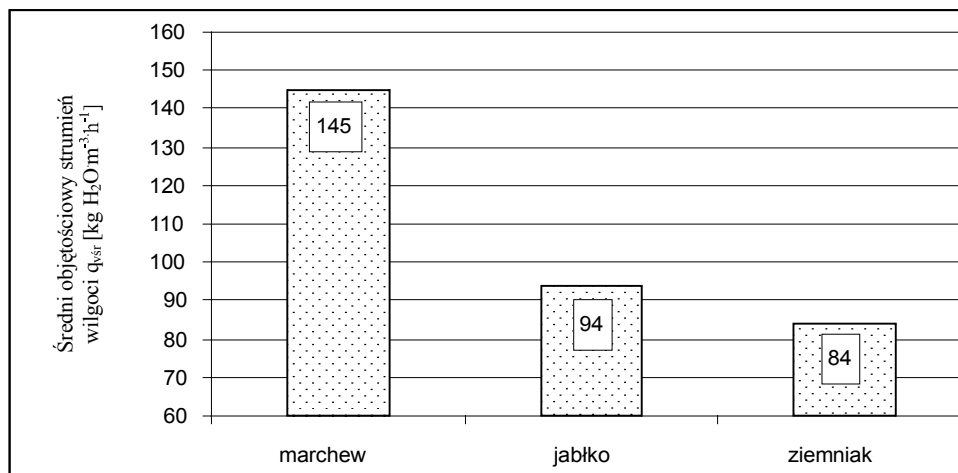


Rys. 4. Weryfikacja wyników spadków zawartości wody w suszonych surowcach – obliczonych według równania 1

Fig. 4. Verification of results of water content drops in dried raw materials – computed using equation 1

Istotną wielkością świadczącą o tzw. „dobroci” suszarki jest wartość objętościowego strumienia wilgoci  $q_v$ , czyli ilość odparowanej wody z  $1 \text{ m}^3$  objętości komory suszenia w czasie 1 godziny.

Porównanie wielkości  $q_v$  dla blanszowanej kostki ziemniaczanej i z marchwi oraz nie-blanszowanej kostki z jabłek pokazuje rys. 5.



Rys. 5. Wpływ rodzaju suszonego surowca na wielkość średniego objętościowego strumienia wilgoci

Fig. 5. The impact of dried raw material type on the value of average volumetric humidity stream

Jak wynika z histogramu najwyższą wartość  $q_v$  uzyskano dla marchwi. Była ona o ok. 50% wyższa w porównaniu z jabłkami (przy zbliżonej wilgotności początkowej obu surowców) oraz o ok. 70% wyższa w porównaniu z ziemniakami.

„Łatwiejsze oddawanie” wody przez tkanki marchwi niż jabłek może być spowodowane specyfiką jej budowy komórkowej oraz składu chemicznego, co z kolei wpływa na efekty zabiegu blanszowania. Zabieg blanszowania skutkuje zabiciem komórek na powierzchni krajanki oraz wypłukaniem cukrów. W martwych komórkach występuje zanik selektywnej przepuszczalności błon cytoplazmatycznych. Kiedy plazmolemma i tonoplast tracą swą półprzepuszczalność, można zaobserwować zwiększenie ogólnej przepuszczalności wody [Pendlington, Ward 1965].

Należy zaznaczyć, że w praktyce nie ma zwyczaju blanszowania krajanki z jabłek przed ich suszeniem. W przypadku krajanki ziemniaczanej niższa wartość  $q_v$  w stosunku do pozostałych surowców mogła wynikać zarówno z jej niższej o 6% w porównaniu z innymi wilgotności początkowej, jak i wysokiej zawartości skrobi. Podczas blanszowania – na powierzchni kostki ziemniaczanej można zauważyć kleikowanie skrobi, co sprzyja powstawaniu podczas suszenia skorupki – utrudniającej dyfuzję wody. Uzyskane w skali laboratoryjnej wielkości  $q_{vsr}$  dla wspomnianych krajanek należy uznać za wysokie. Dla porównania wielkość  $q_v$  dla suszarek tunelowych do owoców i warzyw (przy temperaturze czynnika suszącego na wlocie 66°C i jego prędkości ok. 1,4 m s<sup>-1</sup>) waha się w granicach 2,26÷3,11 kg H<sub>2</sub>O m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>.

## Wnioski

1. Podczas suszenia fontannowego przy podobnych warunkach procesu najwyższą dynamiką ubytków wody wykazała blanszowana kostka z marchwi, najniższą blanszowana kostka ziemniaczana.
2. W przypadku krajanek – ziemniaczanej i z marchwi – (przy pominięciu pierwszych 5 minut procesu) spadek zawartości wody w czasie może być przybliżony równaniem logarytmicznym.
3. Proces suszenia fontannowego wszystkich surowców charakteryzował się wysoką wartością średniego objętościowego strumienia wilgoci wahającą się w zależności od rodzaju krajanki od 84 do 145 kg H<sub>2</sub>O m<sup>-3</sup>h<sup>-1</sup>.

## Bibliografia

- Glaser R.** 1991. O możliwości suszenia krajanek warzywnych w warstwie pulsofluidalnej. Materiały VII Sympozjum Suszarnictwa. Łódź T. 1. s. 147-153.
- Pendlington S., Ward J.P.** 1965. Histological examination of some air dried and freeze dried vegetables. Proc. First Int. Congress Food Sci. And Technol.. Gordon and Breach Sci. Publ. London. Vol. 4. s. 55-64.
- Peroń S., Pęksa A., Kozłowski R.** 2004. Ocena wybranych wskaźników pracy suszarki Taśmowej podczas suszenia kostki ziemniaczanej. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 500. s. 493-500.

## DRYING DYNAMICS FOR POTATO, CARROT AND APPLE CUBES IN FOUNTAIN BED CONDITIONS

**Abstract.** The researchers examined the impact of shredded fruit and vegetable raw material type on the dynamics of its drying. Cubes (0.01x0.01x0.01m) made of potatoes, carrots and apples were used as the raw material. Cut material was dried in a laboratory fountain drier. The measurements were carried out at constant drying medium speed  $v \approx 5 \text{ m s}^{-1}$ , temperature  $t = 80^\circ\text{C}$ , and the bed static height in drying chamber  $H_0 = 0,1 \text{ m}$ . The research allowed to determine drying curves and values of average humidity stream from drier chamber volume unit for each raw material type. The results have been shown in form of diagrams and correlation equations.

**Key words:** drying, potato cube, carrot cube, apple cube, fountain bed

### Adres do korespondencji:

Mariusz Surma; e-mail: mariusz.surma@up.wroc.pl  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
ul. Chelmińskiego 37/41  
51-630 Wrocław