

WPŁYW WARUNKÓW PRZECHOWYWANIA NA MORFOLOGIĘ I WIELKOŚĆ CZĄSTEK PROSZKU MIODOWEGO

Katarzyna Samborska[✉], Aleksandra Jedlińska, Oliwia Dudek, Anna Kamińska-Dwórznička

SGGW w Warszawie, Wydział Nauk o Żywności

Streszczenie. Proszek miodowy otrzymany poprzez suszenie metodą rozpyłową z dodatkiem maltodekstryny przechowywano przez 9 tygodni w różnych warunkach (temperatura/wilgotność względna: 4°C/40–45%, 25°C/40–50%, 38°C/80%). Bezpośrednio po suszeniu oraz po 1, 5 i 9 tygodniach przechowywania analizowano morfologię (mikroskop skaningowy) i wielkość cząstek (analiza obrazu) oraz oznaczano zawartość i aktywność wody. Stwierdzono, że najkorzystniejsze warunki przechowywania, które pozwoliły na zachowanie formy sypkiego proszku o nieznacznie zmienionej morfologii cząstek oraz stałej zawartości i aktywności wody przez cały okres przechowywania to 4°C/40–45%. Proszek przechowywany w temperaturze 25°C charakteryzował się stabilnymi wartościami zawartości i aktywności wody, jak również tylko nieznacznie zmienioną morfologią, ale tylko do 5. tygodnia przechowywania, po dłuższym przechowywaniu nastąpiły znaczne zmiany morfologii (tworzenie skupisk) oraz obserwowano zbrzylenie proszku na skutek wzrostu zawartości i aktywności wody. Proszek przechowywany w temperaturze 38°C już po tygodniu całkowicie zbrzylił się, tworząc twardą strukturę upłynniającą się w czasie dalszego przechowywania.

Słowa kluczowe: suszenie rozpyłowe, aktywność wody, morfologia cząstek, rozkład wielkości cząstek

WSTĘP

Miód pszczeli w postaci sproszkowanej w znacznym stopniu niweluje problemy w obrocie i przechowywaniu związane z jego dużą lepkością oraz podatnością na krystalizację, utrudniające zastosowanie tego wartościowego prozdrowotnego produktu na skalę

[✉]katarzyna_samborska@sggw.pl

przemysłową [Hebbar i in. 2008, Samborska i Bieńkowska 2013]. Proszek miodowy jest łatwy w dozowaniu, mieszaniu oraz transporcie i w takiej formie może być przeznaczony zarówno do bezpośredniego spożycia, jak i do zastosowania w przetwórstwie żywności, np. jako dodatek do napojów, powłok jadalnych, sosów, ciast, pieczywa i słodczy. Może być stosowany również w branży kosmetycznej, do produkcji suplementów diety i środków wspomagających leczenie [Devi i in. 2016, Samborska i in. 2017].

Uzyskanie miodu w postaci sproszkowanej jest trudne ze względu na wysoką zawartość cukrów prostych i kwasów organicznych, charakteryzujących się niską temperaturą przemiany szklistej T_g , w której stan, w jakim występują składniki, ulega zmianie z materiału szklistego do gumowatego. W rezultacie, im wyższa jest temperatura surowca w komorze suszenia od T_g , to materiał uzyskuje stan lepko-sprężysty, gumowaty, tzn. ma konsystencję syropu lub lepkich cząstek, które przyklejają się do ścian komory [Truong i in. 2005, Tonon i in. 2009, Samborska i Bieńkowska 2013]. Wsuszenie takiego surowca do postaci proszku jest możliwe pod warunkiem modyfikacji parametrów suszenia lub takie przygotowania materiału tak, aby jego temperatura w czasie suszenia była niższa od T_g [Noel i in. 1990, Devi i in. 2016, Samborska i in. 2017]. Najczęściej stosowaną metodą do otrzymywania miodu w proszku jest suszenie rozpyłowe z dodatkiem nośników podwyższających T_g . Przykładowo, Samborska i Bieńkowska [2013], suszyły miód z dodatkiem dekstryny i maltodekstryny, Nurhadi i inni [2012] – maltodekstryny i gumy arabskiej, Shi i inni [2013] – maltodekstryny oraz koncentratu białek serwatkowych. W dostępnych pracach autorzy określają właściwości proszków po suszeniu, w tym morfologię i wielkość cząstek, jednakże informacje na temat wpływu warunków przechowywania są nieliczne. Samborska i Bieńkowska [2013] przechowując proszki miodowe w 25°C w warunkach pokojowych przez 9 miesięcy, zaobserwowały największe zmiany zawartości wody w proszkach z dodatkiem dekstryny, a najmniejszą absorpcję wody w przypadku proszków z udziałem maltodekstryny, utrzymanych przy zmniejszonej prędkości rozpylania. Samborska i inni [2015] zauważyli zmniejszenie wielkości cząstek proszków, zwiększenie zawartości i aktywności wody, z jednoczesnym zmniejszeniem higroskopijności, po 12 tygodniach przechowywania (20°C). Devi i inni [2016] oraz Jaya i Das [2005] stwierdzili przydatność modelu GAB w przewidywaniu zawartości aktywności wody proszków.

Celem pracy było zbadanie wpływu warunków przechowywania na morfologię i wielkość cząstek oraz zawartość i aktywność wody proszków miodowych.

MATERIAŁ I METODY

Miód wielokwiatowy pochodził z pasieki „Krzemyk” (Celestynów), a maltodekstryna stosowana jako nośnik do suszenia rozpyłowego (DE 15) z PEPEES S.A. (Łomża).

Sporządzono 1000 g 30-procentowego roztworu wodnego miodu z maltodekstryną, w którym stosunek zawartości suchej substancji miodu do maltodekstryny był równy 1:1. Suszenie rozpyłowe prowadzono w laboratoryjnej suszarce rozpyłowej Anhydro Lab 1 (Dania): temperatura powietrza wlotowego/wylotowego 180/80°C, szybkość zasilania surowcem 1 cm³·s⁻¹, prędkość obrotowa dysku rozpylającego 39 000 obr·min⁻¹.

Otrzymany proszek zapakowany w torebki foliowe (PE) przechowywano w trzech miejscach o odmiennej temperaturze i wilgotności względnej powietrza: 1) 4°C/40–45% – chłodziarka, 2) 25°C/40–50% – komora termiczna, 3) 38°C/80% (eksykator zawierający nasycony roztwór $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) – cieplarka [Jaya i Das 2005].

Bezpośrednio po suszeniu oraz po 1, 5 i 9 tygodniach przechowywania (1T, 5T, 9T) dokonywano analizy morfologii i wielkości cząstek na podstawie zdjęć wykonanych pod mikroskopem elektronowym TM 3000 (Hitachi) przy powiększeniu 500×. W celu wyznaczenia rozkładu wielkości cząstek, skumulowanego rozkładu wielkości cząstek oraz mediany D_{50} dokonywano komputerowej analizy obrazu (Multiscan, Computer Scanning System, Warszawa), obrysowując na wykonanych zdjęciach z każdej próbki po 300 losowo wybranych cząstek. W proszkach oznaczano również zawartość wody (metoda suszarkowa: 105°C/4 h) i aktywność wody (Hygroskop DT, Rotronic).

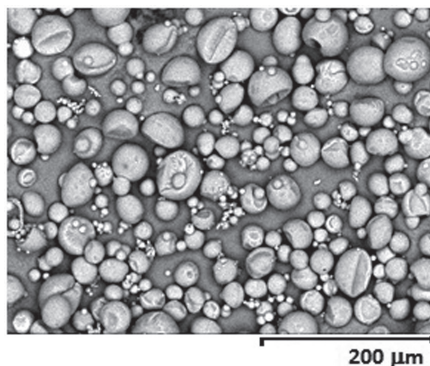
Analizę statystyczną przeprowadzono za pomocą pakietu statystycznego Statgraphics. Wartości średnie porównywano za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji One-ANOVA. Dokonano podziału wartości średnich na grupy jednorodnie na poziomie istotności $p < 0,05$. W przypadku niespełnienia założeń analizy wariancji, związanych z niejednorodnością między porównywanymi grupami, użyto testu t-Studenta (w przypadku wykluczenia jednej grupy) lub testu Kruskala-Wallisa (gdzie istniała konieczność wykluczenia więcej niż jednej grupy).

WYNIKI I DISKUSJA

Otrzymany proszek bezpośrednio po suszeniu (rys. 1) był sypki, miał białą barwę, oraz nie zbrylał się. Cząstki, obserwowane pod mikroskopem elektronowym, miały regularne, okrągłe kształty i gładkie powierzchnie, były ułożone dość luźno, występowały między nimi niewielkie przestrzenie. Opisana morfologia cząstek była typowa dla tego rodzaju materiałów suszonych rozpyłowo. Suhag i Nanda [2016] również otrzymali proszek miodowy o kulistych cząstkach bez widocznych pęknięć. Samborska i inni [2013] oraz Samborska i inni [2017], susząc rozpyłowo miód z maltodekstryną i gumą arabską uzyskali rozproszone, drobne kuliste cząstki. Kształt cząstek proszków otrzymanych przez Tonon i innych [2009], którzy suszyli pulpę z owoców acai, był również podobny (kulisty).

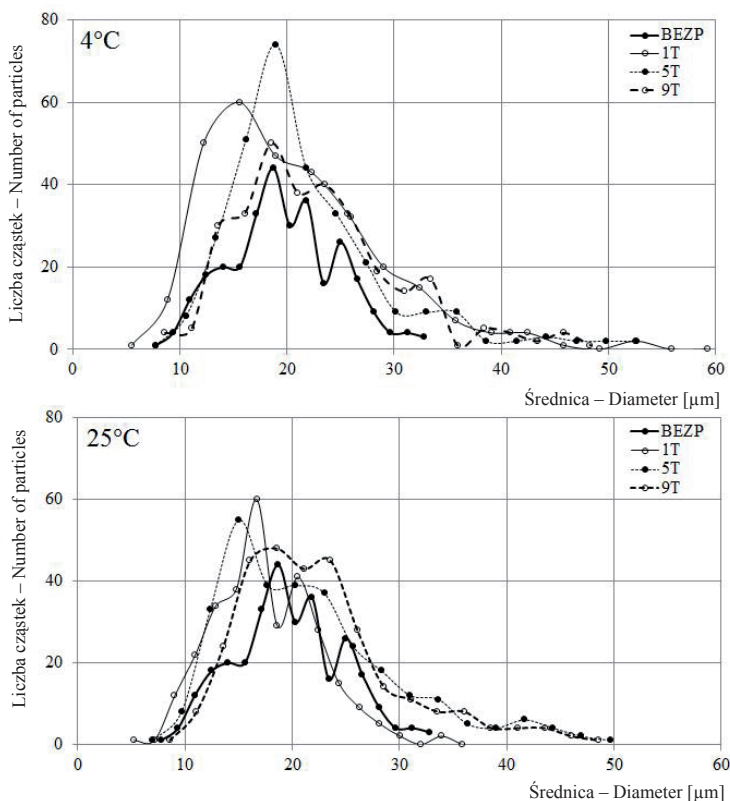
Średnice cząstek proszku miodowego bezpośrednio po suszeniu (BEZP) mieściły się w granicach od 8 do 33 μm (rys. 2, seria danych BEZP), typowych dla proszków otrzymywanych po suszeniu rozpyłowym [Tontul i Topuz 2017]. Najczęstsza średnica cząstek otrzymanego proszku miodowego (18,5 μm) była równa wartości mediany D_{50} wyznaczającej 50% rozkładu (rys. 3, seria danych BEZP), co oznaczało, że połowa cząstek miała rozmiary większe (lub mniejsze) od tej wartości. Podobne wymiary cząstek proszków otrzymanych po suszeniu rozpyłowym soków lub miodu podali Shi i inni [2013] oraz Tonon i inni [2010].

Zawartość i aktywność wody w proszku bezpośrednio po suszeniu, wynoszące odpowiednio $2,5 \pm 0,5\%$ i $0,238 \pm 0,003$, były podobne do materiałów o dużej zawartości cukrów suszonych rozpyłowo z nośnikami, np. miodu z maltodekstryną i dekstryną [Samborska i Bieńkowska 2013], miodu z izolatami białek serwatkowych [Shi i in. 2013], pulpy z owoców acai z maltodekstryną [Tonon 2009].



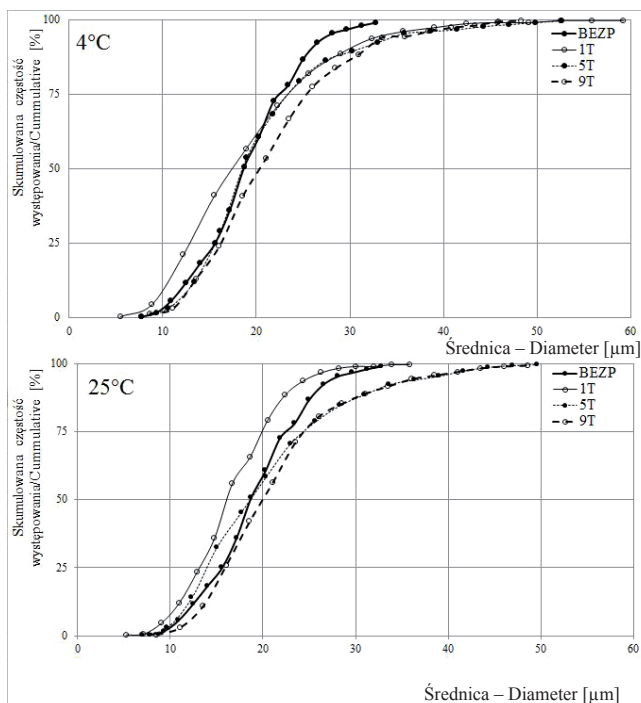
Rys. 1. Cząstki proszku miodowego bezpośrednio po suszeniu (pow. 500×)

Fig. 1. Particles of honey powder directly after drying (mag. 500×)



Rys. 2. Rozkład wielkości cząstek proszku miodowego bezpośrednio po suszeniu (BEZP) oraz po przechowywaniu w temperaturze 4 i 25°C przez 1 (1T), 5 (5T) i 9 tygodni (9T)

Fig. 2. Particle size distribution of honey powder immediately after drying (BEZP) and after storage at 4 and 25°C for 1 (1T), 5 (5T) and 9 weeks (9T)



Rys. 3. Skumulowany rozkład wielkości cząstek proszku miodowego bezpośrednio po suszeniu (BEZP) oraz po przechowywaniu w temperaturze 4 i 25°C przez 1 (1T), 5 (5T) i 9 tygodni (9T)

Fig. 3. Cumulative particle size distribution of honey powder immediately after drying (BEZP) and after storage at 4 and 25°C for 1 (1T), 5 (5T) and 9 weeks (9T)

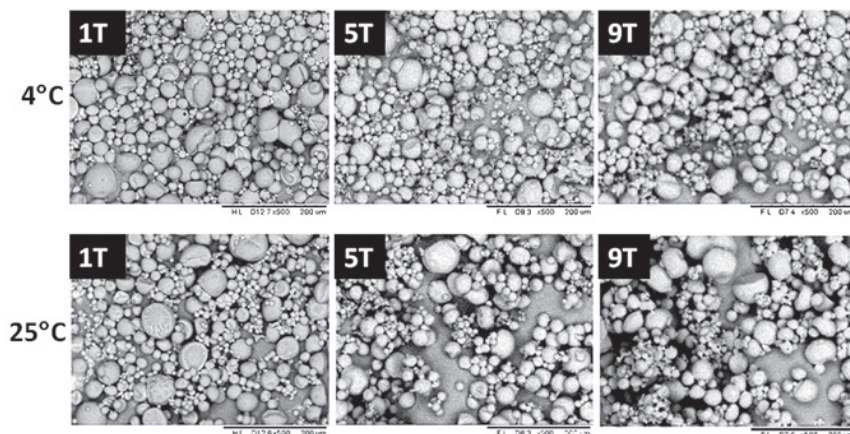
Próbki przechowywane w temperaturach 4 i 25°C przez cały okres przechowywania zachowały formę proszku, w przeciwieństwie do przechowywanych w temperaturze 38°C, które już po tygodniu przechowywania były bardzo mocno zbrylone, tworzyły twardą popękaną strukturę, natomiast w czasie dalszego przechowywania następowało ich upłynnianie (ze względu na te zmiany nie wykonano zdjęć mikroskopowych tych próbek). Upłynnianiu towarzyszyła także zmiana barwy, od białej, przez jasnobrązową aż do jasnej barwy żółtopomarańczowej. Warunki przechowywania w tym wariantcie (38°C/80%) były analogiczne do zastosowanych przez Jaya i Das [2005] w czasie badania stabilności przechowalniczej pulpy z mango suszonej z dodatkiem maltodekstryny, monostearianu glicerolu i fosforanu trójwapniowego pod obniżonym ciśnieniem. Autorzy stwierdzili, że zbrylanie proszku nastąpiło dopiero po 15 tygodniach przechowywania, co mogło wynikać z dodatku substancji przeciwbrylających lub mniejszej zawartości cukrów niż w badanym proszku miodowym.

Próbki przechowywane w temperaturze 25°C miały wyczuwalne zbrylenia od 5. tygodnia przechowywania, postępowało ono wraz z czasem (proszki przed wykonaniem oznaczeń były ręcznie rozdrabniane). Zmiany takie nie były zauważalne w przypadku przechowywania w temperaturze 4°C.

Zdjęcia mikroskopowe cząstek proszku pochodzącego z próbek przechowywanych w różnych warunkach, wykonane po 1, 5 i 9 tygodniach, przedstawiono na rysunku 4. Proszek przechowywany w temperaturze 4°C po 1 tygodniu miał niezmienną morfologię cząstek, po 5 tygodniach wykazano nieznaczną tendencję do przyłączania się małych cząstek do większych i tworzenia skupisk o formie zbliżonej do aglomeratów. Po zakończeniu przechowywania widoczne były nieliczne skupiska ściśle połączonych cząstek. Opisane zjawiska następowały dużo szybciej i w bardziej intensywny sposób w proszku przechowywanym w temperaturze 25°C. Już po 1 tygodniu przechowywania widoczne było łączenie się cząstek w skupiska. Po 5 tygodniach widoczne były liczne cząstki połączone. Równocześnie powiększyły się odległości między tymi skupiskami. Zjawisku temu towarzyszyło wyczuwalne zbrzylenie proszku postępujące z czasem. Po zakończeniu przechowywania widoczne były liczne skupiska ściśle połączonych cząstek. Połączenia te miały, w niektórych miejscach, charakter ciekłych mostków, widocznych zwykle w aglomeratach otrzymanych metodą nawilżeniową. Podobne obserwacje w czasie przechowywania proszku miodowego przedstawili Samborska i Bieńkowska [2013] oraz Samborska i inni [2017]. Wykazali oni, że po 9 i 12 tygodniach przechowywania w temperaturze 25°C, cząstki proszków charakteryzowały się obecnością cząstek posklejanych, tworzących struktury podobne do aglomeratów.

Zbrzylenie cząstek proszków w trakcie przechowywania jest charakterystyczne dla materiałów, w których przeważa stan amorficzny, ulegający powolnemu przejściu fazowemu do stanu krystalicznego. Podczas tego procesu uwalniana jest pewna ilość wody wolnej, co powoduje jakościowe zmiany produktu, np. łączenie się cząstek proszku i zbrzylenie, a także wzrost aktywności wody [Pałacha i Sitkiewicz 2008, Das i Langrish 2012].

Rozkład wielkości cząstek proszku miodowego przechowywanego w temperaturze 4 i 25°C przedstawiono na rysunku 2, a skumulowany rozkład wielkości cząstek na rysunku 3. Niezależnie od temperatury, w początkowym okresie przechowywania (1 tydzień)



Rys. 4. Cząstki proszku miodowego (pow. 500×) przechowywanego w temperaturze 4 i 25°C przez 1 (1T), 5 (5T) i 9 tygodni (9T)

Fig. 4. Honey powder particles (mag. 500×) stored at 4 and 25°C for 1 (1T), 5 (5T) and 9 weeks (9T)

cząstki zmniejszały swoje rozmiary ($D_{50}/4^{\circ}\text{C} = 17,5 \mu\text{m}$, $D_{50}/25^{\circ}\text{C} = 16 \mu\text{m}$), następnie (5 tygodni) obserwowano wyrównywanie się ich rozmiarów w porównaniu do wyznaczonych bezpośrednio po suszeniu ($D_{50} = 18,5 \mu\text{m}$ w obu wariantach) oraz wzrost (9 tygodni, $D_{50}/4^{\circ}\text{C} = 20,5 \mu\text{m}$, $D_{50}/25^{\circ}\text{C} = 20 \mu\text{m}$). Samborska i inni [2015], badając zmiany wielkości cząstek proszków miodowych otrzymanych poprzez suszenie rozpyłowe z gumą arabską, zaobserwowali brak zmian wartości D_{50} po 12 tygodniach przechowywania w temperaturze 25°C . Jednakże, podobnie jak w niniejszej pracy, wyznaczony rozkład wielkości cząstek nie uwzględniał tworzenia się skupisk oraz rozmiarów tych skupisk, ponieważ w czasie komputerowej analizy obrazu obrysowywano pojedyncze cząstki proszku.

Zawartość i aktywność wody w próbkach przechowywanych w chłodziarce (4°C) nie zmieniła się istotnie statystycznie w czasie przechowywania, co było powiązane z brakiem zbrylania tych próbek (tab. 1). W proszkach przechowywanych w 25 i 38°C zawartość wody była istotnie statystycznie wyższa od 5. tygodnia przechowywania, w tym samym czasie zaobserwowano wyczuwalne zbrylenie materiału przy zawartości wody $7,1 \pm 2,4$ (25°C) oraz jego upłynnienie przy zawartości wody $11,4 \pm 3,1$ (38°C). W przypadku proszków przetrzymywanych w 38°C zauważono statystycznie istotne różnice w aktywności wody po każdym okresie przechowywania, co było związane z intensywnym zbryleniem już po tygodniu przechowywania, a następnie upłynnieniem w dalszych etapach eksperymentu. Po 9 tygodniach przechowywania stwierdzono statystycznie istotne zwiększenie aktywności wody wraz ze zwiększaniem temperatury przechowywania. Zawartość wody po tym okresie była istotnie statystycznie wyższa w proszkach przechowywanych w temperaturze 25 i 38°C w porównaniu z zawartością wody w proszkach przechowywanych w chłodziarce (4°C).

Tabela 1. Zawartość i aktywność wody w proszkach miodowych bezpośrednio po suszeniu (BEZP) oraz po 1 (1T), 5 (5T) i 9 tygodniach (9T) przechowywania w temperaturze 4, 25 i 38°C

Table 1. Water content and activity in honey powders immediately after drying (BEZP) and after 1 (1T), 5 (5T) and 9 weeks (9T) of storage at temperature (T) 4, 25 and 38°C

T [$^{\circ}\text{C}$]		BEZP		
		1T	5T	9T
Zawartość wody – Water content [%]				
4	$2,5 \pm 0,5^{\text{a}}$	$2,0 \pm 1,3^{\text{a}}$	$2,9 \pm 0,1^{\text{a}}$	$3,7 \pm 0,5^{\text{aA}}$
25	$2,5 \pm 0,5^{\text{a}}$	$3,1 \pm 0,0^{\text{a}}$	$7,1 \pm 2,4^{\text{b}}$	$8,8 \pm 0,3^{\text{bB}}$
38	$2,5 \pm 0,5^{\text{a}}$	$2,6 \pm 0,4^{\text{a}}$	$11,4 \pm 3,1^{\text{b}}$	$15,3 \pm 5,4^{\text{bB}}$
Aktywność wody – Water activity				
4	$0,238 \pm 0,003^{\text{a}}$	$0,258 \pm 0,007^{\text{a}}$	$0,258 \pm 0,008^{\text{a}}$	$0,262 \pm 0,002^{\text{aA}}$
25	$0,238 \pm 0,003^{\text{a}}$	$0,255 \pm 0,003^{\text{ab}}$	$0,260 \pm 0,002^{\text{ab}}$	$0,277 \pm 0,002^{\text{bB}}$
38	$0,238 \pm 0,003^{\text{a}}$	$0,490 \pm 0,001^{\text{b}}$	$0,526 \pm 0,001^{\text{c}}$	$0,560 \pm 0,001^{\text{dC}}$

^{a-d} – różnice między wartościami średnimi oznaczonymi różnymi literami w wierszach były istotne statystycznie ($p < 0,05$), A–C: różnice między wartościami średnimi oznaczonymi różnymi literami w kolumnie były istotne statystycznie ($p < 0,05$).

^{a-d} – differences between the mean values followed by the different letters in rows were statistically significant ($p < 0,05$), A–C – differences between the mean values followed by the different letters in a column were statistically significant ($p < 0,05$).

WNIOSKI

1. Najkorzystniejsze warunki przechowywania proszku miodowego: temperatura 4°C/ /wilgotność 40–45% pozwoliły na zachowanie formy sypkiego proszku o nieznacznie zmienionej morfologii cząstek oraz stałej zawartości i aktywności wody przez 9 tygodni przechowywania.
2. Analiza zdjęć mikroskopowych oraz zawartości i aktywności wody mogą być przydatne w kontrolowaniu jakości proszków podczas przechowywania.
3. Stwierdzono istotną zależność między zawartością i aktywnością wody w proszkach a ich morfologią. Zwiększenie zawartości i aktywności wody było potwierdzone zbrylaniem, a nawet upłynnianiem badanych proszków.
4. Analiza obrazu mikroskopowego proszków jest trudna do interpretacji w przypadku kontroli ich jakości podczas przechowywania, ze względu na łączenie cząstek proszku w duże, trudne do obrysowania skupiska.

LITERATURA

- Das D., Langrish T.A.G., 2012. Combined crystallization and drying in a pilot-scale spray dryer. *Drying Technol.* 9(30), 998–1007.
- Devi K.D., Sanjib P., Jatindra S., 2016. Study of sorption behavior, shelf life and colour kinetics of vacuum puffed honey powder accelerated storage conditions. *J. Food Sci. Technol.* 53(5), 2334–2341.
- Hebbar H.U., Rastogi N.K., Subramanian R., 2008. Properties of dried and intermediate moisture honey products: a review. *Int. J. Food Prop.* 11, 804–819.
- Jaya S., Das H., 2005. Accelerated storage, shelf life and colour of mango powder. *J. Food Proc. Pres.*, 29(1), 45–62.
- Noel T.R., Ring S.G., Whittam P.A., 1990. Glass transition in low moisture food. *Trends Food Sci. Technol.* 1, 62–67.
- Nurhadi B., Andoyo R., Mahani R.I., 2012. Study the properties of honey powder produced from spray drying and vacuum drying method. *Int. Food Res. J.* 19(3), 907–912.
- Pałacha Z., Sitkiewicz I., 2008. Temperatura przemiany szklistej – parametr stabilności żywności. *Przem. Spoż.* 9, 32–37.
- Samborska K., Bieńkowska B., 2013. Physicochemical properties of spray dried honey preparations. *ZPPNR* 575, 91–105.
- Samborska K., Langa E., Bakier S., 2015. Changes in the physical properties of honey powder during storage. *Int. J. Food Sci. Technol.* 50, 1359–1365.
- Samborska K., Sokołowska P., Szulc K., 2017. Diafiltration and agglomeration as methods to improve the properties of honey powder obtained by spray drying. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 39, 33–41.
- Shi Q., Fang Z., Bhandari B. 2013. Effect of addition of whey protein isolate on spray-drying behavior of honey with maltodextrin as a carrier material. *Drying Technol.* 31, 1681–1692
- Suhag Y., Nanda V. 2016. Optimization for spray drying process parameters of nutritionally rich honey powder using response surface methodology. *Cogent Food Agr.* 2(1), 1176631.
- Tonon R.V., Baroni A.F., Brabet C., Gibert O., Pallet D., Hubinger M.D., 2009. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. *J. Food Eng.* 94, 215–221.

- Tonon R.V., Brabet C., Hubinger M.D., 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Res. Int.* 43(3), 907–914.
- Tontul I., Topuz A., 2017. Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. *Trends Food Sci. Technol.* 63, 91–102.
- Truong V., Bhandari B.R., Howes T. 2005. Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I – Moisture and glass transition temperature profile during drying. *J. Food Eng.* 71, 55–65.

THE EFFECT OF STORAGE CONDITIONS ON THE MORPHOLOGY AND PARTICLE SIZE OF HONEY POWDER

Summary. The influence of storage conditions (4°C/relative humidity RH 40–45%; 25°C/RH 40–50%; 38°C/RH 80%) and time (1, 5, 9 weeks) on the morphology and particle size of honey powder was investigated. Honey powder was produced in a laboratory spray drier Anhydro (Denmark), with the use of maltodextrin DE15 as a carrier. Spray drying of honey/maltodextrin aqueous solution (honey solids to maltodextrin solids ratio 50:50) was performed at inlet/outlet air temperature 180/80°C, feed rate 1 ml·s⁻¹, atomization disk speed 39000 rpm. Powders particle morphology and size distribution were analyzed based on microphotographs (Hitachi TM 3000 electron microscope, Multiscan software) Water content and activity in powders after subsequent storage periods were also determined.

Directly after drying powder was easy flowing, without caking. Particles were regular and scattered, particle size ranged from 8 to 33 µm, what was typical for spray dried materials. During storage the changes of powder morphology and particle size were observed, depending on storage conditions. Storage at 4°C did not affect powder morphology substantially. The powder stored at 25°C was characterized also by slightly changed morphology, but only until 5 weeks of storage. After this time significant changes in morphology were observed (aggregation), along with powder caking. The powder stored at 38°C was completely caked after 1 week of storage, turning into a hard structure that liquefied upon continued storage. A relationship between water content and water activity of powders and their morphology changes during storage was observed. Water content and activity of samples stored at 4°C did not change significantly during storage, which was related to the lack of caking. In powders stored at 25 and 38°C water content was statistically significantly higher after 5 weeks of storage, at the same time a noticeable caking of material was observed at water content of 7.1 ±2.4 (25°C), and its liquefaction at water content 11.4 ±3.1 (38°C). In case of powders stored at 38°C, statistically significant differences in water activity after each storage period were observed, which was associated with intensive caking after 1 week and subsequent liquefaction after subsequent stages.

The most favorable conditions for honey powder storage, which allowed to keep the powder form with slightly altered particle morphology and constant water content and activity after 9 weeks of storage, was 4°C/40–45%. Analysis of morphology, water content and activity can be useful in controlling the quality of powders during storage. Difficulties in the application of image analysis in controlling powders quality during storage were noted, due to the aggregation of powder particles in larger, difficult to trace clusters. The dependence between water content and activity and powders morphology was observed – a significant increase in water content and activity was confirmed by caking and even liquefaction.

Key words: spray drying, water activity, particles morphology, particle size distribution

