





WPŁYW PARAMETRÓW KONWEKCYJNEGO I SUBLIMACYJNEGO SUSZENIA OWOCÓW BZU CZARNEGO (*SAMBUCUS NIGRA* L.) NA KINETYKĘ PROCESU I BARWĘ SUSZU

Andrzej Krzykowski  , Dariusz Dziki , Marek Domin ,
Karol Kupryaniuk




UP w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji


Streszczenie. Celem badań było określenie wpływu metody i warunków suszenia owoców bzu czarnego na kinetykę procesu i zmianę wartości współrzędnych chromatycznych barwy suszu. Proces suszenia konwekcyjnego prowadzono w temperaturze 25°C, 45°C i 65°C i przepływie powietrza 0,5 m·s⁻¹, suszenie sublimacyjne realizowano w tym samym zakresie temperatur półek grzejnych przy ciśnieniu 63 Pa. Stwierdzono, że proces suszenia sublimacyjnego w całym zakresie pomiarowym najlepiej opisuje model Pagea, suszenie konwekcyjne natomiast model dwuczynnikiowy oraz model Pagea, w zależności od parametrów procesu. Wykazano, że zarówno suszenie sublimacyjne, jak i konwekcyjne w badanym zakresie temperaturowym ma niewielki wpływ na stabilność barwy badanego surowca.

Słowa kluczowe: suszenie, barwa, bez czarny

WSTĘP

Bez czarny (*Sambucus nigra* L.) jest krzewem występującym w naturze w Europie, północno-zachodniej Afryce i Azji Mniejszej. W Polsce jest pospolity na całym obszarze kraju, a obecnie jest uprawiany w wielu innych krajach na świecie, głównie w celu pozyskiwania owoców i kwiatów [Nurzyńska-Wierdak 2016, Młynarczyk i in. 2018]. Od wieków bez czarny w postaci soku lub naparu z suszonych jagód był wykorzystywany w celach leczniczych, a Rzymianie używali go do farbowania włosów [Piątkowska i in. 2011, Duymus i in. 2014].

Andrzej Krzykowski  <https://orcid.org/0000-0001-5169-4741>; Dariusz Dziki  <https://orcid.org/0000-0003-4879-4404>; Marek Domin  <https://orcid.org/0000-0002-8389-2811>

 andrzej.krzykowski@up.lublin.pl

© Copyright by Wydawnictwo SGGW

Owoce bzu czarnego są bogate w witaminy, polifenole, kwasy organiczne, olejki eteryczne, a także garbniki i cukry [Nurzyńska-Wierdak 2016, Bryła i in. 2018]. Zawierają one również szkodliwe dla zdrowia glikozydy cyjanogenne, występujące głównie w niedojrzałych jagodach i ulegają degradacji podczas obróbki cieplnej, między innymi podczas suszenia [Sidor i Gramza-Michałowska 2015, Nurzyńska-Wierdak 2016, Młynarczyk i in. 2018].

Suszone owoce bzu czarnego służą do produkcji suplementów diety, wchodzą w skład mieszanek ziołowych i herbat owocowych, wykazują działanie napotne, przeciwgorączkowe i moczopędne, pomagają w leczeniu stanów zapalnych żołądka i jelit [Bober i Oszmiański 2004, Duymus i in. 2014]. Jagody bzu czarnego znajdują także zastosowanie przy wyrobieniu soków, dżemów, galaretek, lodów, jogurtów, jako nadzienie do ciast, a także do produkcji napojów alkoholowych i kosmetyków [Senica i in. 2016, Silva i in. 2017].

Owoce bzu czarnego charakteryzują się wysoką aktywnością przeciwutleniającą, wynikającą przede wszystkim z dużej zawartości antocyjanów, głównie cyjanidyny [Seabra i in. 2010]. Te związki fenolowe powszechnie stosowane są jako naturalne barwniki spożywcze w alternatywie do barwników syntetycznych, mających niekorzystny wpływ na zdrowie [Bridle i Timberlake 1997, Szulc i Lenart 2016]. Antocyjany są związkami nietrwałymi, w środowisku wodnym ulegają przemianom, a szybkość ich degradacji uzależniona jest przede wszystkim od obecności tlenu, ogrzewania i czasu działania tych czynników [Piątkowska i in. 2011, Kruger i in. 2015].

Liczne doniesienia literaturowe dotyczą głównie analizy jakościowej soków i ekstraktów uzyskanych z owoców bzu czarnego jednak sam proces suszenia (stosowany również w przypadku pozyskiwania ekstraktów), jego kinetyka i parametry, które wpływają na cechy jakościowe suszu, nie zostały dokładnie opisane.

Celem przeprowadzonych badań była analiza kinetyki suszenia konwekcyjnego i sublimacyjnego owoców bzu czarnego oraz barwy uzyskanego suszu.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Owoce bzu czarnego zostały pozyskane z dziko rosnącej populacji w okolicach Lublina. Surowiec zebrano w tym samym miejscu z kilku krzewów w stanie pełnej dojrzałości, pod koniec sierpnia 2017 roku. Wyselekcjonowane dojrzałe i nieuszkodzone owoce zostały bezpośrednio po zbiorze poddane suszeniu konwekcyjnemu, jagody przeznaczone do liofilizacji zamrożono w komorze zamrażarki skrzyniowej Liebherr GTL-4905, w temperaturze $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, w warunkach konwekcji swobodnej.

Suszenie konwekcyjne przeprowadzono przy użyciu suszarki firmy Promis-Tech umożliwiającej ciągłą rejestrację masy w trakcie suszenia z dokładnością $\pm 0,1\text{ g}$. Proces suszenia sublimacyjnego realizowano w liofilizatorze Alpha 1-4 firmy Martin Christ o jednostronnym, kontaktowym sposobie dostarczania ciepła, wyposażonym w wagę przystosowaną do pracy w warunkach obniżonego ciśnienia, rejestrującą masę surowca podczas suszenia z dokładnością $\pm 0,1\text{ g}$, co 10 min. Proces suszenia sublimacyjnego prowadzono przy temperaturze półek grzejnych $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, ciśnienie w komorze suszenia wynosiło 63 Pa . Suszenie konwekcyjne realizowano przy temperaturze powietrza $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ i przepływie wynoszącym $0,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pod sitem suszarki. W każdym

przypadku próby stanowiły owoce o masie 100 g, badania prowadzono do uzyskania końcowej wilgotności suszu, wynoszącej około 10%, rejestrując zmiany masy co 10 min. Zawartość suchej substancji oznaczono zgodnie z Association of Official Analytical Chemists (AOAC), metoda 934.06 [AOAC International 1990]. Średnia wilgotność świeżych owoców bzu czarnego wynosiła 79,4% co odpowiada początkowej zawartości wody $u_0 = 3,864 \text{ kg H}_2\text{O} \cdot (\text{kg s.s.})^{-1}$.

Zredukowaną zawartość wody (MR) obliczono z następującego wzoru:

$$MR = \frac{u_\tau - u_r}{u_0 - u_r} \quad (1)$$

gdzie: MR – zredukowana zawartość wody [-],
 u_r – równowagowa zawartość wody [$\text{g H}_2\text{O} \cdot (\text{g s.s.})^{-1}$],
 u_0 – początkowa zawartość wody [$\text{g H}_2\text{O} \cdot (\text{g s.s.})^{-1}$],
 u_τ – zawartość wody po czasie τ [$\text{g H}_2\text{O} \cdot (\text{g s.s.})^{-1}$].

Analiza siedmiu równań najczęściej cytowanych w literaturze (tab. 1) pozwoliła na dobór modelu matematycznego najlepiej opisującego konwekcyjne i sublimacyjne suszenie owoców bzu czarnego.

Tabela 1. Modele matematyczne wykorzystywane do opisu przebiegu suszenia

Table 1. Equations applied to drying curves

Nazwa modelu Model name	Formuła matematyczna Model equation	Literatura References
Pagea	$MR = \exp(-k \cdot \tau^n)$	Diamante i Munro 1993
Dwuczynnikowy	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot \tau) + b \cdot \exp(-k_i \cdot \tau)$	Henderson 1974
Logarytmiczny	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot \tau) + b$	Sarimeseli 2011
Hendersona i Pabisa	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot \tau)$	Henderson i Pabis 1961
Newtona	$MR = \exp(-k \cdot \tau)$	El-Beltagy i in. 2007
Wanga i Singha	$MR = 1 + a \cdot \tau + b \cdot \tau^2$	Wang i Singh 1978
Midilliego	$MR = a \exp(-k \cdot \tau^n) + b \cdot \tau$	Midilli i in. 2002

k , k_i – współczynnik suszarniczy [min^{-1}]; a , b – współczynniki równań; n – wykładnik potęgowy; τ – czas [min];
 k , k_i – drying coefficients [min^{-1}]; a , b – coefficients of the equations; n – exponent; τ – time [min];

Kinetykę suszenia owoców bzu czarnego przedstawiono jako wartości średnie z trzech powtórzeń. Wyniki dotyczące analizy regresji obejmują współczynnik determinacji (R^2), błąd średniokwadratowy (RMSE) i wartości zredukowanego testu (χ^2). Błąd średniokwadratowy (RMSE) i wartości zredukowanego testu (χ^2) wyznaczono z zależności:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{i,p} - MR_{i,e})^2}{N}} \quad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{i,p} - MR_{i,e})^2}{N - n} \quad (3)$$

gdzie:

$MR_{i,p}$ – to przewidywana wartość zredukowanej zawartości wody,

$MR_{i,e}$ – eksperymentalna wartość zredukowanej zawartości wody,

N t – o liczba pomiarów, n to ilość parametrów w równaniu danego modelu.

Współrzędne barwy surowca i suszu oznaczano przy użyciu kolorymetru Minolta CR-400 w systemie kolorymetrycznym CIE $L^* a^* b^*$, pozwalającym na określenie jasności barwy L^* , zmiany barwy od zieleni do czerwieni a^* oraz od koloru niebieskiego do żółtego b^* . Jednorodność próby zapewniało rozdrobnienie badanego materiału przed pomiarem w młynku laboratoryjnym firmy Retsch, oznaczanie barwy surowca i suszu wykonywano w pięciu powtórzeniach. Wartość całkowitej różnicy barwy (ΔE) poszczególnych prób w odniesieniu do surowca określono według wzoru:

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{0,5} \quad (4)$$

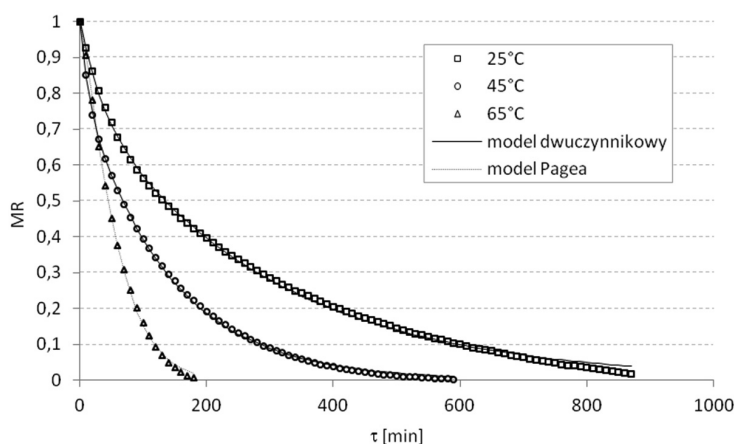
Dane eksperymentalne poddano analizie statystycznej przy wykorzystaniu programu Statistica 10, stosując analizę wariancji ANOVA na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ oraz test Tukey'a.

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Krzywe konwekcyjnego i sublimacyjnego suszenia owoców bzu czarnego (dane eksperymentalne i opisujące je równania regresji), określone jako zmiana zredukowanej zawartości wody MR w funkcji czasu suszenia, przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

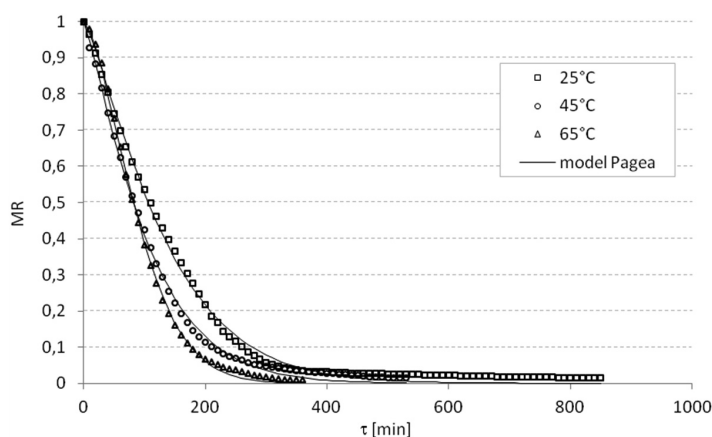
W zależności od zastosowanej metody suszenia wzrost temperatury procesu w zakresie 25–65°C wpływa na skrócenie czasu odwadniania ponad dwukrotnie w przypadku sublimacji i prawie pięciokrotnie podczas konwekcji. Pierwszy okres suszenia sublimacyjnego charakteryzował się większą intensywnością usuwania wody niż w przypadku suszenia konwekcyjnego, jednak długotrwały etap dosuszania próżniowego powodował, że sumaryczny czas suszenia sublimacyjnego w zakresie 25–45°C był niewiele krótszy niż suszenia konwekcyjnego. Dwukrotne zmniejszenie czasu suszenia konwekcyjnego w temperaturze 65°C w porównaniu z sublimacyjnym może być powodowane uszkodzeniami strukturalnymi owoców, co wpływa na intensyfikację procesu usuwania wody. Peroń i inni [2010] wykazują około trzykrotnie dłuższy czas suszenia owoców bzu czarnego podczas suszenia konwekcyjnego w porównywalnych temperaturach, należy jednak zaznaczyć, że proces ten prowadzony był w warunkach konwekcji naturalnej.

Wyniki analizy regresji, wykorzystanej do opisania kinetyki suszenia owoców bzu czarnego zestawiono w tabelach 2 i 3, natomiast współczynniki równań najlepiej opisujących kinetykę suszenia w zależności od metody i parametrów procesu zawarto w tabeli 4. Wszystkie analizowane modele z wyjątkiem modelu Midilliego oraz Wanga i Singha, (przy temperaturze 25°C i 45°C) w bardzo dobry sposób opisują uzyskane dane eksperymentalne, świadczą o tym wysokie współczynniki determinacji, niskie wartości błędów średniokwadratowego (RMSE) i zredukowanego testu (χ^2). W celu opisania kinetyki procesu suszenia konwekcyjnego w temperaturze 65°C przyjęto model Pagea, dla



Rys. 1. Kinetyka konwekcyjnego suszenia owoców bzu czarnego

Fig. 1. Drying curves of convective drying of elderberry



Rys. 2. Kinetyka sublimacyjnego suszenia owoców bzu czarnego

Fig. 2. Drying curves of freeze drying of elderberry

temperatury 25°C i 45°C model dwuczynnikowy, proces suszenia sublimacyjnego w całym zakresie pomiarowym najlepiej opisuje model Pagea.

Wyniki badań dotyczące barwy suszu z owoców bzu czarnego zestawiono w tabeli 5. Zarówno suszenie konwekcyjne, jak i sublimacyjne wpływało na zwiększenie współrzędnych barwy L^* i a^* suszu względem surowca, nie miało natomiast istotnego statystycznie wpływu na zmiany współrzędnej b^* , przy czym w przypadku suszenia sublimacyjnego współrzędne barwy suszu charakteryzowały się większymi wartościami w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym. Temperatura procesu suszenia miała wpływ jedynie na zmianę współrzędnej barwy L^* suszu w przypadku liofilizacji, skutkując zwiększeniem jasności suszu wraz z wzrostem temperatury, co można tłumaczyć przemianą antocyjanów

Tabela 2. Analiza statystyczna dopasowania modelu kinetyki sublimacyjnego suszenia owoców bzu czarnego
 Table 2. Statistical analysis of model describing kinetics of freeze drying of elderberry

Nazwa modelu Model name	Temperatura Temperature								
	25 °C			65 °C					
	R ²	RMSE	χ^2	R ²	RMSE	χ^2			
Pagea	0,996	0,0023	5,4162·10 ⁻⁶	0,997	0,0013	1,8533·10 ⁻⁶	0,998	0,0006	0,4612· ⁻⁶
Dwuczynnikowy	0,990	0,0056	33,9243·10 ⁻⁶	0,993	0,0035	13,5166·10 ⁻⁶	0,977	0,0142	228,99·10 ⁻⁶
Logarytmiczny	0,990	0,0056	33,4672·10 ⁻⁶	0,993	0,0035	13,108·10 ⁻⁶	0,983	0,0103	116,564·10 ⁻⁶
Newtona	0,986	0,0084	72,6286·10 ⁻⁶	0,989	0,0055	31,5749·10 ⁻⁶	0,958	0,0261	705,198·10 ⁻⁶
Hendersona i Pabisa	0,990	0,0056	33,1166·10 ⁻⁶	0,993	0,0035	12,9967·10 ⁻⁶	0,977	0,0142	215,905·10 ⁻⁶
Wanga i Singha	0,862	0,0843	7278,945·10 ⁻⁶	0,940	0,0326	1104,081·10 ⁻⁶	0,984	0,0096	0,9811·10 ⁻⁶
Midilliego	0,590	0,2520	66634,288·10 ⁻⁶	0,691	0,1698	31143,015·10 ⁻⁶	0,793	0,1303	19046,455·10 ⁻⁶

Tabela 3. Analiza statystyczna dopasowania modelu kinetyki konwekcyjnego suszenia owoców bzu czarnego
 Table 3. Statistical analysis of model describing kinetics of the convective drying of elderberry

Nazwa modelu Model name	Temperatura Temperature								
	25 °C			45 °C			65 °C		
	R ²	RMSE	χ^2	R ²	RMSE	χ^2	R ²	RMSE	χ^2
Pagea	0,996	0,0017	3,2859·10 ⁻⁶	0,997	0,0012	1,5119·10 ⁻⁶	0,999	0,0002	0,0823·10 ⁻⁶
Dwuczynnikowy	0,998	0,0006	3,7735·10 ⁻⁶	0,999	0,0001	0,0419·10 ⁻⁶	0,990	0,0039	0,1970·10 ⁻⁶
Logarytmiczny	0,991	0,0042	0,1873·10 ⁻⁶	0,994	0,0024	6,1189·10 ⁻⁶	0,997	0,0009	1,0149·10 ⁻⁶
Newtona	0,973	0,0131	174,497·10 ⁻⁶	0,983	0,0067	0,4607·10 ⁻⁶	0,985	0,0061	0,3992·10 ⁻⁶
Hendersona i Pabisa	0,990	0,0045	0,2152·10 ⁻⁶	0,994	0,0024	6,1917·10 ⁻⁶	0,990	0,0039	0,1738·10 ⁻⁶
Wanga i Singha	0,881	0,0595	3623,629·10 ⁻⁶	0,824	0,0731	5538,449·10 ⁻⁶	0,996	0,0012	1,8673·10 ⁻⁶
Midilliego	0,841	0,0796	6652,425·10 ⁻⁶	0,751	0,1035	11485,33·10 ⁻⁶	0,885	0,0481	2941,39·10 ⁻⁶

Tabela 4. Współczynniki równań modeli opisujących suszenie owoców bzu czarnego

Table 4. Coefficient values in the models describing the drying of elderberry

Nazwa modelu Model name Temperatura suszenia [°C] Drying temperature [°C]	Próba Sample	Współczynnik równania Coefficients of the equations				
		a	k	b	k _i	n
Pagea						
25	Suszenie sublimacyjne	–	0,0020	–	–	1,2551
45	Freeze drying	–	0,0034	–	–	1,2067
65		–	0,0007	–	–	1,5656
Dwuczynnikowy						
25	Suszenie konwekcyjne Convective drying	0,7925	0,0035	0,2144	0,0304	–
45		0,1751	0,0851	0,8269	0,0074	–
65		–	0,0058	–	–	1,2552

w bezbarwne chalkony. [Rhim 2002]. Zwiększenie wartości współrzędnej barwy a* suszu wraz ze wzrostem temperatury może powodować polimeryzację i brunatnienie chalkonów [Ścibisz i in. 2010].

W całym zakresie pomiarowym, niezależnie od metody suszenia współrzędna barwy b* charakteryzowała się stabilnością, podobne wyniki uzyskała Paślawska i inni [2010], analizując zmiany barwy borówki czernicy podczas suszenia.

Całkowita różnica barwy ΔE surowca względem suszu była niewielka, niezależnie od parametrów, jak też sposobu suszenia, nieznacznie wyższe wartości parametru ΔE w przypadku suszenia sublimacyjnego powodowane są zwiększeniem jasności oraz współrzędnej a* suszu w porównaniu z surowcem.

Tabela.5. Współrzędne barwy suszu z owoców czarnego bzu

Table.5. Colour parameters of dried elderberry

Próba Sample	Współrzędne barwy Colour parameters			
	L*	a*	b*	ΔE
Surowiec Fresh	27,2 ±0,24 ^a	0,5 ±0,88 ^a	10,6 ±0,37 ^{abc}	–
Suszenie konwekcyjne Convective drying				
25°C	29,7 ±0,4 ^b	1,7 ±0,6 ^b	9,9 ±0,3 ^a	2,9 ±0,5 ^a
45°C	29,7 ±0,2 ^b	1,5 ±0,5 ^b	10,1 ±0,4 ^{ab}	2,8 ±0,4 ^a
65°C	29,3 ±0,2 ^b	1,2 ±0,4 ^b	10,0 ±0,7 ^{ab}	2,4 ±0,2 ^a
Suszenie sublimacyjne Freeze drying				
25°C	30,5 ±0,2 ^c	3,5 ±0,3 ^c	10,8 ±0,2 ^{bc}	4,5 ±0,3 ^b
45°C	31,5 ±0,2 ^d	3,7 ±0,3 ^c	11,5 ±0,1 ^c	5,4 ±0,4 ^c
65°C	33,1 ±0,6 ^c	4,2 ±0,2 ^c	12,9 ±0,5 ^d	7,3 ±0,4 ^d

Wartości oznaczone różnymi małymi literami w kolumnach tabeli są statystycznie istotne ($\alpha = 0,05$).

The values designated by the different small letters in the columns of the table are significantly different ($\alpha = 0,05$).

WNIOSKI

1. Wzrost temperatury procesu suszenia w zakresie od 25°C do 65°C wpływa na skrócenie czasu odwadniania, ponad dwukrotnie w przypadku sublimacji i prawie pięciokrotnie podczas konwekcji. Opisując kinetykę procesu suszenia konwekcyjnego w temperaturze 65°C, przyjęto model Pagea, w przypadku temperatury 25°C i 45°C model dwuczynnikowy, proces suszenia sublimacyjnego w całym zakresie pomiarowym najlepiej opisuje model Pagea.
2. Analiza wyników dotyczących barwy suszu z owoców czarnego bzu wskazuje na statystycznie istotne różnice w wartościach niektórych współrzędnych barwy suszu oraz wartości całkowitej różnicy barwy (ΔE) pomiędzy surowcem a suszem. W badanym zakresie pomiarowym temperatura wywiera niewielki wpływ na zmianę analizowanych wyróżników barwy.

LITERATURA

- AOAC International, 1990. Method 934.06 moisture in dried fruits. In Official methods of the association of analytical chemists (15th ed.). Virginia, USA, AOAC.
- Bober I., Oszmiański J., 2004. Zastosowanie wycieków aronii do naparów herbat owocowych Acta Sci. Pol., Technol. Aliment. 3(1), 63–72.
- Bridle P., Timberlake C.F., 1997. Anthocyanins as natural food colours-selected aspects. Food Chem. 58, (1–2), 103–109.
- Bryła A., Lewandowicz G., Juzwa W., 2015. Encapsulation of elderberry extract into phospholipid nanoparticles. J. Food Eng. 167, 189–195.
- Diamante, L.M., Munro, P.A., 1993. Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. Solar Energy 51(4), 271–276.
- Duymus H. G., Göger F., Baser K.H.C., 2014. In vitro antioxidant properties and anthocyanin compositions of elderberry extracts. Food Chem. 155, 112–119.
- El-Beltagy A., Gamea G.R., Amer Essa A.H., 2007. Solar drying characteristics of strawberry. J. Food Eng. 78, 456–464.
- Henderson, S.M., 1974. Progress in developing the thin layer drying equation. Trans ASAE, 1167–1172.
- Henderson S.M., Pabis S., 1961. Grain drying theory. II. Temperature effects on drying coefficients. J. Agric. Eng. Res. 6, 169–174.
- Kruger S., Mirgos M., Morlock G.E., 2015. Effect-directed analysis of fresh and dried elderberry (*Sambucus nigra* L.) via hyphenated planar chromatography. Journal of Chromatography 1426, 209–219.
- Nurzyńska-Wierdak R., 2016. Właściwości lecznicze i wykorzystanie w fitoterapii niektórych gatunków roślin drzewiastych. Krzewy półkuli północnej. Annales UMCS sectio EEE Horticultura 26(2), 27–46.
- Midilli A., Kucuk H., Yapar Z., 2002. A new model for single-layer drying. Drying Technol. 20(7), 1503–1513.
- Młynarczyk K., Walkowiak-Tomczak D., Łysiak G., 2018. Bioactive properties of *Sambucus nigra* L. as a functional ingredient for food and pharmaceutical industry. J. Functional Foods 40, 377–390.

- Paślawska M., Stepien B., Jałoszyński K., 2010. Zmiany parametrów barwy owoców jagodowych wywołane suszeniem, przechowywaniem i rehydracją. *Inżynieria Rolnicza* 2(120), 95–102.
- Peroń S., Surma M., Zdrojewski Z., 2010. Charakterystyka suszarnicza owoców bzu czarnego. *Inżynieria Rolnicza* 2 (120), 117–123.
- Piątkowska E., Kopeć A., Leszczyńska T., 2011. Antocyjany – charakterystyka, występowanie i oddziaływanie na organizm człowieka *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 4(77), 24–35.
- Rhim J.W., 2002. Kinetics of thermal degradation of anthocyanins pigment solutions driven from red flower cabbage. *Food Sci. Biotechnol.* 4(11), 361–364.
- Sarimeseli A., 2011. Microwave drying characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves. *Energy Conversion and Management* 52, 1449–1453.
- Seabra I.J., Braga M. E. M., Batista M. T. P., Sousa H. C., 2010. Fractioned High Pressure Extraction of Anthocyanins from Elderberry (*Sambucus nigra* L.) Pomace. *Food Bioprocess Technol.* 3, 674–683.
- Senica M., Stampar F., Veberic R., Mikulic-Petkovsek M., 2016. Processed elderberry (*Sambucus nigra* L.) products: A beneficial or harmful food alternative? *LWT – Food Science and Technology* 72, 182–188.
- Sidor A., Gramza-Michałowska A., 2015. Advanced research on the antioxidant and health benefit of elderberry (*Sambucus nigra* L.) in food – a review. *J. Functional Foods* 18, 941–958.
- Silva P., Ferreira S., Nunes F. M., 2017. Elderberry (*Sambucus nigra* L.) by-products a source of anthocyanins and antioxidant polyphenols. *Industrial Crops and Products* 95, 227–234.
- Szulc K., Lenart A., 2016. Wpływ parametrów suszenia rozpyłowego na barwę proszków z czarnego bzu. *Bromat. Chem. Toksykol.* 49,(4), 732–735.
- Ścibisz I., Kalisz S., Mitek M., 2010. Termiczna degradacja antocyjanów owoców borówki wysokiej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 5(72), 56–66.
- Wang C.Y., Singh, R.P., 1978. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Transactions of the ASAE* 11, 668–672.

EFFECTS OF AIR DRYING AND FREEZE-DRYING CONDITIONS ON THE PROCESS KINETICS AND COLOUR OF BLACK ELDERBERRY (*SAMBUCUS NIGRA* L.)

Summary: Elderberry (*Sambucus nigra* L.) is a shrub or low tree, occurs in nature in a large area of Europe, North-West Africa and Asia Minor. In Poland, it is common throughout the country and is currently grown in many other countries around the world. In many countries, large quantities of this raw material are collected from wild plants. All parts of this plant i.e. bark, roots, leaves, flowers and fruits have medicinal properties. In traditional culinary practice, it used fresh and dried inflorescences to prepare tea infusions, syrups, alcohol extracts and other products. Especially, fruits of elderberry are a valuable raw material for food technology, biotechnology, pharmacy and medicine. In food technology elderberry berries can be used in the preparation of juice, jams, jellies, ice cream, yoghurts, as a filling for cakes, as well as for the production of alcoholic beverages. The berries contain large amount of phytochemicals, with high biological activity, primarily polyphenols, such as flavonoids, phenolic acids, proanthocyanidins and anthocyanins, which give the

fruits black-purple colour. The main polyphenols in elderberry fruit are chlorogenic acid, neochlorogenic acid, crypto chlorogenic acid and quercetin.

The aim of the study was to determine the influence of air drying and freeze-drying conditions of elderberry fruits on the process kinetics colour changes. The air drying process was carried out at 25°C, 45°C and 65°C and in the air flow of 0.5 m s⁻¹, whereas the freeze-drying was carried out in the same temperature of heating plates, in the drying chamber of 63Pa until the sample mass reached the water content of approximately 100 g H₂O kg⁻¹ fresh weight of berries. The temperature of the heating plates was increased at the beginning of drying and reached an adequate level from 10 to 25 min. In order to select the best mathematical model describing the drying of elderberry berries, seven equations commonly cited in the literature were analyzed. The data revealed that the freeze-drying process is the best described by the Page model, while for the convection drying the two-factor model and the Page model were selected, depending on the process parameters. It was found that both freeze-drying and convective drying in the studied temperature range has a small effect on the color stability of the tested raw material.

Key words: drying, colour, elderberry