

SUSZENIE MIĄŻSZU DYNI W ZŁOŻU FONTANNOwym Z WYKORZYSTANIEM WYTŁOKÓW Z JABŁEK JAKO NOŚNIKA POROWATEGO

Mariusz Surma, Klaudiusz Jałoszyński
Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Stanisław Peroń, Zbigniew Zdrojewski
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Sulechowie

Streszczenie. W laboratoryjnej suszarce fontannowej przeprowadzono doświadczenie nad suszeniem miąższu dyni zmieszanego z suchymi wytlókami z jabłek. Celem pracy była ocena dynamiki wysychania zgranulowanej mieszaniny odpadowej miazgi z miąższu dyni olbrzymiej i suchych rozdrobnionych wytlóków z jabłek w warunkach złoża fontannowego. Suszenie prowadzono przy temperaturze czynnika suszącego 40, 60, 70°C. Prędkość przepływu czynnika suszącego wynosiła 5,5 m s⁻¹, a początkowa grubość warstwy 0,07 m. Wzrost temperatury czynnika suszącego z 40°C do 70°C spowodował wzrost wartości średniego objętościowego strumienia odparowania wody od 4 do 11 kg H₂O h⁻¹ w przeliczeniu na 1 m³ objętości komory suszenia.

Słowa kluczowe: miąższ dyni, wytlóki z jabłek, złożo fontannowe, suszenie

Wykaz oznaczeń

- H₀ – początkowa grubość warstwy (m),
H_τ – grubość warstwy w czasie τ (m),
τ – czas (min),
v – prędkość przepływu czynnika suszącego (m s⁻¹),
q_v – średni objętościowy strumień odparowania (kg H₂O m⁻³ h⁻¹),
u – zawartość wody w surowcu (kg H₂O kg⁻¹ s.s),
A, B – współczynniki w równaniu (1).

Wstęp i cel badań

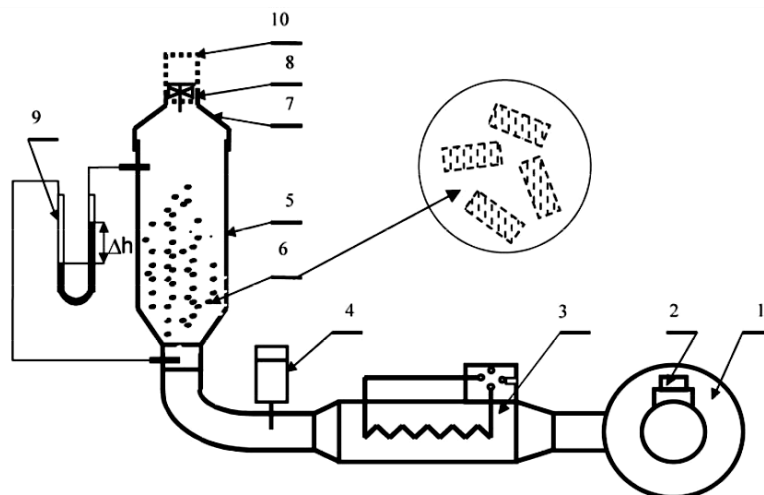
Na terenie Polski uprawia się dwa gatunki dyni: dynia olbrzymia (*Cucurbita Maxima*) i dynia zwyczajna (*Cucurbita pepa*). W kraju dynie mimo swoich smakowych i odżywczych zalet są warzywem niedocenianym, dlatego warto dążyć do zwiększenia zainteresowania i stosowania tego bardzo wartościowego warzywa w przemyśle spożywczym (Nawirska-Olszańska, 2011; Biesiada i in., 2006; Nawirska i in., 2009; Ciurzyńska i in. 2013; Quo i in., 2007). W zależności od odmiany i gatunku skład chemiczny miąższu dyni jest mocno zróżnicowany i według Danilcenki (2004) przedstawia się następująco: Sucha substancja 5,6-16 g·100 g⁻¹; białko 0,8-1,3 g·100 g⁻¹; węglowodory 6,5-7,7 g·100 g⁻¹; β-karoten 15-350 mg·100 g⁻¹; witamina C 80-900 mg·100 g⁻¹. Odpady powstające podczas przerobu dyni mogą stanowić cenny surowiec do dalszego przerobu. Ponieważ zarówno odpady miąższu dyni jak i suszone wytloki z jabłek stanowią produkty uboczne przemysłu owocowo-warzywnego – odpowiednie ich skojarzenie wydaje się być właściwym sposobem zagospodarowania tych surowców np. na paszę.

Jednym z wariantów postępowania może być np. wymieszanie nośnika porowatego (wytłoków) z miazgą odpadów z dyni, zgranulowanie powstałej mieszaniny i w końcu jej konwekcyjne wysuszenie. Jako nośnik porowaty oprócz suszonych wytlóków stosuje się np. mąkę pszenną, otręby pszenne, śrutę rzepakową, maltodekstrynę itd. (Kozłowski i in. 2006).

Celem pracy była ocena dynamiki wysychania zgranulowanej mieszaniny odpadowej miazgi z miąższem dyni olbrzymiej i suchych rozdrobnionych wytlóków z jabłek w warunkach złoża fontannowego. Jak wynika z literatury (Strumiłło, 1983; Kmiec, 1980; Peroń i in., 1998) do zalet złoża fontannowego można zaliczyć m.in.: szybkie wyrównanie temperatury i zawartości wody w złożu, wysoki współczynnik wnikania ciepła i masy oraz dużą powierzchnię kontaktu faz.

Metodyka badań

Odpady miąższu dyni olbrzymiej rozdrabniano na tarce uzyskując miazgę o wilgotności ok. 90%. Następnie miazgę wstępnie odwadniano na prasie laboratoryjnej do wilgotności ok. 76% i mieszano z wysuszonymi zmielonymi wytløkami z jabłek (o wilgotności ok. 12%) w stosunku wagowym: 1 część miazgi i 1,9 części wytlóków. Po wysezonowaniu - celem wyrównania wilgotności w materiale mieszaninę przepuszczano przez maszynkę do mielenia uzyskując granulaty o wilgotności ok. 30% w kształcie „makaroników” o średnicy ok. 5 mm i długości w granicach 0,5-15 mm – zdolnych do fontannowania w komorze suszenia. Tak przygotowany materiał suszono w laboratoryjnej suszarce fontannowej pokazanej schematycznie na rysunku 1.



Rysunek 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – wentylator, 2 – zasuwa, 3 – nagrzewnica z regulatorem temperatury, 4 – termopara, 5 – komora suszenia, 6 – fontannujące złożo, 7 – króciec pomiarowy, 8 – anemometr, 9 – manometr cieczowy, 10 – filtr workowy
 Figure 1. Scheme of measuring stand: 1 – fan, 2 – control damper, 3 – heater with a temperature controller, 4 – thermoelement, 5 – drying chamber, 6 – fountain bed, 7 – measuring pipe, 8 – anemometer, 9 – liquid-column gauge, 10 – sack filter

Początkowa masa próbki wynosiła ok. 250 g. Wentylator promieniowy (1) zasysał powietrze z otoczenia, a następnie tłoczył je poprzez nagrzewnicę elektryczną (3) do stożkowo-cylindrycznej komory suszenia (5), zawierającej próbkę suszonego surowca (6). Komorę suszenia wykonano częściowo ze szkła organicznego, co umożliwiło obserwację fontannującego złoża i pomiar jego wysokości. Wymiary komory suszącej – średnica części cylindrycznej 0,094 m, średnica wlotu 0,04 m, kąt rozwarcia stożka w dolnej części komory – 80° , wysokość komory 0,3 m, pojemność komory $0,002 \text{ m}^3$. Dno komory podtrzymującej warstwę surowca stanowiła siatka z fosforobrazu o wymiarach oczek $0,2 \times 0,2 \text{ mm}$. Po stronie ssącej wentylatora znajdowała się zasuwa (2) regulująca przepływ czynnika suszącego (powietrza) przez złożo suszonego materiału. Utrzymanie zadanej temperatury suszenia umożliwił regulator temperatury połączony z nagrzewnicą (3). Anemometr skrzydełkowy (8), umieszczony wewnątrz króćca pomiarowego, pozwalał na pomiar prędkości przepływu czynnika suszącego przez komorę suszarki. Suszenie prowadzono w temperaturze 40, 60, oraz 70°C , przy wysokości warstwy surowca 0,07 m i prędkości powietrza na wlocie $5,5 \text{ m s}^{-1}$. Pomiarów ubytków masy próbki dokonywano co 5 minut, każdorazowo zdejmując ze stanowiska i ważąc komorę suszarki z materiałem na wadze elektronicznej z dokładnością $\pm 1 \text{ g}$. Wilgotność początkową i końcową materiału określano metodą suszarkową wg PN 90/A-75101.03. Gęstość właściwą surowca ρ_m określano ważąc wybrane cząstki na wadze analitycznej z dokładnością $\pm 0,00001 \text{ g}$ oraz mierząc ich średnicę i długość z dokładnością $\pm 0,02 \text{ mm}$ suwmiarką wyposażoną w czujniki styku. Na podstawie pomiaru ich średnicy (w 3 miejscach) na długości przyjęto, że cząstka

jest walcem. Dzieląc masę przez objętość otrzymywano gęstość właściwą surowca. Gęstość usypową ρ_u wyznaczano za pomocą naczynia miarowego o objętości $0,001 \text{ m}^3$. Porowatość warstwy surowca w spoczynku obliczano z zależności (Ciborowski, 1965):

$$\varepsilon_o = 1 - \frac{\rho_u}{\rho_m} \quad (1)$$

Średnią średnicę zastępczą d_z cząstek surowca obliczano na podstawie analizy sitowej wg normy PN-ISO 2598-1-2000 korzystając z zależności:

$$d_z = \sum (d_f \cdot x_i) \quad (2)$$

gdzie:

- d_f – średnica zastępcza frakcji,
- x_i – ułamek masowy próby.

Powierzchnię właściwą granulatu obliczano w oparciu o literaturę (Kramkowski i in., 1989). Średni objętościowy strumień wilgoci q_v obliczano z zależności

$$q_v = \frac{m_w}{V_k \cdot \tau} \quad (3)$$

gdzie:

- m_w – ubytek masy wody w trakcie całego procesu suszenia (kg),
- V_k – objętość komory suszenia (m^3),
- τ – czas trwania procesu suszenia (h).

Czas mierzono zegarkiem z sekundnikiem. Każdy cykl pomiarów powtarzano trzykrotnie.

Ocena błędów pomiarowych

W tabeli 1 przedstawiono bezwzględne i względne błędy systematyczne mierzonych i obliczonych wielkości. W przypadku pomiarów bezpośrednich błąd bezwzględny wyznaczano na podstawie klasy miernika lub wartości najmniejszej działki skali przyrządu. Błędy pomiarów złożonych obliczono metodą różniczeki zupełnej.

Tabela 1
Błędy systematyczne mierzonych wielkości
Table 1
Sistemactical errors of the measured value

Mierzona wielkość	Błąd bezwzględny Δ	Błąd względny δ (%)	Uwagi
Temperatura powietrza na wlocie do komory suszenia	$\pm 0,5^\circ\text{C}$	1,8-3,5	Wahania błędu względnego dla zakresu temperatur $40-70^\circ\text{C}$
Prędkość przepływu powietrza przez komorę suszenia	$0,1 \text{ m s}^{-1}$	1,6-3,1	Wahania błędu względnego dla wielkości oscylującej wokół wartości $5,5 \text{ m s}^{-1}$

Mierzona wielkość	Błąd bezwzględny Δ	Błąd względny δ (%)	Uwagi
Zawartość wody w materiale na podstawie pomiarów spadków masy w komorze suszenia	$\pm 0,1$ g	0,28-1,6	Wahania błędu względnego dla różnych u
Początkowa zawartość wody w materiale	$0,01 \text{ kg kg}^{-1}$	0,31	Przeprowadzono trzy niezależne pomiary
Początkowa wysokość warstwy surowca w materiale	$\pm 0,001$ m	1,5	Przeprowadzono trzy niezależne pomiary

Wyniki badań

Jak wynika z literatury i praktyki suszenia fontannowego o doborze prędkości czynnika suszącego i parametrów komory suszenia decyduje szereg właściwości fizycznych suszonego surowca. Należy zaznaczyć, że dopiero po obniżeniu zawartości wody w mieszaninie wytlóków i miazgi do ok. $0,43 \text{ kg H}_2\text{O kg}^{-1}$ s.m. możliwe było jej zgranulowanie i późniejsze fontanowanie w komorze suszenia.

W tabelach 2 i 3 zamieszczono skład granulometryczny oraz wybrane właściwości fizyczne mokrego materiału.

Tabela 2

Skład granulometryczny mokrego surowca (określony na podstawie analizy sitowej)

Table 2

Granulometric composition of wet raw material (definite from the sieve analysis)

Fracje cząstek o średnicy $\phi=5$ mm i długości l (mm)	Ułamek masowy (-)	Średnia średnica zastępcza frakcji (mm)
15-8	0,433	10,954
8-4	0,378	5,657
4-3	0,126	2,449
3-0,5	0,063	1,225

Tabela 3

Wybrane właściwości fizyczne mokrego surowca

Table 3

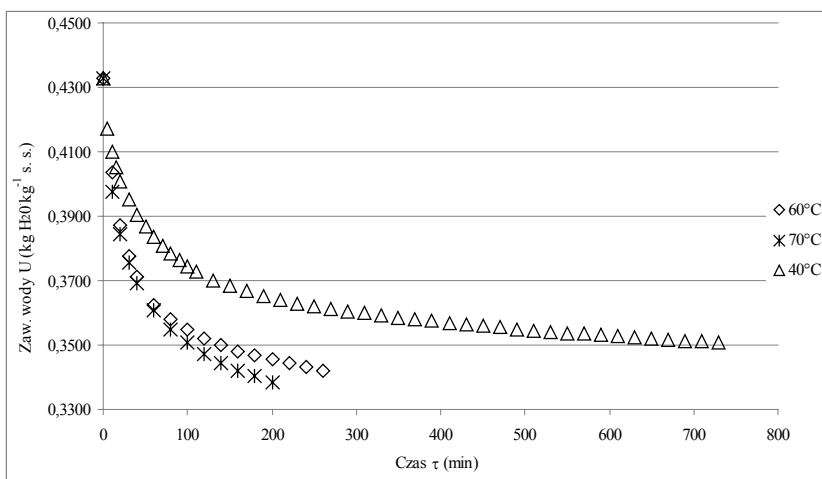
Selected physical properties of wet raw material

Gęstość właściwa granulatu ρ_w (kg m^{-3})	Gęstość usypowa granulatu ρ_u (kg m^{-3})	Porowatość warstwy granulatu ε_0 (%)	Średnia średnica zastępcza granulatu d_z (mm)	Powierzchnia właściwa granulatu A_w ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$)
1440	622	57	7,39	0,808

Jak wynika z tabeli 2 i 3 przedział długości cząstek („makaroników”) wahał się od 0,5 do 15 mm. Największy udział masowy 0,433 (43,3%) przypadł na cząstki o długości większej niż 8 mm a mniejszej niż 15 mm. Najmniejszą masę stanowiły cząstki o długości w przedziale 0,5-3 mm (6,3%). Średnia średnica cząstek dla całej próby wynosiła ok 7,4 mm a porowatość statyczna warstwy ok. 57%.

W celu polepszenia czytelności wykresów jednostka czasu została przedstawiona w minutach wg PN-ISO 30-1:2000/A1.

Wpływ różnych temperatur czynnika suszącego na dynamikę wysychania złoża „makaroników” pokazano na rys 2. Każdy z punktów na krzywych suszenia stanowi średnią z 3 pomiarów.



Rysunek 2. Spadek zawartości wody „u” w surowcu w czasie „ τ ” dla różnych temperatur czynnika suszącego. Prędkość czynnika suszącego $v=5,5 \text{ m s}^{-1}$, wysokość złoża $H_o=0,07 \text{ m}$
 Figure 2. Decrease of water content raw material „u” at the time „ τ ” for different temperatures during the drying medium. Drying medium velocity $v=5.5 \text{ m s}^{-1}$, the bed height $H_o=0,07 \text{ m}$

Pomijając pierwsze 5 minut procesu rozkład punktów na każdej z krzywych suszenia daje się przybliżyć równaniem potęgowym postaci:

$$u=A \cdot \tau - B \quad (1)$$

przy wysokim współczynniku determinacji R^2 wynoszącym 0,99.

Tabela 4 przedstawia stałe równania (1) i współczynniki determinacji dla różnych temperatur suszenia.

Tabela 4

Współczynniki równania (1) i determinacji dla procesu suszenia

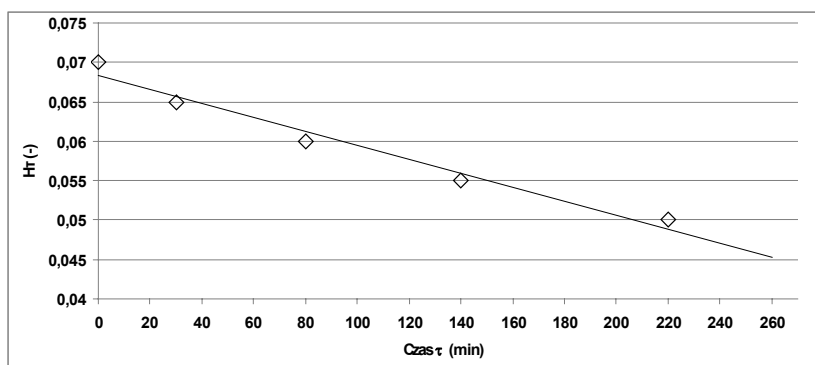
Table 4

The coefficients of equations (1) and the determination of the drying process

Temperatura suszenia t	Współczynniki równań		Współczynnik determinacji R^2
	A	B	
40°C	0,4448	-0,0366	0,99
60°C	0,4479	-0,0496	0,99
70°C	0,4516	-0,0546	0,99

Z wykresu wynika, że przy prędkości czynnika suszącego $v=5,5 \text{ m s}^{-1}$ oraz wysokości złoża granulatu $H_0=0,07 \text{ m}$, w zależności od temperatury czas suszenia wahał się w szerokich granicach. Na przykład dla temperatury 70°C obniżenie zawartości wody od ok. 0,43 do ok. $0,34 \text{ kg H}_2\text{O kg s.m.}^{-1}$ wymagało około 200 minut suszenia. Obniżenie temperatury czynnika o 10°C przy zachowaniu niezmienności pozostałych warunków procesu – wydłużyło czas suszenia do podobnej zawartości wody – do ok. 260 minut. W przypadku prowadzenia suszenia w temperaturze 40°C tempo ubytków wody zarówno w pierwszym jak i drugim okresie było nieoczekiwanie kilkakrotnie niższe niż przy pozostałych temperaturach czynnika suszącego. Jak wynika z rysunku 2 suszenie w temperaturze 40°C przerwano po 730 minutach, uznając ze względów na znikome ubytki wody dalsze prowadzenie procesu za bezsensowne. Rozpatrując obniżenie zawartości wody w surowcu od ok. 0,43 do ok. $0,34 \text{ kg H}_2\text{O kg s.m.}^{-1}$ – podwyższenie temperatury suszenia z 40°C do 70°C uzyskano skrócenie czasu procesu z 730 do 200 minut. Autorzy przypuszczają, że wspomniany wpływ temperatury suszenia wynika z dwóch nakładających się czynników. Z jednej strony (co jest oczywiste) istnieje dodatni wpływ temperatury na wielkość współczynnika dyfuzji ciepła i masy, z drugiej wskutek fontannowania cząstek zachodzi ich wzajemne ocieranie – czyli „odnawianie” powierzchni. Autorzy sądzą, że przy temperaturze czynnika 40°C odnawianie powierzchni było znacznie wolniejsze ze względu na większą wilgotność i spoistość cząstek niż przy wyższych temperaturach – i ono zadecydowało o charakterze procesu. Jak zaznaczono jest to tylko przypuszczenie nie poparte doświadczalnie i może stanowić przedmiot odrębnych badań. Na uwagę zasługuje fakt, że pomimo stosunkowo wysokiej zawartości wody w produkcie końcowym ok. $0,34 \text{ kg H}_2\text{O kg s.m.}^{-1}$ po rocznym przechowywaniu w temperaturze 20°C nie wykazał on stwierdzalnych organoleptycznie (smak, zapach, barwa) oznak zepsucia. Wynika to prawdopodobnie z wysokiej zawartości kwasów i cukrów w suszonych wtyłokach z jabłek mające zdolności konserwujące.

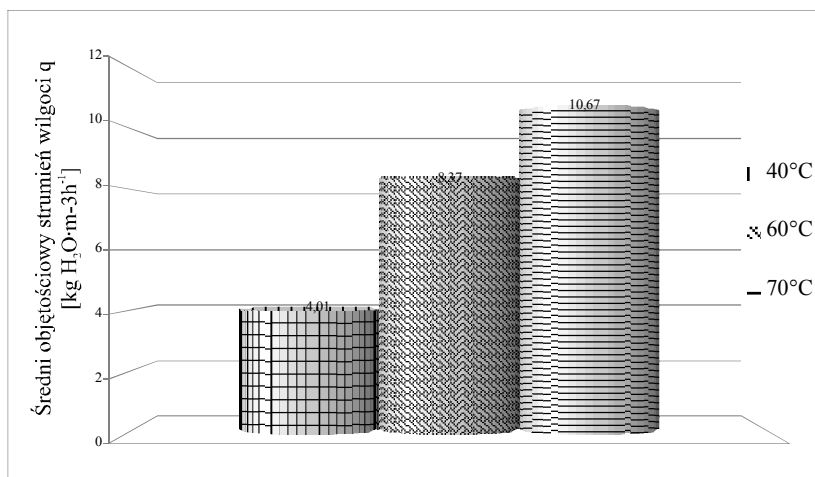
Rysunek 3 przedstawia zmiany wysokości warstwy surowca H_τ w trakcie suszenia, $t=60^\circ\text{C}$, $v=5,5 \text{ m s}^{-1}$ oraz początkowej wysokości warstwy $H_0=0,07 \text{ m}$.



Rysunek 3. Zmiany wysokości warstwy surowca H_τ w trakcie suszenia, $t=60^\circ\text{C}$, $v=5,5 \text{ m s}^{-1}$, $H_0=0,07 \text{ m}$

Figure 3. Changes in the layers of raw materials during a drying process, $t=60^\circ\text{C}$, $v=5,5 \text{ m s}^{-1}$, $H_0=0,07 \text{ m}$

Jednym z ważniejszych i często podawanych przez praktyków jest tzw. średni objętościowy strumień wilgoci q_v , czyli zdolność do odparowania wody z jednostki objętości komory suszenia. Na rysunku 4 przedstawiono zależność q_v od temperatury suszenia.



Rysunek 4. Wpływ temperatury suszenia na wartość objętościowego strumienia wilgoci, $v=5,5 \text{ m s}^{-1}$, $H_o=0,07 \text{ m}$

Figure 4. Influence of drying temperature on the value of the volumetric moisture flux, $v=5,5 \text{ m s}^{-1}$, $H_o=0,07 \text{ m}$

Jak wynika z histogramu przy wzroście temperatury suszenia z 40°C do 70°C (przy zachowaniu stałości pozostałych parametrów) wielkość średniego objętościowego strumienia wilgoci q_v wzrosła ponad 2,5 krotnie.

Wnioski

1. Spadek zawartości wody u w całym okresie suszenia przebiegał potęgowo przy wysokich współczynnikach determinacji.
2. Podwyższenie temperatury czynnika suszącego z 40°C do 70°C – przy prędkości czynnika suszącego $v=5,5 \text{ m s}^{-1}$ oraz wysokości złoża $H_o=0,07 \text{ m}$ (biorąc pod uwagę spadek zawartości wody w granicach od 0,43 do 0,35 $\text{kg H}_2\text{O kg s.m.}^{-1} \text{ min}^{-1}$) spowodowało ok. 2,5-krotne zwiększenie objętościowego strumienia wilgoci.
3. W trakcie suszenia surowca stwierdzono obniżanie się warstwy surowca w komorze - mające w przybliżeniu przebieg liniowy, spowodowane ścieraniem cząstek oraz zmianą ich lokalizacji w złożu.
4. Pomimo stosunkowo wysokiej zawartości wody (ok. 0,35 $\text{kg H}_2\text{O kg s.m.}^{-1}$) w suszu po rocznym przechowywaniu w temperaturze 20°C na podstawie oceny organoleptycznej nie stwierdzono zmiany barwy, smaku oraz zapachu.

Bibliografia

- Biesiada, A.; Kucharska, A.; Sokół-Lętowska, A. (2006). Planowanie i wartość wybranych odmian użytkowych Cucurbita pepo L. oraz Cucurbita Maxima Duch. *Folia Horticulturae Supplement 1*, 66-69.
- Ciborowski, J. (1965). *Podstawy Inżynierii Chemicznej*. WNT, Warszawa.
- Ciurzyńska, A.; Lenart, A.; Kawka, P. (2013). Influence of freeze-drying temperature and drying methods on selected properties of dried pumpkin, *Acta Agrophysica 20*(1), 39-51.
- Danilcenko, H.; Jarenie, E.; Paulauskiene, A.; Kulajtiene, J.; Viskelis, P. (2004). The effect of fertilization on quality and chemical composition of pumpkins. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin, 4*, 1949-1956.
- Kmieć, A. (1980). *Ekspansja złoża oraz wymiana ciepła masy w układach fluidalnych*. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Chemicznej i Urządzeń Ciepłych. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław.
- Kramkowski, R.; Skrzypiński, W. (1989). *Problemy rachunkowe w inżynierii i aparaturze przemysłu spożywczego*. Wydaw. AR. 353.
- Kozłowski, R.; Peroń, S.; Zdrojewski, Z.; Krajewski, M. (2006). Wstępne badania suszenia gęstwy drożdżowej zaabsorbowanej na nośniku porowatym w suszarce fontannowej. *Inżynieria Rolnicza*, 3(78), 161-168.
- Awirska, A.; Figiel, A.; Kucharska, A.Z.; Sokół-Lętowska, A.; Biesiada, A. (2009). Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods. *Journal of Food Engineering, 94*, 14-20.
- Nawirska-Olszańska, A. (2011). *Przydatność owoców Dyni jako surowca do przetwórstwa spożywczego*. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego. Wrocław.
- Peroń, S.; Zdrojewski, Z.; Krakowski, R.; Szarycz, M. (1998). Suszenie kostki ziemniaczanej w złożu fontannowym. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, 454*, 495-460.
- Strumiłło, Cz. (1983). *Podstawy teorii i techniki suszenia*. WNT, Warszawa, 304-312.
- Que, F.; Mao, L.; Fang, X.; Wu, T. (2008). Comparison of hot air - drying and freeze - drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours. *International Journal of Food Science and Technology, 43*, 1195-1201.
- Norma PN 90/A-75101.03 Przetwory owocowe i warzywne. Przygotowanie próbek i metody badań fizykochemicznych. Oznaczanie zawartości suchej masy metodą wagową.
- Norma PN-ISO 2591-1:2000 Analiza sitowa. Metody z zastosowaniem sit kontrolnych z tkaniny, drutu i blachy perforowanej.
- Norma PN-ISO 30-1:2000/A1. Wielkości fizyczne i jednostki mair. Część 1. Przestrzeń i czas.

FLESH PUMPKIN DRYING IN SPOUTED BED USING APPLE'S RESIDUES AS A POROUS CARRIER

Abstract. The trials were carried out in laboratory spouted dryer. The aim of this study was to assess the dynamics of dry granular mixture of waste pulp from the flesh of winter squash and dried apple pomace crushed under the fountain bed. Measurements were taken at constant air flow velocity ($v=5,5 \text{ m s}^{-1}$) and three temperatures 40, 60, 70°C. Interesting of the temperature of drying medium from 40 to 70°C caused in the experiment conditions growth of average volumetric moisture flux value of ca 2,5 time.

Key words: flash pumpkin, apples pomace, spouted bed, drying

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