

OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA MIKROFAL DO NAGRZEWANIA FONTANNUJĄCEGO ZŁOŻA PODCZAS SUSZENIA JABŁEK

*Marta Paślawska, Bogdan Stępień, Klaudiusz Jałoszyński, Mariusz Surma
Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

*Georgios Magganos
Technological Educational Institute of Messolonghi, Greece*

Streszczenie. Analizie poddano efekty suszenia jabłek w postaci kostki sześciiennej o boku 10 mm, metodą łączoną, z wykorzystaniem nagrzewania mikrofalami fontannującego złoża (FM), przy zastosowaniu temperatury powietrza suszącego 60-65°C oraz mikrofal o mocy 100 W. Opisano kinetykę wysychania materiału oraz wybrane cechy jakościowe suszu: barwę, wytrzymałość na ściskanie i rehydrację. Wyniki eksperymentów odniesiono do analogicznych efektów suszenia jabłek w złożu fontannowym (F) oraz z wykorzystaniem nagrzewania mikrofalami pod obniżonym ciśnieniem (MV). Stwierdzono, że proces, w którym zintegrowano suszenie fontannowe i nagrzewanie mikrofalami, przebiegał z większą intensywnością niż suszenie fontannowe bez dodatkowego nagrzewania, a fontannowo-mikrofalowy susz z jabłek charakteryzował się wyższą jakością niż pozostałe susze.

Słowa kluczowe: suszenie fontannowo-mikrofalowe, jabłka, barwa, wytrzymałość na ściskanie, rehydracja

Wprowadzenie i cel badań

Suszenie owoców jest niewątpliwie jednym z najbardziej skutecznych sposobów przedłużania ich trwałości, ale prowadzi również do pogorszenia cech sensorycznych w stopniu zależnym od zastosowanej techniki suszarniczej oraz ilości pozostawionej wody (Szentmarjay i in., 1996). Jako najbardziej zachowawczy sposób odwadniania owoców uważa się suszenie sublimacyjne, głównie ze względu na bardzo wysoką jakość sensoryczną uzyskiwanych produktów (barwę i konsystencję) oraz wysoką trwałość przechowalniczą (Paślawska i in., 2010). Suszenie sublimacyjne jest jednak metodą kosztowną i na skalę przemysłową opłacalną jedynie w tych działach przemysłu spożywczego, gdzie koszt procesu jest w odpowiedniej proporcji do wartości handlowej produktu. Poszukuje się więc innych metod odwadniania owoców, umożliwiających uzyskanie produktu suchego dobrej jakości,

w krótkim czasie, przy poniesionych jak najniższych kosztach inwestycyjnych oraz eksploatacyjnych. Metodą gwarantującą uzyskanie korzystnych wskaźników ekonomicznych jest suszenie w złożu fontannującym pod wpływem przepływającego przez komorę suszarniczą powietrza (Glasser, 1991), a zastosowanie dodatkowego nagrzewania złoża mikrofalami niskiej mocy umożliwi skrócenie czasu procesu. Pozytywne efekty stosowania tej techniki opisywane były w literaturze, w przypadku suszenia pszenicy (Jumah i Raghavan, 2001), krajanki ziemniaczanej (Yan i in., 2010) oraz sałaty (Feng i in., 2012). Aby metoda suszenia fontannowo-mikrofalowego mogła stać się bardziej powszechna w przetwórstwie owocowo-warzywnym, konieczne jest precyzyjne określenie wpływu parametrów procesu na jakość suszu z różnych owoców i warzyw.

Najszybciej zauważalnym zewnętrznym objawem zmian jakościowych wywołanych odwadnianiem jest zmiana barwy. Dzieje się dlatego, że substancje barwne występujące w owocach i warzywach (antocyjany i karotenoidy) są związkami ulegającymi przemianom lub rozpadowi pod wpływem niewielkich nawet zmian zawartości i stanu wody (Adiyaman i in., 2012). Jedną z metod obiektywnej, instrumentalnej oceny barwy jest system kolorymetryczny C.I.E.L*,a*,b*, który umożliwia przeprowadzenie ilościowej oceny jasności obrazu za pomocą parametru L* (od 0 – czerń do 100 – biel), chromatyczności za pomocą parametrów: a* (od (-)60 – zieleń do (+)60 – czerwień) oraz b* (od (-)60 – niebieski do (+)60 – żółty), a także ustalenie całkowitej różnicy barwy dwóch produktów ΔE (Clydesdale, 1972).

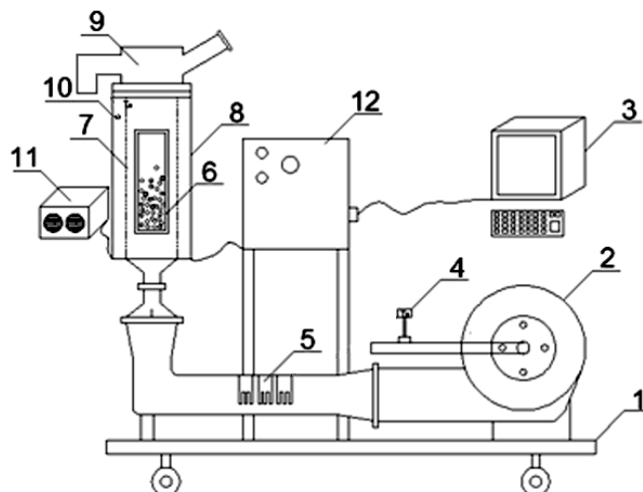
Istotnymi wyróżnikami jakości suszu są również zdolność do ponownego uwodnienia (rehydracja) oraz twardość, oceniana w testach wytrzymałościowych (Stępień, 2008). Rehydracja, rozumiana jako zdolność do absorpcji wody, pozwala określić stopień uszkodzenia tkanek roślinnych, natomiast porównanie wytrzymałości na ściskanie przed oraz po przeprowadzeniu odwadniania dostarcza informacji o zmianach reologicznych związanych z deformacją tkanek wywołaną usunięciem wody oraz podwyższoną temperaturą (Jakubczyk i Uziak, 2005).

Celem przeprowadzonych doświadczeń była ocena możliwości poprawy efektów odwadniania jabłek w złożu fontannowym poprzez zastosowanie dodatkowego nagrzewania mikrofalami niskiej mocy.

Materialy i metody

W doświadczeniach wykorzystano jabłka odmiany Champion (zakupione w handlu detalicznym na terenie Wrocławia), z miąższu których wycinano cząstki w formie kostki sześcienniej o boku 10 mm. Kostkę poddano odwadnianiu z zastosowaniem metod:

1. fontannowo-mikrofalowej (rys. 1), przy prędkości powietrza suszącego $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, temperaturze 60°C (FM60) i 65°C (FM65) oraz nagrzewaniu złoża mikrofalami o mocy 100 W;
2. fontannowej (Peroń i in., 2010), przy prędkości powietrza suszącego $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, temperaturze 60°C (F60) i 65°C (F65);
3. mikrofalowo-próżniowej (Callin-Sanchez i in., 2011), stosując moc mikrofal na poziomie 480 W i ciśnienie w komorze suszenia 4-6 kPa (MV).



Rysunek 1. Stanowisko laboratoryjne do suszenia fontannowo-mikrofalowego (FM): 1. szkielet, 2. wentylator, 3. komputer, 4. czujnik temperatury, 5. grzałki elektryczne, 6. fontannujące złoże, 7. zbiornik suszarniczy, 8. zewnętrzna osłona zatrzymująca mikrofałę, 9. pokrywa, 10. czujnik temperatury oraz ciśnienia, 11. magnetron.

Figure 1. Laboratory stand for spouted bed-microwave drying (FM): 1. rack, 2. fan, 3. computer, 4. temperature sensor, 5. electric heaters, 6. spouted bed, 7. drying tank, 8. outside shield stopping microwaves, 9. cover, 10. temperature and pressure sensor, 11. magnetron.

Kinetykę suszenia jabłek wyznaczono, analizując wagowo (WLC 3/6/A2, dokładność pomiaru $\pm 0,5g$) ubytek masy złoża w równych odstępach czasowych (1 minuta) oraz zawartość wody w materiale, na podstawie metody termogravimetrycznej (PN-90/A-75101/03) (waga AS/160/C/2, dokładność pomiaru $\pm 0,0001g$).

Jakość suszu oceniano na podstawie instrumentalnej oceny barwy, wytrzymałości na ściskanie oraz oceny efektów ponownego uwadniania (rehydracji).

Barwę oznaczano przy pomocy kolorymetru Minolta CR400, skalowanego według wzorca bieli BCRA No 20933100. Próbkę kilkunastu sześciątów świeżych lub wysuszonych różnymi metodami owoców układano ciasno w naczynku pomiarowym w dwóch warstwach, a następnie określano parametry barwy L^* , a^* , b^* , wykonując każdorazowo pięć odczytów. Oznaczenie barwy powtarzano dwukrotnie. Okienko pomiarowe o średnicy 0,008 m umieszczone było w odległości 0,010 m od próbki. Oznaczone parametry L^* , a^* oraz b^* posłużyły do wyliczenia wartości całkowitej zmiany barwy ΔE (Clydesdale, 1972), za pomocą której porównywano barwę dwóch próbek.

Wytrzymałość na ściskanie mierzono z wykorzystaniem maszyny Instron 5566, stosując głowicę o maksymalnym obciążeniu 1 kN i prędkość przesuwu głowicy $1,8 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$; testy wykonywano w prostopadłości, ściskając tłokiem warstwę ułożonych na sobie sześciątów tworzących słupek o wysokości 30 mm. Proces ściskania trwał do momentu od-

kształcenia próbki o 20% wysokości początkowej, tzn. o 6 mm. Analizy wykonywano w pięciu powtórzeniach. Wartość pracy ściskania obliczono metodą trapezów.

Wyniki dotyczące barwy i wytrzymałości na ściskanie poddano analizie statystycznej przy wykorzystaniu programu Statistica 9, stosując test nieparametryczny Kruskala-Wallisa ($\alpha=0,05$).

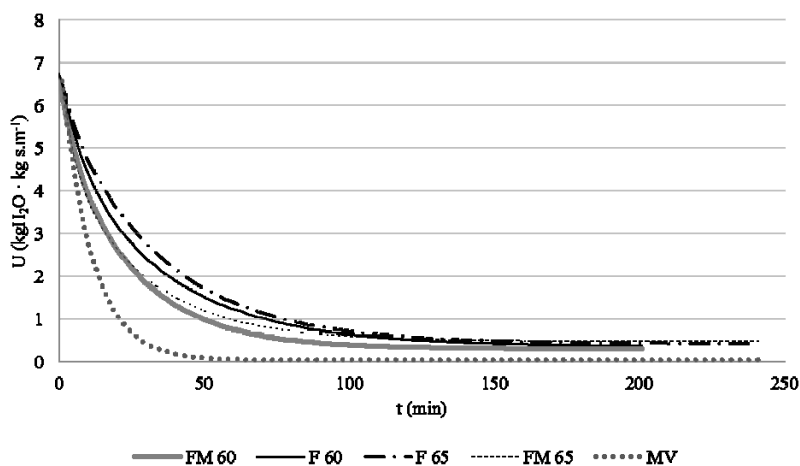
Rehydrację prowadzono w wodzie o temperaturze 20 i 90°C. Próbki suszu o masie 5 g umieszczone w stalowych koszyczkach zanurzano w wodzie, a po upływie 20 minut wyciągano i ważono po wstępnym odsączeniu. Na podstawie uzyskanych wyników określono względny przyrost masy próbki, wyrażony jako masa wody wchłonięta przez 1 g suszu. Doświadczenia wykonywano w trzech powtórzeniach, wyniki uśredniono.

Wyniki

Kinetykę suszenia jabłek z wykorzystaniem wybranych metod przedstawiono na wykresie (rys. 2) jako zmianę zawartości wody w materiale U ($\text{kgH}_2\text{O} \cdot \text{kg s.m}^{-1}$) w czasie suszenia τ (min). Przebieg odwadniania jabłek w formie kostki sześciennej o boku 10 mm opisano we wszystkich wariantach doświadczenia funkcją wykładniczą

$$U = a \cdot \exp(-\tau/b) + c \cdot \exp(-\tau/d) + e, \quad (1)$$

dobierając współczynniki równań $a - e$ na podstawie danych empirycznych w programie Microsoft Excel 2010 (tab. 1).



Rysunek 2. Kinetyka suszenia jabłek z wykorzystaniem metody fontannowo-mikrofalowej (FM), fontannowej (F) oraz mikrofalowo-próżniowej (MV)

Figure 2. Kinetics of drying apples with the use of the spouted bed-microwave method (FM), spouted bed (F) and microwave- vacuum (MV)

Tabela 1

Wartości współczynników równania opisującego przebieg suszenia jabłek z zastosowaniem techniki fontannowo-mikrofalowej (FM), fontannowej (F) oraz mikrofalowo-próżniowej (MV)

Table 1

Values of equation coefficients describing the course of apples drying with the use of spouted bed-microwave technique (FM), spouted bed (F) and microwave- vacuum (MV)

sposób suszenia	$U = a \cdot \exp(-\tau/b) + c \cdot \exp(-\tau/d) + e$					R^2	błąd średni SEE
	a	b	c	d	e		
FM 60	5,12	24,83	1,22	5,55	0,31	0,999	0,03118
FM 65	4,38	27,45	2,12	4,68	0,49	0,986	0,02828
F 60	4,67	35,88	1,72	8,19	0,36	0,999	0,06555
F 65	5,69	33,79	0,76	3,98	0,43	0,999	0,03933
MV	2,11	10,39	5,11	10,33	0,04	0,987	0,29698

Stwierdzono, że zastosowanie dodatkowego nagrzewania mikrofalami fontannującego złoża spowodowało poprawę dynamiki suszenia względem procesów prowadzonych w strumieniu powietrza. Efekt znacznej poprawy dynamiki suszenia jabłek poprzez wprowadzenie do metody fontannowej dodatkowego nagrzewania mikrofalami opisali również Feng i in. (1999). Badacze podają, że czas suszenia plastrów z jabłek, przy zastosowaniu mocy mikrofal 5 W w przeliczeniu na 1 g materiału uległ skróceniu z 140 do 50 minut. W prezentowanych w niniejszym artykule badaniach nie zaobserwowano tak znaczącego skrócenia procesu, głównie dlatego, że moc mikrofal w przeliczeniu na 1 g materiału była znacznie niższa i wynosiła 0,5 W, co wynikało z faktu, iż we wstępnie przeprowadzonych testach przy wyższych dawkach mocy obserwowano istotne obniżanie jakości suszu, głównie barwy.

Zauważono również inne zjawisko: podniesienie temperatury powietrza suszącego z 60-65°C spowodowało nieznaczne spowolnienie procesu zarówno w doświadczeniach z nagrzewaniem mikrofalami, jak i bez nagrzewania. W temperaturze 65°C kostki w złożu sklejały się tworząc aglomeraty, a także przyklejały do ścianek komory suszarniczej, powodując chwilowe zatrzymywanie fontannowania. Przyczyną takiego efektu było prawdopodobnie to, że dyfundująca z głębszych warstw jabłek woda zawierała cukry proste (o małej masie cząsteczkowej), które osadzały się na powierzchni kostek, podczas gdy woda odparowywała. Zagęszczony roztwór cukrów prostych podlega przemianom szklistym z intensywnością proporcjonalną do temperatury, a co się z tym wiąże, przy zastosowanej temperaturze 65°C znacznie bardziej intensywnie niż w temperaturze 60°C. Obserwowane zlepianie, zbrylanie i aglomeracja cząstek oraz zwiótczenie struktury było zatem wynikiem przemian szklistych (Pałacha i Sitkiewicz, 2008). Feng i in. (1999) prezentują zjawisko odwrotne: w zakresie temperatury powietrza suszącego 25-95°C obserwowali bezpośrednią zależność pomiędzy temperaturą procesu i szybkością odwadniania plastrów jabłek. Możliwe, że konstrukcja zastosowanej przez nich suszarki umożliwiała mechaniczne rozbijanie tworzących się w wysokich temperaturach aglomeratów.

Proces suszenia jabłek metodą MV przebiegał z największą dynamiką, ze względu na to, iż zastosowane obniżone ciśnienie (4-6 kPa) oraz wyższa wartość mocy mikrofal (480 W) znacznie intensyfikowały odparowanie wody z materiału.

Odwadnianie kostki z jabłek wywołało zmiany parametrów wybranych na potrzeby doświadczenia jako wyróżniki jakości suszu, w przypadku wszystkich trzech zastosowanych metod suszenia.

Zmiany barwy suszu oceniane instrumentalnie na podstawie pomiaru w systemie C.I.E. L^* , a^* , b^* wykazały wpływ zastosowanej metody odwadniania na wartości parametrów barwy (tab. 2). Najbardziej widoczną zmianą wywołaną odwadnianiem było pociemnienie jabłek (obniżenie wartości parametru L^*), największe w przypadku suszu mikrofalowo-próżniowego i znacznie mniejsze w przypadku suszu fontannowo-mikrofalowego oraz fontannowego.

Tabela 2

Parametry barwy jabłek świeżych oraz wysuszonych z zastosowaniem techniki fontannowo-mikrofalowej (FM), fontannowej (F) oraz mikrofalowo-próżniowej (MV)

Table 2

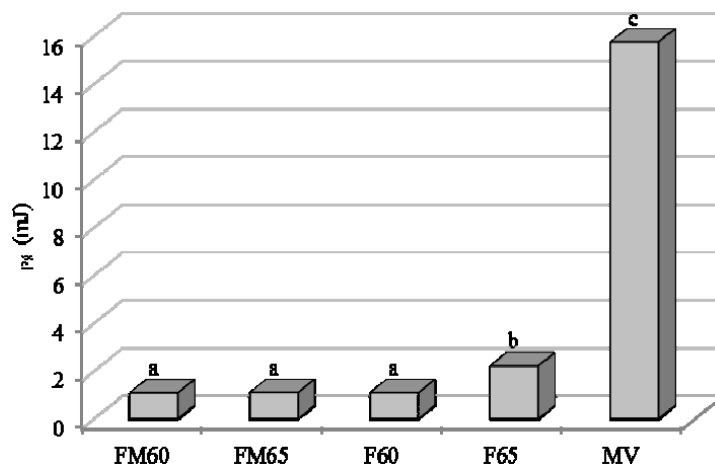
Colour parameters of fresh apples and dried apples with the use of spouted bed-microwave (FM), spouted bed (F) and microwave- vacuum (MV) technique

Rodzaj materiału		Parametry barwy			
		L^*	a^*	b^*	ΔE
Owoce świeże		84,29 ^a	-1,60 ^a	18,86 ^a	-
	FM 60	60,88 ^b	2,33 ^b	22,68 ^b	24,05 ^a
	FM 65	59,88 ^b	2,41 ^b	21,68 ^b	25,05 ^a
Owoce suszone	F 60	60,01 ^b	9,45 ^d	27,62 ^c	28,08 ^b
	F 65	62,17 ^b	3,05 ^b	28,25 ^c	30,49 ^b
	MV	48,34 ^c	6,31 ^c	21,47 ^b	35,58 ^c

a,b,c,d – grupy jednorodne

Na podstawie analizy wartości liczbowych całkowitej zmiany barwy ΔE , stwierdzono pozytywny wpływ nagrzewania mikrofalami fontannującego złoża na jakość suszu. Susz fontannowo-mikrofalowy różnił się od materiału świeżego o $\Delta E_{MF} = 24,05 \div 25,05$, susz fontannowy $\Delta E_F = 28,08 \div 30,49$, natomiast susz mikrofalowo-próżniowy $\Delta E_{MV} = 35,58$. Nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu temperatury powietrza suszącego na zmianę barwy suszonych jabłek zarówno w przypadku zastosowania metody fontannowej, jak i fontannowo-mikrofalowej.

Odporność na ściskanie uzyskanego suszu oceniano na podstawie analizy wartości pracy ściskania (P_s). W przypadku suszy fontannowo-mikrofalowych oraz fontannowych wytrzymałość na ściskanie była znacznie mniejsza ($P_s = 1,08 \div 2,20$ mJ), niż w przypadku suszu mikrofalowo-próżniowego ($P_s = 15,75$ mJ) (rys. 3).

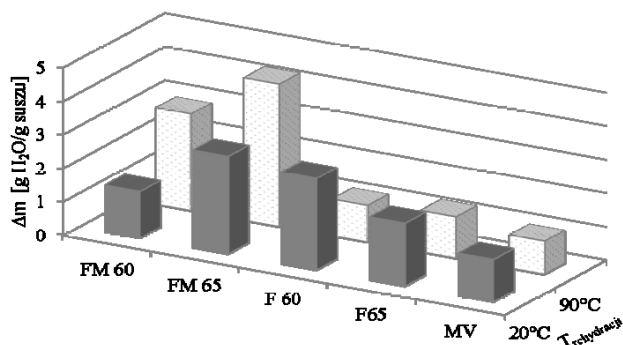


Rysunek 3. Praca ściskania (P_c) suszu z jabłek uzyskanego z wykorzystaniem metody fontannowo-mikrofalowej (FM), fontannowej (F) oraz mikrofalowo-próżniowej (MV) a,b,c – grupy jednorodne

Figure 3. Compression work (P_c) of dried apples obtained by the spouted bed-microwave (FM), spouted bed (F) and microwave- vacuum (MV) method a,b,c – homogeneous groups

Przyczyną występowania różnicy wytrzymałości na ściskanie suszy fontannowych (F, FM) i mikrofalowo-próżniowego jest prawdopodobnie fakt, że metoda MV pozwala uzyskać susz o najmniejszym, w porównaniu do pozostałych metod, skurczu suszarniczym (Liu i in., 2009), a co się z tym wiąże – równiejszej powierzchni ścian sześciątów. W trakcie testu ułożone jedna na drugiej cząstki ściśle do siebie przylegają, zatem zmierzona siła ściskania suszu MV jest siłą potrzebną na odkształcenie struktury komórkowej suszu z jabłek, nie zaś siłą potrzebną na zlikwidowanie przestrzeni powietrznych pomiędzy sześciątami, tak jak w przypadku suszy F i FM. Drugą przyczyną znacznej różnicy wytrzymałości na ściskanie suszy fontannowych i suszu mikrofalowo-próżniowego są przemiany szkliste cukrów zachodzące podczas suszenia w strumieniu gorącego powietrza (F i FM), skutkujące skurczem suszarniczym, zwiotczeniem i wzrostem plastyczności materiału. Podobne wyniki dotyczące twardości jabłek odwadnianych różnymi metodami prezentują Jakubczyk i Uziak (2005).

Po przeprowadzeniu ponownego uwadniania suszy uzyskanych różnymi metodami, zauważono wpływ metody zastosowanej do wysuszenia owoców oraz temperatury wody podczas rehydracji na zdolność do rehydracji. Najwyższy względny przyrost masy stwierdzono w przypadku suszy uzyskanych metodą fontannowo-mikrofalową, a najniższy w przypadku suszu mikrofalowo-próżniowego (rys. 4).



Rysunek 4. Względny przyrost masy Δm podczas rehydracji suszu z jabłek uzyskanego z wykorzystaniem metody fontannowo-mikrofalowej (FM), fontannowej (F) oraz mikrofalowo-próżniowej (MV), prowadzonej w temperaturze 20 i 90°C
 Figure 4. Relative increase of weight Δm during rehydration of dried apples obtained by the spouted bed- microwave (FM), spouted bed (F) and microwave - vacuum (MV) method carried out in 20 and 90°C

Stwierdzono, że zastosowanie wyższej temperatury podczas rehydracji powoduje zwiększenie intensywności pochłaniania wody w przypadku suszu FM, natomiast w przypadku suszu F i suszu MV wywołuje efekt przeciwny. Przeprowadzone badania częściowo tylko potwierdzają twierdzenie o wprost proporcjonalnym wpływie temperatury na zdolność do rehydracji, wykazanym w przypadku jabłek suszonych konwekcyjnie i rehydrowanych w wodzie o temperaturze z zakresu 4-40°C (Witrowa-Rajchert i Dworski, 2003). Niejednoznaczne zależności pomiędzy właściwościami rekonstrykcyjnymi a temperaturą rehydracji opisano również w przypadku uwadniania suszu z truskawek (Paślawska i Pełka, 2006), gdzie podwyższenie temperatury rehydracji suszu sublimacyjnego wywoływało, oprócz wzmożonej dyfuzji składników suchej substancji do wody, także silne rozluźnienie struktur tkankowych, deformację przestrzeni międzykomórkowych, a w konsekwencji – utratę kształtu owocu.

Zmiana masy suszu w czasie rehydracji wynika z jednoczesnego przeciwniezanego transportu wody do próbki i suchej substancji z materiału do roztworu, na zasadzie ssania kapilarnego oraz na drodze dyfuzji (Witrowa-Rajchert i Dworski, 2003).

Wnioski

4. Wykorzystanie mikrofal niskiej mocy do nagrzewania fontannującego złoża w trakcie suszenia jabłek pozwala zwiększyć intensywność odwadniania względem metody fontannowej, a uzyskany susz fontannowo-mikrofalowy charakteryzuje się wyższą jakością niż susz fontannowy.
5. Ze względu na kinetykę procesu suszenia fontannowo-mikrofalowego bardziej korzystne jest stosowanie temperatury powietrza suszącego na poziomie 60°C niż na poziomie 65°C.

6. Z uwagi na wysoki względny przyrost masy bardziej korzystne jest prowadzenie rehydracji suszu fontannowo-mikrofalowego w temperaturze 90°C niż w 20°C.

Litaratura

- Adiyaman, P.; Kanchana, S.; Mahendran, P. P. (2012). Development and stability of bio-food colour from beetroot by spray drying. *Carpathian Journal of Food Science & Technology*, 4(2), 63-73.
- Calin-Sanchez, A.; Szumny, A.; Figiel, A.; Jałoszyński, K.; Adamski, M.; Carbonell-Barrachina, A.A. (2011). Effects of vacuum level and microwave power on rosemary volatile composition during vacuum-microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 103, 219-227.
- Liu, C.; Zheng, X.; Jia, S.; Ding, N.; Gao, X. (2009). Comparative experiment on hot-air and microwave-vacuum drying and puffing of blue honeysuckle snack. *International Journal of Food Engineering*, 5(4), 1-9.
- Clydesdale, F.M. (1972). Measuring the color of foods. *Food Technol.*, 26(7), 45-55.
- Feng, H.; Tang, J.; Cavalieri, R.P. (1999). Combined microwave and spouted bed drying of diced apples effect of drying conditions and drying kinetics and product temperature. *Drying Technology*, 17(01), 1981-1998.
- Feng, Y.F.; Zhang, M.; Jiang, H.; Sun, J.C. (2012). Microwave-Assisted Spouted Bed Drying of Lettuce Cubes. *Drying Technology*, 30, 1482-1490.
- Glasser, R. (1991). O możliwości suszenia krajanek warzywnych w warstwie pulsofluidalnej. *Materiały VII Sympozjum Suszarnictwa. Łódź*, 147-154.
- Jakubczyk, E.; Uziak, D. (2005). Charakterystyka instrumentalnych metod badania właściwości mechanicznych wybranych owoców i warzyw. *Inżynieria Rolnicza*, 11(71), 181-189.
- Jumah, R.Y.; Raghavan, G.S.V. (2001). Analysis of heat and mass transfer during combined microwave-convective spouted-bed drying. *Drying Technology*, 19(3-4), 485-506.
- Kahyaoglu, L.N.; Sahin, S.; Summu, G. (2012). Spouted bed and microwave-assisted bed drying of parboiled wheat. *Food and Bioproducts Processing*, 90, 301-308.
- Peroń, S.; Surma, M.; Zdrojewski, Z. (2010). Suszenie owoców jałowca w złożu fontannowym. *Inżynieria Rolnicza*, 9(134), 177-182.
- Pałacha, Z.; Sitkiewicz, I. (2008). Temperatura przemiany szklistej – parametr stabilności żywności. *Przemysł Spożywczy*, 9, 32-37.
- Pasławska, M.; Pełka, A. (2006). Właściwości rekonstytucyjne i barwa suszu truskawkowego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1(46), 86-92.
- Pasławska, M.; Stępień, B.; Jałoszyński, K. (2010). Zmiany parametrów barwy owoców jagodowych wywołane suszeniem, przechowywaniem i rehydracją. *Inżynieria Rolnicza*, 2(120), 95-102.
- PN-90/A-75101.03. *Przetwory owocowe i warzywne. Przygotowanie próbek i metody badań fizykochemicznych. Oznaczanie zawartości suchej masy metodą wagową.*
- Stępień, B. (2008). Impact of vacuum-microwave drying on selected mechanical and rheological features of carrot. *Biosystem Engineering*, 99, 234-238.
- Szentmarjay, T.; Pallai, E.; Szekrenyessy, K. (1996). Product quality an operational parameters of drying. *Drying*, Volume A, 658-663.
- Witrowa-Rajchert, D.; Dworski, T. (2003). Research on dried apple rehydrated with water and milk. *Acta Agrophysica*, 2(2), 433-441.
- Yan, W.; Zhang, M.; Huang, L.; Tang, J.; Mujumdar, A.S.; Sun, J. (2010). Study of the optimization of puffing characteristics of potato cubes by spouted bed drying enhanced with microwave. *J Sci Food Agric*, 90, 1300-1307.

ASSESSMENT OF POSSIBILITY OF USING MICROWAVES FOR HEATING SPOUTED BED DURING DRYING APPLES

Abstract. Results of drying apples in the form of a 10 mm cube with a combined method with spouted bed microwaves heating (FM) at the air drying temperature 60-65°C and microwaves of 100W power were analysed. Drying kinetics of material and the selected quality features of dried apples were described: colour, compression strength and rehydration. Experimental results were referred to analogical effects of drying apples in the spouted bed (F) and with the use of microwaves heating at the reduced pressure (MV). It was found out that the process, where spouted bed drying and microwaves heating took place with greater intensity than spouted bed drying without additional heating and spouted- microwave dried apples were characterised with higher quality than the remaining dried apples.

Key words: spouted bed - microwave drying, apples, colour, compression strength, rehydration

Adres do korespondencji:

Marta Paślawska; e-mail: marta.paslawska@up.wroc.pl

Instytut Inżynierii Rolniczej

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

ul. Chelmońskiego 37/41

51-630 Wrocław