

WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE SOKU JABŁKOWEGO W PROSZKU

Ewa Domian, Emilia Bialik

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Technologii Żywności, SGGW
ul. Nowoursynowska 159c, 02-787 Warszawa
e-mail: domian@alpha.sggw.waw.pl

Streszczenie. Celem pracy było zbadanie wpływu trzech poziomów zmiennych parametrów suszenia rozpyłowego soku jabłkowego na nośniku maltodekstrynowym na charakterystykę fizyczną proszku. Sok jabłkowy suszono w laboratoryjnej suszarce rozpyłowej ANHYDRO przy stałej temperaturze powietrza wlotowego i wylotowego, wynoszącej odpowiednio 150 i 70°C. Badanymi zmiennymi suszenia były: zawartość suchej masy soku jabłkowego i maltodekstryny w suszonym materiale, ilość nośnika w stosunku do suchej masy soku i prędkość obrotowa dysku rozpylającego. Analiza właściwości fizycznych obejmowała: rozmiar cząstek, gęstość nasypową luźną i utrzęsioną, gęstość cząstek, porowatość złoża proszku, sypkość, higroskopijność, zwilżalność i rozpuszczalność w wodzie. Przeprowadzony proces pozwolił uzyskać koncentrat soku jabłkowego w proszku, który charakteryzował się błyskawiczną rozpuszczalnością w wodzie, umiarkowaną sypkością i wysoką higroskopijnością. Analiza, metodą regresji wielokrotnej, wpływu założonych poziomów zmiennych procesowych wykazała istnienie istotnych zależności w odniesieniu do części z nich.

Słowa kluczowe: sok jabłkowy, suszenie rozpyłowe, żywność w proszku

WYKAZ OZNACZEŃ

SM – zawartość suchej masy w materiale suszonym,
UM – udział maltodekstryny w suchej masie materiału,
PD – prędkość obrotowa dysku ($\text{obr}\cdot\text{min}^{-1}$),
*d*₅₀ – średnia średnica cząstek (μm),
 ρ_L – gęstość nasypowa luźna ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),
 ρ_T – gęstość nasypowa utrzęsiona ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),
 ρ – gęstość cząstek ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),
 ε_L – porowatość luźna (–),
 ε_T – porowatość utrzęsiona (–),
*I*_S – sypkość jako czas wysypu (s),

I_{HR} – współczynnik Hausner'a (–),

Z – zwilżalność (s),

R – rozpuszczalność (ml),

w – zawartość wody (%),

a_w – aktywność wody (–),

W_R – równowagowa zawartość wody odpowiadająca wilgotności względnej RH ($\text{gH}_2\text{O}\cdot 100\text{g d.m.}^{-1}$)

WSTĘP

Wzrost zainteresowania żywnością wygodną przyczynił się do dynamicznego rozwoju gałęzi przemysłu zajmującej się produkcją koncentratów spożywczych. Proszki spożywcze z koncentratów soków owocowych mogą wchodzić w skład wielu zup i napojów wzbogacając ich smak, zapach oraz wartość odżywczą. Koncentraty soków owocowych są produktami powstałymi w wyniku usunięcia nadmiaru wody zawartej w sokach poprzez odparowanie, wymrożenie lub odwróconą osmozę. Wzrost zawartości suchej substancji, głównie cukrów do 40-70%, oraz kilkukrotne podwyższenie kwasowości w porównaniu z sokiem przyczynia się do zwiększenia stabilności przechowalniczej koncentratu [11].

Koncentraty soków owocowych i warzywnych zaliczane są do produktów trudnych do wysuszenia przy zastosowaniu standardowych parametrów suszenia rozpyłowego, walcowego czy sublimacyjnego. Trudności w suszeniu tych materiałów wynikają z wysokiej zawartości cukrów i kwasów organicznych, które charakteryzują się niską temperaturą przejścia szklistego, wysoką termoplastycznością i higroskopijnością w stanie amorficznym [3,5]. Wyeliminowanie niekorzystnych zjawisk (zbrylanie, oblepianie ścian suszarki) występujących podczas suszenia rozpyłowego materiałów bogatych w cukry, takich jak soki owocowe, miód czy pochodne skrobi, wiąże się z doбором odpowiednich parametrów suszenia, dodatkiem substancji ułatwiających suszenie i zastosowaniem specjalnych rozwiązań konstrukcyjnych suszarki [4,22]. Zadaniem wysokocząsteczkowych substancji nośnikowych wspomagających suszenie jest podwyższenie temperatury przejścia szklistego suszonego materiału. Obecność nośnika przyczynia się również do zmian właściwości fizycznych produktu w proszku.

Temperatura przejścia szklistego T_g właściwa jest dla produktów znajdujących się w stanie amorficznym [3,18]. Stan takiego materiału jest niestabilny i określany jest jako stan nadzwyczaj gęstego szkła z lepkością na poziomie około 10^{12} Pa·s. Wzrost temperatury materiału amorficznego powyżej T_g skutkuje zmianami w jego właściwościach lepkosprężystych, zbrylaniem czy załamaniem się struktury materiału. Zjawiska te są wynikiem wystąpienia stanu materii charakteryzującego się lepkością na poziomie 10^6 - 10^8 Pa·s, a ich intensywność jest funkcją temperatury i zawartości wody w materiale [9,17].

Najważniejszymi parametrami procesu suszenia rozpyłowego są temperatura powietrza na wlocie i wylocie z suszarki oraz różnica temperatur pomiędzy powietrzem wylotowym a temperaturą T_g proszku [4,15]. Nawet niewielkie wahania w wartości temperatury na wylocie z suszarki mogą mieć znaczący wpływ na efekt procesu suszenia, strukturę oraz zachowanie się suszonego proszku podczas przechowywania. W zależności od składu chemicznego materiału amorficznego oraz parametrów suszenia uzyskany produkt może przypominać syrop lub być mało sypkim, bądź swobodnie płynącym proszkiem [6,14].

Związkami mającymi największy wpływ na obniżenie się T_g materiału w stanie amorficznym są cukry oraz woda [17,18]. Wysoka termoplastyczność i higroskopijność proszków owocowych mogą być znacznie obniżone poprzez zastosowanie związków wspomagających proces suszenia rozpyłowego zwanych nośnikami [5,8]. Substancję nośnikową powinna charakteryzować duża masa cząsteczkowa, wysoka temperatura przejścia szklistego T_g (100-243°C w przypadku maltodekstryny w zależności od stopnia scukrzenia DE) [17]. Lista dodatków wspomagających suszenie produktów bogatych w cukry obejmuje związki naturalnie występujące w żywności lub w niej niespotykane [5]. Substancjami pomocniczymi (nośnikami) mogą być maltodekstryny, skrobie i syropy skrobiowe, dekstryny, monoglicerydy, białka, gumy, pektyny, sól i związki nieorganiczne. Dobór odpowiedniego nośnika zależy od właściwości fizyko-chemicznych koncentratu, temperatury suszenia i właściwości nośnika. Substancje nośnikowe stosowano w badaniach suszenia miodu, soku z czarnej porzeczki, malin, moreli, ananasa, pomarańczy, przecieru z banana, roztworów sacharozy, glukozy, fruktozy i kwasu cytrynowego [1,5-8,13,14,17].

Celem pracy było zbadanie wpływu wybranych parametrów suszenia rozpyłowego soku jabłkowego na nośniku maltodekstrynowym na charakterystykę fizyczną otrzymanego proszku.

MATERIAŁY I METODY

Sok jabłkowy na nośniku maltodekstrynowym suszono w laboratoryjnej suszarce rozpyłowej ANHYDRO przy stałej temperaturze powietrza wlotowego i wylotowego wynoszącej odpowiednio $150 \pm 3^\circ\text{C}$ i $70 \pm 5^\circ\text{C}$. Temperatura powietrza wylotowego regulowana była natężeniem przepływu surowca. Suszony materiał, mieszanina zagęszczonego soku jabłkowego o zawartości ekstraktu 70,4%, maltodekstryny DE 9,6 i wody, doprowadzano do dysku rozpylającego za pomocą pompy perystaltycznej.

W celu określenia wpływu wybranych parametrów suszenia na cechy fizyczne soku jabłkowego w proszku przeprowadzono doświadczenie czynnikowe obejmujące 11 eksperymentów ($= 2^k + 3$, gdzie $k = 3$ liczba zmiennych). Rozpatrywano

wpływ: zawartości suchej masy (soku jabłkowego i maltodekstryny) w suszonym materiale SM , udziału maltodekstryny w suchej masie materiału UM , prędkości obrotowej dysku rozpylającego materiał PD na zawartość wody w , aktywność wody a_w , średnią wielkość cząstek d_{50} , gęstość cząstek ρ , gęstość nasypową luźną ρ_L , gęstość nasypową utręzioną, ρ_T , porowatość złoża luźno usypanego ε_L i utręzionego ε_T , sypkłość wyrażoną czasem wysypu I_S i współczynnikiem Hausner'a I_{HR} , wilgotność równowagową W_R , zwilżalność Z , rozpuszczalność w wodzie R .

Poziomy zmian badanych czynników podczas doświadczenia i plan eksperymentów zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Plan eksperymentu według kodowanych zmiennych parametrów suszenia rozpyłowego
Table 1. Experimental plan for spray drying parameters with coded variables

Kodowane wartości zmiennych niezależnych Coded values of independent variables	Rzeczywiste wartości zmiennych niezależnych Real values of independent variables		
	SM (%)	MD (% d.m.)	PD (10^3 obr·min ⁻¹)
+1	60	60	35
0	55	55	30
-1	50	50	25
Nr eksperymentu Run number	Plan eksperymentu według kodowanych zmiennych niezależnych Experimental plan with coded form of independent variables		
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	1
3	-1	1	1
4	-1	1	-1
5	1	1	1
6	1	1	-1
7	1	-1	1
8	1	-1	-1
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0

SM – zawartość suchej masy w materiale suszonym, UM – udział maltodekstryny w suchej masie materiału, PD – prędkość obrotowa dysku

SM – solid content in the feed material, UM – maltodextrin amount in the solid content of feed material, PD – atomisation speed

Zależności pomiędzy każdą zmienną zależną Y_i (dana cecha fizyczna) a badanymi czynnikami suszenia wyrażano za pomocą równania regresji:

$$Y_i = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3$$

W równaniu tym za Y_i podstawiano wartości poszczególnych zmiennych zależnych, a zmienne niezależne X_1, X_2, X_3 kodowane przyjmowały wartości $-1, 0$ lub $+1$. Dane liczbowe poddano analizie statystycznej przy poziomie istotności $p = 0,05$ przy weryfikacji hipotezy: $H_0: B_1 = B_2 = B_3 = 0$, zakładającej, że poziomych parametrów suszenia nie wpływają w sposób istotny na właściwości fizyczne proszków. Zależności pomiędzy wartościami kodowanych zmiennych X_1, X_2, X_3 a wartościami zmiennych rzeczywistych SM, UM i PD określają równania:

$$\begin{aligned}X_1 &= (SM - 55) \cdot 5^{-1} \\X_2 &= (MD - 55) \cdot 5^{-1} \\X_3 &= (PD - 30) \cdot 5^{-1}\end{aligned}$$

Wszystkie analizy przeprowadzono przy użyciu programu Statgraphics Plus 4.1.

Wymiar cząstek proszku oznaczano przy zastosowaniu analizatora wielkości cząstek ciał stałych w powietrzu AWK – V 97/Kamika Warszawa. Gęstość nasypową luźną ρ_L (gęstość nasypowa materiału luźno usypanego) i gęstość nasypową utrzęsioną ρ_{T1250} (gęstość nasypowa materiału upakowanego 1250 standardowymi postukiwaniem) oznaczono z wykorzystaniem objętościomierza wstrząsowego STAV 2003/Engelsmann AG, Germany. Gęstość cząstek ρ wyznaczano przy użyciu piknometru helowego Stereopycnometer/Quantachrome Instruments. Na podstawie gęstości ρ, ρ_L i ρ_T obliczano porowatość złoza proszku: luźno usypanego $\varepsilon_L = (1 - \rho_L \cdot \rho^{-1})$ i upakowanego $\varepsilon_T = (1 - \rho_T \cdot \rho^{-1})$. Sypkość wyrażano współczynnikiem Hausner'a I_H , stosunek odpowiednio $I_H = \rho_T \cdot \rho_L^{-1}$ oraz współczynnikiem I_s , jako czas potrzebny do wysypu 25 cm^3 proszku przez szczeliny obracającego się naczynia [2,10,16]. Zwilżalność w wodzie o temperaturze 20°C (Z) oznaczano jako czas potrzebny do zwilżenia wszystkich cząstek proszku zawartych w masie 10 g [21]. Rozpuszczalność oznaczano jako wysokość osadu w mm po odtworzeniu 15 g proszku w 100 ml wody o temperaturze 20°C [21]. Aktywność wody oznaczano przy użyciu aparatu Rotronic model Hygroskop DT w temperaturze 25°C . Higroskopijność wyrażano wilgotnością równowagową proszku W_R i stopieniem zbrylenia (wizualnie) proszków po 10 dniach przechowywania przy wilgotności względnej powietrza RH wynoszącej odpowiednio 43%, 65% i 81% [13,21].

WYNIKI

Charakterystyka jakościowa proszków obejmuje najczęściej aspekty związane z ich obrotem, jak też aspekty związane z odtwarzaniem w cieczy. Dla systemu

zdyspergowanego cząstek ciał stałych, takie właściwości jak gęstość nasypowa, sypkość, dozowność, unikanie segregacji składników czy tworzenia pyłu mają podstawowe znaczenie. Artykuły spożywcze w proszku z przeznaczeniem do dyspersji w płynie powinny charakteryzować się właściwościami instant, co oznacza ich dobrą zwilżalność, opadalność, dyspergowalność i rozpuszczalność. Zależnie od składu chemicznego materiału i warunków przechowywania proszku powyższe kryteria są spełniane w różnym stopniu, a sposób formowania proszku w danym procesie determinuje ich właściwości [11,19,20].

W tabelach 2 i 3 zestawiono wartości oznaczanych cech fizycznych partii soku jabłkowego w proszku otrzymywanych w poszczególnych eksperymentach suszenia rozpyłowego. Średnia wielkość cząstek d_{50} zależnie od wariantu doświadczenia przyjmowała wartości od 123 do 173 μm . Gęstość nasypowa proszków silnie zależy od upakowania cząstek i zwiększa się wraz z rosnącym upakowaniem materiału sypkiego. Gęstość nasypowa luźna i utrząsiona oraz porowatość złoża luźno usypanego i upakowanego dla otrzymywanych proszków wynosiła odpowiednio ρ_L 440-690 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ i ρ_T 590-920 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ oraz ε_L 0,53-0,66 i ε_T 0,39-0,52. Cząstki soku jabłkowego w proszku charakteryzowały się gęstością ρ w zakresie 1210-1500 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. W większości eksperymentów otrzymywano proszek o umiarkowanej lub dobrej sypkości. Wyróżniki sypkości przyjmowały wartości niższe od wartości charakterystycznych dla proszków trudno płynących, odpowiednio współczynnik Hausner'a $I_{HR} < 1,4$ i czas wysypu $I_S < 60\text{s}$. Niezależnie od parametrów suszenia proszki należały do łatwo odtwarzalnych w wodzie, charakteryzowały się całkowitą rozpuszczalnością i zwilżalnością w wodzie. Bezpośrednio po suszeniu proszki wykazywały niską aktywność wody a_w 0,11-0,23 przy zawartości wody w rzędu 1,3-3,1%. Wysoka higroskopijność proszków prowadziła do ich całkowitego zbrylenia podczas przechowywania w otoczeniu o wilgotności względnej powietrza RH 43% i wyższej. Zakresy wilgotności równowagowej W_R proszków przy wilgotności względnej powietrza RH 43, 65 i 81% wynosiły odpowiednio $W_{R0,43}$ 7,35-7,99 $\text{gH}_2\text{O}\cdot 100\text{g s.m.}^{-1}$, $W_{R0,65}$ 12,6-17,4 $\text{gH}_2\text{O}\cdot 100\text{g s.m.}^{-1}$, $W_{R0,81}$ 22,3-30,48 $\text{gH}_2\text{O}\cdot 100\text{g s.m.}^{-1}$.

Obserwowaną zmienność badanych cech fizycznych soku jabłkowego w proszku próbowano wyjaśnić zmiennością oddziaływania parametrów suszenia rozpyłowego. W tabeli 4 zestawiono wartości wszystkich współczynników regresji między analizowanymi wielkościami, a rozpatrywanymi zmiennymi niezależnymi w postaci zakodowanej.

Po weryfikacji wyrazów statystycznie nieistotnych i ich eliminacji oraz po przywróceniu zmiennych rzeczywistych otrzymano relacje zestawione w tabeli 5. Zmiany zawartości suchej masy (soku jabłkowego i nośnika) SM w suszonym materiale oraz udziału maltodekstryny w stosunku do suchej masy soku UM powodowały zmiany wielkości i gęstości cząstek proszku jabłkowego, gęstości nasypowej i porowatości złoża. Wzrost zawartości ogólnej suchej masy SM przy-

Tabela 2. Właściwości fizyczne soku jabłkowego w proszku

Table 2. Physical properties of powdered apple juice

Eksperyment Run	d_{50} (μm)	ρ_L ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	ρ_T ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	ρ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	ε_L (-)	ε_T (-)	I_S (s)	I_{HR} (-)	Z (s)	R (ml)
1	130 ± 10	0,686 $\pm 0,007$	0,89 $\pm 0,016$	1,453 $\pm 0,009$	0,53 $\pm 0,01$	0,39 $\pm 0,01$	12,5 ± 1	1,297 $\pm 0,037$	1 ± 0	0 ± 0
2	123 ± 10	0,622 $\pm 0,002$	0,853 $\pm 0,028$	1,501 $\pm 0,002$	0,56 $\pm 0,00$	0,43 $\pm 0,02$	12,5 ± 1	1,289 $\pm 0,050$	1,5 ± 1	0 ± 0
3	123 ± 10	0,652 $\pm 0,010$	0,923 $\pm 0,004$	1,497 $\pm 0,001$	0,56 $\pm 0,01$	0,38 $\pm 0,00$	33,5 ± 1	1,416 $\pm 0,028$	10,5 ± 1	0 ± 0
4	167 ± 10	0,454 $\pm 0,002$	0,703 $\pm 0,006$	1,342 $\pm 0,001$	0,66 $\pm 0,00$	0,48 $\pm 0,00$	135 ± 7	1,548 $\pm 0,020$	1 ± 0	0 ± 0
5	154 ± 10	0,525 $\pm 0,005$	0,696 $\pm 0,004$	1,371 $\pm 0,003$	0,62 $\pm 0,00$	0,49 $\pm 0,00$	52,5 ± 1	1,326 $\pm 0,020$	2 ± 0	0 ± 0
6	173 ± 10	0,440 $\pm 0,005$	0,586 $\pm 0,004$	1,209 $\pm 0,001$	0,64 $\pm 0,00$	0,52 $\pm 0,00$	39 ± 3	1,332 $\pm 0,025$	1 ± 0	0 ± 0
7	154 ± 10	0,577 $\pm 0,012$	0,782 $\pm 0,007$	1,435 $\pm 0,023$	0,60 $\pm 0,01$	0,46 $\pm 0,01$	66 ± 1	1,355 $\pm 0,041$	1,5 ± 1	0 ± 0
8	167 ± 10	0,579 $\pm 0,004$	0,733 $\pm 0,002$	1,239 $\pm 0,004$	0,53 $\pm 0,00$	0,41 $\pm 0,00$	16 ± 0	1,266 $\pm 0,012$	1 ± 0	0 ± 0
9	154 ± 10	0,653 $\pm 0,004$	0,833 $\pm 0,005$	1,433 $\pm 0,016$	0,54 $\pm 0,00$	0,42 $\pm 0,00$	16 ± 1	1,276 $\pm 0,016$	4,5 ± 1	0 ± 0
10	123 ± 10	0,645 $\pm 0,013$	0,844 $\pm 0,004$	1,380 $\pm 0,002$	0,53 $\pm 0,00$	0,39 $\pm 0,00$	15 ± 1	1,309 $\pm 0,033$	6 ± 0	0 ± 0
11	130 ± 10	0,660 $\pm 0,001$	0,847 $\pm 0,003$	1,389 $\pm 0,001$	0,53 $\pm 0,00$	0,39 $\pm 0,00$	17 ± 0	1,284 $\pm 0,006$	4 ± 0	0 ± 0

d_{50} – średnia średnica cząstek, ρ_L – gęstość nasypowa luźna, ρ_T – gęstość nasypowa utrząsiona, ρ – gęstość cząstek, ε_L – porowatość luźna, ε_T – porowatość utrząsiona, I_S – sypkłość jako czas wysypu, I_{HR} – współczynnik Hausner’a, Z – zwilżalność, R – rozpuszczalność.

d_{50} – mean particle size, ρ_L – loose bulk density, ρ_T – tapped bulk density, ρ – particle density, ε_L – loose porosity, ε_T – tapped porosity, I_S – flowability as pouring time, I_{HR} – Hausner ratio, Z – wettability, R – solubility index.

Tabela 3. Zawartość wody, aktywność wody i higroskopijność soku jabłkowego w proszku

Table 3. Moisture content, water activity and hygroscopicity of powdered apple juice

Proszek Powder	w (%)	w (gH ₂ O·100g d.m. ⁻¹)	a_w (-)	$W_{R\ 0,43}$ (gH ₂ O·100g d.m. ⁻¹)	$W_{R\ 0,65}$ (gH ₂ O·100g d.m. ⁻¹)	$W_{R\ 0,81}$ (gH ₂ O·100g d.m. ⁻¹)
1	1,31 ±0,03	1,32 ±0,03	0,147 ±0,01	7,46 ±0,618	14,49 ±0,40	27,41 ±0,90
2	3,12 ±0,06	3,22 ±0,06	0,201 ±0,01	7,99 ±0,03	13,94 ±0,63	26,64 ±0,01
3	1,64 ±0,00	1,67 ±0,00	0,106 ±0,01	7,86 ±0,24	14,51 ±1,22	26,94 ±0,64
4	1,26 ±0,07	1,28 ±0,07	0,13 ±0,01	7,75 ±0,02	16,84 ±0,47	30,48 ±0,25
5	2,05 ±0,02	2,10 ±0,02	0,146 ±0,01	7,35 ±0,91	14,62 ±0,13	26,52 ±0,69
6	2,17 ±0,02	2,22 ±0,02	0,149 ±0,01	7,46 ±0,12	17,35 ±0,31	29,94 ±0,15
7	1,42 ±0,02	1,44 ±0,02	0,111 ±0,01	7,60 ±0,54	16,33 ±1,11	27,20 ±0,27
8	2,67 ±0,10	2,74 ±0,10	0,164 ±0,01	7,53 ±0,10	16,18 ±0,55	30,47 ±0,17
9	1,73 ±0,00	1,76 ±0,00	0,227 ±0,01	7,38 ±0,20	14,82 ±0,84	27,22 ±0,12
10	2,41 ±0,01	2,47 ±0,01	0,202 ±0,01	7,66 ±0,120	14,26 ±0,42	22,28 ±3,73
11	2,03 ±0,04	2,07 ±0,04	0,187 ±0,01	7,64 ±0,02	12,64 ±0,70	23,84 ±0,06

w – zawartość wody, a_w – aktywność wody, $W_{R\ 0,43}$ – równowagowa zawartość wody odpowiadająca wilgotności względnej RH 43%, $W_{R\ 0,65}$ – równowagowa zawartość wody RH 65%, $W_{R\ 0,81}$ – równowagowa zawartość wody RH 81%.

w – moisture content, a_w – water activity, $W_{R\ 0,43}$ – equilibrium water content at relative humidity RH 43%, $W_{R\ 0,65}$ – equilibrium water content at RH 65%, $W_{R\ 0,81}$ – equilibrium water content at RH 81%.

czynił się do zwiększenia wielkości cząstek i porowatości złoza oraz zmniejszenia gęstości nasypowych. Zwiększenie udziału maltodekstryny *UM* pociągało za sobą zmniejszenie wielkości cząstek i porowatości złoza oraz wzrost gęstości nasypowych i polepszenie sypkości. Prędkość obrotowa dysku *PD* była również czynnikiem wpływającym na zmniejszenie gęstości nasypowej i zwiększenie porowatości złoza proszku, a także przyczyniła się do wydłużenia czasu wysypu ze wzrostem wartości *PD*.

Tabela 4. Zestawienie współczynników funkcji regresji $Y_i = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3$ dla parametrów suszenia rozpyłowego SM UM i PD w formie zakodowanej

Table 4. Coefficients in regression equation $Y_i = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3$ for different physical properties of powdered apple juice (using coded values of independent variables)

Y_i	B_0	B_1	B_2	B_3	R^2
<i>w</i>	1,987	0,065	-0,163	-0,169	13,8
<i>aw</i>	0,161	-0,002	-0,003	-0,012	7,7
<i>d₅₀</i>	145,273	13,125*	-10,375*	5,375	63,4
ρ_L	0,594	-0,042*	0,032*	-0,054*	60,4
ρ_T	0,790	-0,072*	0,043*	-0,044*	69,4
ρ	1,386	-0,068*	0,07*	-0,026*	89,4
ε_L	0,572	0,09*	-0,003*	0,033*	40,7
ε_T	0,568	0,023*	-0,003*	-0,011*	38,6
<i>I_S</i>	37,68	-2,5	-4,75	19,13*	23,0
<i>I_{HR}</i>	1,336	-0,034	-0,007*	0,052	44,9
<i>W_{R0,43}</i>	7,607	-0,143	0,075	-0,020	17,2
<i>W_{R0,65}</i>	15,09	0,587	-0,684*	0,299	32
<i>W_{R0,81}</i>	27,176	0,331	-1,375*	0,27	22,7
<i>Z</i>	3,091	-1,063 *	1,438*	1,189*	40,5

*wartości istotne na poziomie $p = 0,05$ – significant at $p = 0.05$ probability level.

Przez zmiany czynników suszenia można wpływać na zwilżalność proszku; czas zwilżania w wodzie wydłużał się wraz ze wzrostem udziału maltodekstryny i prędkości obrotowej dysku (tab. 5). Przez zmiany rozpatrywanych czynników nie można wpływać na higroskopijność proszku jabłkowego, przy czym wraz ze

wzrostem udziału maltodekstryny zauważono tendencję obniżania wartości wilgotności równowagowej W_R przy wilgotności względnej powietrza RH 65 i 84%.

Podobne zależności obserwowano w innych badaniach proszków owocowych. Abadio i wsp. [1] stwierdzili, że wzrost zawartości suchej masy i ilości maltodekstryny w suszonym roztworze powoduje obniżenie gęstości nasypowej soku ananasa w proszku. Borges i in. [7] wykorzystując proszki z marakuji i ananasa dowiedli, że wraz ze wzrostem stężenia maltodekstryny w suszonym roztworze wzrasta gęstość cząstek produktu wysuszonego. W innych badaniach [16,17] stwierdzono, że gęstość proszków maleje wraz ze wzrostem prędkości obrotowej dysku. Powodem tego jest zwiększenie się porowatości na skutek włączania się strumienia powietrza do materiału i do poszczególnych jego cząstek. Powietrze wewnątrz cząstek przyczynia się również do obniżenia właściwości rekonstrykcyjnych proszku, w tym zwilżalności. Jaya i Das [13] zaobserwowali skrócenie czasu wysypu i ograniczenie chłonięcia wilgoci z otoczenia wraz ze wzrostem ilości maltodekstryny w proszku mango.

Tabela 5. Współczynniki funkcji regresji $Y_i = b_0 + b_1 SM + b_2 UM + b_3 PD$ dla badanych fizycznych właściwości soku jabłkowego proszku (zmiennie niezależne rzeczywiste)

Table 5. Coefficients in regression equation $Y_i = b_0 + b_1 SM + b_2 UM + b_3 PD$ for different physical properties of powdered apple juice (using real values of independent variables)

Y_i	b_0	b_1	b_2	b_3
w	1,987	–	–	–
a_w	0,161	–	–	–
d_{50}	82,77	2,625	–2,075	–
ρ_L	1,027	–0,008	0,006	–0,011
ρ_T	1,368	–0,014	0,009	–0,009
ρ	1,516	–0,014	0,014	–0,005
ε_L	0,309	0,002	–0,0006	0,007
ε_T	0,414	0,005	–0,0006	–0,002
I_S	30,65	–	–	3,83
I_{HR}	1,431	–	0,007	–
$W_{R0,43}$	8,475	–	–	–
$W_{R0,65}$	14,36	–	–0,137	–
$W_{R0,81}$	37,05	–	–0,275	–
Z	–8,159	–0,213	0,288	0,238

Uwaga: zamieszczono tylko współczynniki istotne na poziomie $p = 0,05$,

Note: only coefficients significant at $p = 0.05$ are presented.

WNIOSKI

1. Suszenie rozpyłowe soku jabłkowego na bazie maltodekstryny niskoscukrzowej, przeprowadzone w zakresie zastosowanych zmiennych procesu, umożliwia otrzymanie produktu w proszku o dobrej sypkości i błyskawicznej rozpuszczalności w wodzie.

2. Warunki suszenia w złożony sposób wpływają na fizyczne i użytkowe właściwości uzyskiwanego proszku. Analiza, metodą regresji wielokrotnej, wpływu założonych poziomów zmiennych procesowych wykazała istnienie istotnych zależności w odniesieniu do większości z nich.

3. Spośród badanych właściwości fizycznych soku jabłkowego w proszku, największą podatność na zmiany czynników suszenia, wykazywały cechy związane z gęstością i porowatością proszku.

4. Sok jabłkowy w proszku charakteryzuje się wysoką higroskopijnością. Całkowite zbrylenie materiału nastąpiło już przy wilgotności względnej powietrza 43%. Na poziom zaadsorbowanej pary wodnej, zwłaszcza przy wyższej wilgotności względnej, miał wpływ udział maltodekstryny w suchej masie suszonego materiału.

PIŚMIENNICTWO

1. **Abadio F.D.B., Dominques A.M., Borgis S.V., Oliveira V.M.:** Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice-effect of maltodextrin concentration and atomization speed. *J. of Food Eng.*, 64, 285-287, 2004.
2. **Abdullah E.C., Geldart D.:** The use of bulk density measurements as flowability indicators. *Powder Technology*, 102, 151-165, 1999.
3. **Bhandari B.R., Howes T.:** Implication of glass transition for the drying and stability of dried food. *J. of Food Eng.*, 40, 71-79, 1999.
4. **Bhandari B.R., Datta N., Crooks R., Howes T., Rigby S.:** A semi-empirical approach to optimise of drying aids required to spray dry sugar-rich foods. *Drying Technology*, 15 (10), 2509-2525, 1997.
5. **Bhandari B.R., Datta N., Howes T.:** Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology*, 15 (2), 671-684, 1997.
6. **Bhandari B.R., Senoussi A., Dumoulin E.D., Lebert A.:** Spray drying of concentrated fruit juices. *Drying Technology*, 11 (5), 33-41, 1993.
7. **Borges S.V., Reis A.L.S.H., Jorge E.C., Pinto P.R., Oliveira V.:** Jugo de frutas tropicales deshidratados por spray drying. *Alimentaria*, 334, 125-130, 2002
8. **Brennan J.G., Herrera J., Jowitt R.:** A study of some of the factors affecting the spray drying of concentrated orange juice, on laboratory scale. *J. of Food Techn.*, 6, 295-307, 1971.
9. **Chuy L.E., Labuza T.P.:** Caking and stickness of dairy-based food powders as related to glass transition. *Journal of Food Science*, 59 (1), 43-46, 1994.
10. **Domian E.:** Sypkość aglomerowanej modelowej żywności w proszku. *Acta Agrophysica*, 6(3), 605-615, 2005
11. **Domian E.:** Właściwości fizyczne modelowej żywności w proszku w aspekcie metody aglomeracji. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4(45), 87-97, 2005

12. **Elkins R.E., Matthys A., Lyon R., Huang C.J.:** Characterization of commercially produced apple juice concentrate. *Journal of Food Composition and Analysis*, 9, 43-56, 1996.
13. **Jaya S., Das H.:** Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *J. of Food Engi.*, 63, 125-134, 2004.
14. **Masters K.:** *Spray drying handbook*, Longman Scientific & Technical, London
15. **Papadakis S.E., Bahu R.E.:** The sticky issues of drying. *Drying Technology*, 10(3), 817-837, 1992.
16. **Pisecky J.:** *Handbook of Milk Powder Manufacture* Copenhagen Niro A/S, 1997.
17. **Roos Y.H., Karel M.:** Plasticizing effect of water on thermal behavior and crystallization of amorphous food models. *Journal of Food Science*, 56, 38-43, 1991.
18. **Roos Y.H.:** Glass transition-related physicochemical changes in food. *Food Technology*, 49 (10), 97-102, 1995.
19. **Schubert H., Ax K., Behrend O.:** Product engineering of dispersed systems. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 9-16, 2003.
20. **Schubert H.:** *Food Particle Technology. Part I: Properties of particles and particulate food systems.* *J. of Food Engi.*, 6 (1), 1-32, 1987.
21. **Soerensen J.H., Krag J., Pisecky J., Westergaard V.:** *Analytical methods for dry milk products.* A/S Niro Atomizer Copenhagen, Denmark, 1978.
22. **Truong V., Bhandari B.R; Howes T.:** Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I-Moisture and glass transition temperature profile during drying. *Journal of Food Engineering*, 71, 55-65, 2005.

PHYSICAL PROPERTIES OF POWDERED APPLE JUICE

Ewa Domian, Emilia Bialik

Department of Food Engineering and Process Management, Warsaw Agricultural University
ul. Nowoursynowska 159c, 02-787 Warszawa
e-mail: domian@alpha.sggw.waw.pl

Abstract. The aim of this work was to investigate the influence of three levels of spray drying parameters with added maltodextrin on physical properties of powdered apple juice. Spray drying was carried out in a laboratory scale spray dryer ANHYDRO with air inlet temperature of 150°C and outlet temperature of 70°C. Analysis of process parameters included: content of solids in the apple concentrate, maltodextrin amount in the apple concentrate and atomisation speed. Analysis of physical properties included: particle size, loose and tapped bulk density, particle density, porosity, flowability, wettability, solubility and hygroscopicity. The process of spray drying guarantees instant wettability, moderate flowability and high hygroscopicity of apple juice powder. There was significant correlation between dependent and independent variables.

Keywords: food powders, spray drying, apple juice