

EWA JAKUBCZYK, EWA GONDEK

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

WPLYW PARAMETRÓW PROCESU NA PRZEBIEG SUSZENIA KONWEKCYJNO-MIKROFALOWEGO SPIENIONEGO PRZECIERU JABŁKOWEGO*

Streszczenie. Celem pracy było określenie wpływu parametrów procesu (grubości warstwy, prędkości powietrza, mocy generatora mikrofal) na kinetykę suszenia konwekcyjno-mikrofalowego spienionego przecieru jabłkowego. Materiał suszono w warstwie o grubościach: 2, 4, 6, 8 i 10 mm w temperaturze 40°C przy prędkości przepływu powietrza 1,8 m/s i mocy mikrofal 250 W. Przeprowadzono badania suszenia przecieru z zastosowaniem mocy mikrofal w zakresie od 0 do 250 W. Określono również zależność między szybkością suszenia a prędkością przepływu czynnika suszącego. Zmniejszenie grubości warstwy piany z 10 do 2 mm dwukrotnie skróciło czas suszenia przecieru. Szybkość suszenia i wydajność procesu zwiększały się wraz ze wzrostem mocy mikrofal i prędkości powietrza.

Słowa kluczowe: suszenie mikrofalowe, piany, grubość warstwy, prędkość przepływu powietrza, wydajność

Wstęp

Suszenie pianowe jest prostą i stosunkowo tanią techniką umożliwiającą usunięcie wody z materiału w krótkim czasie (KHALIL i IN. 2002). Niewątpliwą zaletą tej metody jest uzyskanie produktu w formie instant o dobrej jakości, o wysokim stopniu zachowania związków lotnych i korzystnych właściwościach rekonstrykcyjnych. Suszenie spienionych materiałów może być z powodzeniem stosowane do surowców o dużej zawartości cukrów, które trudno jest wysuszyć innymi metodami (RATTI i KUDRA 2006). Gama produktów, do których stosowano technikę pianową, znacznie się w ostatnich latach poszerzyła, w stanie spienionym suszono soki, ale również pulpy owocowe

*Badania zostały sfinansowane ze środków na naukę Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2007-2009 w ramach projektu nr N312 2478 33.

i warzywne (FALADE i IN. 2003, SANKAT i CASTAIGNE 2004, SHARMA i IN. 2004, KUDRA i RATTI 2006). Suszone owoce i przeciera owocowe są szeroko stosowane jako składniki wielu produktów spożywczych, takich jak: lody, jogurty, wyroby cukiernicze i piekarskie (KOMES i IN. 2007).

Suszenie pianowe składa się z trzech etapów: formowanie stabilnej piany zawierającej produkt, który ma być suszony, suszenie piany do formy cienkiej warstwy (maty) oraz rozdrobnienie wysuszonego materiału do sypkiego proszku (KARIM i WAI 1999).

Otwarta struktura piany stwarza dobre warunki dla ruchu masy w czasie suszenia, aczkolwiek uzyskanie odpowiednio stabilnej piany wymaga zastosowania substancji spieniających i stabilizujących. Przy formowaniu stabilnych pian przeznaczonych do suszenia soków i przecierów owocowych stosowano izolaty sojowe (SANKAT i CASTAIGNE 2004), zmodyfikowane białka sojowe (RAJKUMAR i IN. 2007), monoglicerydy (SANKAT i CASTAIGNE 2004) albuminę jaja kurzego (VERNON-CARTER i IN. 2001, THUWAPANICHAYANAN i IN. 2008) oraz metylocelulozę (KUDRA i RATTI 2006). Obecnie prowadzone badania koncentrują się nad wykorzystaniem różnych metod suszenia spienionych materiałów. Oprócz najczęściej stosowanego suszenia konwekcyjnego (FALADE i IN. 2003, SHARMA i IN. 2004) wykorzystano też suszenie pian mikrofalowe (BRYGIDYR i IN. 1977) i sublimacyjne (MUTHUKUMARAN i IN. 2008).

Suszenie pianowe wymaga optymalizacji zarówno samego procesu spieniania, jak i warunków suszenia. Dobór parametrów suszenia i nadanie odpowiedniej formy materiałowi suszonemu pozwalają na uzyskanie znacznych szybkości suszenia w porównaniu z materiałem niespionym (JAKUBCZYK i WNOROWSKA 2008). W wielu pracach analizowano wpływ grubości warstwy oraz temperatury powietrza na przebieg suszenia konwekcyjnego spienionych materiałów (RAHARITSIFA i IN. 2006, SANKAT i CASTAIGNE 2004, THUWAPANICHAYANAN i IN. 2008).

Suszenie mikrofalowe lub konwekcyjne wspomaganie mikrofalami umożliwia uzyskanie suszu o wysokiej jakości odżywczej i sensorycznej (SZARYCZ i IN. 2006), przy jednoczesnym skróceniu czasu suszenia w porównaniu z innymi metodami.

Celem pracy była analiza wpływu parametrów procesu na kinetykę i wydajność suszenia pianowo-mikrofalowego przecieru jabłkowego.

Material i metody

Materiałem badawczym był pasteryzowany, niesłodzony przecier jabłkowy (16,5 Brix) (Barbara S.C., Narty) spieniany z dodatkiem albuminy z białka jaja kurzego (Fluka) i metylocelulozy (Methocel[®] 65, HG Fluka). Stężenia środków spieniających w stosunku do masy przecieru wynosiły odpowiednio 2 i 0,5%. Materiał spieniano za pomocą miksera laboratoryjnego w ciągu 5 min. Uzyskaną pianę o gęstości $0,31 \pm 0,01$ g/cm³ nakładano na szalkę Petriego o średnicy 166 mm i suszono w laboratoryjnej suszarce konwekcyjno-mikrofalowej w temperaturze 40°C. Badano wpływ grubości warstwy, prędkości przepływu powietrza i mocy generatora na kinetykę procesu. Materiał suszono w warstwie 2, 4, 6, 8 i 10 mm przy mocy generatora $P = 250$ W i prędkości przepływu powietrza $v = 1,8$ m/s. Badano również proces suszenia materiału w warstwie 4 mm, przy mocy generatora 180 W, z zastosowaniem prędkości przepływu powietrza: 1,5, 1,8, 2,2, 2,7 i 3,0 m/s. Analizowano proces suszenia piany z zastosowaniem mocy generatora 0, 80, 120, 180 i 250 W, przy stałej grubości warstwy 4 mm i prędkości przepływu powietrza 1,8 m/s.

W czasie suszenia rejestrowano zmiany masy suszonego materiału, prowadząc proces do uzyskania stałej masy. Każdy eksperyment wykonano w trzech powtórzeniach. W materiale po suszeniu określano zawartość wody (metodą suszenia pod obniżonym ciśnieniem w 70°C przez 24 h) i aktywność wody (w aparacie Rotronic-Hygroscop DT).

Na podstawie ubytków masy w czasie suszenia wykreślano krzywe suszenia, w funkcji względnej zawartości wody MR w czasie. Analizę regresji krzywych suszenia i szybkości suszenia przeprowadzono z wykorzystaniem programu Table Curve 2D v. 3 (Jandel Scientific Software).

$$MR = \frac{u - u_r}{u_o - u_r} \quad (1)$$

gdzie: MR – bezwymiarowa względna zawartość wody, u – zawartość wody w czasie suszenia (g/g_{ss}), u_o – początkowa zawartość wody (g/g_{ss}), u_r – równowagowa zawartość wody (g/g_{ss}).

Wydajność suszenia wyznaczono jako ilość materiału wysuszonego uzyskanego z jednostkowej powierzchni w czasie 1 h ($g/m^2 \cdot h$).

Analizę statystyczną wyników przeprowadzono w programie Statgraphics. Wykonano analizę wariancji i porównanie średnich testem Tukeya przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki i dyskusja

Suszeniu konwekcyjno-mikrofalowemu poddano przecier jabłkowy, którego parametry spieniania oraz dodatek albuminy i metylocelulozy poddano optymalizacji w trakcie badań wstępnych (JAKUBCZYK i GONDEK 2008).

Uzyskane w pracy krzywe suszenia przecieru spienionego przy tej samej grubości warstwy, jako kolejne powtórzenia, nie różniły się istotnie. Na rysunku 1 zaprezentowano średnie wartości względnej zawartości wody wraz z odchyleniami standardowymi oraz wyznaczone krzywe regresji. Wzrost grubości warstwy materiału z 2 do 10 mm powodował wydłużenie czasu suszenia z 18 do 40 min. Analogiczną tendencję obserwowali FALADE i IN. (2003), susząc pianowo purée z fasoli, oraz SANKAT i CASTAIGNE (2004) podczas suszenia owiewowego spienionego purée bananowego.

Po suszeniu materiał różnił się nieznacznie zawartością i aktywnością wody (tab. 1). Najmniejszą końcową zawartością wody charakteryzował się przecier suszony w warstwie o grubości 2 i 4 mm, a większe wilgotności proszków obserwowano przy zwiększeniu grubości warstw piany. Zawartość wody w materiale uzyskanym poprzez suszenie w warstwie od 6 do 10 mm nie różniła się statystycznie istotnie. Zmniejszenie grubości materiału z 10 do 2 mm związane było z pięciokrotną redukcją masy materiału podanego suszeniu. ÖZBEK i DADALI (2007), którzy suszyli mikrofalowo liście mięty, stwierdzili, że zmniejszenie masy początkowej materiału z 100 do 25 g skracało czas suszenia o 59%. Zmniejszenie grubości warstwy spienionego przecieru z 10 do 6 mm skracało czas suszenia (do zawartości wody 0,05 g/g_{ss}) o 25%, podczas gdy redukcja grubości warstwy z 6 do 2 mm wpływała na skrócenie czasu suszenia o 40%. Wzrost grubości warstwy piany poddanej suszeniu wpływał również na wzrost wydajności

Tabela 1. Wpływ parametrów suszenia konwekcyjno-mikrofalowego na wydajność suszenia oraz zawartość wody i aktywność wody suszonego przecieru

Table 1. Effect of convection-microwave drying parameters on drying throughput and moisture content and water activity of dried purée

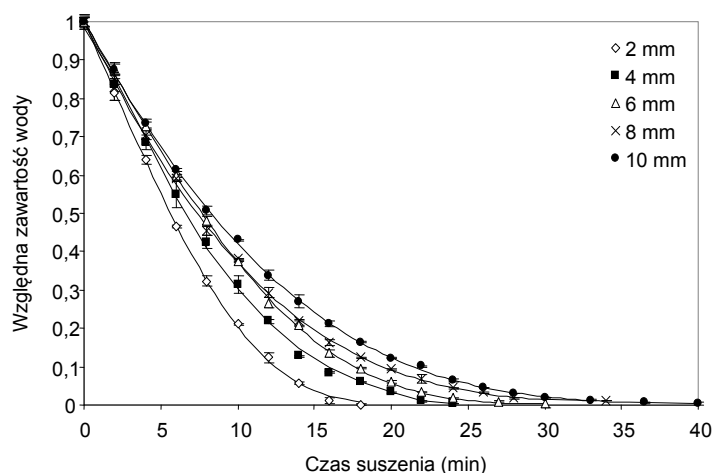
Rodzaj czynnika	Parametry procesu	Zawartość wody (g/g _{ss})	Aktywność wody	Wydajność suszenia (g/m ² ·h)
Grubość warstwy (mm)	$t = 40^{\circ}\text{C}$	2,01±0,84 ^a	0,115±0,011 ^a	395,8±32,2 ^a
	$v = 1,8 \text{ m/s}$	1,22±0,57 ^a	0,108±0,025 ^a	532,4±21,2 ^b
	$P = 250 \text{ W}$	3,75±0,19 ^b	0,138±0,022 ^b	601,1±28,1 ^c
		3,72±0,14 ^b	0,132±0,032 ^b	653,3±32,3 ^c
		3,78±0,54 ^b	0,134±0,042 ^b	625,4±38,4 ^c
Prędkość przepływu (m/s)	$t = 40^{\circ}\text{C}$,	2,11±0,47 ^{a†}	0,118±0,011 ^{a†}	368,1±27,8 ^{a†}
	$\delta = 4 \text{ mm}$	1,21±0,35 ^{a†}	0,111±0,017 ^{a†}	494,8±22,2 ^{b†}
	$P = 180 \text{ W}$	2,25 ±0,58 ^{a†}	0,124±0,021 ^{a†}	534,2±28,2 ^{b†}
		2,22±0,21 ^{a†}	0,128±0,030 ^{a†}	597,2±21,0 ^{c†}
		2,05±0,56 ^{a†}	0,114±0,048 ^{a†}	612,2±22,0 ^{c†}
Moc (W)	$t = 40^{\circ}\text{C}$,	3,33±0,47 ^{a†}	0,138±0,031 ^{a†}	127,3±10,2 ^{a†}
	$\delta = 4 \text{ mm}$	3,14±0,12 ^{a†}	0,130±0,012 ^{a†}	288,4±18,2 ^{b†}
	$v = 1,8 \text{ m/s}$	1,32±0,74 ^{b†}	0,118±0,005 ^{b†}	424,3±14,2 ^{c†}
		1,21±0,35 ^{b†}	0,111±0,017 ^{b†}	494,8±22,2 ^{d†}
		1,22±0,57 ^{b†}	0,108±0,025 ^{b†}	532,4±36,2 ^{d†}

t – temperatura powietrza, v – prędkość strumienia powietrza, δ – grubość warstwy materiału, P – moc mikrofal.

Te same symbole w kolumnie oznaczają grupy jednorodne.

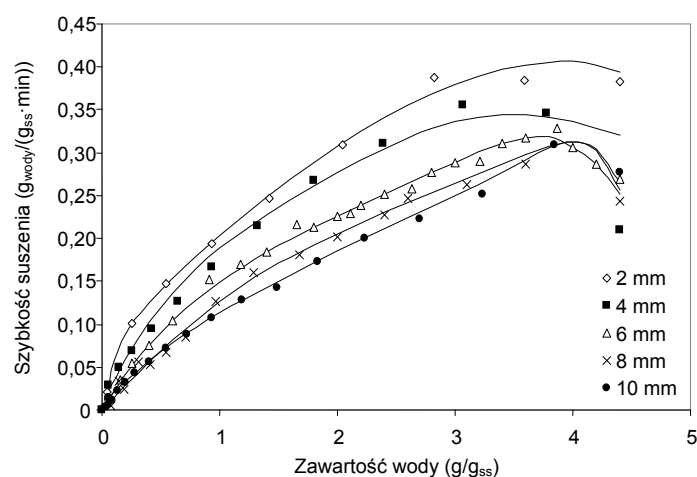
procesu (tab. 1), chociaż wydajności suszenia pian o grubości powyżej 6 mm nie różniły się statystycznie istotnie.

Analiza przebiegu suszenia konwekcyjno-mikrofalowego przy różnej grubości warstwy wykazała brak okresu stałej szybkości suszenia (rys. 2). Obserwowano głównie okres malejącej szybkości suszenia. W początkowym etapie suszenia przy zawartości wody 4,0 g/g_{ss} szybkość suszenia materiału o grubości warstwy 6, 8 i 10 mm nie różniła się i wynosiła 0,31 g_{wody}/(g_{ss}·min), natomiast przecier o warstwie 2 mm suszył się z prędkością 0,40 g_{wody}/(g_{ss}·min). Przy zawartości wody 1 g/g_{ss} szybkość suszenia wzrosła o 40% przy zmianie grubości warstwy z 10 do 6 mm. RAJKUMAR i IN. 2007 suszyli owiewowo spienione purée mango i uzyskali ponad dwukrotny wzrost szybkości suszenia w początkowym i końcowym etapie procesu przy redukcji grubości warstwy materiału z 3 do 1 mm.



Rys. 1. Krzywe suszenia konwekcyjno-mikrofalowego spienionego przecieru przy różnej grubości warstwy materiału ($t = 40^{\circ}\text{C}$, $P = 250\text{ W}$, $v = 1,8\text{ m/s}$)

Fig. 1. Convection-microwave drying curves of foamed purée at different thickness of the material layer ($t = 40^{\circ}\text{C}$, $P = 250\text{ W}$, $v = 1.8\text{ m/s}$)

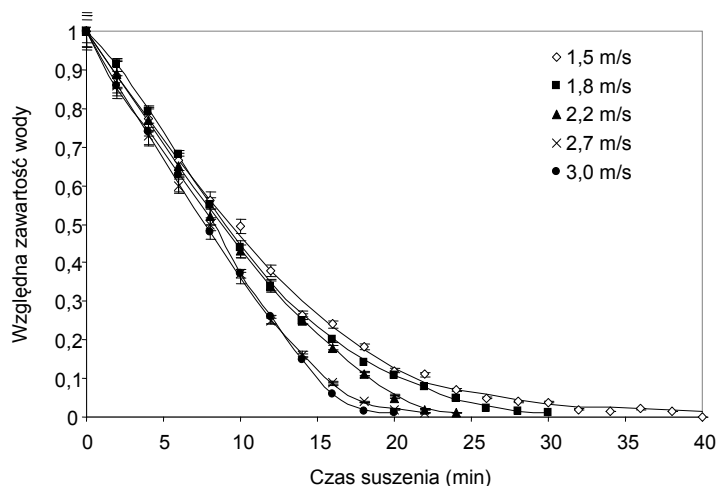


Rys. 2. Krzywe szybkości suszenia konwekcyjno-mikrofalowego spienionego przecieru przy różnej grubości warstwy materiału ($t = 40^{\circ}\text{C}$, $P = 250\text{ W}$, $v = 1,8\text{ m/s}$)

Fig. 2. Convection-microwave drying rates curves of foamed purée at different thickness of the material layer ($t = 40^{\circ}\text{C}$, $P = 250\text{ W}$, $v = 1.8\text{ m/s}$)

Przecier suszony w warstwie 4 mm przy różnych prędkościach przepływu powietrza nie wykazywał statystycznie istotnych różnic wartości końcowej zawartości wody i aktywności wody. Wraz ze wzrostem prędkości przepływu powietrza w zakresie od 1,5 do

3,0 m/s materiał suszył się w czasie dwukrotnie krótszym (rys. 3). Podczas suszenia pianowego przecieru pomidorowego zmiana prędkości powietrza z 0,77 do 1,16 m/s skracała ponad dwukrotnie czas suszenia pian o gęstości 0,2 g/cm³. Wpływ prędkości przepływu powietrza suszącego był zależny od grubości i gęstości piany (LEWICKI 1975). SANKAT i CASTAIGNE (2004) obserwowali również wzrost szybkości suszenia wraz ze wzrostem prędkości powietrza od 0,62 do 1,03 m/s, ale uzyskane wartości szybkości procesu różniły się nieznacznie. Przy zwiększaniu prędkości z 1,5 do 1,8 m/s przecier jabłkowy suszył się w czasie o 40% krótszym, przy kolejnym zaś wzroście prędkości – z 2,2 do 3,0 m/s – czas suszenia był tylko o 20% krótszy.

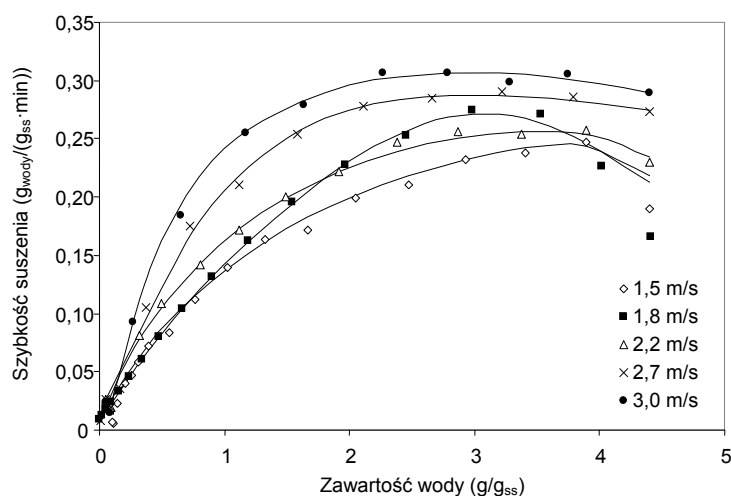


Rys. 3. Krzywe suszenia konwekcyjno-mikrofalowego spienionego przecieru przy różnej prędkości przepływu powietrza ($t = 40^{\circ}\text{C}$, $P = 180\text{ W}$, $\delta = 4\text{ mm}$)

Fig. 3. Convection-microwave drying curves of foamed puree at different air velocity ($t = 40^{\circ}\text{C}$, $P = 180\text{ W}$, $\delta = 4\text{ mm}$)

Na rysunku 4 przedstawiono krzywe szybkości suszenia uzyskane z zastosowaniem różnych prędkości przepływu czynnika suszącego. Przy zawartości wody 1 g/g_{ss} wzrost przepływu powietrza z 1,5 do 3,0 m/s wpływał na zwiększenie szybkości procesu z 0,14 do 0,24 g_{wody}/(g_{ss}·min). Suszenie przecieru jabłkowego przebiega w okresie malejącej szybkości suszenia, w którym dominują opory przewodzenia wody w materiale i o szybkości procesu decydują rozkład wilgoci i temperatury w materiale (INŻYNIERIA... 1990), aczkolwiek można się spodziewać większych wartości współczynników przenoszenia ciepła i masy z zastosowaniem większych prędkości przepływu powietrza (SANKAT i CASTAIGNE 2004). Lepsze warunki wymiany ciepła i masy sprzyjały uzyskaniu większych wydajności procesu przy dużych prędkościach przepływu czynnika suszącego (tab. 1).

Moc mikrofal istotnie wpływała na skrócenie czasu suszenia spienionego przecieru, pianą suszona przy 250 W suszyła się w czasie pięciokrotnie krótszym niż materiał suszony wyłącznie konwekcyjnie (0W) (tab. 2). Szybkości suszenia w początkowym etapie procesu, jak i przy średniej zawartości wody w materiale wskazywały na istotne



Rys. 4. Krzywe szybkości suszenia konwekcyjno-mikrofalowego spienionego przecieru przy różnej prędkości przepływu powietrza ($t = 40^{\circ}\text{C}$, $P = 180\text{ W}$, $\delta = 4\text{ mm}$)

Fig. 4. Convection-microwave drying rates curves of foamed purée at different air velocity ($t = 40^{\circ}\text{C}$, $P = 180\text{ W}$, $\delta = 4\text{ mm}$)

Tabela 2. Wpływ mocy mikrofal na czas i szybkość suszenia spienionego przecieru jabłkowego przy stałych parametrach procesu: $t = 40^{\circ}\text{C}$, $\delta = 4\text{ mm}$, $v = 1,8\text{ m/s}$

Table 2. Effect of microwave power on drying time and rates of foamed apple purée at constant process parameters: $t = 40^{\circ}\text{C}$, $\delta = 4\text{ mm}$, $v = 1.8\text{ m/s}$

Moc (W)	Czas suszenia (min)	Szybkość suszenia przy zawartości wody 3,5 g/g _{ss} (g _{wody} /(g _{ss} ·min))	Szybkość suszenia przy zawartości wody 1,0 g/g _{ss} (g _{wody} /(g _{ss} ·min))
0	125	0,069	0,028
80	52	0,142	0,075
120	36	0,178	0,104
180	29	0,266	0,140
250	24	0,365	0,174

zwiększenie tempa odparowania wody wraz ze wzrostem mocy mikrofal. BRYGIDYR i IN. (1977) obserwowali cztero-ośmiokrotny (w zależności od gęstości) wzrost szybkości suszenia mikrofalowego przecieru pomidorowego w porównaniu z suszeniem owiewowym. Badania JAKUBCZYK (2009) wykazały, iż zbyt duża moc mikrofal powodowała nieznaczne ciemnienie materiału, i że względu na jakość proszku jabłkowego optymalne było prowadzenie procesu z mocą 180 W. Moc mikrofal wpływała również istotnie na wydajność procesu (tab. 1). Suszenie przecieru przy mocy 80 W zwiększało wydajność ponad dwukrotnie w porównaniu z suszeniem wyłącznie konwekcyjnym, natomiast wzrost mocy ze 120 do 250 W zwiększał wydajność suszenia średnio o 25%.

Podsumowanie

1. Grubość warstwy spienionego przecieru wpływała istotnie na czas suszenia konwekcyjno-mikrofalowego i szybkość procesu. Zmiana grubości warstwy materiału z 10 do 6 mm skracała czas suszenia o 25%, zmniejszenie zaś grubości z 6 do 2 mm wpływało na skrócenie czasu procesu o 40%.

2. Wzrost prędkości przepływu gorącego powietrza skracał czas suszenia. Istotnie krócej suszył się przecier przy zwiększeniu prędkości przepływu powietrza z 1,5 do 1,8 m/s.

3. Prowadzenie suszenia pianowego przecieru jabłkowego z zastosowaniem techniki konwekcyjno-mikrofalowej było metodą umożliwiającą istotne skrócenie czasu procesu z 125 do 24 min w porównaniu z suszeniem wyłącznie konwekcyjnym. Wzrost mocy mikrofal z 0 do 250 W powodował czterokrotny wzrost wydajności suszenia.

4. Optymalne ze względu na wydajność i kinetykę suszenia było prowadzenie procesu suszenia spienionego przecieru w warstwie 4-6 mm, przy mocy 180 W i prędkości powietrza nie większej niż 2,2 m/s.

Literatura

- BRYGIDYR A.M., RZEPECKA M.A., MCCONNELL M.B., 1977. Characterization and drying of tomato paste foam by hot air and microwave energy. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 10, 4: 313-319.
- FALADE K.O., ADEYANJU K.I., UZO-PETERS P.I., 2003. Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using GMS and EG as foaming agents. Eur. Food Res. Technol. 217: 486-491.
- INŻYNIERIA i aparatura przemysłu spożywczego. 1990. Red. P.P. Lewicki. WN-T, Warszawa.
- JAKUBCZYK E., 2009. Charakterystyka suszenia konwekcyjno-mikrofalowego spienionego przecieru jabłkowego. Żywn. Nauka Technol. Jakość 16, 1: 109-118.
- JAKUBCZYK E., GONDEK E., 2008. Wpływ składu pian z przecierem jabłkowym na ich stabilność. Inż. Apar. Chem. 47, 6: 99-100.
- JAKUBCZYK E., WNOROWSKA E., 2008. Wpływ temperatury powietrza na przebieg suszenia spienionego zagęszczonego soku jabłkowego. Żywn. Nauka Technol. Jakość 15, 4: 199-206.
- KARIM A.A., WAI C.C., 1999. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree. Stability and air drying characteristics. Food Chem. 64: 337-343.
- KHALIL K.E., MOSTAFA M.F., SALEH Y.G., NAGIB A.I., 2002. Production of mango powder by foam-drying of the juice. Egypt. J. Food Sci. 30, 1: 23-41.
- KOMES D., LOVRIĆ T., GANIĆ K.K., 2007. Aroma of dehydrated pear products. Lebensm.-Wiss. Technol. 40: 1578-1586.
- KUDRA T., RATTI C., 2006. Foam-mat drying: energy and cost analyses. Can. Biosyst. Eng. 48, 3: 27-32.
- LEWICKI P.P., 1975. Mechanizm suszenia spienionego koncentratu pomidorowego w warstwie. Zesz. Nauk. SGGW-AR Rozpr. Nauk. 55.
- MUTHUKUMARAN A., RATTI C., RAGHAVAN V.G.S., 2008. Foam-mat freeze drying of egg white-mathematical modeling part II: Freeze drying and modeling. Drying Technol. 26, 4: 513-518.
- ÖZBEK B., DADALI G., 2007. Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. J. Food Eng. 83: 541-549.
- RAHARITSIFA N., GENOVESE D.B., RATTI C., 2006. Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose. J. Food Sci. 71, 3: 142-151.
- RAJKUMAR P., KAILAPPAN R., VISWANATHAN R., RAGHAVAN G.S.V., 2007. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. J. Food Eng. 79: 1452-1459.

Jakubczyk E., Gondek E., 2009. Wpływ parametrów procesu na przebieg suszenia konwekcyjno-mikrofalowego spienionego przecieru jabłkowego. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 4, #139.

- RATTI C., KUDRA T., 2006. Drying of foamed biological materials: opportunities and challenges. *Drying Technol.* 24, 9: 1101-1108.
- SANKAT C.K., CASTAIGNE F., 2004. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. *Lebensm.-Wiss. Technol.* 37: 517-525.
- SHARMA S.K., SHARMA P., LALKANSHAL B.B., 2004. Storage studies of foam mat dried hill lemon juice powder. *J. Food Sci. Technol.* 41: 9-13.
- SZARYCZ M., JAŁOSZYŃSKI K., PEŁKA A., OSTROWSKA M., ŚWIERK B., 2006. Wpływ parametrów mikrofalowo-próżniowego suszenia truskawek na przebieg procesu i skurcz suszarniczy. *Inż. Roln.* 79, 4: 229-237.
- THUWAPANICHAYANAN R., PRACHAYAWARAKORN S., SOPONRONNARIT S., 2008. Drying characteristics and quality of banana foam mat. *J. Food Eng.* 86: 573-583.
- VERNON-CARTER E.J., ESPINOSA-PAREDES G., BERISTAIN C.I., ROMERO-TEHUITZIL H.R., 2001. Effect of foaming agents on the stability, rheological properties, drying kinetics and flavour retention of tamarind foam mats. *Food Res. Int.* 34, 4: 587-598.

EFFECT OF PROCESS PARAMETERS ON CHARACTERISTICS OF CONVECTION-MICROWAVE DRYING OF FOAMED APPLE PURÉE

Summary. The aim of this work was to determine the effect of drying parameters (thickness of layer, air velocity, microwave output power) on the kinetics of convection-microwave drying process of foamed apple purée. Foamed material was dried as a 2, 4, 6, 8, 10 mm layer at 40°C and an air velocity of 1.8 m/s, at the power of 250 W. The process was also carried out at a convection-microwave drier at the output power in the range of 0-250 W. The dependence of the drying rate on air flow rate was reported. The decrease of foam thickness from 10 to 2 mm resulted in a two-fold decrease of drying time. The drying rates and throughput increased with air flow and microwave power output.

Key words: microwave drying, foam, layer thickness, air flow velocity, throughput

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Ewa Jakubczyk, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa, Poland, e-mail: ewa_jakubczyk@sggw.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:
4.11.2009

Do cytowania – For citation:

*Jakubczyk E., Gondek E., 2009. Wpływ parametrów procesu na przebieg suszenia konwekcyjno-mikrofalowego spienionego przecieru jabłkowego. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 4, #139.*