

Natalia Szarek^{1,2,*}, Karolina Pycia², Grażyna Jaworska²

SUSZENIE ROZPYŁOWE JAKO INNOWACYJNA METODA PRODUKCJI PROSZKÓW Z SOKÓW OWOCOWYCH I WARZYWNYCH

Streszczenie: Suszenie rozpyłowe (*spray drying*) to jedna z najczęściej stosowanych technologii przemysłowych do produkcji proszków z płynnych lub półpłynnych surowców. Proces ten polega na rozpyleniu cieczy w postaci drobnych kropelek do gorącego powietrza (120–220°C), co powoduje błyskawiczne odparowanie wody i wytworzenie suchego proszku. Kluczowymi zaletami tej technologii są jej wydajność energetyczna, szybki czas produkcji oraz możliwość uzyskania jednorodnych proszków o długiej trwałości. Proces ten pozwala na zachowanie składników odżywczych i biologicznie aktywnych, co jest szczególnie istotne w produkcji proszków z owoców i warzyw. Do ich wytwarzania często wykorzystuje się różne nośniki, takie jak skrobia, maltodekstryna, guma arabska, inulina czy białka, które chronią wrażliwe składniki przed degradacją oraz poprawiają rozpuszczalność i stabilność produktu. Suszenie rozpyłowe umożliwia tworzenie proszków o szerokim zastosowaniu, np. w suplementach diety, napojach i żywności funkcjonalnej.

Wprowadzenie

Owoce i warzywa są bogate w witaminy, składniki mineralne i związki prozdrowotne, jednak należą do grupy surowców nietrwałych. Z tego powodu poszukuje się alternatywnych metod ich przetwarzania, które pozwoliłyby uzyskać produkty o wyższej trwałości przy zachowaniu możliwie wysokiej jakości. Soki z owoców i warzyw, w zależności od metody produkcji, sposobu utrwalania, pakowania czy przechowywania, charakteryzują się trwałością wynoszącą od kilku dni do kilku miesięcy. Stabilniejszą alternatywą są uzyskane z nich proszki, które mogą być przechowywane od kilku miesięcy do nawet kilku lat w zależności od rodzaju opakowania [Chauhan i Patil 2013].

¹ Szkoła Doktorska Uniwersytetu Rzeszowskiego, Uniwersytet Rzeszowski, al. Tadeusza Rejtana 16 C, 35-959 Rzeszów.

² Katedra Ogólnej Technologii Żywności i Żywienia Człowieka, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* nataliasz@dokt.ur.edu.pl

Suszenie rozpyłowe – definicja i opis procesu

Najbardziej ekonomiczną techniką utrzymującą wysoką jakość produktu końcowego poprzez szybkie odwodnienie i jednocześnie jedną z najpopularniejszych metod konserwowania soków z owoców i warzyw jest suszenie rozpyłowe (*spray drying*). Jest to proces polegający na otrzymaniu proszku z wyjściowego surowca płynnego (roztworu lub zawiesiny) w wyniku działania jednej ciągłej i krótkiej operacji z wykorzystaniem urządzenia zwanego suszarką rozpyłową [Samborska 2008]. Zaletami tego procesu jest możliwość uzyskania produktu w postaci proszku z półproduktu płynnego, o wyższej trwałości i stabilności w porównaniu do surowców wyjściowych, a także otrzymania produktu o celowanych właściwościach po odpowiednim dobraniu parametrów procesu (uniwersalna metoda) [Adhikari i in. 2009]. Uzyskany susz nie tylko charakteryzuje się dłuższym okresem przydatności do spożycia, ale także łatwością dozowania oraz mniejszą objętością, przez co jego transport i składowanie są dużo prostsze i wygodniejsze niż soków. Produkt suszony rozpyłowo jest bardzo stabilny z powodu niskiej zawartości wilgoci i aktywności wody. Typowa zawartość wilgoci w suszonych rozpyłowo owocach i warzywach waha się od 2 do 5%, a aktywność wody od 0,2 do 0,6 [Shishir i in. 2016, Patil i in. 2014]. Dodatkowo suszenie rozpyłowe, dzięki krótkotrwałemu kontaktowi z gorącym powietrzem materiałów wrażliwych na wysoką temperaturę, w tym witamin, składników mineralnych i przeciwutleniaczy, pozwala na zachowanie ich aktywności biologicznej. Pomimo iż w trakcie procesu częściowej degradacji ulega termolabilna witamina C, to suszenie rozpyłowe jest zabiegiem bardziej polecanym niż inne metody suszenia [Liyana-Pathirana i Shahidi 2005]. Ponadto jest to metoda „elastyczna” pod względem wydajności, gdyż w trakcie godzinowego procesu można uzyskać od kilku gramów do nawet kilku ton proszków [Samborska 2008]. W porównaniu do np. suszenia liofilizacyjnego suszenie rozpyłowe charakteryzuje się wyższą wydajnością energetyczną i większą skalowością procesu [Bhat i Bhat 2020]. Odtworzenie produktów płynnych z powstałych podczas suszenia rozpyłowego proszków ogranicza się do prostego ich rozpuszczenia w wodzie. Proszki po rozpuszczeniu dzięki krótkotrwałemu działaniu wysokiej temperatury, charakterystycznemu dla tej technologii, zachowują w wysokim stopniu cechy organoleptyczne surowca, takie jak smak, barwa i aromat [Samborska 2008, Janiszewska 2018].

Suszenie rozpyłowe obejmuje trzy fazy: atomizację strumienia cieczy (*rozpylanie*), fazę suszenia z formowaniem cząstek stałych produktu (kontakt powstałych kropeł z gorącym medium suszącym i *odparowanie*) oraz oddzielenie proszku od strumienia powietrza (*zebranie proszku*) [Samborska 2008]. Najpierw jednak należy odpowiednio przygotować sok. Surowce takie jak owoce i warzywa są poddawane obróbce wstępnej obejmującej m.in. tłoczenie i filtrację, by uzyskać sok klarowny. Następnie, w zależności od oczekiwanych rezultatów, stosowane są nośniki, które warunkują proces suszenia i w przypadku soków z owoców

i warzyw są niezbędne do jego prawidłowego przeprowadzenia. Po ich dodaniu i dokładnym wymieszaniu sok jest gotowy do suszenia rozpyłowego. Pierwsza faza procesu polega na rozdrobnieniu cieczy do postaci mgły (krople o średnicy 10–300 μm) za pomocą dyszy, która wewnątrz zamkniętej przestrzeni (komory suszarki) kontaktuje się z gorącym medium suszącym. Rozpylanie polega na wytworzeniu dużej powierzchni cieczy w stosunku do jej masy, co powoduje jej szybkie odparowanie w czasie od 1 do 20 sekund. Proces ten ma kluczowy wpływ na wielkość uzyskiwanych kropeł, a co za tym idzie, na szybkość i efektywność suszenia i wielkość cząstek uzyskanego proszku. Temperatury w tym procesie mogą wynosić od 120 do 220°C [Goula i Adamopoulos 2010]. Do rozpylania można wykorzystać trzy rodzaje urządzeń: rozpylacz odśrodkowy, ciśnieniowy (mechaniczny) oraz dwustrumieniowy (pneumatyczny), które powinny zostać dobrane do danego materiału na podstawie jego właściwości i oczekiwanych cech produktu końcowego [Samborska 2008]. Odparowanie przebiega w komorze suszarki, której kształt ma kluczowe znaczenie i zależy od zastosowanego urządzenia rozpylającego. Wyróżnia się suszarki współprądowe, przeciwproudowe oraz z mieszanym przepływem, a w przemyśle spożywczym najczęściej wykorzystywane są suszarki działające przy współprądowym kierunku powietrza i produktu [Schuck i in. 2009]. Po zakończeniu suszenia wysuszone cząstki są oddzielane od wilgotnego powietrza przez cyklon i odzyskane do odbieralnika znajdującego się na jego końcu.

Czynnikami determinującymi jakość produktu końcowego są także warunki procesu suszenia, które obejmują: stężenie wsadu, temperaturę powietrza wlotowego i wylotowego, szybkość przepływu wsadu, szybkość przepływu powietrza sprężarki, szybkość przepływu powietrza suszącego, rodzaj i prędkość atomizera, a także zastosowany rodzaj nośnika [Fazaeli i in. 2012, Kha i in. 2010]. Dostosowanie odpowiednich warunków wpływa na uzyskanie produktu końcowego i może poprawiać właściwości fizyczne uzyskanych proszków przy jednoczesnym zachowaniu związków biologicznie aktywnych [Shishir i Chen 2017]. Cały proces jest krótki, ale stosowane w nim temperatury suszenia są wysokie i zwykle wynoszą od 150 do 220°C na wlocie i od 50 do 80°C na wylocie [Phisut 2012]. Temperatura wlotowa mierzona na wejściu do komory suszącej jest rozumiana jako temperatura ogrzanego powietrza, natomiast wylotowa mierzona jest pomiędzy cyklonem a komorą suszarki i uznawana za temperaturę suszenia. Najwyższe tempo suszenia ma miejsce w pierwszym etapie, gdyż wtedy z suszonych cząsteczek wyparowuje największa ilość wody, natomiast w drugim etapie wyraźnie spada, gdyż na suszone cząsteczki oddziałuje temperatura powietrza wylotowego, która jest znacznie niższa niż powietrza wlotowego. Dlatego tak ważne jest dostosowanie odpowiednich warunków suszenia rozpyłowego, aby uniknąć degradacji bądź inaktywacji związków naturalnych takich jak witaminy, enzymy lub inne związki termolabilne [Schutyser i in. 2012, Bao i in. 2016, Chen i in. 2016].

Nośniki wykorzystywane w suszeniu rozpyłowym soków z owoców i warzyw

Produkty o wysokiej zawartości cukrów, a w szczególności soki owocowe, są jedną z grup materiałów, które mimo ciągłego postępu wciąż sprawiają kłopoty podczas suszenia rozpyłowego. Problemy te wynikają z ich składu chemicznego, a więc wysokiej zawartości cukrów prostych i kwasów organicznych. Substancje te charakteryzują się niską temperaturą przemiany szklistej T_g . Sprawia to, że w czasie suszenia soki pozostają w formie syropu lub cząstek przylepiających się do ścian komory. Głównym sposobem na uniknięcie tego niekorzystnego zjawiska uniemożliwiającego wysuszenie soków jest zastosowanie dodatku substancji podwyższających T_g (tzw. nośników), wśród których można wyróżnić skrobię, maltodekstrynę, gumę arabską, inulinę, kazeinę i białka mleka, a także żelatynę, pektynę, metylocelulozę, alginiany, fosforan triwapniowy czy ich kombinacje. Dodatkowo, dla poprawy stabilności i właściwości sensorycznych proszku, często wprowadza się niewielki dodatek glikozydów stewiolowych. Jednakże wiąże się to z wprowadzaniem do naturalnego produktu substancji trzeciej, więc po odtworzeniu soku nie można go już w takim wypadku nazwać „naturalnym” lub „100-procentowym” [Truong i in. 2005, Samborska 2008, Igual i in. 2014]. Wybór odpowiedniego nośnika zależy od celów procesu i cech fizykochemicznych przetwarzanego materiału. Nośniki muszą uzyskać certyfikat materiału stosowanego w żywności, który powinien być „ogólnie uznany za bezpieczny” (GRAS) [Barlow 2013]. Powinny też być dobrze rozpuszczalne w rozpuszczalniku procesowym, mieć odpowiednie zdolności tworzenia błon i wytwarzania roztworów o niskiej lepkości nawet przy wysokich koncentracjach. Dobór nośników w procesie suszenia rozpyłowego jest więc kluczowy dla jakości końcowego proszku, a odpowiednia ich selekcja pozwala na osiągnięcie optymalnych właściwości produktu [Đorđević i in. 2016].

Skrobia jest naturalnym nośnikiem węglowodanowym wykazującym właściwości zagęszczające, co pozwala na uzyskanie odpowiedniej konsystencji proszków. Jest niskokaloryczna w porównaniu do innych nośników, łatwo dostępna i stosunkowo niedroga [Goula i Adamopoulos 2010, O'Rourke i Daoud 2012]. Skrobie i ich pochodne mają dobre właściwości jako nośniki do suszenia rozpyłowego, wśród których można wyróżnić wysoką masę cząsteczkową, wysoką temperaturę zeszklenia, dobrą rozpuszczalność oraz niską lepkość ich roztworów wodnych (w przypadku pochodnych skrobi), a także właściwości antyadhezyjne czy zdolność tworzenia stosunkowo gęstych proszków. Ich wadą jest niska zdolność tworzenia filmu, co wpływa na wydajność suszenia, a szczególnie na zachowanie wrażliwych związków [Miller i Gil 2012].

Gumy w przeciwieństwie do skrobi wykazują silną zdolność tworzenia błony, ale ich temperatura zeszklenia jest stosunkowo niska. Najczęściej w produkcji

proszków z soków owocowych i warzywnych, a także proszków napojowych i słodczy wykorzystywana jest **guma guar** będąca naturalnym polisacharydem pochodzenia roślinnego. Jej zaletą jest stabilizacja emulsji i poprawa rozpuszczalności proszku w wodzie, jej dodatek poprawia także konsystencję produktu końcowego. Jednakże zazwyczaj jest stosowana w połączeniu z innymi nośnikami lub np. z gumą karaya [Goula i Adamopoulos 2010, O'Rourke i Daoud 2012]. Połączone działanie skrobi (lub jej pochodnych) i gumy zapewnia lepsze właściwości suszenia rozpyłowego, ale zawartość gumy powinna być niższa niż skrobi (lub jej pochodnych). Podobne dobre właściwości błonotwórcze posiada celuloza i jej pochodne, lecz nie są one strawne, dlatego związki te wykorzystywane są dość rzadko w produkcji proszków [Đorđević i in. 2016]. **Inulina** to naturalny prebiotyk, który jest stosowany w produkcji proszków owocowych i warzywnych, a także w żywności funkcjonalnej, a w szczególności w produktach skierowanych do osób dbających o zdrowie jelit. Wykazuje działanie stabilizujące, jest niskokaloryczna i poprawia rozpuszczalność proszków. Wśród wad należy wskazać jej specyficzny smak, który może nie odpowiadać preferencjom konsumentów [Goula i Adamopoulos 2010, O'Rourke i Daoud 2012]. **Glikozydy steviolowe** pochodzące z rośliny nazywanej stewią są dodatkiem funkcjonalnym stosowanym w suszeniu rozpyłowym. Najczęściej są stosowane w mieszankach z nośnikami węglowodanowymi, które odpowiadają za tworzenie odpowiedniej matrycy proszku, zapewniając m.in. wysoką temperaturę zeszklenia (T_g) oraz właściwą lepkość roztworu. Mogą być używane w suszeniu rozpyłowym zarówno soków owocowych, jak i warzywnych, lecz mają właściwości słodzące, dlatego preferowane jest ich wykorzystanie w produkcji proszków z soków z owoców. Przyczyniają się do poprawy rozpuszczalności produktów gotowych i mogą być stosowane w wyrobach bezcukrowych [Goula i Adamopoulos 2010, O'Rourke i Daoud 2012]. **Kazeina i białka mleka** są stosowane najczęściej w produkcji proszków białkowych, gdyż zapewniają wysoką jakość struktury proszku i poprawiają jego wartość odżywczą, szczególnie w kontekście odżywek białkowych i suplementów diety. Jednakże mogą być problematyczne dla osób z nietolerancją laktozy [Goula i Adamopoulos 2010, O'Rourke i Daoud 2012].

Najczęściej używanym nośnikiem do suszenia rozpyłowego soków owocowych i warzywnych są **maltodekstryny** (T_g $\frac{1}{4}$ 100–243°C) i wspomniana wcześniej guma arabska (T_g $\frac{1}{4}$ 126°C) ze względu na wysoką masę cząsteczkową, wysoką temperaturę zeszklenia (T_g), dobrą rozpuszczalność oraz niską lepkość [Quek i in. 2007, Schutyser i in. 2012]. Maltodekstryna należy do grupy polisacharydów dobrze rozpuszczających się w wodzie. Jej dodatek do soku poprawia proces suszenia kleistych produktów, przez co zwiększa się wydajność suszenia i zmniejsza wilgotność produktu [Janiszewska 2018]. Im wyższe stężenie maltodekstryny, tym niższa zawartość wilgoci w produkcie końcowym. Substancja ta poprawia teksturę i zapobiega nadmiernemu zbrylaniu się proszku, dzięki czemu produkt końcowy jest bardziej sypki i łatwiej rozpuszczalny. Dodatkową jej zaletą

jest ochrona przed termiczną degradacją cennych składników (np. witamin) i poprawa stabilności proszków podczas przechowywania. Natomiast może mieć wpływ na kaloryczność produktu, gdyż posiada wysoką wartość energetyczną.

W badaniach dotyczących wpływu parametrów suszenia rozpyłowego na barwę proszków z czarnego bzu wykorzystano maltodekstryny (MD) firmy Amylon (Czechy) o stopniu scukrzenia DE wynoszącym 10 i 20. Przygotowano roztwory o różnym udziale suchej substancji (masy) soku do maltodekstryny odpowiednio: 2:1 i 1:1. Niezależnie od analizowanych parametrów uzyskane proszki z czarnego bzu odznaczały się wysoką zawartością cyjanidyn odpowiadających za barwę fioletową. Wzrost udziału nośnika przyczynił się do wzrostu jasności proszku [Szulc i Leniart 2016]. Garofulic i in. [2017] w analizie zachowania polifenoli w kapsułkowanym soku wiśniowym udowodnili, że maltodekstryna DE 13-17 zastosowana w stosunku 3:1 okazała się być optymalnym materiałem otoczek do kapsułkowania soku wiśniowego w temperaturze 200°C, z najwyższą retencją kwasów fenolowych i antocyjanów wynoszącą odpowiednio 93 i 89%. Natomiast glikozydy flawonolowe zostały zatrzymane w największym stopniu (84%) w soku suszonym rozpyłowo w temperaturze 180°C z dodatkiem gumy arabskiej w stosunku 2:1. Różnica ta wynikała z odmiennych właściwości strukturalnych i chemicznych. Ze względu na ochronną rolę nośnika przed czynnikami zewnętrznymi wysoka temperatura okazała się nie mieć decydującego znaczenia dla retencji polifenoli, co umożliwia zastosowanie wysokich temperatur suszenia rozpyłowego do 200°C. Araujo-Díaz i in. [2017] wykazali, że dobrym nośnikiem w procesie suszenia rozpyłowego soku z borówek oprócz maltodekstryny DE 10 jest także inulina (stosunek nośnika do soku to 30:70 w/w). Uzyskany proszek charakteryzował się niższą zawartością przeciwutleniaczy w porównaniu z proszkiem uzyskanym z soku z dodatkiem maltodekstryny, ale warto podkreślić, że inulina posiada właściwości prebiotyczne stymulujące wzrost korzystnej mikroflory jelit. W suszeniu rozpyłowym soku z liczi użyto maltodekstryny (MD), gumy arabskiej (GA) i połączenia maltodekstryny z inuliną (MD i inulina). Zastosowano także kombinację gumy arabskiej i inuliny (GA i inulina). Wszystkie wskazane nośniki efektywnie zredukowały straty termiczne i oksydacyjne antocyjanin, kwasu askorbinowego oraz ogółu związków fenolowych. Niemniej jednak nośnik złożony z gumy arabskiej i inuliny (GA i inulina) wykazał się większą skutecznością w zatrzymywaniu antocyjanin, kwasu askorbinowego i związków fenolowych [Kingwatee i in. 2015]. Z kolei podczas suszenia rozpyłowego soku z czarnej marchwi udowodniono, że maltodekstryna DE 20 jako materiał nośnikowy lepiej zachowuje maksymalną aktywność antocyjanów i innych przeciwutleniaczy w porównaniu do gumy arabskiej i skrobi z tapioki [Murali i in. 2015].

Wybór nośnika zależy od rodzaju oczekiwanego produktu końcowego. Maltodekstryna lub guma arabska są najczęściej stosowane w produkcji proszków owocowych, które mają być wykorzystane w napojach typu instant. Do wyrobu proszków białkowych preferowane są białka mleka lub białka roślinne zwiększające

wartość odżywczą. Natomiast inulina jest najczęściej stosowana w procesie wytwarzania produktów funkcjonalnych jak np. proszki prebiotyczne [Goula i Adamopoulos 2010, O'Rourke i Daoud 2012].

Zastosowanie proszków z soków owocowych i warzywnych

Proszki uzyskane z soków owocowych i warzywnych znajdują zastosowanie w wielu branżach, nie tylko przemysłu spożywczego, ale i suplementów diety czy w przemyśle kosmetycznym. Proszki z soków wykorzystywane są najczęściej w produkcji napojów typu instant, zup, sosów czy koktajli. Ponadto znajdują zastosowanie jako dodatek do jogurtów, napojów mlecznych, deserów, batoników energetycznych czy innych słodczy [Wang i Chen 2012]. Proszki z soków owocowych i warzywnych charakteryzują się bogatym składem witamin, składników mineralnych czy przeciwutleniaczy, dlatego też z powodzeniem stosowane są w produkcji suplementów diety. Dużym zainteresowaniem konsumentów poszukujących źródeł składników odżywczych w tego rodzaju produktach cieszą się proszki z soków z owoców acai, granatu, borówki czy jabłek [Shah i Madan 2018]. W przemyśle kosmetycznym natomiast coraz chętniej wprowadza się proszki z soków owocowych i warzywnych do kosmetyków, takich jak np. maseczki do twarzy, kremy nawilżające czy szampony, z uwagi na naturalne właściwości tych surowców [Zhang i in. 2015]. Suszenie rozpyłowe znajduje szerokie zastosowanie także w wielu innych sektorach przemysłu, takich jak np. przemysł farmaceutyczny, agrochemiczny, chemiczny czy biotechnologiczny.

Podsumowanie

Suszenie rozpyłowe jest ugruntowaną i szeroko stosowaną techniką w celu uzyskania wielu produktów owocowych i warzywnych. Temperatura powietrza wlotowego 150°C–220°C i stężenie maltodekstryny 7%–20% to najczęstsze warunki suszenia rozpyłowego przy produkcji proszków z soków z owoców i warzyw. Produkty te posiadają doskonałą jakość, tj. niską wilgotność, niską higroskopijność i małe rozmiary cząsteczek, dzięki czemu łatwo je przetransportować. Stosując wyższą temperaturę wlotową suszenia, zwiększa się wydajność, Tg, rozpuszczalność, higroskopijność i wielkość cząsteczek oraz zmniejsza się zawartość wilgoci, aktywność wody, gęstość nasypową oraz niekiedy zawartość związków bioaktywnych. Początkowo, by ochronić związki biologicznie aktywne, stosowano nośniki takie jak maltodekstryna lub kombinacja maltodekstryny i gumy arabskiej. Oprócz wykorzystania odpowiednich nośników warto też przyrzeć się nowym technologiom w zakresie suszenia rozpyłowego, które poprawiają jakość proszków owocowych i warzywnych. Mowa tutaj o włączeniu ultradźwięków czy próżni, dzięki czemu możemy

kontrolować warunki atmosferyczne w komorze suszenia, ulepszać system dostarczania powietrza w celu uzyskania jak największej ilości proszków o niskiej wilgotności i wysokiej zawartości związków prozdrowotnych. Prowadzone badania naukowe i rozwój tej technologii wskazują na duży potencjał tego procesu w przyszłości.

Bibliografia

- Adhikari B., Bhandari B., Howes T. (2009). Spray drying of food ingredients: A review. *Drying Technology*, 27 (4), 357–368.
- Araujo-Díaz S.B., Leyva-Porras C., Aguirre-Banuelos P., Álvarez-Salas C., Saavedra-Leos Z. (2017). Evaluation of the physical properties and conservation of the antioxidants content, employing inulin and maltodextrin in the spray drying of blueberry juice. *Carbohydrate Polymers*, 167, 317–325.
- Bao T., Xu Y., Gowd V., Zhao J., Xie J., Liang W. (2016). Systematic study on phytochemicals and antioxidant activity of some new and common mulberry cultivars in China. *Journal of Functional Foods*, 25, 537–547.
- Barlow S.M. (2013). European legislative framework controlling the use of food additives. [In:] M. Saltmarsh, M. Saltmarsh, S. Barlow (Eds.): *Essential guide to food additives*, RSC Publishing, Cambridge, 44–53.
- Bhat R., Bhat H. (2020). Spray drying technology: A review of recent developments, applications, and future perspectives. *Food Science and Technology*, 49 (5), 1255–1267.
- Chauhan A.K., Patil V. (2013). Effect of packaging material on storage ability of mango milk powder and the quality of reconstituted mango milk drink. *Powder Technology*, 239, 86–93.
- Chen W., Su H., Xu Y., Bao T., Zheng X. (2016). Protective effect of wild raspberry (*Rubus hirsutus* Thunb.) extract against acrylamide-induced oxidative damage is potentiated after simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 196, 943–952.
- Đorđević V., Paraskevopoulou A., Mantzouridou F., Lalou S., Pantić M., Bugarski B. (2016). Encapsulation technologies for food industry. [In:] V. Nedović P. Raspor J. Lević V.T. Saponjac, G.V. Barbosa-Canovas (Eds.): *Emerging and traditional technologies for safe, healthy and quality food*. Springer International Publishing, Switzerland, 329–380.
- Fazaeli M., Emam-Djomeh Z., Kalbasi Ashtari A., Omid M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 90, 667–675.
- Garofulic I.E., Zoric Z., Pedisic S., Dragovic-Uzelac V. (2017). Retention of polyphenols in encapsulated sour cherry juice in dependence of drying temperature and wall material. *LWT – Food Science and Technology*, 83, 110–117.
- Goula A.M., Adamopoulos K.G. (2010). Spray drying of food materials: A review. *Food Research International*, 43 (9), 2307–2315.
- Igual M., Ramires S., Mosquera L.H., Martínez-Navarrete N. (2014). Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*, 256, 233–238.
- Janiszewska E. (2018). Influence of spray drying conditions on beetroot pigments retention after microencapsulation process. *Acta Agrophysica* 20 (2), 343–356.
- Kha T.C., Nguyen M.H., Roach P.D. (2010). Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*, 98, 385–392.
- Kingwatee N., Apichartsrangkoon A., Chaikham P., Worametrachanon S., Techarung J., Pankasemsuk T. (2015). Spray drying *Lactobacillus casei* 01 in lychee juice varied carrier materials. *LWT – Food Science and Technology*, 62, 847–853.

- Leyva-Porras C., Saavedra-Leos M.Z., López-Pablos A.L., Soto-Guerrero J.J., Toxqui-Terán A., Fozado-Quiroz R.E. (2017). Chemical, thermal and physical characterization of inulin for its technological application based on the degree of polymerization. *Journal of Food Process Engineering*, 40 (1), 1–13.
- Liyana-Pathirana C.M., Shahidi F. (2005). Characteristics of vacuum- and air-dried cranberry powder and its stability during storage. *Journal of Food Science*, 70 (7), 445–452.
- Miller D.A., Gil M. (2012). Spray drying technology. [In:] R.O. Williams III, A.B. Watts, D.A. Miller (Eds.): *Formulating poorly water soluble drugs*. Springer-Verlag, New York, 363–442.
- Murali S., Kar A., Mohapatra D., Kalia P. (2015). Encapsulation of black carrot juice using spray and freeze drying. *Food Science and Technology International*, 21 (8): 604–612.
- O'Rourke J., Daoud M.A. (2012). Stability of spray dried powders: Effect of stabilizers. *Journal of Food Engineering*, 113 (1), 92–99.
- Patil V., Chauhan A.K., Singh R.P. (2014). Optimization of the spray drying process for developing guava powder using response surface methodology. *Powder Technology*, 253, 230–236.
- Phisut N. (2012). Spray drying technique of fruit juice powder: Some factors influencing the properties of product. *International Food Research Journal*, 19, 1297–1306.
- Quek S.Y., Chok N.K., Swedlund P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46, 386–392.
- Samborska K. (2008). Suszenie rozpyłowe w przemyśle spożywczym. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 63–69.
- Schuck P., Da Silva M.A.A., Bica C.I. (2009). Spray drying of food products: A review of the technology and its applications in food industry. *Food Research International*, 42 (9), 1171–1182.
- Schutyser M.A.I., Perdana J., Boom R.M. (2012). Single droplet drying for optimal spray drying of enzymes and probiotics. *Trends in Food Science & Technology*, 27, 73–82.
- Shah B., Madan P. (2018). Potential applications of fruit and vegetable powders in functional foods: Health benefits and technological aspects. *Food Research International*, 105, 381–395.
- Shishir M.R.I., Chen W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science & Technology*, 65, 49–67.
- Shishir M.R.I., Taip F.S., Aziz N.A., Talib R.A., Sarker M.S.H. (2016). Optimization of spray drying parameters for pink guava powder using RSM. *Food Science and Biotechnology*, 25, 1–8.
- Szulek K., Leniart A. (2016). Wpływ parametrów suszenia rozpyłowego na barwę proszków z czarnego bzu. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, XLIX (4), 732–735.
- 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. *Journal of Food Engineering*, 71, 55–65.
- Wang L., Chen J. (2012). Applications of fruit and vegetable powders in functional foods and beverages. *Journal of Food Science*, 77 (10), 209–218.
- Zhang Q., Li Y., Zhao Y. (2015). Application of fruit and vegetable powders in cosmetic formulations: The use of antioxidants and vitamins. *Journal of Cosmetic Science*, 66 (6), 433–444.

Spray drying as an innovative method of producing powders from fruit and vegetable juices

Abstract: Spray drying is one of the most widely used industrial technologies for producing powders from liquid or semi-liquid raw materials. The process involves spraying a liquid in the form of fine droplets into hot air (120–220°C), which causes water to evaporate instantly and produce a dry powder. The key advantages of this technology are its energy efficiency, fast production time and the ability to produce homogeneous powders with long shelf life. The process preserves nutrients, which is particularly important in the production of fruit and vegetable powders. The production of these powders often uses various carriers, such as starch, maltodextrin, gum arabic, inulin or proteins, which protect sensitive ingredients from degradation, improve solubility and product stability. Spray drying makes it possible to create powders for a wide range of applications, such as in dietary supplements, beverages and functional foods.

