

EWA JAKUBCZYK, EDYTA WNOROWSKA

## WPLYW TEMPERATURY POWIETRZA NA PRZEBIEG SUSZENIA SPIENIONEGO ZAGĘSZCZONEGO SOKU JABŁKOWEGO

### Streszczenie

Celem pracy było określenie stabilności spienionego zagęszczonego soku jabłkowego i oznaczenie wpływu temperatury powietrza i składu piany na kinetykę procesu suszenia. Klarowny sok jabłkowy (21 Brix) spieniano z dodatkiem 1 % metylocelulozy lub z dodatkiem metylocelulozy (1 %) i maltodekstryny (5 %). Spieniony sok suszono konwekcyjne w warstwie o grubości 4 mm w temperaturze 60, 70 i 80 °C. Suszeniu w temp. 60 °C poddano również sok jabłkowy niespieniony. Określono gęstość pian oraz ich stabilność na podstawie kinetyki drenażu. Zastosowanie suszenia pianowego umożliwia uzyskanie suchego, porowatego materiału w ciągu 70 min, w odróżnieniu od niespienionego zagęszczonego soku jabłkowego. Mniejszy drenaż pian z metylocelulozą i maltodekstryną od pian przygotowanych tylko z dodatkiem metylocelulozy świadczył o ich większej stabilności. Szybkość suszenia spienionych soków była istotnie zależna od temperatury powietrza suszącego. Wzrost temperatury z 60 do 80 °C wpływał na dwukrotne zwiększenie szybkości suszenia przy zawartości wody 1,0 kg/kg s.s. Ze względu na ciemnienie materiału w trakcie suszenia w 80 °C, zastosowanie temp. 70 °C i spienianie soku z dodatkiem metylocelulozy i maltodekstryny umożliwiało uzyskanie proszku o lepszej jakości w krótkim czasie suszenia.

**Słowa kluczowe:** suszenie pianowe, kinetyka suszenia, stabilność pian

### Wprowadzenie

Suszenie spienionych materiałów nie jest nową technologią, ale w ciągu ostatnich dziesięciu lat technika ta stała się przedmiotem ponownego zainteresowania technológów żywności [14]. Otwarta porowata struktura, powstała wskutek spienienia, pozwala na dużą szybkość przenoszenia masy, co umożliwia skrócenie czasu trwania procesu [8].

Piana jest układem dwufazowym, powstającym wskutek zdyspergowania pęcherzyków powietrza w fazie ciekłej [9]. Dodatek środka powierzchniowo czynnego powoduje wzrost lepkości fazy wodnej, co zwiększa trwałość piany [4]. Wiele ciekłych

---

*Dr inż. E. Jakubczyk, mgr inż. E. Wnorowska, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydz. Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa*

produktów spożywczych przekształconych w formę stabilnych pian można poddać suszeniu owiewowemu uzyskując proszek w formie instant o dobrej jakości. Suszenie pianowe znalazło zastosowanie w suszeniu wodnego ekstrakt z hibiskusa [2] czy mleka sojowego [1]. Suszenie pianowe może być również wykorzystane w suszeniu pulp owocowych i warzywnych. Puree z karamboli suszono pianowo z zastosowaniem metylocelulozy [7], zaś monostearynianu glicerolu i białko jaja kurzego wykorzystano jako środki spieniające w procesie suszenia puree z fasoli [3].

Suszenie pianowe składa się z trzech etapów: formowanie stabilnej piany zawierającej produkt, który ma być suszony, suszenie owiewowe piany do formy cienkiej warstwy (maty) oraz kompresja wysuszonego materiału poprzez rozdrobnienie do sypkiego proszku [7].

Stabilność pian podczas suszenia jest bardzo ważna, ponieważ piana powinna zachować strukturę otwartą podczas całego procesu suszenia, aby zwiększyć całkowitą powierzchnię i efekt kapilarny podczas suszenia [6]. Jednocześnie zbyt stabilna piana wpływa na tworzenie tzw. gazowych wyrostków w stanie suchym, co ma wpływ na redukcję intensywności barwy i zmętnienie materiału poddanego rehydracji. Jeśli piana zapada się podczas suszenia dochodzi do obniżenia jakości produktu końcowego [15].

Celem pracy było określenie stabilności spienionego zagęszczonego soku jabłkowego oraz wpływu temperatury powietrza i składu piany na kinetykę procesu suszenia.

### Material i metody badań

Materiałem badawczym był zagęszczony klarowny sok jabłkowy (21 Brix, pH 3,5) (Binder International), który spieniano z 1 % dodatkiem metylocelulozy (Methocel<sup>®</sup> 65, HG Fluka), przy użyciu homogenizatora laboratoryjnego, w ciągu 10 min, przy prędkości 13000 obr./min. Przygotowano również spieniony sok z dodatkiem 1 % metylocelulozy i 5 % maltodekstryny (DE10) w stosunku do całości mieszanki.

Spieniony sok wraz z substancjami dodatkowymi suszono na tacy o wymiarach 0,137×0,177 m w warstwie o grubości 4 mm. Suszenie konwekcyjne prowadzono przy prędkości powietrza wynoszącej 1,8 m/s i w temp. 60, 70 i 80 °C. Suszeniu konwekcyjnemu w temp. 60 °C poddano również zagęszczony sok jabłkowy bez substancji dodatkowych (niespionony). Suszenie prowadzono do uzyskania stałej masy materiału. Ubytki masy rejestrowano z dokładnością do 0,1 g. Suszenie każdego typu materiału przeprowadzono w trzech powtórzeniach.

Oznaczenie suchej substancji przeprowadzono susząc materiał próżniowo (12 kPa) w temp. 70 °C przez 24 h. Oznaczenie gęstości pian polegało na delikatnym przeniesieniu materiału do naczynka wzorcowego i określenie jego masy. Pomiar powtarzano trzykrotnie. Na podstawie gęstości pian ( $\rho_p$ ) i soku niespiononego ( $\rho_s$ ) określano udział frakcji gazowej  $\phi$  w pianie z równania:  $\phi = 1 - (\rho_p / \rho_s)$ .

Pomiar stabilności pian prowadzono określając objętość wyciekającego płynu z piany umieszczonej na lejku z bibułą. Wyciek z piany mierzono cylindrem miarowym w ciągu 120 min, objętość piany nanoszonej na lejek wynosiła 50 ml.

Na podstawie ubytków masy w czasie suszenia wykreślono krzywe suszenia i szybkości suszenia, stosując analizę regresji, korzystając z programów Table Curve 2D v. 3 (Jandel Scientific) oraz Statgraphics Plus 5.0. Istotność różnic badano jednoczynnikową analizą wariancji z zastosowaniem testu Tukey'a na poziomie  $\alpha=0,05$ .

### Wyniki i dyskusja

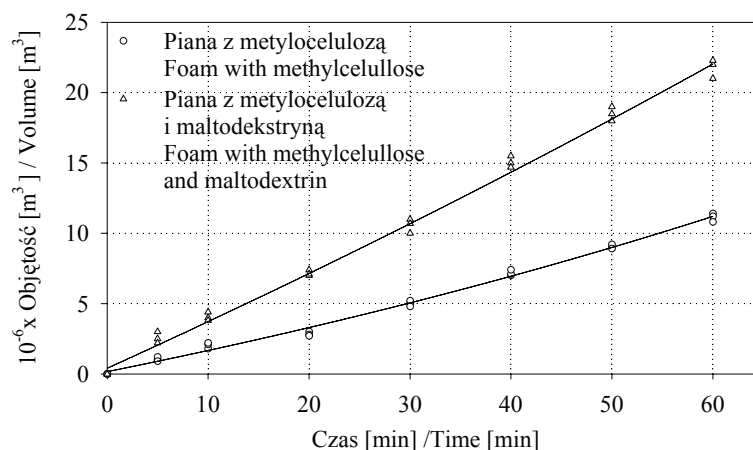
Istotnymi czynnikami wpływającymi na przebieg procesu suszenia spienionych materiałów są ich gęstość oraz stabilność piany. Nie jest możliwe uzyskanie stabilnej piany na bazie zagęszczonego soku bez dodatku substancji stabilizujących i obniżających napięcie powierzchniowe. W pracy wykorzystano jako substancję spieniającą metylocelulozę, która stosowana była do spieniania m.in. puree z banana [15] i mango [13] oraz do soku jabłkowego [10]. Parametry ubijania oraz stężenie metylocelulozy wybrano na podstawie badań wstępnych, w których stwierdzono, że sok zagęszczony (21 Brix) o gęstości  $1150 \pm 75 \text{ kg/m}^3$  spieniany w ciągu 10 min z dodatkiem 1 % dodatkiem metylocelulozy umożliwiał uzyskanie stabilnej piany. Gęstość tak przygotowanego materiału wynosiła  $120 \pm 7 \text{ kg/m}^3$ .

W celu poprawy właściwości fizycznych materiału po suszeniu i podwyższeniu temperatury przejścia szklistego do zagęszczonego soku dodawano maltodekstrynę. Zastosowanie maltodekstryny DE 9,6 podczas suszenia rozpyłowego soku jabłkowego miało istotny wpływ na uzyskanie proszku o dobrej sypkości i błyskawicznej rozpuszczalności w wodzie [5]. Materiał przygotowany z dodatkiem samej maltodekstryny do soku jest niestabilny, gdyż opada ona w ciągu 5 min, dlatego suszeniu poddano pianę przygotowaną z dodatkiem maltodekstryny i metylocelulozy, której gęstość wynosiła  $160 \pm 8 \text{ kg/m}^3$ . Analiza wariancji wykazała istotny wpływ dodatku maltodekstryny na gęstość piany ( $\alpha < 0,05$ ).

Na podstawie pomiaru wycieku z piany umieszczonej na sączku określono jej stabilność. Na rys. 1. przedstawiono kinetykę drenażu badanych pian. Wyciek z piany sporządzonej na bazie soku z maltodekstryną i metylocelulozą w trakcie sączenia był dwukrotnie mniejszy w porównaniu z pianą z dodatkiem samego środka spieniającego. Mniejszy drenaż, a zatem mniejsza objętość wycieku z piany wskazywać może na większą trwałość takiej piany.

Wpływ gęstości na stabilność pian może być zależny od składu chemicznego i początkowej gęstości surowca spienianego, w przypadku zagęszczonego soku jabłkowego piany o wyższej gęstości (maltodekstryna i metyloceluloza) charakteryzowała się mniejszym drenażem. Struktura pian decyduje również o ich trwałości, przy mniej-

szej gęstości pian występuje większy udział frakcji gazowej  $\phi$ , która w pianach z dodatkiem metylocelulozy do soku wynosiła 0,9 zaś w pianach z maltodekstryną 0,86. Raharitsifa i wsp. [12] badali piany soku jabłkowego z dodatkiem albuminy, które charakteryzowały się mniejszą stabilnością, ale większym udziałem frakcji gazowej niż piany z dodatkiem metylocelulozy. Wielu autorów podkreśla, że nie tylko gęstość, ale struktura pian (rozkład wielkości pęcherzyków powietrza) może wpływać na stabilność pian podczas procesu technologicznego [7, 12].



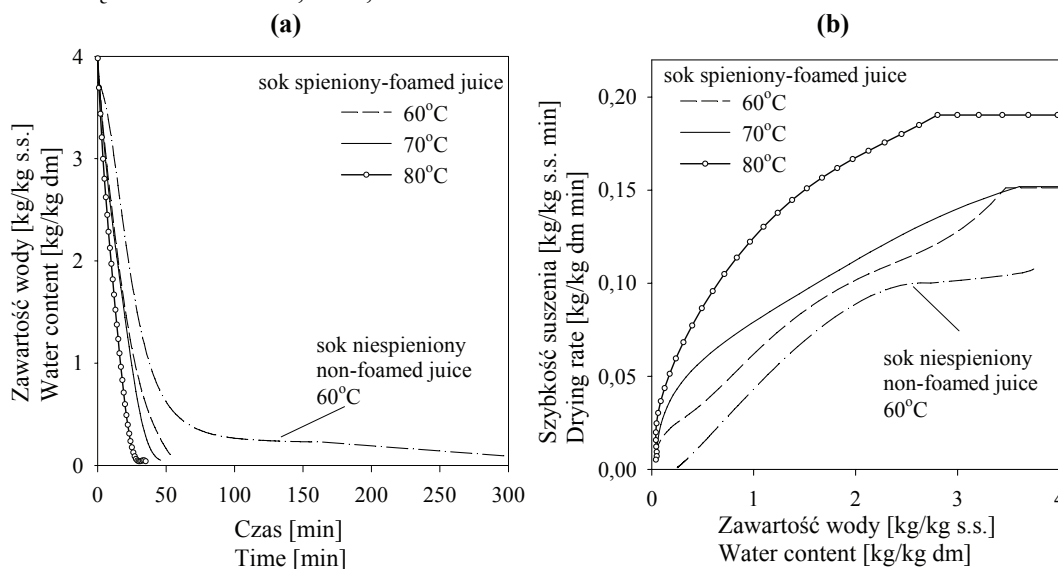
Rys. 1. Wpływ składu pian na kinetykę drenażu.

Fig. 1. Effect of the foam composition on the drainage kinetics.

Maltodekstryna stosowana jest głównie jako nośnik i substancja ułatwiająca suszenie proszków, ale może mieć działanie emulgujące i stabilizujące. Zmiana składu pian poprzez dodanie maltodekstryny poprawiła istotnie jej stabilność (mniejszy drenaż), co może wpływać na przebieg procesu suszenia.

Badania procesu suszenia spienionego materiału poprzedzono analizą kinetyki suszenia soku niespionego (rys. 2a). Krzywa suszenia zagęszczonego soku jest charakterystyczna dla roztworów i rozcieńczonych zawiesin. Zawartość wody zmniejsza się niemalże liniowo w ciągu 20 min suszenia. Ten etap suszenia związany jest z występowaniem dużych ilości wody wolnej w roztworach, która łatwo odparowuje z dużej powierzchni. Poniżej zawartości wody 2,2 kg/kg s.s. rozpoczyna się okres malejącej szybkości suszenia (rys. 2b). Kudra i Ratti [10], opisując suszenie konwekcyjne soku jabłkowego, stwierdzili, że etap malejącej szybkości suszenia związany jest z koncentracją substancji rozpuszczonych, a gwałtowne zmniejszenie szybkości suszenia obserwowali poniżej zawartości wody 1 kg/kg s.s., sok przypominał wówczas gęsty syrop. Czas potrzebny do wysuszenia piany z dodatkiem metylocelulozy i maltodekstryny do stałej zawartości wody wynosił w temp. 80 °C – 35 min, w temp. 70 °C – 48 min, natomiast w 60 °C – 56 min (rys. 2a). Końcowa zawartość wody, jaką osiągał

materiał po suszeniu w temp. 60, 70 i 80 °C, nie różniła się statystycznie istotnie i wahała się w zakresie od 4,70- 4,91 %.



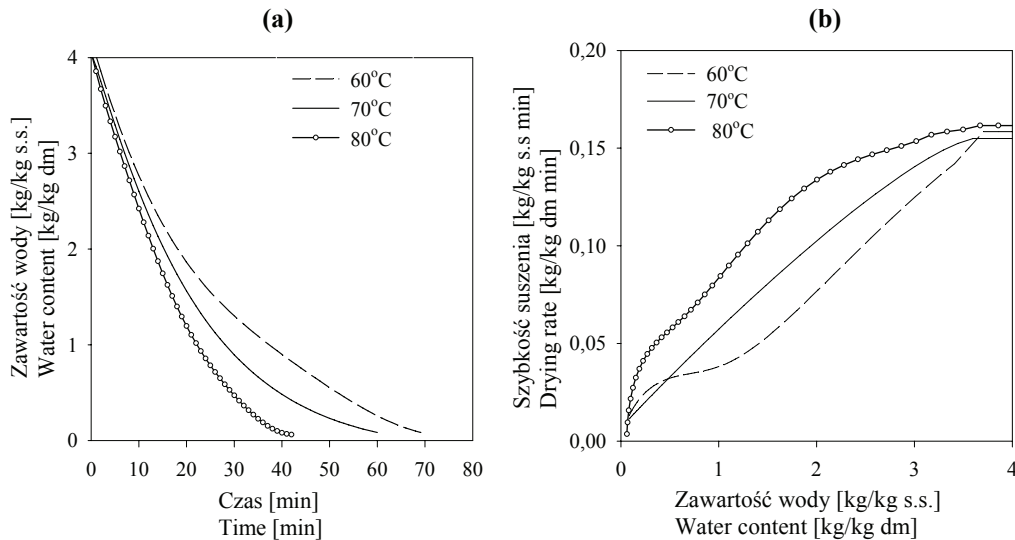
Rys. 2. Wpływ temperatury suszenia na przebieg: a) krzywych suszenia, b) krzywych szybkości suszenia soku jabłkowego spienionego z maltodekstryną i metylocelulozą oraz niespionionego soku.

Fig. 2. Effect of drying temperature on: drying process curves, b) drying rate curves of foamed apple juice with methylcellulose and maltodextrin and of non-foamed juice.

Kinetyka suszenia piany z dodatkiem jedynie metylocelulozy do soku wskazuje na wydłużenie czasu suszenia w porównaniu z sokiem spienionym z metylocelulozą i maltodekstryną. Piany z metylocelulozą suszyły się w temp. 80 °C – 42 min, w 70 °C – 60 min, natomiast w 60 °C – 70 min (rys. 3a). Końcowa zawartość wody w materiale suszonym w badanym zakresie temperatur wahała się od 4,86 % w temp. 80 °C do 5,95 % w 60 °C. Sok zagęszczony bez substancji spieniających suszył się w temp. 60 °C ponad czterokrotnie dłużej od soku spienionego zarówno z samym środkiem spieniającym, jak i z dodatkiem maltodekstryny.

W procesie suszenia spienionego zagęszczonego soku jabłkowego występują dwa okresy: okres stałej i malejącej szybkości suszenia (rys. 2b i 3b). Badane piany nie różniły się statycznie istotnie czasem pierwszego okresu suszenia. Okres stałej szybkości suszenia był bardzo krótki, co jest charakterystyczne dla suszenia pianowego, i trwał średnio 4 min. Występowanie okresu stałej szybkości suszenia może być zależne od zawartości wody oraz składu chemicznego materiałów biologicznych poddanych suszeniu pianowemu [7]. Podczas suszenia pianowego koncentratu pomidorowego [11] i soku niezagęszczonego jabłkowego [10] obserwowano na początku procesu stałą szybkość suszenia, etap ten nie występował podczas suszenia spienionego puree

z mango [13] i banana [15]. Temperatura suszenia istotnie wpływała na szybkość usuwania wody, przy zawartości wody 2,0 kg/kg s.s. spieniony sok z dodatkiem metylocelulozy i maltodekstryny suszył się z prędkością o ~40 % większą od szybkości uzyskanych w temp. 60 i 70 °C i tendencja ta utrzymywała się w okresie malejącej szybkości suszenia.



Rys. 3. Wpływ temperatury suszenia na przebieg: a) krzywych suszenia, b) krzywych szybkości suszenia spienionego soku z metylocelulozą.

Fig. 3. Effect of drying temperature on: drying process curves, b) drying rate curves of foamed apple juice with methylcellulose.

Spieniony sok z dodatkiem jedynie metylocelulozy suszył się wolniej od materiału wzbogaconego maltodekstryną, szybkość suszenia w temp. 80 °C była o 20 % mniejsza (przy zawartości wody 2,0 kg/kg s.s.).

Przy suszeniu pian z dodatkiem metylocelulozy obserwowano mniejszy wpływ wysokiej temperatury suszenia na szybkość procesu, różnice szybkości suszenia w 60 i 80 °C były mniejsze od obserwowanych podczas suszenia pian z maltodekstryną (rys. 3b). Podczas suszenia obu typów pian zaobserwowano charakterystyczny sigmoidalny (wklęsło-wypukły) kształt krzywej szybkości suszenia w temp. 60 °C. Na początku okresu malejącej szybkości suszenia w niskiej temperaturze warunki usuwania wody są utrudnione ze względu na tworzącą się nieprzepuszczalną warstwę, co objawia się istotnym zmniejszeniem prędkości suszenia. W czasie dalszego suszenia dochodzić może do rozerwania warstwy wysuszonej piany i zwiększenia powierzchni wymiany ciepła, a w konsekwencji do wzrostu szybkości suszenia przy niskich zawartościach wody w materiale.

Temperatura 80 °C zapewnia skrócenie czasu suszenia w porównaniu z niższymi wartościami temperatury, ale negatywnie wpływa na jakość materiału wysuszonego. Wysoka temperatura powietrza była przyczyną miejscowego przypalenia powierzchni pian i jej ciemniejszej barwy w porównaniu do materiału suszonego w temp. 60 i 70 °C.

### Wnioski

1. Zastosowanie suszenia pianowego umożliwia uzyskanie suchego materiału w postaci proszku w ciągu 70 min, w odróżnieniu od niespionionego zagęszczonego soku jabłkowego, który po 300 min suszy się do formy lepkiej warstwy.
2. Mniejszy drenaż pian z metylocelulozą i maltodekstryną od pian przygotowanych tylko z dodatkiem metylocelulozy świadczył o większej ich stabilności również termicznej, co znalazło potwierdzenie w kinetyce suszenia. Wprowadzenie do spionionego soku z metylocelulozą maltodekstryny pozwoliło skrócić czas suszenia o 20 %.
3. Szybkość suszenia spionionych soków była istotnie zależna od temperatury powietrza suszącego. Wzrost temperatury z 60 do 80 °C wpłynął na dwukrotne zwiększenie szybkości suszenia przy zawartości wody 1,0 kg/kg s.s.
4. Ze względu na ciemnienie materiału w trakcie suszenia w wysokiej temperaturze, zastosowanie temp. 70 °C i spienianie soku z dodatkiem metylocelulozy i maltodekstryny umożliwia uzyskanie materiału o lepszej jakości.

*Praca, finansowana ze środków na naukę przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2007-2009 jako projekt badawczy nr N312 2478 33, była prezentowana podczas VI Konferencji Naukowej nt. „Nowoczesne metody analityczne w zapewnieniu jakości i bezpieczeństwa żywności”, Warszawa, 6 - 7 grudnia 2007 r.*

### Literatura

- [1] Akintoy O.A., Oguntunde A.O.: Preliminary investigation on the effect of foam stabilizers on the physical characteristics and reconstitution properties of foam-mat dried soymilk. *Drying Technol.*, 1991, **9** (1), 245-262.
- [2] Beristain C.I., Garcia H.S., Vazquez A.: Foam-mat dehydration of Jamica (*Hibiscus sabdariffa* L.) instant drink. *Drying Technol.*, 1993, **11** (1), 221-228.
- [3] Falade K.O., Adeyanju K.I., Uzo-Peters P.I.: Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using GMS and EG as foaming agents. *Eur. Food Res. Technol.*, 2003, **217**, 486-491.
- [4] Darewicz M., Dziuba J.: Struktura a właściwości funkcjonalne białek mleka. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2005, **2** (43), 47-60.
- [5] Domian E., Bialik E.: Wybrane właściwości fizyczne soku jabłkowego w proszku. *Acta Agrophysica*, 2006, **8** (4), 803-814.

- [6] Hart M.R., Graham R.P., Ginnette L.F., Morgan A.I.: Foams for foam-mat drying. *Food Technol.*, 1963, **17**, 1302-1304.
- [7] Karim A.A., Wai C.C.: Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola L.*) puree. Stability and air drying characteristics. *Food Chem.*, 1999, **64**, 337-343.
- [8] King C.J.: Nowe techniki odwadniania. W: Nowe metody zagęszczania i suszenia żywności – pod. red. A Spicera. WNT, Warszawa 1980, s. 428-486.
- [9] Koch R., Noworyta A.: Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej. WNT, Warszawa 1998.
- [10] Kudra T., Ratti C.: Foam-mat drying: Energy and cost analyses. *Can. Biosystems Eng.*, 2006, **48 (3)**, 27-32.
- [11] Lewicki P.P.: Mechanizm suszenia spienionego koncentratu pomidorowego w warstwie. Zesz. Nauk. AR w Warszawie, 1975,
- [12] Raharitsifa N, Genovese, D. B., Ratti, C.: Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose. *J. Food Sci.*, 2006, **71 (3)**, E142-E151.
- [13] Rajkumar P., Kailappan R., Viswanathan R., Raghavan G.S.V.: Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. *J. Food Eng.*, 2007, **79**, 1452-1459.
- [14] Ratti C., Kudra T.: Drying of foamed biological materials: opportunities and challenges, *Drying Technol.*, 2006, **24**, 1101-1108.
- [15] Sankat C.K., Castaigne F.: Foaming and drying behaviour of ripe bananas. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 2004, **37**, 517-525.

#### EFFECT OF AIR TEMPERATURE ON THE DRYING PROFILE OF FOAMED CONCENTRATED APPLE JUICE

##### S u m m a r y

The objective of this paper was to determine the stability of foamed concentrated apple juice and to identify the effect of air temperature and foam composition on the kinetics of drying process. A clarified apple juice (21Brix) was foamed with 1 % methylcellulose or with methylcellulose (1 %) plus maltodextrin (5 %) added. The foamed juice was dried using convection, and forming a 4 mm layer at 60, 70, and 80°C. Furthermore, a non-foamed apple juice was dried at a temperature of 60 °C. The density of foams and their stability were determined based on the kinetics of drainage. As opposed to the non-foamed concentrated apple juice, the application of foam drying makes it possible to produce a dry, porous material during a drying period lasting up to 70 minutes. The drainage of foams with methylcellulose and maltodextrin was lower compared to foams produced only with the addition of methylcellulose, and this fact proved a higher stability of foams with methylcellulose and maltodextrin. The drying rate of foamed juices significantly depended on the temperature of drying air. The increased temperature from 60 to 80 °C resulted in a doubled increase in the drying rate with 1.0 kg/kg dm water content. The material darkened while being dried at 80 °C, thus, the temperature of 70 °C was applied and the juice was foamed with methylcellulose and maltodextrin; with this measure used, it was possible to obtain a better quality powder during a shorter drying period.

**Key words:** foam drying, drying kinetics, stability of foams ☒